

Otomotiv endüstrisi zararlı atıklarının solidifikasyonu ve geri kazanımı

Selnur UÇAROĞLU*, İlhan TALINLI

İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Çeşitli endüstriyel prosesler sonucu oluşan zararlı atıkların konvansiyonel metotlar ile uzaklaştırılması çevresel açıdan büyük sakıncalar doğurmaktadır. Bu çalışmada, zararlı atıkların tanım ve tespiti yapılarak, zararlı atık yönetim sistemini ortaya koymak amacıyla, otomotiv endüstrisi zararlı atıklarından metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamuruna solidifikasyon/stabilizasyon(S/S) teknolojisi uygulanmıştır. Katılaştırma malzemesi olarak portland çimentosu kullanılarak, hazırlanan briketlere basınç dayanım testleri uygulanmış ve sızıntı özellikleri tespit edilmiştir. Başlangıçta zararlı atık tespiti yapılan atıklar için yönetim biçimi olarak, (S/S) teknolojisi uygulandıktan sonra gerek düzenli depolama sahalarına uzaklaştırma, gerekse grobeton olarak geri kazanım, detoksifikasyon ve atık minimizasyonu sağlanmaktadır. Yapılan çalışmada, zararlı atıkların yönetiminde (S/S) teknolojisinin uygun bir yöntem olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık minimizasyonu, detoksifikasyon, geri kazanım, S/S teknolojisi, zararlı atık.

Hazardous waste solidification and recovery in automotive industry

Abstract

Disposal of hazardous wastes originated from several industrial processes after treatment with conventional methods have been causing some problems for treatment plants and environment. During experimental studies, the solidification /stabilization technology have been applied to the metal sludge, as well as the phosphate sludge and the industrial treatment sludge, which was originated from automotive industry. The experiments have been carried out in four stages. At the first stage, these wastes have been classified as hazardous wastes. In the second stage the essays have been done using portland cement and, solidified materials have been prepared. In the third stage, comprehensive strength tests have been done for solidified materials. According to these results, it has been concluded that the solidification is a suitable treatment process for all three types of wastes. Furthermore, recovering the waste as concrete without iron was possible as humid forms of industrial treatment sludge and phosphate sludge with low waste ratios. In the last stage, the leaching properties of briquettes prepared with solidification process have been determined. After applying solidification treatment technology to the wastes which are previously determined as hazardous waste, it has been proposed either disposal at landfill or recover as concrete without iron. According to these management approaches, it has been concluded that all of three wastes have been detoxified. As a result it has been found that solidification is the most appropriate treatment method for this type of waste material.

Keywords: Waste minimization, detoxification, recovery, S/S technology, hazardous waste.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Selnur UÇAROĞLU. selnur@uludag.edu.tr; Tel: (224) 442 81 77 dahili:186.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış "Zararlı atıkların solidifikasyonu ve geri kazanımı: otomotiv endüstrisi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 17.05.2002 tarihinde dergiye ulaşmış, 24.10.2002 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 28.02.2002 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Çeşitli endüstriyel prosesler sonucu oluşan zararlı atıkların doğrudan uzaklaştırılması çevresel açıdan büyük sakıncalar yaratmaktadır. İnsan sağlığını doğrudan veya dolaylı yünden tehdit eden bu tür atıkların özel işlemlerden geçirildikten ve tehlike yaratan kirleticiler minimum düzeye indirildikten sonra uzaklaştırılması gerekmektedir. Zararlı atıkların yakma, derin kuyu uzaklaştırması, eski maden yataklarına doldurma, deniz diplerine uzaklaştırma gibi yöntemlerle uzaklaştırılmasının ekonomik ve çevre koruma kavramları içerisinde uygun olmadığı düşünülmesiyle, depolama düşünüldüğünde ise deponi sahasında hacim azalması sağlanması ve zararlı atıkların içerdiği tehlikeli özelliğinin sızıntı suyuna geçişinin önlenmesi amacıyla uygulanan en yararlı ve yaygın olarak kullanılan yöntem solidifikasyon/stabilizasyon yöntemidir. Bu yöntemde, zararlı atığa çimento gibi bağlayıcı özelliğe sahip katkıları ilave edilerek daha stabil hale ve daha az toksik forma dönüştürülürler. S/S teknolojisi, zararlı endüstriyel çamurlar için uygun bir arıtma tekniğidir, çünkü solidifikasyon ile zararlı atık bileşiklerinin katıya benzer yapılarda tutunması sağlanır ve atık bünyesindeki kirleticiler sabitlenir, böylece atıkların tehlikelik özelliği giderilip, bu bileşenlerin sızıntı içinde bulunmaması sağlanarak doğaya zararı engellenmiş olur. Çamurun sıvı kısmının önemli bir bölümü çamur katılaştırma sayesinde elimine edilebilmekte ve bu şekilde çamur hacminde azalma söz konusu olmaktadır. Ayrıca solidifikasyon ile çamur sıkıştırıldığında dayanıklılık ve sızdırmazlık artar, permeabilite ise düşer. Bu şekilde solidifikasyon, ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirerek deponi metodu için bir ön hazırlık sağlamış olur veya oluşan katılaştırılmış malzeme belli bir dayanıma sahip olur. Sızıntı testleri ile final ürünün tehlikeli olmadığı ortaya konursa bahsedildiği gibi bu ürünün yapı malzemesi olarak tekrar kullanılabilirliği mümkündür. Ayrıca, elde edilen malzeme düzenli depolama sahalarında örtü materyali, yol inşaatlarında dolgu materyali olarak, tuğla yapımında ve arazi rekreasyonunda kullanılabilir (Cheeseman v. diğ., 1998; Sharma ve Lewis, 1994; LaGrega v. diğ., 1994; Conner, 1990). Böylece atığın çevreye zararlı olmaktan öte

yararlı olabilecek yönde kullanımı da gerçekleştirilmiş olacaktır. Solidifikasyon işlemi için öncelikle analitik yöntemlerle atığın karakterize edilmesi gerekir. Atığın özelliklerine uygun katılaştırma yöntemi ve özel katkı maddelerinin seçilmesi; atığın bünyesindeki tehlikeli maddelerin ön işlemlerle yeterince stabilize edilmesi, seçilen yöntemle göre katılaştırma işleminin yapılması ve final ürünlerin sızıntı özelliklerinin belirlenmesi izlenmesi gereken yol olmalıdır (Filibeli, 1998).

Çimento ile solidifikasyon işleminin temel prensibi; uygun bir katı ürün elde etmek üzere çimento-atık karışımı içinde çimentonun hidrasyon etkisidir. Yani çimentonun su ile priz yapıp sertleşmesi olayıdır. Çimento ile katılaştırma işleminde meydana gelen olaylar; katı formu oluşturan kalsiyum silikat hidratlarının ve kalsiyum alüminat hidratlarının hidrasyon prosesleri ile kütle içinde bağ yapı oluşturmalarıdır (Filibeli, 1998). Atık bileşenleri makro kapsülleme, mikro kapsülleme, absorpsiyon, adsorpsiyon, çöktürme ve toksisite giderimi mekanizmalarının bir veya birkaçının gerçekleşmesi ile hamur bünyesinde katılaştır, katılaştırma sona erince malzeme zamanla belirli bir dayanım kazanır (LaGrega v. diğ., 1994).

Stabilizasyonun veriminin değerlendirilmesi, stabilize edilmiş malzemenin fiziksel, mühendislik ve kimyasal özelliklerinin ölçülmesini gerektirir. Stabilizasyonun etkinliğini değerlendirmek için çeşitli laboratuvar testleri kullanılmaktadır. Uygun bir şekilde yorumlandığında bu testlerin herbiri, spesifik bir atık için belli bir stabilizasyon tekniğinin ve kimyasal madde karışımının etkinliğine kısmi bir bakış sağlar. Uygun testlerin seçilmesi ve test sonuçlarının yorumlanması stabilizasyon programının amaçlarına bağlıdır (LaGrega v. diğ., 1994).

Literatürde, S/S prosesinin verimliliğini değerlendirmek için birçok fiziksel ve kimyasal test yöntemleri tanımlanmaktadır. En yaygın fiziksel testler; basınç testleri, permeabilite, dayanıklılık, hacim ağırlığı ve indeks özellikleri testleridir. Kimyasal test olarak da ekstraksiyon ve sızıntı testleri sayılabilir (Balkan, 1999).

Zararlı atık arıtımının çok güç ve bu konudaki çalışmaların da çok yeni ve az olması, her konuda kesin sonuçlara ulaşılamaması nedeniyle bu tür atıkların uygun bir sistemle yönetilmesi, atık minimizasyonu ve geri kazanım büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisinin uygun bir yönetim biçimi, atık minimizasyonu ve geri kazanım kavramlarını doğurması nedeniyle, bu konuda detaylı araştırmaların yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmanın amacı zararlı atıkların tanımı ve tespitini yaparak zararlı atık yönetim sistemini ortaya koymaktır. Bu çerçevede S/S teknolojisi, otomotiv endüstrisi zararlı atıklarından metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamuruna uygulanmıştır.

Materyal ve metot

Deneysel çalışmalar dört aşamada yürütülmüştür.

Araştırmada kullanılan zararlı atıkların karakterizasyonu ve bileşenleri

İlk aşamada, kullanılan metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve EPA listelerine göre karakterizasyonu yapılmıştır.

Solidifikasyon deneyleri yapılmadan önce metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun toplam (çözünmüş) bileşenlerinin analizleri yapılmıştır. Analiz için , Cu, Cr, Zn, Pb ve Ni ağır metalleri ve TOC parametresi seçilmiştir. Atıklar nitrik asit ile yakılarak ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyonda, Shmatzu Marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi kullanılarak, belirlenen ağır metallerin toplam miktarlarının analizleri yapılmıştır.

Katılaştırılmış numunelerin (briket) hazırlanması

İkinci aşamada, atıklar ile katılaştırılmış materyal (briket) hazırlanmıştır. Denemelerde, solidifikasyonda yaygın olarak kullanılan portland çimentosu (PÇ 42.5) bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Mukavemeti arttırmak için, atığa çimento dışında beton yapımında kullanılan doğal kum, kırma kum , ince ve kalın agrega ve su, karışımlara eklenmiştir.

Başlangıçta, yapılan numuneleri karşılaştırmak amacıyla kontrol numunesi olarak TS 500 Standartı esas alınarak BS 20 betonu hazırlanmıştır. Diğer deney karışımları da TS 500'e göre hesaplandıktan sonra, hesaplanan miktarlara göre, malzemeler tartılıp, mikserde homojen hale gelene kadar karıştırılıp, slump (kıvam) deneyi yapılmış ve kalıplara yerleştirilmiştir (TS 500, 2000). Slump deneyi, slump hunisi kullanılarak karışımların kıvamını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Bu deney yapılarak tüm karışımlarda slump değeri 7-8 civarında tutulmaya çalışılarak, su miktarının basınç dayanımına olumsuz etkileri ortadan kaldırılmıştır. Kullanılan kalıplar standartlara uygun olarak 15*15*15 cm boyutlarında küp şeklindedir. Kalıplara konan numuneler, kalıp alma süreleri dolduktan sonra kalıplardan çıkarılıp kür havuzlarına alınarak 28 gün bekletilmiştir. Kür havuzları kirece doymuş su ile dolu olup, havuzların bulunduğu odanın sıcaklığı 21 ± 2 °C ve rölatif nemi de min. % 95'tir.

Seçilen üç tip atık ile üç ayrı deneme yapılmıştır. Denemelerde değişken olarak atık miktarı seçilmiştir. Karışımın diğer bileşenlerinde sadece su düzeltmeleri yapılmıştır, diğer malzeme miktarları değiştirilmemiştir. Atık dışındaki malzemelerin su ihtiyaçları hesaplanmıştır, ancak atık için slump değerleri gözönünde bulundurulurken, ilave su miktarları belirlenerek karışımlar hazırlanmıştır.

Solidifikasyon ürünlerinin basınç dayanımlarının tespit edilmesi

Üçüncü aşamada hazırlanan briketlerin dayanımının tespiti için basınç testleri yapılmıştır. Örnekler, oda sıcaklığında su dolu havuzlarda 28 gün bekletildikten sonra, basınç dayanımlarının tespiti için uygun bir duruma gelmiştir. Basınç dayanımları, maksimum uygulanabilir yükü 1500 kN olan basınç dayanım deney presi ile ölçülmüştür. Karışımların basınç dayanımının 28 günden daha uzun sürelerde nasıl bir değişim gösterdiğini tespit etmek amacıyla bazı karışımlarda 3 aylık basınç dayanımları da ölçülmüştür. Bu sayede atığın katı materyal bünyesinde daha uzun sürelerde nasıl bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Solidifikasyon ürünlerinin sızıntı özelliklerinin tespit edilmesi

Dördüncü aşamada ise, solidifikasyon prosesinde hazırlanan briketlerin sızıntı özellikleri tespit edilmiştir. Bu amaçla, “Standart Metotlar”da yer alan nitrik asit ile yaş yakma yöntemi, atıklara ve bu atıklarla yapılmış briketlere uygulanmıştır. Bu sayede, toplam haldeki Cu, Cr, Zn, Pb ve Ni ağır metallerinin toplam miktarları tespit edilmiştir.

Miktarı belli numunelere nitrik asit ile yaş yakma uygulandıktan sonra elde edilen ekstrakt filtreden geçirilip 100 ml’ye tamamlanmıştır. Sonuçta elde edilen ekstraksiyon sıvısına ağır metal analizleri yapılmıştır (APHA v. diğ., 1992). Sızıntı özelliklerinin tespit edilmesi için, ayrıca su kalitesi üzerindeki etkilenmeyi tespit etmek için “British Standards” BS 6920 (İnsan Tüketimi İçin Tasarlanan Su Kalitesi Üzerine Etkileri Gözönünde Tutularak Su ile Temasta Kullanılan Metal Olmayan Ürünlerin Uygunluk Standartı-1996)’dan faydalanılmıştır. Bu standart kapsamında olan “Su Mikroorganizmalarının Çoğalması Deneyi” uygulanmıştır. Deney için solidifikasyon prosesi sonucu elde edilen briketler 5-7 haftalık inkübasyon sonucunda ki ÇO konsantrasyonları ortalaması ile başlangıçtaki ÇO değeri arasındaki fark alınmıştır (BS 6920,

1996). Ayrıca 7 hafta sonra briketin suda TOC, Cu, Cr, Ni, Pb ve Zn ölçümü yapılmıştır. TOC ölçümü, Shamatzu TOC-5000A Total Organic Carbon Analyzer marka cihaz ile yaptırılmıştır, ağır metal ölçümleri ise, Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi kullanılarak yaptırılmıştır.

Sonuçlar ve tartışma

Kullanılan zararlı atıkların

karakterizasyonunun değerlendirilmesi

Solidifikasyon deneylerinin başında, deneylerde kullanılan atıkların Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne (TAKY) göre karakterizasyonu yapılmıştır ve Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1’de yapılan tespite göre metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun TAKY’ndeki kategorisi, atığın muhtemel kaynağı, tanımı ve tehlikelilik özelliği tanımlanmıştır. Görüldüğü gibi, her üç tip atığın da tehlikelilik özelliğinin ekotoksik olduğu görülmektedir. Ayrıca Tablo 1’den görüldüğü gibi, endüstriyel arıtma çamuru, ekotoksik özellik dışında zehirli (akut) özellikte göstermektedir (TAKY, 1995).

Ayrıca EPA Zararlı Atık listelerine görede atık karakterizasyonu yapılmış olup Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 1. Metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun karakterizasyonu (TAKY’ne göre)

	Metal Çamuru		Fosfat Çamuru		Endüstriyel Arıtma Çamuru	
	KOD NO	AÇIKLAMA	KOD NO	AÇIKLAMA	KOD NO	AÇIKLAMA
Kategori	Y17	Metal ve plastiklere yüzey işlemleri uygulanmasından kaynaklanan atıklar	Y17	Metal ve plastiklere yüzey işlemleri uygulanmasından kaynaklanan atıklar	Y18	Sınai atıkların bertaraf işlemlerinden kaynaklanan atıklar
Atığın Muhtemel Kaynağı	A241	Makinede işlem	A243	Yüzey işlemi	A930	Endüstriyel atıksu arıtım tesisleri
Atığın Tanımı	T-Y1702	Hidrokarbon içeren metal işleme çamurları	T-Y1703	Krom, kobalt, bakır, molipten, nikel ve diğer ağır metalleri veya berilyum içeren çamurlar	T-Y1801	Suyu giderilmiş metal hidroksit çamurları
Tehlikeli Özellikleri	H12	Ekotoksik	H12	Ekotoksik	H12 H6.1	Ekotoksik Zehirli (Akut)

Tablo 2. Metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun EPA zararlı atık listelerine göre karakterizasyonu

ATIK	ENDÜSTRİ VE EPA ZARARLI ATIK NO	ZARAR KODU
Metal	F010 ¹	R,T
Çamuru	F011 ²	R,T
Fosfat	F011 ²	R,T
Çamuru	K008 ³	T
Endüstriyel	F006 ⁴	T
Arıtma	K002 ⁵	T
Çamuru	K007 ⁶	T

F010¹ : Proseste siyanür kullanan metal ısıtma işlemlerinden gelen yağlı banyoların kalıntıları

F011² : Metal ısıtma işlemlerinden gelen tuz banyosunun siyanür içeren temizleme çözeltileri

K008³ : Krom oksit yeşili pigmentlerin üretiminden gelen fırın kalıntıları

F006⁴ : Aşağıdaki prosesler haricindeki elektrolitik kaplama işlemlerinden gelen atıksuların arıtım çamurları: (1) Sülfirik asit ile alüminyum anotlaştırması, (2) Karbon çelik üzerine kalay kaplanması, (3) Karbon çelik üzerine çinko kaplanması, (4) Karbon çelik üzerine alüminyum veya çinko-alüminyum kaplanması, (5) Karbon çelik üzerine kalay, çinko ve alüminyum kaplama ile ilgili temizleme, sıyırma işlemleri ve (6) Alüminyum öğütülmesi ve kimyasal işlenmesi.

K002⁵ : Krom sarısı ve oranj pigmentlerinin üretiminden gelen atıksu arıtım çamurları

K007⁶ : Demir mavimsi pigmentlerin üretiminden gelen atıksu arıtım çamurları

Tablo 3, 4 ve 5'te, üç tip atık için belirlenen 5 ağır metal (Cu, Cr, Ni, Pb ve Zn) konsantrasyonunun toplam değerleri verilmiştir. Tablolardan endüstriyel çamurda ve fosfat çamurunda en yüksek konsantrasyonun çinkoya ait, metal çamurunda ise bakıra ait olduğu görülmektedir. Özellikle fosfat çamurunda çok yüksek bir çinko konsantrasyonu elde edilmiştir. Çünkü bu çamur otomotiv endüstrisindeki fosfatlama banyolarının altında bulunan dekantörden alınan çinko fosfat çökeleğidir.

Yapılan karakterizasyon sonucunda, otomotiv endüstrisine ait metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun T.A.K.Y. ve EPA listelerinde yer alan ve tehlikeli özellik gösteren zararlı atıklar olduğu tespit edilmiştir.

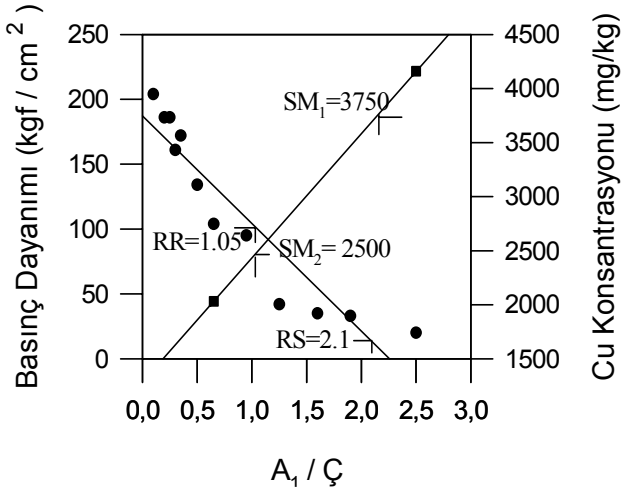
Solidifikasyon deney sonuçları ve değerlendirilmesi

Yapılan üç denemede, değişken olarak atık miktarı seçilmiştir. Yapılan denemelerin 28 günlük ve 3 aylık basınç dayanımı sonuçları ve kullanılan atık miktarları Tablo 3, 4 ve 5'te verilmiştir. Her bir denemede elde edilen atık/çimento oranlarına karşı gelen basınç dayanım değerleri Şekil 1-15 arasındaki grafiklerde görülmektedir.

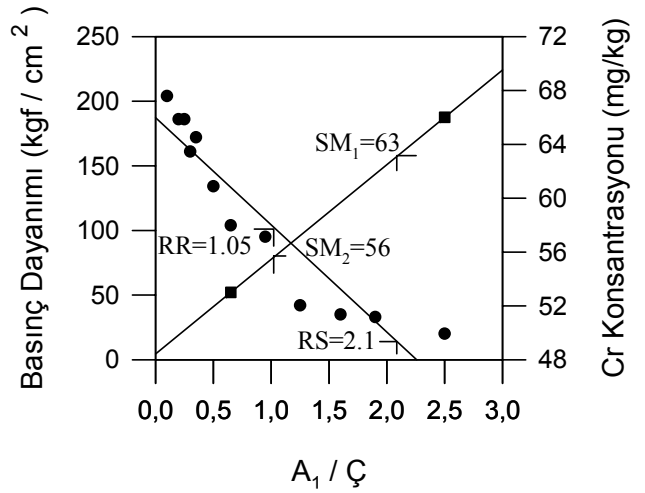
Denemelerin başlangıcında hazırlanan kontrol numunesinin basınç dayanımı değeri 264 kgf/cm² olarak elde edilmiştir. Hazırlanan karışımlardan elde edilen basınç dayanımları kontrol numunesine göre yorumlanmıştır.

Yıkılmış metal çamuru ile yapılan 1. denemede hazırlanan 12 katılaştırılmış materyalin basınç dayanımı değerleri Tablo 3'de, bu değerlerin atık/çimento oranlarına göre karşılaştırılması da Şekil 1-5 arasındaki grafiklerde verilmiştir. Bu denemede, S55 karışımında en yüksek basınç dayanımı (204 kgf/cm²), en düşük atık oranında (A5/Ç = 0.1); en düşük basınç dayanımı da (20 kgf/cm²) en yüksek atık oranında (A5/Ç = 2.5) elde edilmiştir. Bu denemede Şekil 1-5 arasındaki grafiklere bakıldığında, atık oranı arttıkça, basınç dayanımının düştüğü görülmektedir. Yapılan 3 aylık basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, 3 aylık sonuçların, 28 günlük sonuçlardan pek farklı olmadığı görülmektedir (Tablo 3). Buradan, bu atık için katılma süresi olarak 28 günlük sürenin yeterli olduğu söylenebilir. Ayrıca, 0.65 atık oranında ve daha az oranlarda solidifiye materyalin grobeton olarak kullanılabilmesi, 0.65'ten daha yüksek atık oranlarında ise elde edilen malzemenin geri kazanımı mümkün olmayıp, sadece düzenli depolama tesislerinde uzaklaştırılabileceği sonucuna varılmıştır.

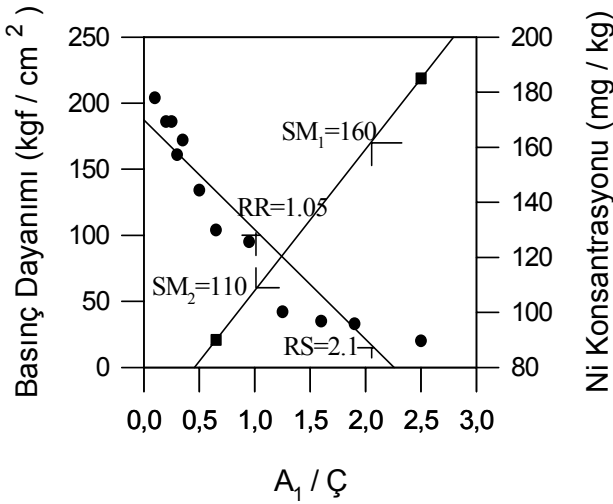
Susuzlaştırılmış endüstriyel arıtma çamuru ile yapılan 2. denemede hazırlanan 10 karışıma ait basınç dayanımları Tablo 4'te, bu değerlerin atık/çimento oranlarına göre karşılaştırılması da Şekil 6-10 arasındaki grafiklerde verilmiştir. Tablo ve grafiğe bakıldığı zaman, en yüksek basınç dayanımı değeri olan 160 kgf/cm² değerinin en düşük atık oranı olan 0.1 değerinde elde edildiği, en düşük basınç dayanımı değerinin de (4 kgf / cm²) 1.05 ve 1.4 atık oranlarında elde



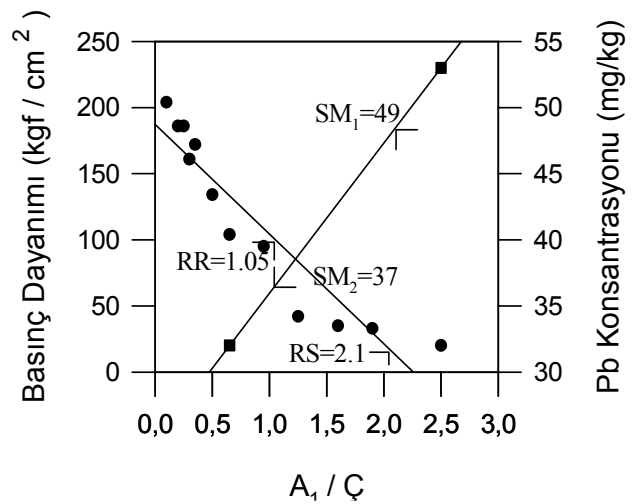
Şekil 1. I. Deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları



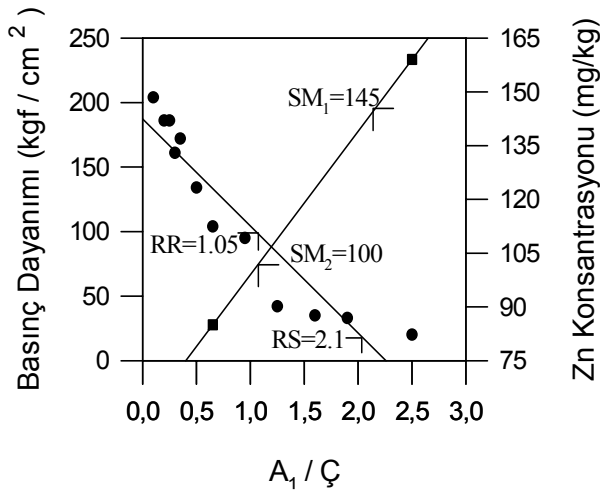
Şekil 2. I. Deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları



Şekil 3. I. Deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları

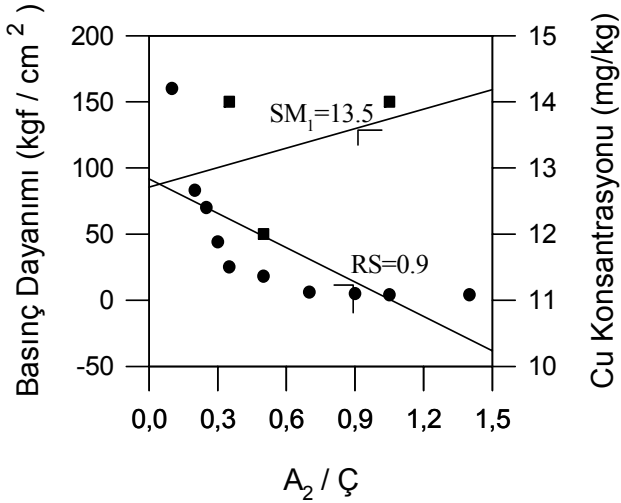


Şekil 4. I. Deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları

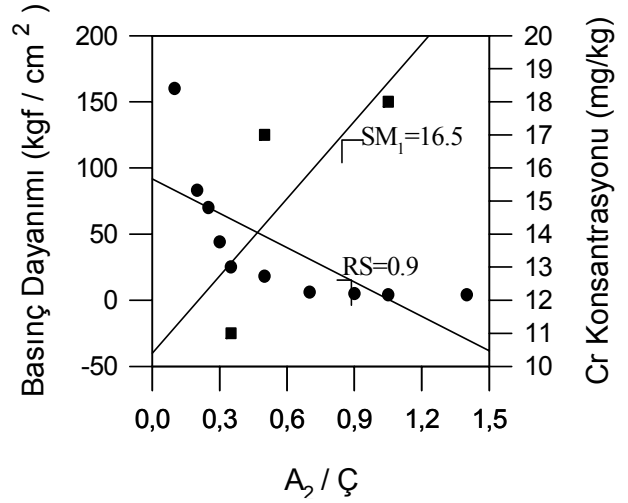


Şekil 5. I. Deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları

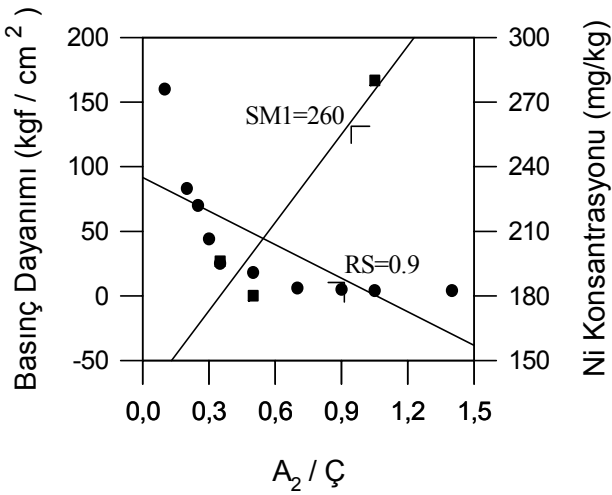
●	$A_1 / \text{Ç}$ v Baskınç D.
■	$A_1 / \text{Ç}$ v Cu
	$A_1 / \text{Ç}$ v Cr
	$A_1 / \text{Ç}$ v Ni
	$A_1 / \text{Ç}$ v Pb
	$A_1 / \text{Ç}$ v Zn



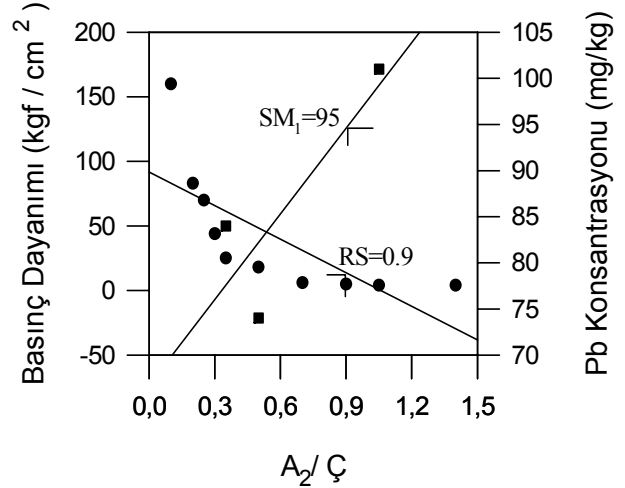
Şekil 6. II. Deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları



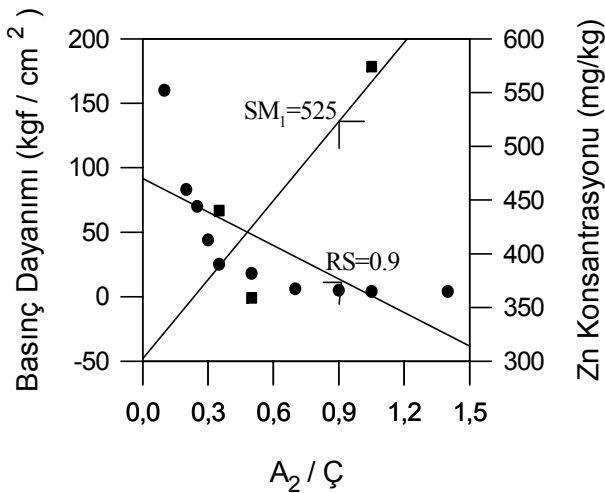
Şekil 7. II. Deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları



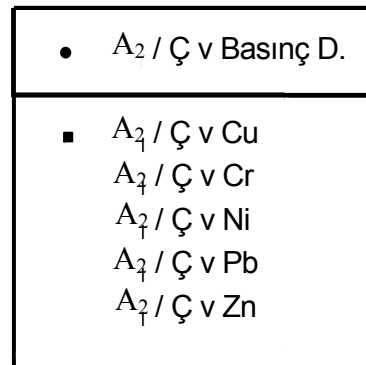
Şekil 8. II. Deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları

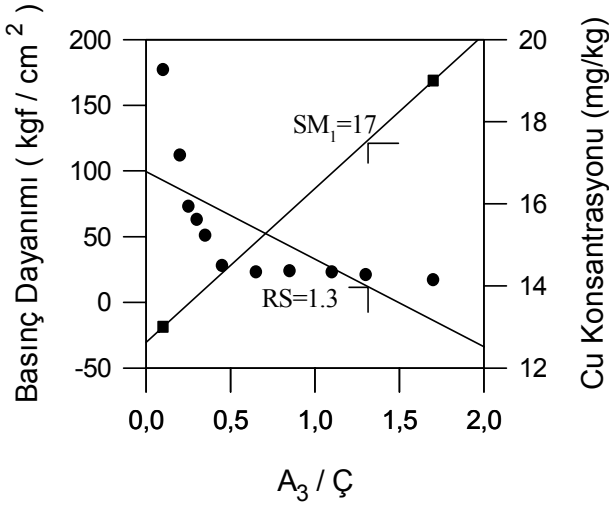


Şekil 9. II. Deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları

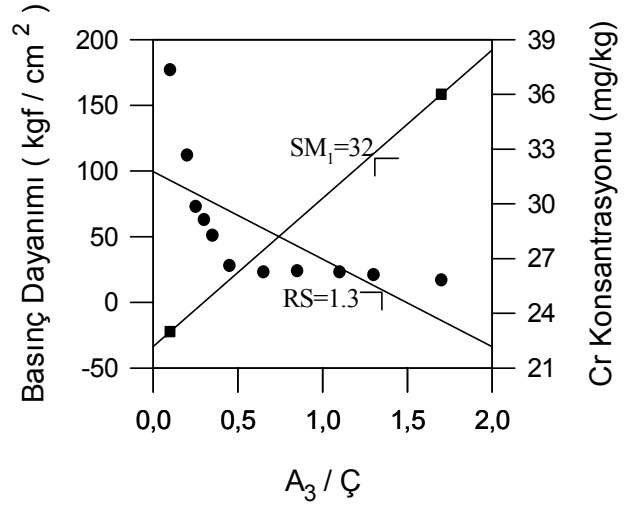


Şekil 10. II. Deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları

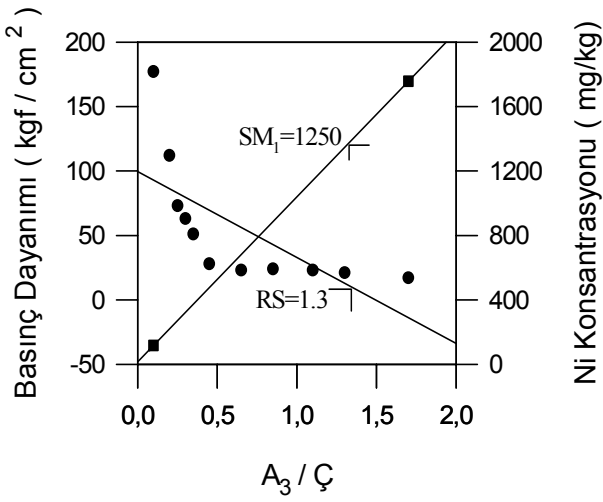




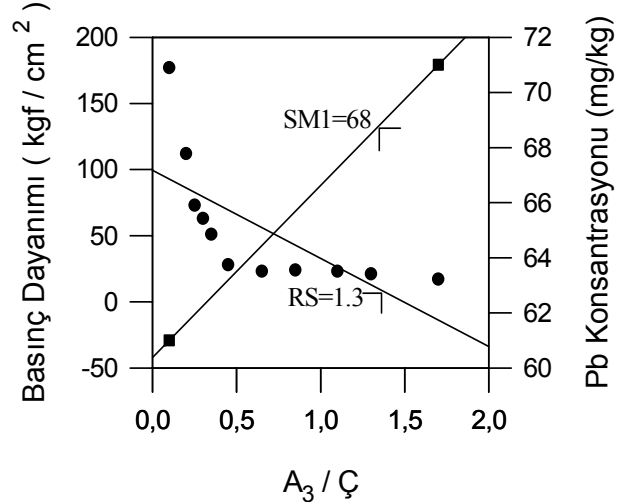
Şekil 11. III. Deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları



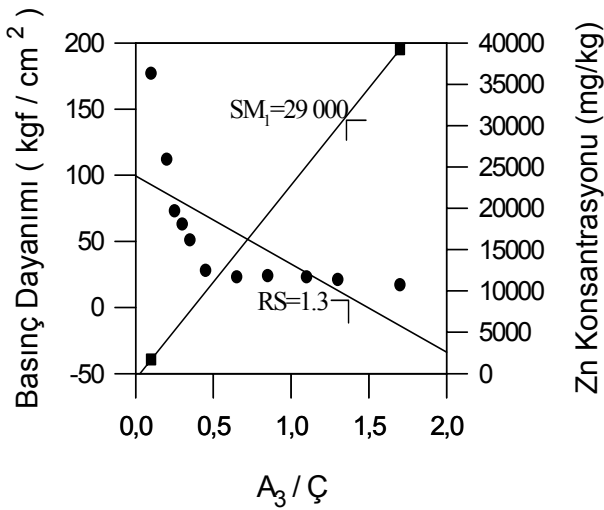
Şekil 12. III. Deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları



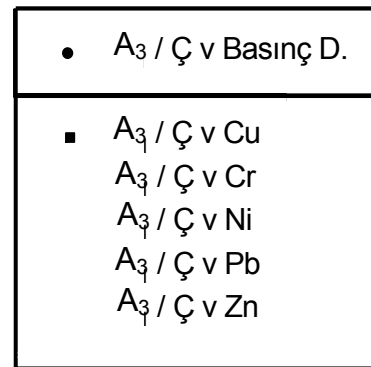
Şekil 13. III. Deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları



Şekil 14. III. Deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları



Şekil 15. III. Deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları



bileceği düşünülmektedir. Organik bileşikler, ince kum, kömür, linyit kömürü, bazı inorganik tuzlar ve metal bileşikleri gibi bazı maddeler atık ile portland çimentosunun katılma reaksiyonlarını yavaşlatıcı ve engelleyici etki yapabilir (Conner, 1990). Tablo 4'te görüldüğü gibi endüstriyel arıtma çamurunun TOC değeri 800 mg/l gibi yüksek bir değerdir. Buradan da görüldüğü gibi atık içinde bulunan organik bileşik 2. denemede mukavemeti azaltıcı bir etki yapmıştır. Bu denemede Şekil 6-10 arasındaki grafiklere bakıldığında, atık oranı 0.5 oranına kadar arttırıldığında, basınç dayanımının daha keskin bir düşüş gösterdiği, ancak bu orandan sonraki atık oranlarında birbirine yakın değerlerde basınç dayanımı elde edildiği görülmektedir. Ayrıca 0.5 atık oranı üzerindeki oranlarda 10 kgf/cm²'nin altında basınç dayanımı elde edilmiştir. Dolayısıyla bu oranın üzerinde atık oranı kullanıldığında atık solidifiye olmamıştır. Solidifikasyon 0.5 ve daha küçük atık oranlarında başarılıdır. Bu denemede sadece en küçük oran olan 0.1 atık oranında elde edilen katılaştırılmış materyal grobeton olarak kullanılabilir. Yapılan 3 aylık basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, 3 aylık sonuçların, 28 günlük sonuçlardan pek farklı olmadığı ve 28 günlük sürenin yeterli olduğu söylenebilir.

Fosfat çamuru ile hazırlanan 3. denemede 11 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlara ait basınç dayanımları Tablo 5'te, bu değerlerin atık/çimento oranlarına göre karşılaştırılması da Şekil 11-15 arasındaki grafiklerde verilmiştir. Tablo ve grafiğe bakıldığı zaman, en yüksek basınç dayanımı değeri olan 177 kgf/cm² değerinin en düşük atık oranı olan 0.1 değerinde elde edildiği, en düşük basınç dayanımı değerinin de (17 kgf/cm²) 1.70 atık oranında elde edildiği görülmektedir. Bu denemede Şekil 11-15 arasındaki grafiklere bakıldığında, atık oranı 0.45 oranına kadar arttırıldığında, basınç dayanımının daha keskin bir düşüş gösterdiği, ancak bu orandan sonraki atık oranlarında birbirine yakın değerlerde basınç dayanımı elde edildiği görülmektedir. Tablo 5'te 3 karışım için yapılan 3 aylık sonuçlara bakıldığında bu değerlerin 28 günlük değerlerin yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir. Buradan fosfat çamuru için 28

günlük sürenin katılma süresi olarak yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. 28 günden sonra da katılmış materyalin basınç dayanımında artış devam etmektedir. Bu atık için daha uzun katılma süreleri denenebilir. Bu denemede elde edilen bütün ürünlerin basınç dayanımı solidifikasyonun alt sınırı olan 10 kgf/cm² değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sadece en düşük atık oranları olan 0.1 ve 0.2 atık oranında elde edilen basınç dayanımları elde edilen ürünün grobeton olarak kullanımına imkan vermektedir.

Metal çamuru, endüstriyel çamur ve fosfat çamurlarının fabrikadan alındığı formuyla (belli nem oranlarında) yapılan denemeler (1., 2., ve 3. deneme) birbirleriyle basınç dayanımı yönünden karşılaştırıldığında metal çamuru ile yapılmış numunelerde daha yüksek basınç dayanımı elde edildiği görülmüştür.

Sonuç olarak, solidifikasyonun başarılı olduğu 10 kgf/cm² değeri, metal çamurunda 2.50/1.00, endüstriyel çamurda 0.50/1.00 ve fosfat çamurunda 1.70/1.00 oranlarının altındaki atık oranlarında elde edilmiştir. Görüldüğü gibi solidifikasyonda bu üç atık arasında bir sıralama yapıldığında, metal çamurunun ve fosfat çamurunun bu teknolojiye en uygun atıklar olduğu, endüstriyel çamurda ise bu yöntemin ancak düşük atık oranlarında başarılı bir sonuç verdiği görülmüştür.

Solidifikasyon ürünlerinin sızıntı özelliklerinin değerlendirilmesi

Sızıntı özellikleri tespiti için yapılan deney sonuçları Tablo 3, 4, 5'de verilmiştir. ÇO Farkı, TOC ve ağır metal deneyleri her denemede minimum ve maksimum basınç dayanımı elde edilmiş 2 yada 3 karışım için yapılmıştır. Ayrıca, briketlerde elde edilen ağır metal sonuçları ile bu numunelerin basınç dayanımları atık/çimento oranına karşı grafiklere geçirilmiştir (Şekil 1-15).

BS 6920 yöntemi kapsamında ölçülen çözülmüş oksijen değerlerinin farkları Tablo 3, 4, 5'te görülmektedir. Deneyler yaz döneminde yapılmış olup başlangıçtaki ÇO konsantrasyonu 7.2 mg/l'dir. Fark değerlerinin 2.4 mg/l'den küçük olması standartta verilmektedir. Bu değer-

lerde mikroorganizmal bir çoğalmanın gerçekleşmediği varsayılmaktadır. Bu durumda organik bir madde çözünmesinin olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca briketlerin bekletildiği suda TOC ve 5 ağır metal ölçülmüştür. TOC ve ağır metal konsantrasyonlarının başlangıçtaki değerlerden çok düşük olması suya metal ve organik madde geçişi olmadığını ve bu atığın solidifikasyon ile zehirliliğinin giderildiğini göstermektedir.

Şekil 1-15 arasında verilen grafiklerde her deneme için belirlenmiş 5 ağır metal analizleri ile basınç dayanımları atık/çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Grafiklerden görüldüğü gibi atık karışımındaki miktarı arttırıldıkça, solidifikasyon sonucu elde edilen briketin basınç dayanımı değeri azalmakta, stabilize edilen ağır metal konsantrasyonu artmaktadır. Ayrıca, bu grafiklerle solidifikasyonda min. basınç dayanımı değeri olan 10 kgf/cm² ve elde edilen briketlerinin grobeton olarak tekrar kullanılması için gerekli 100 kgf/cm²lik basınç dayanımı değerine karşı gelen atık oranları belirlenmiş ve bu atık oranlarında ve elde edilen bu basınç dayanımlarında stabilize edilen metal konsantrasyonları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu değerler grafikler üzerinde indisler ile gösterilmiştir. Grafiklerde solidifikasyon oranı RS (ratio solidifikation) ile, geri kazanım oranı RR (ratio recovery) ve stabilize edilebilen metal konsantrasyonu SM (stabilization metal) indisleri ile gösterilmiştir.

Şekil 1-5 arasında verilen grafiklerde 1. deneme için belirlenmiş 5 ağır metal analizleri ile basınç dayanımları, atık/çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6-10 arasında verilen grafiklerde 2. deneme, Şekil 11-15 arasında verilen grafiklerde 3. deneme için belirlenmiş 5 ağır metal analizleri ile basınç dayanımları, atık/çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerde RR ve SM₂ indisleri yer almamaktadır. Çünkü doğrunun kestiği en yüksek basınç dayanımı değeri 100 kgf/cm²'nin altında bir değerdir. Dolayısıyla bu denemelerde sadece solidifikasyon gerçekleşebilir, geri kazanım düşünülemez sonucuna varılmıştır. Solidifikasyon yöntemiyle 2. denemede en fazla 0.9 atık oranının, 3. denemede ise en fazla 1.3 atık oranının uzaklaştırılabileceği grafiklerden görülmektedir.

Sonuçlar

Otomotiv endüstrisine ait metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamuru atıkları Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne (TAKY) ve EPA listelerine göre zararlı atıktır. Metal çamuru EPA "F Listesi'nde" yer almakta ve reaktivite ve toksik tehlikelilik özelliğine sahip, fosfat çamuru EPA "F Listesi'nde ve K Listesi'nde" yer almakta ve reaktivite ile toksik tehlikelilik özelliğine sahip, endüstriyel arıtma çamuru ise EPA "F Listesi'nde ve K Listesi'nde" yer almakta ve toksik tehlikelilik özelliğine sahiptir.

Solidifikasyonda kullanılan portland çimentosunun uygun bir katılaştırma materyali olduğu görülmüştür. Pera v. diğ., (1997) yaptıkları çalışmada, sodyum dikromat olarak seçtikleri atığa altı farklı bağlayıcı uygulamışlar ve çalışmanın sonucunda en etkili bağlayıcının çimento olduğunu göstermişlerdir.

Sonuç olarak, üç atık içinde solidifikasyonun uygun bir arıtım yöntemi olduğu, grobeton olarak geri kazanımın ise endüstriyel arıtma çamuru ve fosfat çamurunun nemli formlarında ancak çok düşük atık oranlarında mümkün olduğu tespit edilmiştir. Bu üç tip atığın solidifikasyon yöntemiyle arıtılmasında metal çamuru ve fosfat çamurunda yüksek atık miktarları solidifiye olabildiğinden bu teknolojiye uygun atıklar olduğu, endüstriyel arıtma çamurunun ise ancak düşük atık miktarları ilavesiyle başarılı bir sonuç verdiği görülmüştür. Bunun nedeninin arıtmaya gelen yağlı ve boyalı atıklar olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yüksek miktarda çinko ve asit içeren fosfat çamuru bu yöntem ile nötralize edilmiştir. Hong v. diğ., (1988) yaptıkları çalışmada, çimentonun yüksek miktarda ağır metal ve asit içeren atıklar için oldukça etkili olduğunu, çünkü çimentonun doğal alkalinitesinin asidik çözeltileri nötralize, pek çok ağır metali de immobilize ettiklerini vurgulamışlardır.

Başlangıçta zararlı atık tespiti yapılan üç tip atık için yönetim biçimi olarak, solidifikasyon arıtma teknolojisi uygulandıktan sonra gerek düzenli depolama sahalarına uzaklaştırma, gerekse grobeton olarak geri kazanım ve atık minimizasyonu sağlandığında her üç atığın da bu yönetim

çerçevesinde detoksifiye olduğu sonucuna varılmıştır.

Semboller

A_1	: Nemli metal çamuru
A_2	: Nemli endüstriyel arıtma çamuru
A_3	: Nemli fosfat çamuru
\mathcal{C}	: Çimento
RS	: Solidifikasyon oranı
RR	: Geri kazanım oranı
SM	: Stabilize edilebilen metal konsantrasyonu

Kaynaklar

- APHA, AWWA ve WEF, (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington, 3-5.
- Balkan, M., (1999). Development of Appropriate Low Cost Industrial Sludge Solidification Systems, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- BS 6920, (1996). *Suitability of Non-metallic Products for use in Contact with Water Intended for Human Consumption with Regard to Their Effect on the Quality of the Water*, British Standards, Part 1. Clause 4-8, Part 2. Section 2.6.
- Cheeseman, C. R., Knight, J., Loizidou, M., Savvides, C., Zachariou, M. ve Anayiotou C., (1998). Development of Low Cost Industrial Waste Solidification Systems for Mediterranean Countries, *Proceedings of the Kriton Curi International*

- Symposium on Environmental Management in the Mediterranean Countries*, Antalya, I, 519-526.
- Conner, J. R., (1990). *Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes*, Van Nostrand Reinhold, New York, ISBN 0-442-20511-2.
- Filibeli, A., (1998). *Arıtma Çamurlarının İşlenmesi*, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Hong, K., Jaggi, A. ve Jaggi, N., (1988). Stabilization of Heavy Metal Bearing Sludges Using Cementitious Binders, *International Conference on Physicochemical and Biological Detoxification of Hazardous Wastes*, 1, Session I, 125-141.
- LaGrega, M. D., Buckingham, P. L., Evans, J. C. ve the Environmental Resources Management Group, (1994). *Hazardous Waste Management*, Mc Graw Hill Inc.
- Pera, J., Thevenin, G. ve Chabannet, M., (1997). Design of a Novel System Allowing the Selection of an Adequate Binder for Solidification/Stabilization of Wastes, *Cement and Concrete Research*, 27, 10, 1533 – 1542.
- Sharma, H. D. ve Lewis, S. P., (1994). *Waste Containment Systems, Waste Stabilization, and Landfills: Design and Evaluation*, John Wiley and Sons, New York.
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*, Çevre Bakanlığı, Resmi Gazete, Sayı: 22387, 27 Ağustos 1995, sayfa 193-302.
- TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları*, ICS 91.080.40, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.