

# Zararlı atıkların solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi ile yönetimi

Senem BAYAR\*, İlhan TALINLI

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

## Özet

*Bu çalışmada, solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi kullanılarak zararlı atıkların yönetimi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, bir kimya-metal son işlemler endüstrisinden çıkan arıtma çamurunun solidifikasyon/stabilizasyonu için bağlayıcı olarak Portland Çimentosu seçilmiştir. Beton numuneleri hazırlandıktan sonra basınç dayanım ve sızma deneyleri yapılmıştır. Zararlı atığın ve beton numunelerinin sızma özelliklerini belirlemek üzere iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri DIN 38 414 S4 Testi diğeri ise Ekstraksiyon Prosedür Toksikite Test Metodudur. Her iki prosedüre göre DIN eluatları ve EP ekstraktları hazırlanmış ve toplam organik karbon ile metal ölçümleri yapılmıştır. Arıtma çamurlarının arıtım ve geri kazanımında, solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisinin etkin olduğu sonucuna varılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Solidifikasyon/stabilizasyon, zararlı atık arıtımı çimento bazlı solidifikasyon, sızma, EPTox, basınç dayanımı

## Management of hazardous wastes by solidification/stabilization technology

### Abstract

*In this study, management of hazardous wastes in sludge form containing some potentially toxic heavy metals and organic chemicals by solidification/stabilization technology was investigated. During experimental studies, the solidification/stabilization technology was applied to the industrial treatment sludge which was originated from a chemical-metal finishing industry. Hazardous wastes were analyzed by using eluat and extract procedures as defined and the hazard characteristics of the waste were determined based on both Turkish and United States Environmental Protection Agency regulations by means of leaching test methods (DIN 38414-S4 Test and Extraction Procedure Toxicity Test). Portland cement was used as a binder for S/S of hazardous waste. Control and other specimens were prepared with dried sludge, cement, fine aggregate, course aggregate, water and a concrete additive as C 35 class of concrete. Compressive strength tests and leach tests were conducted for solidified concrete specimens. Total organic carbon and the heavy metal concentrations in EP extracts and eluats were determined. Main objectives of this study were to implement the S/S technology on the wastewater treatment system sludge and to investigate compatibility with disposal and recovery. This study indicates the hazard criteria removal of these sludges by S/S technology and leads to solve problems about the management alternatives of these hazardous wastes. It was found out that S/S was an effective technology in treatment and recovery of hazardous wastes.*

**Keywords:** Solidification/stabilization, hazardous waste treatment, cement based solidification, leaching, EPTox, compressive strength.

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Senem BAYAR. bulut@gyte.edu.tr; Tel: (262) 754 23 60 dahili: 2318.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Zararlı atıkların solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi ile arıtımı ve geri kazanımı" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 28.02.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 18.04.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

En genel anlamda zararlı atıklar insan sağlığına ve çevreye zararlı etkisi veya zararlılık potansiyeli olan atıklardır. Uygulamada zararlı atıklar bileşim ve fiziksel formları ne olursa olsun bir sıvı deşarj halinde alıcı sulara veya araziye doğrudan verilemezler. Bu açıdan zararlı atıklar uzaklaştırma biçimi olarak katı atıklara benzer, ancak özellikleri ve dolayısıyla tanımları ve buna bağlı olarak arıtım yöntemleri katı atıklardan farklıdır (Tünay, 1996).

Bu nedenle zararlı atıkların insan sağlığına ve çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesini, depolanmasını, taşınmasını, uzaklaştırılmasını ve benzeri faaliyetlerde bulunulmasını engellemek için çevreyle uyumlu bir şekilde yönetilmesi gerekir. Solidifikasyon / stabilizasyon, zararlı atık arıtma ve uzaklaştırma için sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Depolama ve uzaklaştırma ile ilgili kısıtlamalar nedeniyle zararlı atıkların arazide uzaklaştırılabilmesi için uygun bir standarda getirilmesinde solidifikasyon/stabilizasyon önemli bir teknolojidir. Çamur veya sıvı formdaki zararlı atıkları ve içeriğini stabilize etmek ve tehlike kriterlerini gidermek için çimento ve diğer solidifikasyon bağlayıcılarının kullanılması uygulanabilirliği olan bir yöntemdir ve çok çeşitli organik ve inorganik madde içerikli atıklar için etkinliği kanıtlanmıştır (Roy vd., 1992; Glasser, 1997; Hills ve Pollard, 1997; Diet vd., 1998; Filibeli vd., 2000; Uçaroğlu ve Talınlı, 2002; Rossetti vd., 2002; Zain vd., 2003; Talınlı ve Uçaroğlu, 2004; Coz vd., 2004).

Atıkları daha ekonomik olan depolamaya uygun hale getirmek ve hatta faydalı kullanımlarını sağlamak için, zararlı atıkların kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmede solidifikasyon teknolojileri potansiyel olarak faydalıdır (Stegemann ve Cote, 1996).

Türkiye’de 1995 yılında yürürlüğe girmiş olan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği çerçevesinde henüz oluşturulabilmiş bir zararlı atık yönetim biçimi bulunmamaktadır. Bu nedenle

ortaya çıkan spesifik endüstriyel zararlı atık problemleri çözülememekte ve sonuçlar gerek mevzuat gerekse idari mekanizma açısından karmaşa yaratmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde yaygın şekilde bulunan kimya-metal son işlemler endüstrisinin atıksu arıtma sisteminden kaynaklanan arıtma çamurlarının solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi kullanılarak arıtılması ve geri kazanılması planlanmıştır. Arıtma çamurlarının solidifikasyonu ile hem tehlikeli olma kriterlerinin en önemlisi olan toksisitenin giderimi hem de kompozisyonundaki ağır metal ve diğer kirleticilerin stabilizasyonu hedeflenmiştir.

## Deneysel çalışmalar

### Deneysel yaklaşım

Arıtma çamurlarının arıtılabilirliğinde esas alınan deneysel yaklaşıma göre;

1. Zararlı atık numunesi olarak kimya sanayi atıksu arıtma tesisi çamuru alınmış ve karakterizasyonu yapılmış,
2. Türkiye’deki Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ndeki Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleri’ni sağlaması ve Amerika’daki EP Toksikite Karakteristikleri Kirletici Konsantrasyon Standartları’nı aşmaması için atığa uygun S/S teknolojisine seçimine karar verilmiş,
3. Bağlayıcı olarak Portland çimentosu seçilerek laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik çalışmaları yapılmış,
4. S/S teknolojisinin etkinliği basınç dayanımı ve sızma testleriyle belirlenmiş,
5. Pratik uygulama için teknik uygulanabilirlik başarıyla kanıtlanmıştır.

### Zararlı atık tespit ve karakterizasyonu

Endüstriye ait arıtma çamuru numunesi, susuzlaştırma işleminden sonra alınmıştır.

Atığın solidifikasyon/stabilizasyondan önce sızma özelliklerini belirlemek üzere iki prosedür

kullanılmıştır. Bunlardan biri Alman Standart Metotlarından DIN 38 414 S4 Testi diğeri ise Amerikan Çevre Koruma Teşkilatının Ekstraksiyon İşlemi (EP) ile Toksikite Test Metodudur (SW-846, Metot 1310B). Her iki prosedüre göre DIN eluatı ve EP ekstraktı hazırlanmıştır. Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde metal ölçümlerini yapabilmek için eluat ve ekstraktlar Standart Metotlara göre parçalanmıştır (APHA, 1995). Sızma prosedürlerine göre ham atığın karakterizasyonu ise Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Sızma prosedürlerine göre ham atık karakterizasyonu

Parametreler	Sızma Konsantrasyonu (mg/L)	
	EPTox	DIN
Arsenik	0.009	0.002
Baryum	0.130	-
Kadmiyum	0.009	0.003
Krom	0.010	0.320
Kurşun	0.085	0.950
Civa	1.200	0.060
Selenyum	0.061	-
Gümüş	0.013	-
Bakır	-	0.490
Nikel	-	4.745
Çinko	-	1246

Ham atık numunesinin DIN eluatında yapılan TOC ölçümü sonucunda TOC konsantrasyonu 1030 mg/L bulunmuştur.

Arıtılmamış atığın sızma konsantrasyonları Tablo 2’de EP toksisite karakteristikleri kirletici konsantrasyon standartlarıyla; Tablo 3’te Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ndeki atıkların düzenli depo tesislerine depolanabilme kriterleriyle karşılaştırılarak zararlı atık tespiti yapılmıştır.

#### Beton numunelerinin hazırlanması

Zararlı atığın solidifikasyon/stabilizasyonu için bağlayıcı olarak Portland Çimentosu seçilmiş ve C35 betonu kullanılmıştır.

Kuru haldeki atık numunesiyle hazırlanan C35 sınıfı beton karışımları TS EN 206-1’e göre hazırlanmıştır. C35 betonu, atık ile, 1/100, 5/100,

Tablo 2. EP Toksikite karakteristikleri kirletici konsantrasyon standartlarıyla karşılaştırma ve zararlı atık tespiti

Kirletici	Standart (mg/L)	Atığın sızma konsantrasyonu (mg/L)
Arsenik	5.0	0.009
Baryum	100.0	0.130
Kadmiyum	1.0	0.009
Krom	5.0	0.010
Kurşun	5.0	0.085
Civa	0.2	1.200
Selenyum	1.0	0.061
Gümüş	5.0	0.013

Tablo 3. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ndeki atıkların düzenli depo tesislerine depolanabilme kriterleriyle karşılaştırma ve zararlı atık tespiti

Parametre	Tehlikeli atık kriterleri	Atığın sızma özelliği
pH	4-13	4
Toplam organik karbon	40-200 mg/L	1030
Arsenik III	0.2-1.0 mg/L	0.002
Kurşun	0.4-2.0 mg/L	0.95
Kadmiyum	0.1-0.5 mg/L	0.003
Krom VI	0.1-0.5 mg/L	0.32
Bakır	2-10 mg/L	0.49
Nikel	0.4-2.0 mg/L	4.75
Civa	0.02-0.1 mg/L	0.06
Çinko	2-10 mg/L	1246
Fenoller	20-100 mg/L	5.73
Florür	10-50 mg/L	0.1
Amonyum	0.2-1.0 g N/L	0.02
Klor	1.2-6.0 g/L	34.99
Siyanür	0.2-1.0 mg/L	0.04
Sülfat	0.2-1.0 g/L	0.12
Nitrit	6-30 mg/L	1.15
Halojenli organik bileşikler	0.6-3.0 mg/L	0.09

10/100, 20/100, 40/100 atık/bağlayıcı oranlarında homojen bir karışım elde etmek için karıştırılmıştır. Ayrıca içinde hiç atık olmayan şahit

beton da hazırlanmıştır. Karıştırma işlemine beton üniform bir görünüm kazanıncaya kadar devam edilmiştir. Hazırlanan ilk numuneler elle karıştırılmış, tekrarları ise laboratuvar mikserinde karıştırılmıştır.

Mikserde hazırlanan karışımlardaki su oranları ve slump değişmiştir. Taze betonun kıvamı, çökme (slump) deneyi ile ölçülmüştür. Elle hazırlanan karışımlarda slump 200 mm iken mikserde hazırlanan karışımlarda 170 veya 180 mm'ye düşmüştür. Ayrıca taze betonun sıcaklıkları ölçülmüş; elle hazırlanan karışımlarda 20.2-21°C arasında değişirken mikserde hazırlanan karışımlarda 23.8-24.7°C arasında değişmiştir.

Hazırlanan karışımlar 15 cm kenar uzunluğundaki kübik standart kalıplara yerleştirilmiştir.

Elle hazırlanan karışımlar yaklaşık 16 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve kür havuzuna konmuştur. Betonyerde hazırlananlar ise hafta sonu tatili nedeniyle kalıplardan geç çıkarılabilmüş dolayısıyla kür havuzuna yaklaşık 3 gün sonra konulmuştur.

Kür zamanları 7, 28 ve 90 gün olarak seçilmiş, numunelerin sayısı buna göre belirlenmiştir.

#### **Kullanılan materyal ve cihazlar**

Beton yapımında agrega, su ve bağlayıcı malzeme olarak da Portland çimentosu PÇ-42.5 (CEM I 42.5 R) kullanılmıştır. Ayrıca beton katkısı olarak Rheobuild® 1000 kullanılmıştır.

Beton karışımlarının hazırlanmasında 60000 gr kapasite ve 10 gr hassasiyetteki CAS Terazisi, 50 L'lik Fore Marka Laboratuvar Mikseri, çökme deney aleti, 15 cm kenar uzunluğundaki kübik standart kalıplar, vibrasyon masası ve kür havuzu kullanılmıştır. Basınç dayanımlarını belirlemek için Form Test Prüfsysteme BETA 5-3000 D tip basınç deney presi; beton numuneleri için Hach Digesdahl marka çözündürme cihazı; DIN eluatları ve EP ekstraktları hazırlanması için Edmund Bühler Marka KS 15 B tipinde Kompakt Çalkalayıcı; organik karbon tayini (TOC) için Euroglas Marka TOC 1200 cihazı; metal

ölçümleri için de Perkin Elmer Marka SIMAA 6000 Model Grafit Fırınlı Atomik Absorpsiyon Spektrometresi kullanılmıştır.

#### **Beton numunelerine uygulanan test yöntemleri**

Kür zamanı sonunda S/S etkinliğinin belirlenmesi için beton numunelerine basınç dayanım testleri ve sızma testleri uygulanmıştır. Bütün deneyler güvenilirlik açısından en az iki defa tekrarlanmıştır.

#### **Sızma deneyleri**

Aritılmamış atığın ve beton numunelerinin sızma özelliklerini belirlemek üzere iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri Alman Standart Metotlarından DIN 38 414 S4 Testi diğeri ise Amerikan Çevre Koruma Teşkilatının Ekstraksiyon İşlemi (EP) ile Toksikite Test Metodudur (SW-846, 2002; DIN, 1984). Her iki prosedüre göre DIN eluatları ve EP ekstraktları hazırlanmıştır

Ekstraksiyon İşlemi (EP) ile Toksikite deneyinde aritılmamış atık ve beton numuneleri 9.5 mm'lik bir elekten geçecek şekilde ezilir. 0.04 M asetik asit çözeltisi ile pH'ı 5±0.2'ye ayarlanan deiyonize su ile 16:1 sıvı katı oranında ekstrakte edilir. Ekstraksiyonun gerçekleşmesi için 24 saat 150 rpm hızda çalkalayıcıda tutulur. Sıvı ekstrakt spesifik kimyasal bileşenler için analiz edilmek üzere filtreden geçirilir (SW-846, 2002).

DIN 38 414 S4 deneyinde eğer numunelerin partikül boyutları 10 mm'yi geçiyorsa ezilir. Ancak toz haline getirilmez. Sıvı katı oranı 10:1 olacak şekilde deiyonize su ile karıştırılır. 24 saat çalkalayıcıda tutulduktan sonra analiz edilmek üzere filtreden geçirilir (DIN, 1984).

TOC analizleri için numunelerin bir kısmı ayrıldıktan sonra Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde metal ölçümlerini yapabilmek için kalan numuneler Standart Metotlara göre parçalanmıştır (APHA, 1995). Eluat ve ekstraktlarda beton numunelerinden su fazına geçen başka bir deyişle çözünebilir miktarlar belirlenmiştir.

## Deney sonuçları

### Basınç dayanımı deney sonuçları

7, 28 ve 90 günlük kür zamanlarından sonra belirlenen basınç dayanımları Tablo 4 ve 5'te verilmiştir.

Bu tablolara göre mikserle karıştırılarak hazırlanan beton numunelerinin basınç dayanımları daha düşüktür. Özellikle çökmenin azalması, su/çimento oranlarının artması ve kür şartlarının değişmesi dayanımların düşmesine neden olmuştur.

Tablo 4. Elle karıştırılarak hazırlanan beton numunelerinin basınç dayanımları

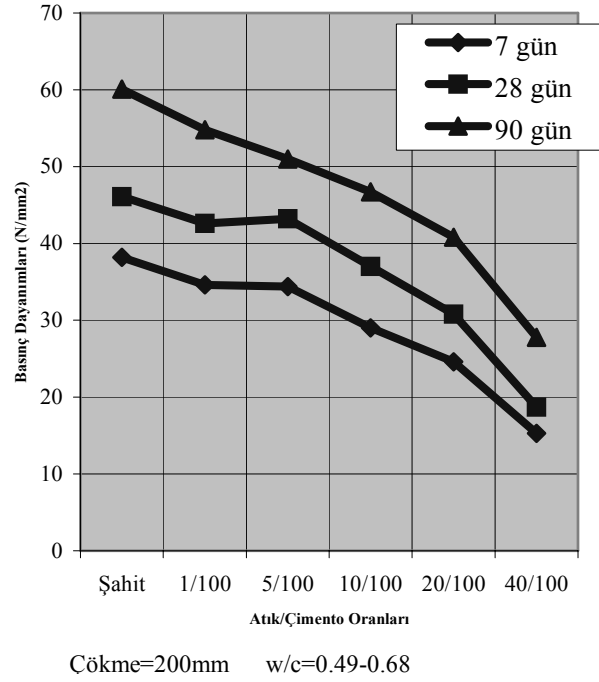
Atık/ Çimento oranları	Basınç dayanımları (N/mm <sup>2</sup> )		
	7 günlük	28 günlük	90 günlük
Şahit	38.2	46.1	60.1
1/100	34.6	42.6	54.8
5/100	34.4	43.2	51.0
10/100	29.0	37.0	46.7
20/100	24.6	30.8	40.8
40/100	15.3	18.7	27.8

Tablo 5. Mikserle karıştırılarak hazırlanan beton numunelerinin basınç dayanımları

Atık/ Çimento Oranları	Basınç dayanımları (N/mm <sup>2</sup> )		
	7 günlük	28 günlük	90 günlük
Şahit	30.2	40.4	48.9
1/100	30.6	38.3	50.8
5/100	32.8	36.6	55.0
10/100	27.0	35.0	46.9
20/100	19.5	25.3	36.4
40/100	56.0	18.2	29.6

Elle karıştırılarak hazırlanmış beton numunelerinde atık/çimento oranlarının basınç dayanımına etkisi Şekil 1'de, kür zamanının basınç dayanımına etkisi ise Şekil 2'de verilmiştir.

Mikserle karıştırılarak hazırlanmış beton numunelerinde atık/çimento oranlarının basınç dayanımına etkisi Şekil 3'te, kür zamanının basınç dayanımına etkisi ise Şekil 4'te verilmiştir.

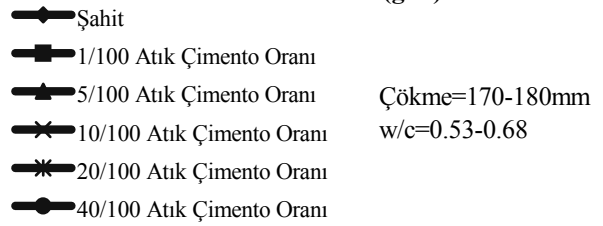
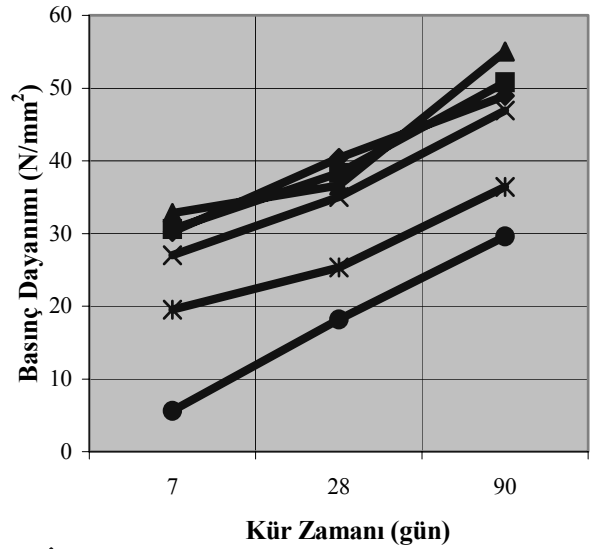
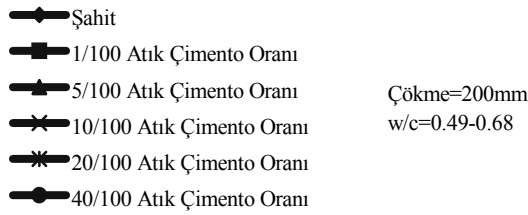
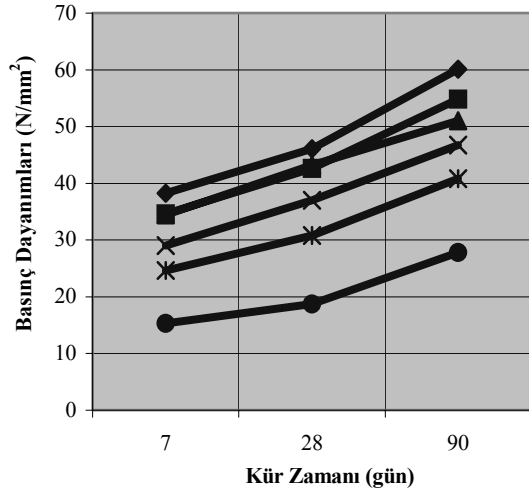


Şekil 1. Atık/çimento oranlarının basınç dayanımına etkisi

Bu grafiklere göre genel olarak atık/çimento oranı arttıkça dayanımın düştüğü, kür zamanı uzadıkça dayanımın arttığı görülmüştür.

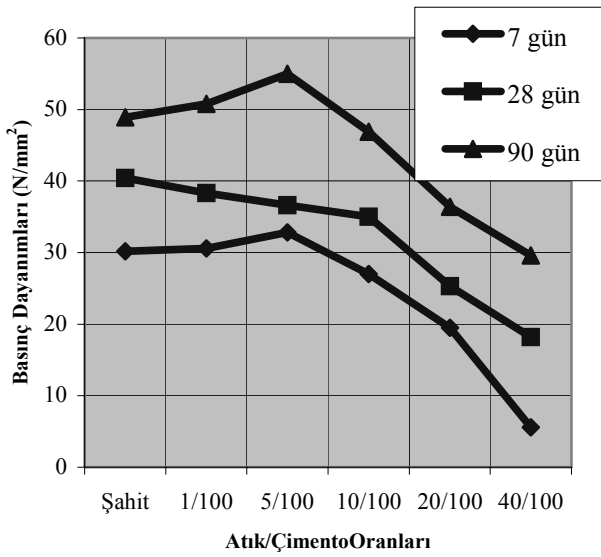
Beton numuneleri kırıldıktan sonra atığın partikül halde kaldığı gözlenmiştir. Büyük partiküller beton içerisinde zayıflıklar yaratmıştır. Suyu yediği halde partiküller parçalanmadığı için sulu çamur olarak beton karışımlarına ilave edilse de partikül halde kalacağı varsayılabilir. Bu nedenle kuru haldeki atık numunesini öğütürerek ilave etmek önerilmektedir.

TS EN 206-1'de C35 sınıfı betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 45 N/mm<sup>2</sup> verilmiştir. Buna göre beton numunelerinin basınç dayanımları daha düşük olmuştur. Ancak zararlı atıkları arıtmak ve geri kazanmak açısından yüksek sınıf beton hazırlanıp daha düşük sınıf beton hedeflenebilir. Çünkü bu çalışmada elde edilen dayanımlar C20-C25 sınıfı betonların dayanımlarını karşılamaktadır. Ayrıca dayanımlar zamanla azalmadığı için sorun yoktur. 90 günlük dayanımlar bu açıdan bakıldığında açıklayıcı olmaktadır.



Şekil 2. Kür zamanının basınç dayanımına etkisi

Şekil 4. Kür zamanının basınç dayanımına etkisi



Çökme=170-180mm w/c=0.53-0.68

Şekil 3. Atık/çimento oranlarının basınç dayanımına etkisi

Tablo 6'da görüldüğü gibi atık/çimento oranı arttıkça TOC konsantrasyonu artmaktadır. Ayrıca bütün beton numunelerindeki TOC konsantrasyonları atıktaki TOC konsantrasyonlarından daha düşük çıkmıştır. Buna göre solidifikasyon/stabilizasyon yönteminin organik madde sızmasını önlediği söylenebilir.

Tablo 6. 28 Günlük beton numunelerinin DIN eluatlarında yapılan TOC ölçümleri

Atık/ Bağ- Oranları	Elle Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantras- yonu (mg/L)	Mikserde Karıştırıla- rak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantrasyonu (mg/L)
Şahit (0 Atık)	14	12
1/100	20	23
5/100	83	38
10/100	129	62
20/100	158	198
40/100	216	237

### Sızma deneylerinin sonuçları

28 günlük beton numunelerinin DIN eluatlarında yapılan TOC ölçümlerinin sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

7, 28 ve 90 günlük kür zamanları sonunda beton numunelerinden elde edilen EP ekstraktı ve eluatlarda metal ölçümleri yapılmış ve sonuçlar

tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Tablo 7'den 12'ye kadar beton numunelerinin sızma özellikleri verilmiştir. Sızma özellikleri, EP Toksikite ve DIN sızma konsantrasyonları ile verilmiştir. Bu tablolardaki sızma konsantrasyonları standartlardan düşük olduğu için solidifikasyon/stabilizasyon prosesinin başarıyla tamamlandığı söylenebilir.

Tablo 7. Şahit beton numunesinin sızma özellikleri

Parametre	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)				
	EPTox			DIN	
	7 gün- lük	28 günlük	90 günlük	28 günlük	90 günlük
Krom	AD*	AD*	AD*	0.102	0.137
Kurşun	0.040	0.014	0.007	0.102	0.031
Civa	0	0.481	0.001	0.207	0.006
Bakır	-	-	-	0	0
Nikel	-	-	-	0.107	0
Çinko	-	-	-	1.695	2.112

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak Anlamlı Değildir.

Tablo 8. 1/100 Atık/çimento oranında hazırlanan beton numunesinin sızma özellikleri

Parametre	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)				
	EPTox			DIN	
	7 gün- lük	28 günlük	90 günlük	28 günlük	90 günlük
Krom	AD*	AD*	AD*	0.166	0.190
Kurşun	0.026	0.009	0.006	0.011	0.058
Civa	0.001	0.053	0	0.223	0.0001
Bakır	-	-	-	0	0
Nikel	-	-	-	0.066	0.08
Çinko	-	-	-	1.335	1.02

Tablo 9. 5/100 Atık/çimento oranında hazırlanan beton numunesinin sızma özellikleri

Parametre	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)				
	EPTox			DIN	
	7 gün- lük	28 günlük	90 günlük	28 günlük	90 günlük
Krom	AD*	AD*	AD*	0.154	0.095
Kurşun	0.023	0.012	0.016	0.024	0.010
Civa	0.041	0.195	0.016	0.002	0.002
Bakır	-	-	-	0	
Nikel	-	-	-	0.069	
Çinko	-	-	-	3.139	

Tablo 10. 10/100 Atık/çimento oranında hazırlanan beton numunesinin sızma özellikleri

Parametre	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)				
	EPTox			DIN	
	7 gün- lük	28 günlük	90 günlük	28 günlük	90 günlük
Krom	AD*	AD*	AD*	0.195	0.045
Kurşun	0.019	0.016	0.018	0.029	0.009
Civa	0.011	0.060	0.008	0.175	0
Bakır	-	-	-	0	0
Nikel	-	-	-	0.057	0.007
Çinko	-	-	-	7.182	5.966

Tablo 11. 20/100 Atık/çimento oranında hazırlanan beton numunesinin sızma özellikleri

Parametre	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)				
	EPTox			DIN	
	7 gün- lük	28 günlük	90 günlük	28 günlük	90 günlük
Krom	AD*	AD*	AD*	0.109	0.14
Kurşun	0.011	0.015	0.015	0.013	0.044
Civa	0.005	0.013	0.002	0.107	0.003
Bakır	-	-	-	0.0001	0
Nikel	-	-	-	0.003	0.029
Çinko	-	-	-	1.331	9.861

Tablo 12. 40/100 Atık/çimento oranında hazırlanan beton numunesinin sızma özellikleri

Parametre	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)				
	EPTox			DIN	
	7 gün- lük	28 günlük	90 günlük	28 günlük	90 günlük
Krom	AD*	AD*	AD*	0.099	0.159
Kurşun	0.011	0.032	0.052	0.065	0.057
Civa	0.01	0.105	0	0.252	0.007
Bakır	-	-	-	0	0
Nikel	-	-	-	0.217	0.1
Çinko	-	-	-	20.668	2.615

## Sonuç ve öneriler

Kimya-metal son işlemler endüstrisinin atıksu arıtma sisteminden kaynaklanan arıtma çamurlarının, solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi kullanılarak yönetilmesi için yapılan arıtılabilirlik deneylerinden elde edilen verilerin irdelenmesiyle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Atığın bir kısım agrega yerine ilave edildiği Portland Çimentosunun bağlayıcı olarak

- kullanıldığı C35 sınıfı beton karışımlarının basınç dayanımları, prosedüre uygun şekilde atık/çimento oranı arttıkça azalmış, kür zamanı uzadıkça artmıştır. Yani 90 günlük kür zamanındaki numunelerin daha iyi yapı malzemesi özelliği taşıyabileceği düşünülmüştür.
2. Beton numuneleri kırıldıktan sonra atığın partikül halde kaldığı gözlenmiştir. Büyük partiküller beton içerisinde zayıflıklar yaratmıştır. Suyu yediği halde partiküller parçalanmadığı için sulu çamur olarak beton karışımlarına ilave edilse de partikül halde kalacağı varsayılabilir. Bu nedenle kuru haldeki atık numunesinin öğütülerek ilave edilmesi önerilmektedir.
  3. TS EN 206-1’de C35 sınıfı betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımına göre ( $45 \text{ N/mm}^2$ ) beton numunelerinin basınç dayanımları daha düşüktür. Ancak zararlı atıkları arıtmak ve geri kazanmak açısından yüksek sınıf beton hazırlanıp daha düşük sınıf beton hedeflenebilir. Ayrıca dayanımlar zamanla azalmadığı için sorun yoktur. 90 günlük dayanımlar bu açıdan bakıldığında açıklayıcı olmaktadır. Ayrıca atık materyali en fazla %5 oranında olmak üzere çimentoya minör katkı olarak ilave edilebilir.
  4. Basınç dayanım testleri ile yapı teknolojisi kullanımına uygun optimum atık/çimento oranının 10/100 (C30 sınıfı beton için), 20/100 (C20-C25 sınıfı beton için); güvenli depolamaya uygun atık/çimento oranının ise daha yüksek oran bu çalışmada denenmediği için 40/100 olduğu sonucuna varılmıştır.
  5. Beton numunelerinin TOC konsantrasyonlarının atık/çimento oranlarına göre değişimi incelendiğinde atık/çimento oranı arttıkça TOC konsantrasyonunun arttığı görülmüştür. Ayrıca bütün beton numunelerindeki TOC konsantrasyonları atıktaki TOC konsantrasyonlarından oldukça düşük çıkmıştır. Buna göre solidifikasyon/stabilizasyon yönteminin organik madde sızmasını önlediği söylenebilir.
  6. Bütün beton numunelerinde metallerin sızma konsantrasyonlarının standartlardan düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle solidifikasyon/stabilizasyon prosesinin başarıyla tamamlandığı söylenebilir. Portland çimentosu ile uygulanan S/S teknolojisinin, belirlenen atık/çimento oranlarında, zararlı atık kompozisyonunda verilen krom, kurşun, civa, bakır, nikel, çinko gibi ağır metallerin stabilizasyonunu sağladığı görülmüştür.
  7. Yukarıdaki ağır metaller yönetmelik ve listelerde verilen sınır değerler ile karşılaştırılmış, uygulanan S/S teknolojisi ile zararlı atığın detoksifikasyonunun sağlandığı ve bu şekilde arıtılıp güvenli uzaklaştırmaya uygun olabileceği belirlenmiştir.
  8. DIN 38 414 S4 ve EP toksisite deney yöntemlerinin ve kirletici standartlarının farklılıkları nedeniyle her ikisinin de uygulanmasıyla S/S teknolojisi arıtım sonuçlarında önemli bir fark olmadığı görülmüş, prosesin başarıyla tamamlandığı sonucuna varılmış ve iki değişik yöntem kullanılarak kontrolü sağlanmıştır.
  9. Sızma konsantrasyonları atık/bağlayıcı oranlarına göre incelendiğinde kimi zaman beklenenin aksine daha düşük veya daha yüksek konsantrasyonlarla karşılaşmıştır. Ancak sızma seviyelerinin standartlardan çok düşük olduğu; beton içindeki atığın partikül boyutunun çok farklılık gösterdiği göz önünde bulundurulursa bu değişimler ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu açıdan daha sonra yapılacak çalışmalarda atığın partikül boyutunun sabit tutulmasına dikkat edilmesi önem kazanmaktadır.
  10. Gelecek çalışmalarda zararlı atık numunesi filtre preste susuzlaştırılmadan önce sulu çamur haldeyken uygulanabilir. Ancak filtre presten çıktıktan sonra olduğu gibi topaklaşmış halde olmaması gerekir.

## **Teşekkür**

Çalışmanın inşaat mühendisliği ile ilgili kısımlarına verilen desteklerden dolayı emekli öğre-



tim üyesi Prof. Dr. Erbil Öztekin ve Yapkim Yapı Kimya Sanayi A.Ş. teşekkürle anılır.

## Kaynaklar

- APHA, AWWA, WEF, (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, 19<sup>th</sup> Edition.
- Coz, A., Andres, A., Soriano, S. and Irabien, A., (2004). Environmental behaviour of stabilised foundry sludge, *Journal of Hazardous Materials*, Article in Press.
- Diet, J.N., Moszkowicz, P. and Sorrentino, D., (1998). Behaviour of ordinary portland cement during the stabilization/solidification of synthetic heavy metal sludge: macroscopic and microscopic aspects, *Waste Management*, 18, 17-24.
- DIN 38 414 S4, (1984). German Standard Methods for Researching Water, Effluent Water and Sludge, Group S: Sludge and Sediments; Determining Leaching with Water (S4).
- Filibeli, A., Buyukkamacı, N. ve Senol, H., (2000). Solidification of tannery wastes, *Resources, Conservation and Recycling*, 29, 251-261.
- Glasser, F.P., (1997). Fundamental aspects of cement solidification and stabilization, *Journal of Hazardous Materials*, 52, 151-170.
- Hills, C.D. and Pollard, S.J.T., (1997). The influence of interference effects on the mechanical, microstructural and fixation characteristics of cement-solidified hazardous waste forms, *Journal Of Hazardous Materials*, 52, 171-191
- Rosetti, V.A., Palma, L.D. ve Medici, F., (2002). Assesment of the leaching of metallic elements in the technology of solidification in aqueous solution, *Waste Management*, 22, 605-610.
- Roy, A., Eaton, H.C., Cartledge, F.K. ve Titlebaum M.E., (1992). Solidification/stabilization of hazardous waste: evidince of physical encapsulation, *Environmental Science And Technology*, 26(7).
- Stegemann, J.A. ve Cote, P.L., (1996). A proposed protocol for evaluation of solidified wastes, *The Science of the Total Environment*, 178, 103-110.
- SW-846, 2002. *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods*, EPA.
- Talınlı, İ. ve Uçaroğlu, S., (2004). Recovery and safe disposal of hazardous waste sludges in automotive industry by solidification, *Journal Of Hazardous Materials, Basımda*.
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*, 27 Ağustos 1995 tarih ve 22387 sayılı Resmi Gazete.
- TS EN 206/1, *Türk Standartları Enstitüsü*, (2002). Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, TSE, Ankara.
- Tünay, O., (1996). *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Uçaroğlu, S. ve Talınlı, İ., (2002). Otomotiv endüstrisi, zararlı atıklarının solidifikasyonu ve geri kazanımı, *İTÜ Dergisi/d, Mühendislik*, 1, 2, 39-50.
- Zain, M.F.M., Islam, M.N., Radin, S.S. ve Yap, S.G., (2003). Cement-based solidification for the safe disposal of balsted copper slag, *Cement&Concrete Composites*, Article in Press.