

Solidification/Stabilization as a Disposal and Reclamation Method

*¹Kamil B. Varınca, ¹Mustafa Talha Gönüllü

¹Faculty of Engineering Department of Environmental Engineering, Adiyaman University
02040, Adiyaman, Turkey

Abstract

Waste disposal and reclamation of contaminated sites is one of the most important problems of today's world. The efficiency, simplicity, applicability, affordability of the method affects the preferability of the method. Although not in Turkey, Solidification/Stabilization processes for land reclamation are used for many years in USA.

Solidification/Stabilization processes are based on the pollutants are isolated in the solid mass from environment with physical and chemical mechanisms. Through preventing of distribution of pollutants to the environment, hazards on human health and environment are prevented.

In this paper, mechanism and classes of solidification/stabilization processes as a method of waste disposal and land reclamation are focused on. Materials used and application examples are given and on the efficacy of processes are discussed.

Key words:Waste management, disposal, reclamation, solidification, stabilization

Bertaraf ve İslah Yöntemi Olarak Katılaştırma/Kararlılaştırma İşlemleri

Özet

Atık bertarafı ve kirlenmiş alan ıslahı günümüz dünyasının en önemli sorunlarından biridir. Yöntemlerin etkinliğinin yanında basitliği, uygulama kolaylığı ve ekonomikliği yöntemin tercih edilirlğini etkilemektedir. Türkiye’de olmasa bile ABD’de uzun yıllardır kirlenmiş alan ıslahında katılaştırma/kararlılaştırma işlemleri kullanılmıştır.

Katılaştırma/Kararlılaştırma işlemleri kirleticinin fiziksel ve kimyasal mekanizmalar ile tutularak katı bir kütle içerisinde çevreden izole edilmesi esasına dayanmaktadır. Kirleticilerin çevreye dağılımının engellenmesi ile insan ve çevre sağlığı üzerindeki zararları da önlenmiş olmaktadır.

Bu çalışmada, katılaştırma/kararlılaştırma işlemlerinin bir atık bertaraf ve alan ıslahı yöntemi olarak mekanizmaları ve sınıfları üzerinde durulmuş, kullanılan malzemeler ile uygulama örnekleri verilerek etkinliği üzerinde tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler:Atık yönetimi, bertaraf, ıslah, katılaştırma, kararlılaştırma

1. Giriş

Katılaştırma/kararlılaştırma (K/K) işlemleri/teknolojileri çimento gibi bağlayıcı özelliğe sahip maddeler ile atıkların daha kararlı, daha az tehlikeli veya tehlikesiz, katı bir hale dönüştürüldüğü teknolojilerin genel ismidir.

K/Kzararlı/tehlikeli atıklar ile bu tür kirleticiler ile kirlenmiş alanların ıslahı için bir arıtma tekniğidir. Çünkü katılaştırma ile zararlı atık bileşiminin katı yapılarda tutunması sağlanır ve atık bünyesindeki kirleticiler sabitlenir, böylece atıkların tehlikelilik özelliği giderilip bu bileşenlerin sızıntı içinde bulunmaması sağlanarak çevreye zararı engellenmiş olur. Çamur atıklarda sıvı kısmın önemli bir bölümü çamur katılaştırma sayesinde elimine edilebilmekte ve bu şekilde çamur hacminde de azalma söz konusu olmaktadır [1, 2, 3, 4].

Ayrıca katılaştırma ile zararlı atık sıkıştırıldığında dayanıklılık ve sızdırmazlık artar, geçirgenlik ise düşer. Bu şekilde katılaştırma, ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek depolama yöntemi için bir ön hazırlık sağlamış olur. Ayrıca oluşan katılaştırılmış malzeme belli bir dayanıma sahip olduğundan yapı malzemesi olarak da kullanılabilir [1, 2, 3, 4].

Elde edilen malzeme depo sahalarında depolanabileceği gibi düzenli depolama sahalarında örtü, yol inşaatlarında dolgu materyali olarak tuğla yapımında ve arazinin yeniden düzenlenmesinde de kullanılabilir. Böylece atığın çevreye zararlı olmaktan öte yararlı olabilecek yönde kullanımı da gerçekleştirilmiş olacaktır. Katılaştırma 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 kararlı hale getirilmesi ve seçilen yöntemle göre katılaştırma işleminin yapılması izlenmesi gereken yol olmalıdır [1, 2, 3, 4].

K/K işlemleri atık bertarafı özellikle tehlikeli/zararlı atık bertarafı ve kirlenmiş alanların ıslahı/iyileştirilmesi alanlarında uygulanmaktadır.

2. Katılaştırma/Kararlılaştırma

Katılaştırma/Kararlılaştırma (K/K) işlemlerini anlayabilmek için önce bu kavramların anlaşılması gerekmektedir.

K/K işlemleri çoğunlukla zararlı atıklara uygulanmaktadır. Zararlı atıklar (eng: hazardouswastes), zehirleyici, patlayıcı, korozyif gibi karakteristiklerinden veya kimyasal aktivitelerinden dolayı çevre ve insan sağlığı üzerinde tehlike oluşturan ve diğer atıklardan ayrı olarak yönetilmesi gereken atıklardır [1, 2, 3, 4].

Kararlılaştırma (eng: stabilization), atığın yapısındaki tehlikeli özellikleri azaltmak ve daha az zehirli ve tehlikeli formlara dönüşümünün sağlanması için çeşitli katkıların eklenmesi işlemidir [1, 2, 3, 4].Sabitleme (eng: fixation) ise genellikle kararlılaştırma ile aynı anlamda kullanılmaktadır.

Kararlılaştırma atığa;

- Atığın fiziksel özelliklerini geliştiren,
- Kirletici transferi veya kaybının meydana geldiği yüzey alanını azaltan,
- Atık içerisindeki herhangi bir kirleticinin çözünürlüğünü kısıtlayan,
- Kirleticinin zehirliliğini azaltan kimyasal maddeler

ilave edilir [3].

Katılaştırma (eng: solidification) ise; sıvı, katı veya çamur formundaki atıktan homojen bir katı kütle oluşturmak üzere atığın yapısını ve fiziksel özelliklerini geliştiren çeşitli materyallerin ilave edildiği işlemdir [1, 2, 3, 4].

K/K işlemlerinin farklı uygulamaları olduğu için her uygulamada farklı mekanizma ve teknolojiler geçerlidir.

2.1. Mekanizmalar

Bir K/K işleminde gerçekleşebilecek mekanizmalar çoğunlukla şunlardır;

- Makroenkapsülasyon
- Mikroenkapsülasyon
- Absorpsiyon
- Adsorpsiyon
- Çökelme
- Detoksifikasyon

Makroenkapsülasyon (eng: macroencapsulation), tehlikeli atığın fiziksel olarak büyük bir yapısal matriks içerisinde hapsedilmesi; Mikroenkapsülasyon (eng: microencapsulation), tehlikeli atığın mikroskobik seviyede kristal yapının içerisinde hapsedilmesi; Absorpsiyon (eng: absorption), kirleticinin bir tutucunun içerisinde tutulması; Adsorpsiyon (eng: adsorption), kirleticinin bir tutucunun üzerinde tutulması; Çökelme/çöktürme (eng: precipitation), atık içerisindeki kirleticilerin çöktürülmesi ile katı kütlenin daha kararlı hâle geçmesini sağlayan bir mekanizma; Detoksifikasyon (eng: detoxification), kimyasal bir bileşiği daha az zehirli veya zehirli olmayan diğer bir bileşiğe dönüştüren herhangi bir mekanizma olarak tanımlanmaktadır [3].

2.2. Teknolojiler

K/K işlemleri teknoloji bazlı düşünüldüğünde aşağıdaki uygulama teknolojileri mevcuttur [1, 2, 3, 4].

- Çimento
- Puzolanlar
- Kireç

- Çözünmüş silikatlar
- Organik olarak değiştirilmiş killler
- Değiştirilmiş kireç
- Termoset organik polimerler
- Termoplastik malzemeler
- Camlaştırma

Bu teknolojiler arasında hem uygulama kolaylığı hem de ekonomikliği ile en çok kullanılan yöntem çimento esaslı teknolojilerdir. Zira çimento teknolojisi herkes tarafından bilinen, kolay ulaşılabilir ve uygulanabilir bir teknolojidir.

K/K işlemleri fiziksel, kimyasal ve ısı işlemler diye 3 ana gruba ayrıldığında alt sınıf teknolojileri Çizelge 1’de derlendiği gibi sınıflanmaktadır.

Çizelge 1. K/K işlem tipleri ve alt sınıfları [5, 6, 7]

K/K İşlem Tipleri	Alt Sınıflar
Kimyasal İşlemler	Çimento esaslı
	Portland çimento
	Çimento/çözülebilir silikatlar
	Puzolan esaslı
	Çimento/uçucu kül
	Kireç/uçucu kül
	Fırın tozu
	Kireç esaslı
	Fosfat esaslı
	Katkı yoğunlu
	Metal stabilizasyonu
	Organik stabilizasyonu
	İşleme ve inhibisyonu önleme
	Muhtelif
	Alçı taşı esaslı işlemler
Cürüflu işlemler	
Emülsiyel asfalt	
Tutulma ve yüzey aktif esaslı işlemler	
Fiziksel İşlemler	Makroenkapsülasyon/Konteynırlaştırma
	Kimyasal ve ısı olmayan mikroenkapsülasyon
	Organik Polimer Mikroenkapsülasyon İşlemleri
	Üre-formaldehit sistemler
	Organik polimerizasyon sistemleri

K/K İşlem Tipleri	Alt Sınıflar
Isıl İşlemler	Termoplastik polimer enkapsülasyonu
	Polyolefin
	Asfalt
	Kükürt çimentosu
	Vitrifikasyon (Camlaştırma)
	Elektriksel direnç
	Dış ısıtma
	Plazma vitrifikasyonu

K/K işlemlerinde en önemli bileşen bağlayıcılardır. K/K işlemlerinde kullanılan bağlayıcılar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. K/K işlemlerinde kullanılan bağlayıcılar [4]

İnorganik Bağlayıcı Sistemler	Organik Bağlayıcı Sistemler
Çimento Esaslı	Termosetler
Portland çimento	Üre-formaldehit
Portland cüruf çimento	Polibutadin
Portlandpuzolan çimento	Polyester
Portland çimento-silika sistem	Epoksi
Polimer modifiye çimento	Termoplastikler
Kagir çimento	Bitüm
Kireç-puzolan çimento	Polietilen
Kalsiyum alüminat çimento	
Alkali aktif cüruf çimento	
Fosfatlar	
Alçı	
Kükürt polimer çimento	
Alkali silikat mineraller	

K/K işlemlerinde işlem başarımını veya özelliklerini geliştirmek için çeşitli katkı maddeleri kullanılabilir. K/K sistemlerinde kullanılan katkı maddeleri şöyledir [6, 7]

- Aktif karbon
- Karbonatlar
- Beton katkıları
- Demir ve alüminyum bileşimleri
- Nötralize edenler
- Yükseltgeyiciler
- İndirgeyiciler
- Organik killer

- Fosfatlar
- Kauçuk-lastik parçacıkları
- Silis dumanı
- Cüruf
- Çözünür silikatlar
- Sorbentler: uçucu küller, killeri, mineraller
- Sülfidler
- Yüzey aktif maddeler

K/K işlemlerinde hangi mekanizmanın, hangi teknolojinin, hangi bağlayıcı ve katkıının ne oranlarda kullanılacağını işlemi yapacak kişi tarafından amaca uygun olarak seçilmesi, tasarlanması ve uygulanması gerekir.

2.3. Tasarım ve Uygulama

K/K işlemlerine başlanmadan önce işlem sonucu elde edilecek katılaştırılmış malzemenin ne yapılacağı hususuna karar verilmesi gerekir. Zira K/K işlemleri bu karar üzerine inşa edilip uygulanacaktır.

Eğer K/K işlemlerindeki amaç sadece tehlikeli atığın zararlılığını gidermek, tehlikeli atık sınıfından çıkarmak ve ardından katı atık depo sahalarında depolamak ise K/K işlemleri atığın tehlikeliliğine sebep olan özelliklerinin giderilmesine ve oluşacak katılaştırılmış malzemenin içerisinden kirleticinin çevreye yayılmasının engellenmesine odaklanmalıdır. Bu tür bir işlemin başarımı ise katılaştırılmış malzemenin kirleticinin ayrılmasının önlenmesi veya izin verilen sınır değerlerin altında gerçekleşmesidir.

Eğer K/K işlemlerindeki amaç sadece tehlikeli atığın zararlılığını gidermek değil aynı zamanda katılaştırılmış malzemeyi bir yapı malzemesi olarak da kullanmak ise o zaman sadece kirleticilerin malzemenin ayrılması değil aynı zamanda malzemenin dayanımı da önem kazanır ve K/K işlemleri de ona göre tasarlanır. Bu tür bir işlemin başarımı ise katılaştırılmış malzemenin istenilen dayanım değerleri ile kirleticilerle sızma değerlerini karşılamasıdır.

K/K işlemleri farklı tasarım ve uygulamalarda gerçekleştirildiği için uygulamanın amacına göre de farklı başarımlar ölçümleri bulunmaktadır. İşlemin istenilen amacı karşılayıp karşılamadığı başarımlar testleri ile ölçülmektedir.

2.4. Başarım Testleri

Bir K/K işleminin amaca uygun gerçekleşip gerçekleşmediğini ve istenen özellikleri karşılayıp karşılamadığı başarımlar testleri ile ölçülür. Bu testler başlangıçtaki amaç ve istenen özelliklere göre uygulayıcı tarafından seçilmektedir. Katılaştırılmış veya herhangi bir malzemede kullanılabilecek genel başarımlar ve özellik testleri Çizelge 3’de derlenmiştir.

Çizelge 3. Genel başarımlar testleri [2, 5]

Özellik/Test Ana Grubu	Özellik/Testler
Fiziksel	Genel Özellik Deneyleri Yığın Yoğunluk Deneyleri Sıkıştırma Deneyleri Geçirgenlik Deneyleri Gözeneklilik Deneyleri Mukavemet Testleri Genel Beton/Toprak Çimento Deneyleri Dayanıklılık Deneyleri
Kimyasal	Analitik Deneyler İnorganik Deneyler Organik Deneyler
Biyolojik	Biyobozunma Testleri Biyodenyler
Özütleme	Çalkalamalı Özütleme Testleri Çalkalamasız Özütleme Testleri Ardışık Kimyasal Özütleme Testleri Dinamik Testler
Mikroözellik	Molekül Bilgisi Testleri Yüzey Bilgisi Testleri Yapı Bilgisi Testleri
Çevre Şartlarına Dayanıklılık	

Çizelge 3’de verilmiş olan genel başarımlar testlerinden katılaştırılmış malzemeler için kullanılmaya uygun ve en yaygın kullanılan testler mukavemet ve özütleme testleridir. Katılaştırılmış malzemenin basınca karşı dayanımını ölçmek için mukavemet testlerinden en çok basınç dayanımı testi (TS EN 12390-3) [8] uygulanmaktadır. Aynı şekilde katılaştırılmış malzemenin içerisindeki kirleticileri tutma yeteneğinin ölçülmesi için de özütleme testlerinden biri olan sızma testi (USEPA SW-846 1311) [9] uygulanmaktadır.

TS EN 12390-3:2010 *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yayımlanmış bir standarttır. Standarda göre basınç dayanımı, belirli ölçülerde hazırlanmış malzemenin üzerine basınç uygulanması ile malzemenin bütünlüğün bozulduğu, kırıldığı andaki yükün basınç uygulanan alana bölünmesi ile bulunur [8].

USEPA SW-846 1311 Toxicity Characteristics Leaching Procedure (TCLP) (tur: Zehirlilik Özellikleri Sızma İşlemi) ise United States Environmental Protection Agency (tur: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) tarafından yayımlanmış olan SW-846: Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods deney yöntemleri içerisinde yer alan bir yöntem olup ABD’de tehlikeli atık ve katılaştırılmış malzeme özelliklerinin belirlenmesi için uygulanması zorunlu olan deney yöntemlerinden biridir. Deney yöntemine göre malzeme 9,5 mm’den daha küçük hale getirildikten sonra 20:1 oranındaki sıvı asidik ortamda 18 saat çalkalanması sonucu çözeltide kirletici tayini yapılması şeklinde uygulanır [9].

Değerlendirme

Katılaştırma/Kararlılaştırma (K/K) işlemleri atık içerisindeki kirleticinin fiziksel ve kimyasal mekanizmalar ile tutularak katı bir blok içerisinde çevreden izole edilmesi esasına dayanmaktadır. K/K işlemleri ülkemizde olmasa bile Avrupa ve ABD’de uzun yıllardır denenmiş ve uygulanmış bir yöntemdir.

K/K işlemleri sonrası yapılan başarımlar testleri ile katılaştırılmış malzemenin çevre ve insan sağlığı üzerine olan etkileri de görülebilmektedir. Bu bakımdan tasarımı çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek seviyelerde yapılmış bir K/K işlemi sonucu ortaya çıkan katılaştırılmış malzemenin uygulanacak testler neticesinde mevcut sınır değerlerin altında kaldığı müddetçe tehlikesiz atıklar ile birlikte katı atık depo sahasında depolanmasında ve gerekli şartları taşıdığı da yapı malzemesi olarak kullanılmasında çevre ve insan sağlığı açısından bir akınca görülmemektedir. Uygulamada en büyük engel kullanıcıların psikolojik dirençleri olmaktadır ki bu da yeterli bir eğitim ile çözüleceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak K/K işlemleri tıpkı Avrupa ve ABD’de olduğu gibi Türkiye’de de alan ıslahı ve atık geri kazanım/bertaraf yöntemi olarak kullanılabilir seviyede bilgi birikimi, teknoloji ve altyapıya sahip bir yöntemdir.

Kaynaklar

- [1] BarthEF.et al. StabilizationandSolidification of HazardousWastes. Noyes Data Corporation, 1990. ISBN: 0-8155-1245-7.<http://www.worldcat.org/oclc/21761182>
- [2] MeansJL. et al. The Application of Solidification/StabilizationtoWasteMaterials. Lewis Publisher, 1995. ISBN: 0-56670-080-9.<http://www.worldcat.org/oclc/31045421>
- [3] LaGrega MD, Buckingham PL,EvansJC. HazardousWaste Management. 2.ed.McGraw-Hill, 2001.ISBN: 978-0-07118-170-9. <http://www.worldcat.org/oclc/843948430>
- [4] SpenceRD,ShiC. StabilizationandSolidification of Hazardous, Radioactive, and Mixed Wastes. CRC Press, 2004. ISBN: 978-1-56670-444-1.<http://www.crcnetbase.com/isbn/978-1-56670-444-1>
- [5] U.S. EPA. Stabilization/Solidification of CERCLA and RCRA Wastes: PhysicalTests, ChemicalTestingProcedures, TechnologyScreening, andFieldActivities. EPA/625/6-89/022. USEPA, 1989.<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=30004CB5.txt>
- [6] ConnerJR,HoeffnerSL. A Critical Review of Stabilization/SolidificationTechnology. Critical Reviews in EnvironmentalScienceandTechnology. 1998;(28)4:397-462. <http://dx.doi.org/10.1080/10643389891254250>
- [7] ConnerJR. Hoeffner SL. TheHistory of Stabilization/SolidificationTechnology. Critical Reviews in EnvironmentalScienceandTechnology. 1998;(28)4:325-396. <http://dx.doi.org/10.1080/10643389891254241>
- [8] TSE. TS EN 12390-3:2010, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini. TS EN 12390-3. 2010. Türk Standardı.
- [9] U.S. EPA. USEPA SW-846 1311: ToxicityCharacteristicsLeachingProcedure (TCLP). 1992. SW-846: Test MethodsforEvaluating Solid Waste, Physical/ChemicalMethods. <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/1311.pdf>