



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8(2): 123-134 (2017)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 8(2): 123-134 (2017)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Yol Üstyapısında Kullanılan Cüruf Atıklarının Çevresel Etkilerinin İncelenmesi

Altan YILMAZ*

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Burdur

Geliş Tarihi (Received): 21.11.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 28.05.2017

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author)*: altanyilmaz@mehmetakif.edu.tr

☎ +90 248 2132740 📠 +90 248 2132704

ÖZ

Son yıllarda endüstriyel katı atıkların giderek artması ve atık bertaraf yöntemlerinin işletmelere büyük maliyetler getirmesi, bu atıkların değişik üretim süreçlerinde geri kazanımını yaygınlaştırmıştır. Bu tür atıkların en yaygın kullanım alanlarını kütleli miktarda yapı malzemesi gerektiren yol inşaatları oluşturmaktadır.

Birçok akademik çalışmada atık cürufların yol inşaatında farklı tabakalarda kullanımı araştırılmış ve bu çalışmalarda özellikle havada soğutulmuş yüksek fırın cüruflarının fiziksel ve mekanik özellikler bakımından doğal agregaya benzer olduğu tespit edilmiştir. Ancak, bugüne kadar atık cürufların yol inşaatında temel ve alttemel tabakalarda kullanımı sonucu yeraltı sularına kirletici etkisi olup olmadığı yeterince incelenmemiştir.

Bu çalışmada Ferrokrom (FeCr) cüruf atıklarının yer altı sularına muhtemel etkilerini saptamak amacıyla liç deneyleri yapılmıştır. Liç deneylerinde, üstyapıda kullanılan atık malzemelerden sızabilecek zararlı maddeler, ağır metaller Yapay Yağmurlamalı Liç Prosesi (SPLP) yöntemiyle analiz edilmiş ve çıkan sonuçların standartlara göre uygunluğu belirlenmiştir. Çimento ile %2-10 oranlarında karıştırılan veya doğal agrega ile %50 oranında karıştırılan FeCr cürufunun, liç deneyleri sonucundaki Cr ekstraksiyonu %50'ye varan oranlarda azalmıştır. Özellikle %10 çimento ile yapılan liç deneylerinde olumlu sonuçlar alınmıştır. Bu şekilde çimento ile karıştırılan atık cürufun Cr gibi kirleticileri bünyesinde tutup yeraltı sularına bırakmadığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yol üstyapısı, Cüruf atıkları, Liç, SPLP yöntemi

Investigation of the Environmental Impacts of Slag Wastes Used in the Pavement Base Layers

ABSTRACT

In the last few decades, waste disposal has become a major concern in the majority of the industrial countries. Therefore, the consideration has been given to utilization of the wastes in various construction processes. Most wide-accepted usage of waste slag is in road construction which requires mass volume of construction material.

Many academic studies have been investigated the use of furnace slag in the different layer of highway pavements. In these studies, especially air cooled furnace slag has been found like the lime-stone aggregate in terms of physical and mechanical properties. But so far the slag contaminating effect to groundwater has not been sufficiently examined when they are used in the base and sub-base layer of the pavements.

In this study, leaching tests have been conducted to the slag samples to determine the likely impact to the groundwater. At the leach tests heavy metals and other hazardous materials are analyzed by SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) method. Test results are compared with standard levels. The Cr extraction of leaching tests of FeCr slag mixed with cement at 2-10% or mixed at 50% with natural aggregate decreased by up to 50%. Promising results were obtained especially in leaching experiments with 10% cement content. In this way, it has been observed that the waste slag mixed with cement keeps the pollutants like Cr.

Keywords: Highway pavements, furnace slag wastes, leach, SPLP method

GİRİŞ

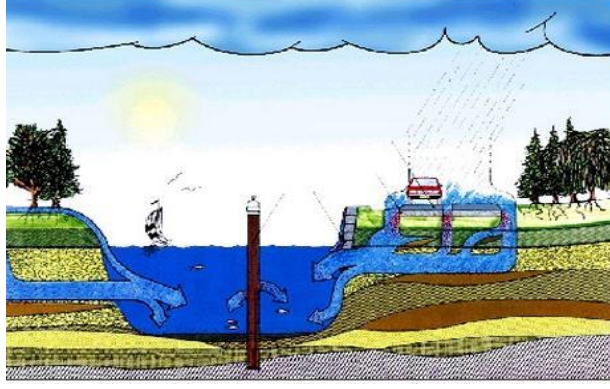
Endüstriyel yan ürün olarak ortaya çıkan cüruf atıklarının yol inşaatında kullanılmasında, insan sağlığı ve çevre koruma birlikte düşünülmelidir. Bu tür katı atıkların kirlilik konsantrasyonları, belirlenen standart seviyelerin daima altında olmalıdır. Böylelikle atıkların kullanım için uygun olup olmadığına karar verilmektedir. Bu amaçla atıkların kullanımında risk değerlendirmesi yapılmaktadır. Risk değerlendirmesinde atık cüruflar özelinde dikkat edilecek hususların başında malzeme içerisinde yağmur suyu ile serbest hale geçerek yeraltı sularına ve içme sularına sızabilen diğer bir deyişle liç olabilen inorganik kirlenimlerin bulunmasıdır. Bu maddeler yağmur suyu ile birlikte yeraltı sularına geçtiklerinde zamanla insan sağlığına etki ederek önemli sağlık sorunları oluşturabilmektedir (Şekil.1). Bu amaçla atıkların yer altı sularına muhtemel etkilerini araştırmak için liç (Leach) deneyleri yapılmaktadır (Lind ve ark., 2001; Mroueh ve ark., 2001).

Ferrokrom cürufları, ferrokrom üretimi yapan tesislerin elektrik ark fırınlarından fiziko-kimyasal prosesler sonucu açığa çıkan atık malzemelerdir. Türkiye’de iki yerde endüstriyel boyutta Ferrokrom cürufu çıkmaktadır. Bunlardan birisi Antalya Ferrokrom İşletmesi diğeri ise Elazığ Ferrokrom İşletmesi’dir. Antalya’daki işletmeden bir yılda yaklaşık 35.000 bin ton Ferrokrom (FeCr) cürufu, 10.000 ton Silikoferrokrom (SiFeCr) cürufu çıkmaktadır. Bu cürufların büyük bir kısmı stok alanlarında açık olarak depolanmakta ve aynı zamanda çevresel kirlilik oluşturmaktadır (Yılmaz, 2002). Ferrokrom cürufları havada yavaş soğumaya bırakıldığı için kristal yapılıdır ve aktif değillerdir. Bu cüruf türü “Havada soğutulmuş elektrik ark fırını cürufu” (EAF cürufu) olarak adlandırılmaktadır. Bu haliyle cüruf,

yüksek mekanik özellik gösterir ve çoğunlukla agregata olarak kullanılır. Dünyada yapı malzemesi olarak kullanılan cürufun çoğunluğunu (%80-90 oranında) havada soğutulmuş, kristal yapılı cüruf oluşturur (Schroeder, 1994; Kalyoncu, 2003).

Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufunun potansiyel kullanım alanları bulunmaktadır. Bu alanlar; asfalt betonu agregası, sathi kaplama agregası, beton yol agregası, yol temel ve alttemel malzemesi, yapısal dolgularda dolgu malzemesi, demiryolu balastı, zemin iyileştirme (stabilizasyon) malzemesi, kayma direnci yüksek agregata olarak, kar ve buz ile mücadele şeklinde sayılabilir (Ramaswamy ve Aziz, 1992; Ahmed, 1993; Motz ve Geiseler, 2001; Kalyoncu, 2003; Zelic, 2005; Euroslag, 2006; Shaopeng ve ark., 2007).

Yapılan birçok akademik çalışmada atık cürufların yol inşaatında farklı tabakalarda kullanımı araştırılmış ve bu çalışmalarda özellikle havada soğutulmuş yüksek fırın cüruflarının fiziksel ve mekanik özellikler bakımından doğal agregata benzer olduğu tespit edilmiştir (Heaton ve Bullen, 1982; Ilıcalı, 1988; Ramirez, 1992; Ramaswamy ve Aziz, 1992; Yıldırım ve Kuloğlu, 1993; Varlıorpak ve ark. 1995; Lind ve ark. 2001; Motz ve Geiseler, 2001; Arm, 2003; Zelic, 2005, Yılmaz, 2008). Ancak, bugüne kadar atık cürufların yol inşaatında temel ve alttemel tabakalarında kullanımı sonucu yer altı sularına kirlenim etkisi olup olmadığı yeterince incelenmemiştir. Bu çalışmada Ferrokrom (FeCr) cüruf atıklarının yer altı sularına muhtemel etkilerini saptamak amacıyla liç deneyleri yapılmıştır. Liç deneylerinde, üstyapıda kullanılan atık malzemelerden sızabilecek zararlı maddeler, ağır metaller Yapay Yağmurlama Liç Prosesi (SPLP) yöntemiyle analiz edilmiş ve çıkan sonuçların standartlara göre uygunluğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Yol inşaatında kullanılan malzemelerin yeraltı ve yerüstü sularına etkisi

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Antalya Ferrokrom İşletmesinden temin edilen Ferrokrom (FeCr) cürufu kullanılmıştır. Ferrokrom cürufu, ferrokrom üretimi yapan elektrik ark fırınından fiziko-kimyasal prosesler sonucu açığa çıkan atık bir malzemedir. Antalya'daki işletmeden yılda yaklaşık 35.000 bin ton Ferrokrom (FeCr) cürufu, 10.000 ton Silikoferrokrom (SiFeCr) cürufu çıkmaktadır. Cüru-

flar havada yavaş soğumaya bırakıldığı için kristal yapılıdır ve aktif deşillerdir (Yılmaz, 2002). Literatürde bu cüruflar havada soğutulmuş elektrik ark fırını (EAF) cürufu olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2'de cürufluk sahasından alınan cürufların elenerek sınıflandırılmış hali görünmektedir. Ferrokrom cüruflarının kimyasal analiz bulguları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. FeCr cürufları 25 mm'den büyük (solda) ve 20-25 mm arası boyutlu (sağda)

Tablo 1. Toplam kayaç analizi ile bulunan kimyasal kompozisyonlar

ELEMENT	Birim	FeCr	SiFeCr	Doğ.Agr.
SiO ₂	%	24.74	43.47	0.195
Al ₂ O ₃	%	8.71	22.46	0.075
Fe ₂ O ₃	%	1.92	0.785	0.07
MgO	%	13.01	28.605	0.36
CaO	%	42.52	2.35	76.9
Na ₂ O	%	0.145	0.08	0.02
K ₂ O	%	0.075	0.575	<.04
TiO ₂	%	0.315	0.03	<.01
MnO	%	0.08	0.01	0.01
Cr ₂ O ₃	%	3.491	0.554	0.0075
LOI	%	1.4	0.85	22.25
Toplam	%	99.89	99.91	99.955

LOI: Kızdırma Kaybı

Tablo 1'den görüldüğü üzere, FeCr cürufu ağırlıklı olarak silisyum, kalsiyum ve magnezyum elementlerinden oluşmaktadır. Bunun yanı sıra cürufar içerisinde düşük miktarda demir ve krom gibi ağır metaller bulunmaktadır. Şahit numune olarak kullanılan doğal agregalar ise kireç-taşı kökenlidir. Bu malzeme ticari olarak alınıp satılan ve inşaat sektöründe en çok kullanılan malzemelerdendir. Kireç-taşı doğadan elde edilen doğal bir kayadır ve içerisinde büyük oranda kalsiyum-oksit bulunmaktadır.

Atıkların yer altı suyunu dolayısı ile içme sularını kirletmesi kompleks bir yapıyı oluşturmaktadır. Atık malzemeler doğrudan tüketilmediğinden malzeme üzerinden yıkanarak yeraltı suyuna geçen yani liç olan kirlilik miktarı belirlenmektedir. Liç risk değerlendirmesi, toplam konsantrasyona göre kuramsal hesaplamalarla ya da liç deneyleri ile yapılabilir. Son olarak su içerisindeki seyrelmeler göz önünde bulundurulup liç konsantrasyonu (mg/l) olarak belirlenir ve risk oluşturan değerler standart kalite değerleri ile karşılaştırılır (Townsend ve ark., 2003).

Yüksek fırın cürufuları yaklaşık 1500 °C'de ısıtılardan geçtiği için içerisinde organik madde bulunmamaktadır. Dolayısıyla leach (Liç) deneyleri yalnızca inorganik çıktılar için yani sağlığa zararlı muhtemel ağır metaller için yapılmıştır.

Liç Ekstraksiyonu Yöntemleri

Liç ekstraksiyonu, atıkların risk analizini yapmak amacıyla uygulanan liç deneyleri sonucu açığa çıkan sıvının elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Türkçe'de kısmen "çıkarm" olarak nitelendirilebilir.

Genellikle uygulanan ekstraksiyon tipleri kesikli (batch) laboratuvar ekstraksiyon deneyi, kolon (lysimeter) deneyi ve saha ölçekli liç deneyi olmak üzere üç ana bölümde incelenebilmektedir (Yıldız, 2008).

Atık maddelerin sahada liç oluşumuna uygun bir sistem elde etmek amacıyla laboratuvarında birçok kesikli (batch) liç deneyi kullanılmıştır. Kesikli liç deneylerinin genel yapısı, deneylerde ilgilenilen maddelerin atık içerisinde serbest kalmasını sağlayan bir sıvı çözelti ile az miktardaki atığın karışımı ve daha sonra bunların çalkalanması işlemlerinden oluşmaktadır (Şekil 3). Bu deneyler genellikle kısa periyotludurlar. En yaygın olarak kullanılan kesikli liç deneyleri şunlardır: EP-TOX (Extraction Procedure Toxicity; Zararlı Maddelerin Ekstraksiyon Prosesi), TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure; Zararlı Maddelerin Liç Prosesi), SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure; Yapay Yağmurlamal ile Liç Prosesi), WET (California-Waste Extraction Test; Kaliforniya Atık Ekstraksiyon Deneyi), ASTM-D (American Society for Testing and Materials Extraction Test; Amerikan Deney ve Malzemeler Kurumu Ekstraksiyon Deneyi) ve MEP (Multiple Extraction Procedure; Çoklu Ekstraksiyon Prosesi) (Yıldız, 2008).

Kolon (lysimeter) liç deneyi de atıkların sahadaki liç davranışına uygun bir sistem elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Bu deney liç prosesini gerçekleştirmek için atık malzemesini bir kolon içine yerleştirmek ve daha sonra liç sıvı çözeltisini üzerine ilave etmek şeklinde yapılmaktadır. Kesikli liç deneylerinden farklı olarak liç çözeltisi bu deneyde sürekli akış durumundadır. Bu nedenle çoğu zaman "dinamik" deney olarak adlandırılmaktadır. Deney saha koşullarını daha fazla temsil etmektedir. Kolon liç deneylerinin laboratu-

var prosesi oldukça pahalı ve deney süresi uzun olduğu için kesikli liç prosesleri daha çok tercih edilmektedir (Townsend ve ark., 2003).



Şekil 3. TCLP ve SPLP proseslerinde numune ekstraksiyonunda kullanılan döner çalkalama aygıtı (Pendowski, 2003)

SPLP (Yapay Yağmurlamalılıç Prosesi) Deney Metodu

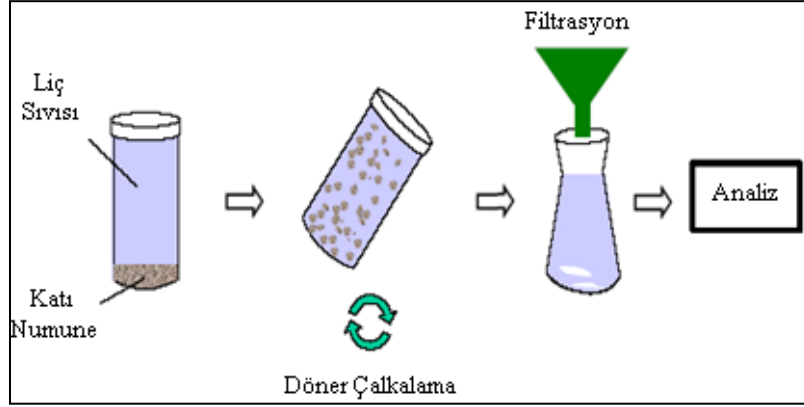
Bu çalışmada SPLP deney metodu kullanılmıştır. SPLP, sıvı, toprak ve atıklardan organik ve inorganik maddelerin liç edilebilirliği hakkında bilgi sağlamak amacıyla kullanılan ve çalkalama yoluyla elde edilen bir

ekstraksiyon sistemidir. Bu metod TCLP prosesine benzemektedir. Fakat TCLP ile birlikte kullanılan asetik asit yerine havadan gelen nitrik ve sülfirik oksitlerden oluşan asit yağmuruna benzer bir ortamı oluşturmak için nitrik ve sülfirik asit kullanılmaktadır. SPLP deneylerinde sahanın yağmur asitliğine uygun pH seçilmelidir (EPA, 1996; EPA, 1999b;). Göller Bölgesi için yapılmış olan ölçümlerde pH'nın 5-6 arasında değiştiği gözlenmiştir, bu nedenle pH değerleri hem literatüre hem de bölgeye uygun olarak 4.2, 5 ve 6 olarak seçilmiştir (Karaşahin ve ark., 2007).

SPLP yönteminde katı miktarının yüzdesinin belirlenmesi TCLP yönteminde olduğu gibi numunenin ekstraksiyon işleminden önce yapılmaktadır. Bu çalışmadaki katı miktarı, yol inşaatında uygulanabilecek yüzde oranlarında seçilmiştir. Numune ekstraksiyonu için 20/1'lik L/S (katı/sıvı) oranı kullanılmıştır. Katı oranı ayarlanırken iki farklı karışım kullanılmıştır. Bunlar, kapalı gradasyonlu cüruf karışımı ve 2 mm altı malzeme şeklinde hazırlandıktan sonra, pH'sı ayarlanmış olan 2 lt saf su içerisine karıştırılmıştır. SPLP sistemi dakikada 29 devir çalkalama yapacak şekilde tasarlanmıştır. Çalkalama işlemi 18 saat devam etmiştir. Çalışmada kullanılan döner çalkalama aygıtı Şekil 4'te görülmektedir. Çalkalama işleminden sonra numuneler fiber-glass filtre (0.6-0.8 µm) boyunca filtre edilmiştir. Filtreden geçen sıvı toplanarak analiz edilmiştir. SPLP liç prosesi basitleştirilmiş olarak Şekil 5'de temsil edilmektedir.



Şekil 4. SPLP proseslerinde kullanılan döner çalkalama aygıtı (Liç Reaktörü), (Yıldız, 2008)



Şekil 5. SPLP liç prosesine ilişkin basitleştirilmiş temsili gösterim (Townsend ve ark. 2003)

Liç Ekstraksiyonunda Belirlenmesi Gereken Zararlı Maddeler

Ferrokrom cürüfları yaklaşık 1500 °C'de ısıtılarak işlem görmüş ve bu işlemde organik madde bulunmamaktadır. Dolayısıyla leach (Liç) deneyleri yalnızca inorganik çıktılar için yani sağlığa zararlı muhtemel ağır metaller (Fe ve Cr) ile agrega karışımına zarar verebilecek kükürlü bileşik olan Sülfid (SO_3) için uygulanmıştır.

SPLP deneyi liç çıkarımı yapılarak, çıkarım çözeltisi içerisindeki Fe^{+2} , Cr^{+6} , toplam Cr ve SO_3 miktarı analizleri literatüre uygun olarak Çevre Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Analizler HACH DR-2000 spektrofotometresi ile yapılmıştır. Liç ekstraksiyon aletinden çıkarılan numunelerin ilk olarak son pH değerleri ölçülmüştür (Şekil 6). Son pH ölçümü yapılan numuneler için spektrofotometre ile Tablo 2'deki analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).



Şekil 6. Liç ekstraksiyon numunesi ve pH metre ile son pH ölçümü



Şekil 7. HACH DR-2000 Spektrofotometresinde test işlemi

Tablo 2. Liç çıkarımlarından elde edilen materyallerin analiz yöntemleri (Hach, 1989)

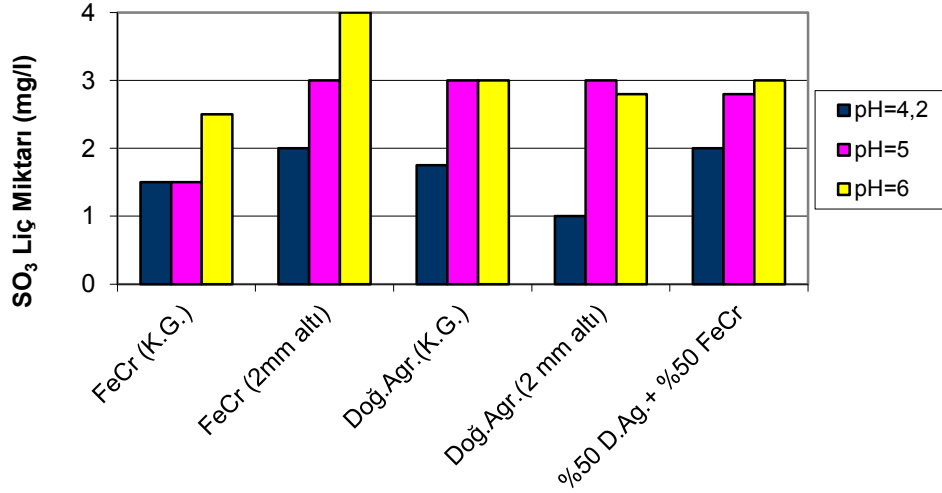
ARANAN MADDE	ANALİZ METODU
Cr ⁺⁶	1,5 - Diphenylcarbohydrazide Method, 0,060 Mg/L
Toplam Cr	Alkaline Hypobromide Oxidation Method, 0-0,60 Mg/L
Fe ⁺²	FerroZine Method, 0-1.300 Mg/L
Toplam Fe	FerroVer Method, 0-3.00 Mg/L
SO ₃ (Sülfid)	Iodate-İodide Buret Titration Method
(Cr ⁺³ , Toplam Krom belirlendikten sonra Cr ⁺⁶ çıkartılarak bulunmuştur.)	

BULGULAR VE RİSK DEĞERLENDİRMESİ

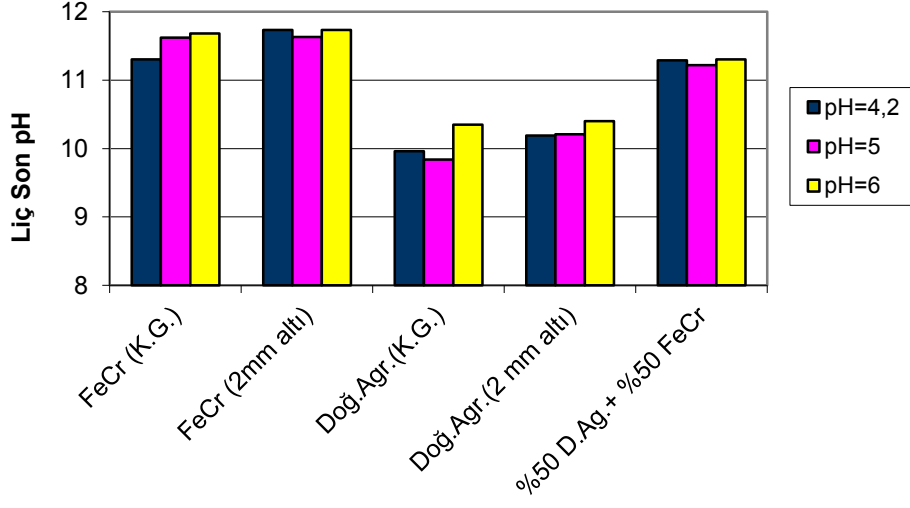
SPLP Leach (Liç) deneyi sonucu FeCr cürufu ve doğal agrega için elde edilen bulgular Şekil 8-12'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, FeCr cürufunun kimyasal kompozisyonu içerisinde %1,5-2 civarında Fe bulunmasına rağmen, liç deneylerinde demire (Fe)

rastlanmamıştır. Bu metalin çözelti ortamına salınım yapmadığı anlaşılmaktadır.

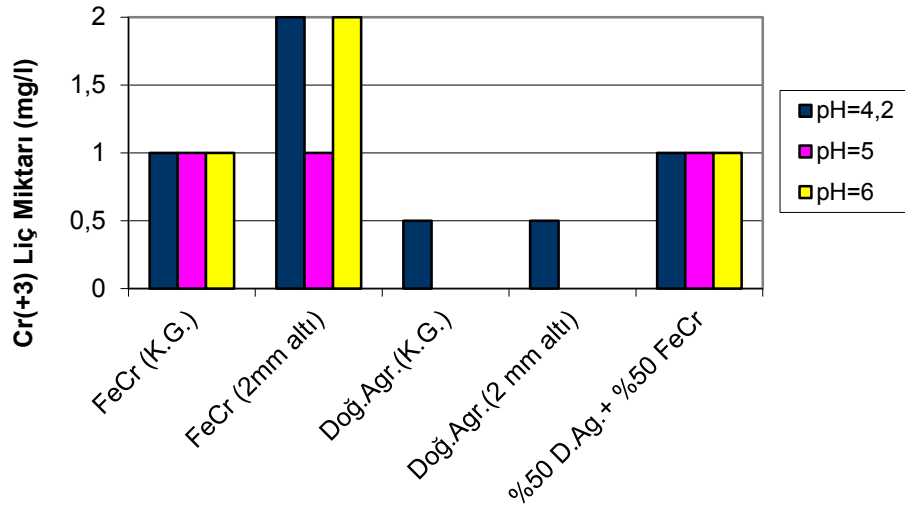
Şekil 8'de FeCr cürufunun ve Doğal agreganın SO₃ değerleri verilmiştir. Cüruf ekstraksiyon sıvısı içerisindeki SO₃ miktarı 1 - 4 mg/l aralığında doğal agregaya benzer şekilde düşük sonuçlar vermiştir.



Şekil 8. Doğal agreganın ve FeCr cürufunun SO₃ değerleri

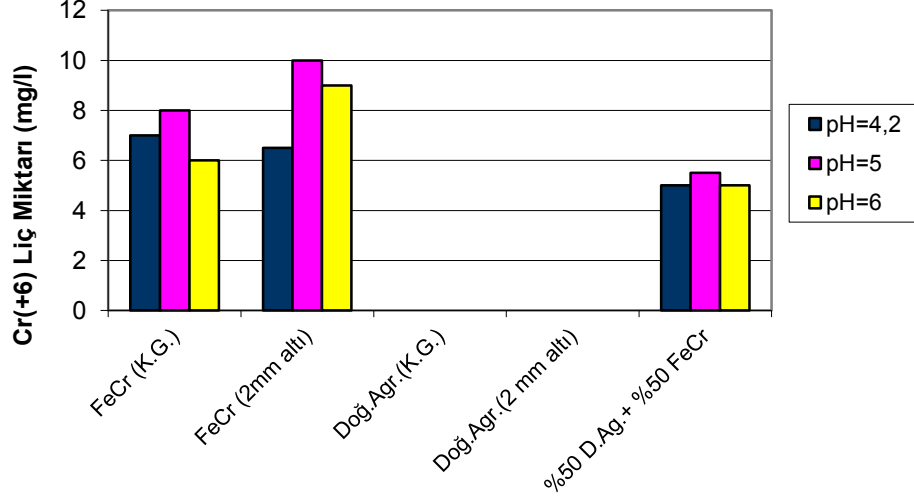


Şekil 9. Doğal agreganın ve FeCr cürufunun "Son pH" değerleri

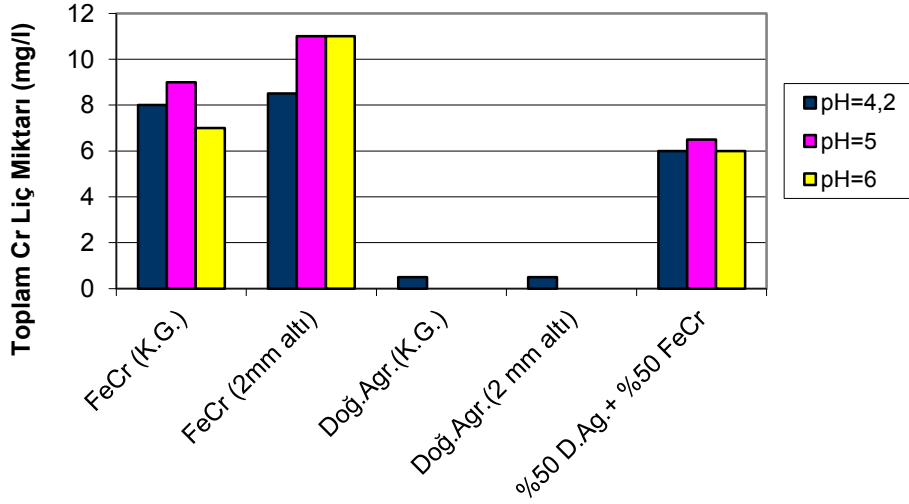


Şekil 10. Doğal agreganın ve FeCr cürufunun Cr^{+3} liç çıkarım grafiği

Yol Üstü Yapısında Kullanılan Cüruf Atıklarının Çevresel Etkilerinin İncelenmesi



Şekil 11. Doğal agreganın ve FeCr cürufunun Cr⁺⁶ liç çıkarım grafiği



Şekil 12. Doğal agreganın ve FeCr cürufunun "toplam Cr" liç çıkarım grafiği

Şekil 9'daki grafikte FeCr cürufunun ve doğal agreganın "Son pH" değerleri verilmiştir. Tüm numunelerde liç deneyi sonucu ekstraksiyon sıvısında pH değerlerinin artmış olduğu ve sistemin bazikleştiği görülmektedir. FeCr cürufunun son pH değerlerinin doğal agregadan daha yüksek olduğu görülmektedir. Doğal agregalarda ilk pH'sı 6 olan çıkarımların diğerlerine oranla daha yüksek son pH oluşturduğu görülmüştür.

Şekil 10 – Şekil 12'de verilen grafiklerde FeCr cürufunun ve doğal agreganın Cr liç çıkarımları görülmektedir. Kapalı Gradasyonlu (KG) karışımların Cr ekstraksiyon miktarı, 2 mm altı malzemeye göre daha düşüktür. Diğer bir deyişle ince taneli malzemelerin çözeltiye Cr salınımı daha fazla bulunmuştur. Doğal agrega ile %50 oranında karıştırılan FeCr cürufunun,

Cr ekstraksiyonlarının, toplam Cr ve Cr⁺⁶ açısından azaldığı tespit edilmiştir.

Doğal agreganın Cr ekstraksiyonu oldukça düşük bulunmuştur, sadece Cr⁺³ çözeltide 0,5 mg/l olarak tespit edilmiştir.

EPA (Environmental Protection Agency) atıkların zararlı madde sınırlarını maksimum konsantrasyon limiti olarak belirlemiştir. Toplam Cr için limit değer 5 mg/L'dir (EPA, 2015).

FeCr cürufu ile %50 oranında karıştırılan doğal agreganın toplam Cr ekstraksiyonu değeri EPA sınır değerini aştığı gözlenmektedir (%6-%6,50 ile Şekil.12). Uygulanan liç çıkarım yöntemi (SPLP) gereği deney

yapılan katı malzeme doğrudan sıvı içerisinde konarak, zaman açısından hızlandırılmış ortam şartlarında 18 saat süreyle çalkalanmaktadır. Dolayısıyla elde edilen liç değerleri, kuramsal olarak yolun tüm ekonomik ömrü boyunca (≈ 100 yıl) ortama vereceği toplam Cr miktarını vermektedir (Lind ve ark. 2001). Gerçek arazi şartlarında bu değerlerin daha düşük olacağı tahmin edilmektedir.

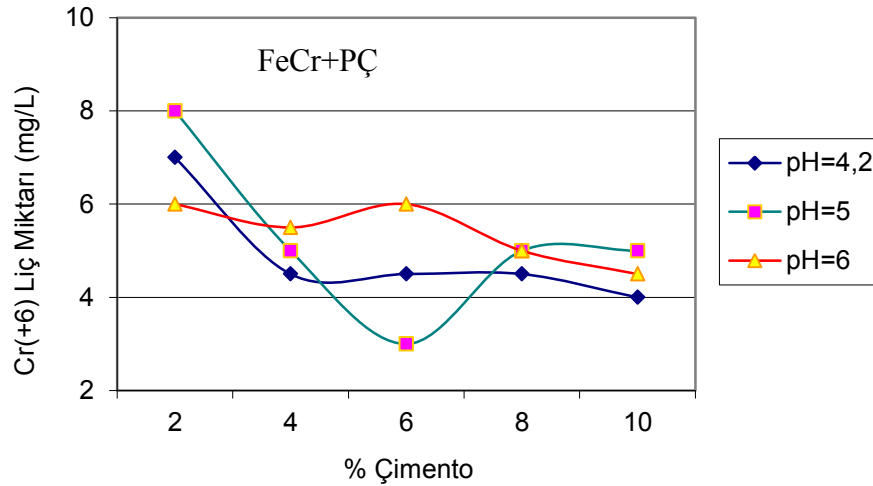
Çimento Bağlayıcı ile Karıştırılan Cürüfların Liç Deney Bulguları

Cürüflar sadece (granüler) agrega olarak değil zaman zaman bağlayıcılarla birlikte de kullanılmaktadır. Örneğin zemin stabilizasyonu, çimentolu temeller vb. uygulamalar. Bu durumda çimento gibi bir bağlayıcı ile birlikte karıştırılarak kullanılan FeCr cürufunun liç ekstraksiyon çözeltisindeki durumu da incelenmelidir. Bu amaçla çalışmanın ikinci aşamasında FeCr cürufu+Portland çimentosu ile karıştırılan numuneler

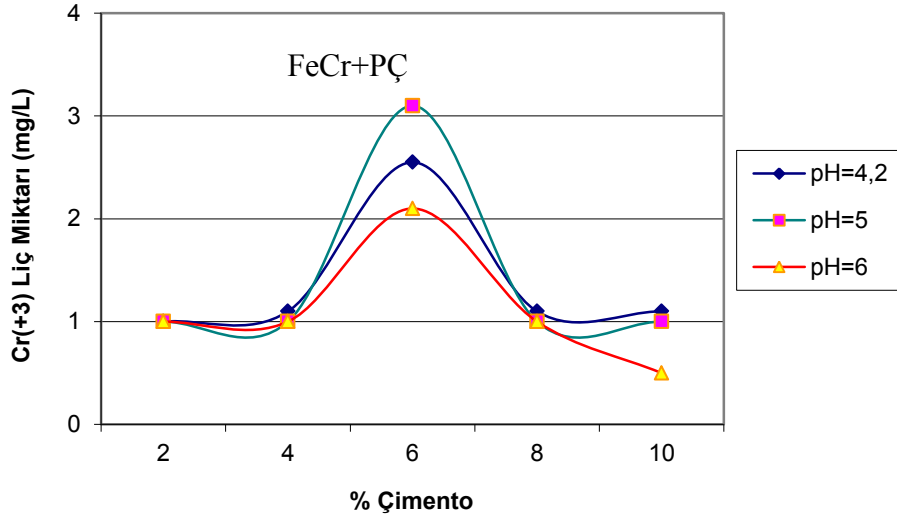
üzerinde aynı yöntemle liç deneyleri uygulanmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Şekil.13 – Şekil.16'da çimento bağlayıcı ile %2 ila %10 oranlarında karıştırılan FeCr cürufunun liç çıkarımları görülmektedir. Bu grafiklerden FeCr cürufunun Portland çimentosu ile birlikte kullanılması durumunda Cr^{+6} ve toplam Cr çıkarımlarının azaldığı görülmüştür. Özellikle toplam Cr değerine bakıldığında %10 çimento ile yapılan liç deneylerinde toplam Cr miktarı %50 civarında azalmıştır ve EPA'nın limit değeri olan 5 mg/l değerine düşmüştür. Muhtemelen çimento kullanımı ile oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda Cr ortama bağlanmakta ve suya salınımı engellenmektedir. Nitekim bu husus Kindness (1994) ve Conner (1997) tarafından da rapor edilmiştir.

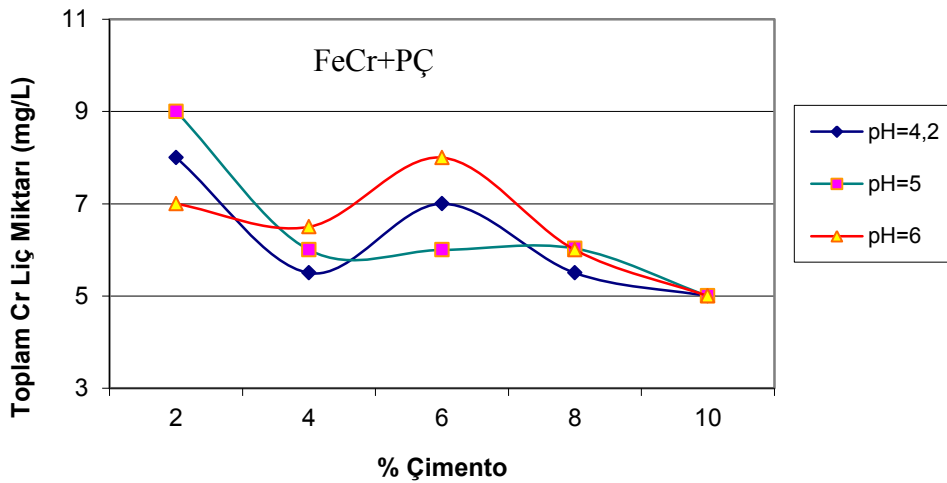
Liç deney bulguları neticesinde, FeCr cürufunun doğal agregalar ile karıştırılarak yada çimento gibi bir bağlayıcı ile stabilize edilerek kullanılması, çevresel etkileri açısından daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 13. FeCr cürufunun farklı oranlarda çimento ile Liç (Cr^{+6}) değerleri



Şekil 14. FeCr cürufunun farklı oranlarda çimento ile Liç (Cr⁺³) değerleri



Şekil 15. FeCr cürufunun farklı oranlarda çimento ile Liç (Toplam Cr) değerleri

SONUÇLAR

Deney bulguları neticesinde, kapalı gradasyonlu (KG) cüruf karışımların Cr ekstraksiyon miktarı, 2 mm altı malzemeye göre daha düşük bulunmuştur. Diğer bir deyişle, ince taneli malzemelerin çözeltiye Cr salınımı daha fazla bulunmuştur. Doğal agrega ile %50 oranında karıştırılan FeCr cürufunun, Cr ekstraksiyonlarının, toplam Cr ve Cr⁺⁶ açısından azaldığı tespit edilmiştir. Doğal agreganın Cr ekstraksiyonu oldukça düşük bulunmuş olup, sadece Cr⁺³ çözeltisinde 0,5 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Liç deneylerinde %100 FeCr cürufunun SPLP yöntemi ile ekstraksiyonu sonucunda toplam Cr değerinin sınır değerleri aştığı gözlemlenmiştir. Uygulanan liç çıkarma yöntemi gereği, deney yapılan malzeme doğrudan sıvı içerisinde konarak, zaman açısından hızlandırılmış ortam şartlarında 18 saat süreyle çalkalanmaktadır. Dolayısıyla elde edilen ekstraksiyon değerleri, kuramsal olarak yolun tüm ekonomik ömrü boyunca, yaklaşık 100 yılda ortama vereceği toplam Cr miktarını vermektedir. Gerçek arazi şartlarında cüruf asfalt kaplama tabakasının içerisinde yada altındaki tabakalarda sıkıştırılmış olarak yer alacağı için laboratuvar deneyinde olduğu gibi doğrudan yağmur suyu ile temas halinde olmayacaktır. Dolayısıyla arazi şartlarında liç

değerlerinin daha düşük çıkacağı tahmin edilmektedir. İleriki çalışmalarda Cr ekstraksiyonunun arazi denemeleri yapılarak araştırılması önerilmektedir.

Çimento ile %2-10 oranlarında karıştırılan veya doğal agrega ile %50 oranında karıştırılan FeCr cürufunun, liç deneyleri sonucundaki Cr ekstraksiyonu azalmıştır. Özellikle %10 çimento ile yapılan liç deneylerinde toplam Cr değeri %50 civarında azalmıştır ve EPA'nın limit değeri olan 5 mg/l değerine düşmüştür. Bu şekilde çimento ile karıştırılan atık cürufun Cr gibi kirleticileri bünyesinde tutup yeraltı sularına bırakmadığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla FeCr cürufunun çimento gibi bir bağlayıcı ile düşük oranlarda karıştırılarak yani stabilize edilerek kullanılması çevresel etkileri açısından daha uygun bir yöntem olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, I., (1993). Use of Waste Materials in Highway Construction, Noyes Data Corporation, Park Ridge USA, p. 305.
- Arm, M., (2003). Mechanical Properties of Residues As Unbound Road Materials, (PhD.) , KTH Land and Water Resources Engineering, Stockholm.
- Conner, J.R., (1997). Guide to Improving the Effectiveness of Cement-based Stabilization-Solidification, Portland Cement Association, Engineering Bulletin EB211, USA.
- Euroslag, (2006). Legal Status of Slags, Position Paper, The European Slag Association, Germany.
- Hach, (1989). Water Analysis Handbook. Hach Company: Colorado, USA, p. 691.
- Heaton, B.E., Bullen F., (1982). Properties of Stabilized Blast Furnace Slag Road Base, University of Newcastle.
- İlıcılı, M., (1988). Karayolu Üst Yapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, (Doktora Tezi), İstanbul, s. 212.
- Kalyoncu, R.S., (2003). Iron and Steel Slag, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, USA, pp. 92-93.
- Karavaşin, M., Kayacan, R., Tiğdemir, M., Çağlar, M.F., Kılıç, M., (2007). Ferrokrom ve Mermer Sanayi Atıklarının Karayolu İnşaatında Değerlendirilmesi ve Laboratuvar Liç Davranışlarının İncelenmesi, 105M019 No'lu Tübitak Projesi Sonuç Raporu, s.260. Ankara.
- Kindness, A., Macias, A., and Glasser, F.P., (1994). Immobilization of Chromium in Cement Matrices, Waste Management 14, 3 –11.
- Lind, B.B., Fallman, A.M., Larsson, L.B., (2001). Environmental Impact of Ferrochrome Slag in Road Construction, Waste Management 21, 255-264.
- Motz, H., Geiseler, J., (2001). Products of Steel Slag an Opportunity to Save Natural Resources, Waste Management 21, 285–293.
- Mroueh, U.M, Eskola, P. and Laine-Ylijoki, J., (2001). Life-Cycle Impacts of the Use of Industrial By-Products in Road and Earth Construction, Waste Management 21, 271–277.
- Pendowski, J.J., (2003). An Assessment of Laboratory Leaching Tests for Predicting the Impacts of Fill Material on Ground Water and Surface Water Quality, Washington State Department of Ecology, Washington, Publication No. 03-09-107.
- Ramaswamy, S. D., Aziz, M. A., (1992). Some Waste Materials in Road Construction, Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction, Hilary Inyang and Kenneth Bergeson, American Society of Civil Engineers, NY, pp. 153–165.
- Ramirez, T., (1992). Steel Slag Aggregate in Bituminous Mixtures - Final Report, Pennsylvania Department of Transportation, pp. 79-12.
- Schroeder, R.L., (1994). The Use of Recycled Materials in Highway Construction, Public Roads, 58(2), 32-41.
- Shaopeng, W., Yongjie, X., Qunshan, Y., Yongchun C., (2007). Utilization of steel slag as aggregates for Stone mastic asphalt (SMA) mixtures, Building and Environment 42, 2580–2585.
- Townsend, T., Jang, Y., Tolaymat, T., (2003). Leaching Tests for Evaluating Risk in Solid Waste Management Decision Making, Final Report, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, p.149.
- EPA, (1996). SW-846: Test Methods for Evaluating Solid Wastes, 3rd Ed., U.S. EPA Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.
- EPA, (1999a). Hazardous Waste Identification Rule (HWIR): Identification and Listing of Hazardous Wastes, U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA, (1999b). Waste Leachability: The Need for Review of Current Agency Procedures, EPA-SAB-EEC-COM-99-002, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington D.C.
- EPA, (2015), Part 261 Identification and Listing of Hazardous Waste, Electronic Code of Federal Regulations, Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Varlıorpak, Ç., Tanyel, S., Eren, A., (1995). Yol Üst Yapımında Cüruf Kullanımı, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, ss.129-139, Ankara.
- Yıldırım, B., Kuloğlu N., (1993). Ergani Bakır İşletmeleri Reverber Cürufunun Yol Üst Yapısının Temel ve Alt Temel Tabakalarında Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, ss. 255 - 265, Ankara.
- Yıldız, A. H., (2008). Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora tezi, Isparta.
- Yılmaz, A., (2002). Antalya Ferrokrom İşletmesinin Elektrik-Ark Fırını Cüruflarının ve Baca Tozu Atıklarının Asfalt Betonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Yılmaz, A., (2008). Ferrokrom ve Silikoferrokrom Cürufuları ile Silis Dumanının Yol Üst yapısında Kullanımının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi, Isparta.
- Zelic, J., (2005). Properties of Concrete Pavements Prepared with Ferrochromium Slag as Concrete Aggregate, Cement and Concrete Research 35, 2340 – 2349.