

CÜRUF ATIKLARININ YOL İNŞAATINDA KULLANILMASI DURUMUNDA ÇEVRESEL ETKİLERİ

Altan YILMAZ¹, Ahmet Hüsrev YILDIZ²

¹Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 15030 Burdur, altanyilmaz@mehmetakif.edu.tr
²Çevre Mühendisi, Bucak/Burdur, hybucak@gmail.com

ÖZET

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.

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

Atıkların geri kazanımında insan sağlığı ve çevre koruma düşünülmesi gerekli iki temel faktördür. Atıkların kirlilik konsantrasyonları, belirlenen standart seviyelerin daima altında olmalıdır. Böylelikle atıkların kullanım için uygun olup olmadığına karar verilmektedir. Bu amaçla, 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.

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

ENVIRONMENTAL IMPACT OF WASTE SLAG IN THE USAGE OF HIGHWAY PAVEMENT CONSTRUCTION

ABSTRACT

In the last few decades, waste disposal has become a major concern in most of the industrial countries. Therefore the consideration has been given to utilization of the wastes in various construction processes. Most wide-accepted usage of this kind of waste 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. Especially air cooled furnace slag has been found like the lime-stone aggregate in terms of physical and mechanical properties. But the slag's contamination effect to groundwater is not sufficiently examined when it's used in the base and sub-base layer of the pavements.

When we reuse the waste slag, human health and environmental protection are the two main factors. Hazardous concentration of the waste slag must always be less than the defined standard level. Thus it is decided whether it is appropriate for the use of waste or not. For this purpose, 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 analyzed by SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) method. Test results compared with standard levels.

Keywords: Highway pavements, furnace slag waste, leach, SPLP process.

1. 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 kirleticilerin bulunmasıdır. Bu maddeler yağmur suyu ile birlikte yeraltı sularına geçtiklerinde zamanla insan sağlığına etki ederek önemli sağlık sorunları oluşturabilmektedir.

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).

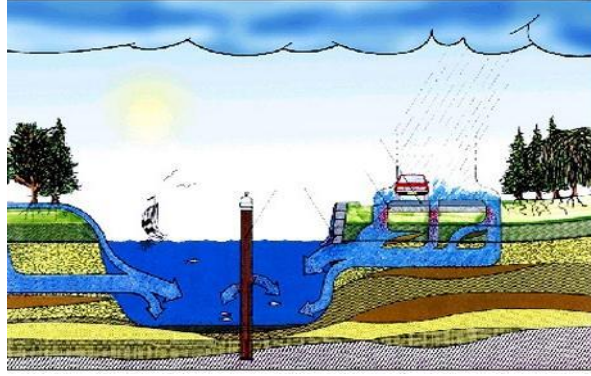
Ferrokrom cürufları havada yavaş soğumaya bırakıldığı için kristal yapılıdır ve aktif değildir. Bu cüruf türü “Havada soğutulmuş elektrik ark fırını cürufu” (EAF cürufu) olarak adlandırılmaktadır. Bu haliyle cüruf, yüksek mekanik özellik gösterir ve çoğunlukla agrega olarak kullanılır. Dünyada yapı malzemesi 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 agrega olarak, kar ve buz ile mücadele şeklinde sayılabilir (Ramaswamy ve Aziz, 1992; Ahmet, 1993; Motz ve Geiseler, 2001; Kalyoncu, 2003; Zelic, 2005; Shaopeng vd., 2007).

Yapılan birçok akademik çalışmada atık cürufların yol inşaatında farklı tabakalarda kullanımı araştırılmış ve özellikle havada soğutulmuş yüksek fırın cüruflarının fiziksel ve mekanik özellikler bakımından doğal agregaya benzer olduğu tespit edilmiştir (Heaton ve Bullen, 1982; Ilıcalı, 1988; Ramirez, 1992; Ramaswamy ve Aziz, 1992; Yıldırım ve Kuloğlu, 1993; Varlıorpak vd. 1995; Lind vd. 2001; Motz ve Geiseler, 2001; Arm, 2003; Zelic, 2005, Yılmaz, 2008). Ancak, atık cürufların yol inşaatında temel ve alttemel tabakalarında kullanımı sonucu yer altı 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.

1.1. Cüruf Kullanımının Çevresel Boyutu

Yol inşaatında kullanılacak olan atık cüruflar için, dikkat edilecek önemli hususlardan birisi malzeme içerisinde yağmur suyu ile serbest hale geçerek yeraltı sularına ve içme sularına sızabilen diğer bir deyişle liç olabilen organik ve inorganik kirleticilerin bulunmasıdır. Bu tür kirletici 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 vd., 2001; Mroueh vd., 2001).



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

Liç deneyinin genel yapısı, ilgilenilen maddelerin atık içerisinde serbest kalmasını sağlayan bir sıvı çözelti ile az miktardaki atığın karışımı ve daha sonra bunların çalkalanması işlemlerinden oluşmaktadır. Bu şekilde sıvı çözeltiliye geçen zararlı maddeler filtreden geçirilerek konsantrasyonları belirlenmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Antalya Ferrokrom İşletmesinden temin edilen Ferrokrom (FeCr) cürufu kullanılmıştır. Ferrokrom cürufu, ferrokrom üretimi yapan elektrik ark fırınından fiziko-kimyasal aşamalar 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. Cüruflar havada yavaş soğumaya bırakıldığı için kristal yapılıdır ve aktif değillerdir (Yılmaz, 2002). Bu cüruflar literatürde havada soğutulmuş elektrik ark fırını (EAF) cürufu olarak adlandırılmaktadır. Şekil.2'de cürüflük sahasından alınan cürufların elenerek sınıflandırılmış hali görülmektedir. Ferrokrom cüruflarının kimyasal analiz bulguları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. FeCr cürufları; Solda boyutu 25 mm'den büyük olan, sağda 20-25 mm arası cüruf

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

Çizelge 1’den görüldüğü üzere, FeCr cürufu ağırlıklı olarak silisyum, kalsiyum ve magnezyum elementlerinden oluşmaktadır. Bunun yanı sıra cüruflar 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 suyunu 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 vd., 2003).

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

2.1 Liç Ekstraksiyonu

Liç ekstraksiyonu, atıkların risk analizini yapmak amacıyla uygulanan liç deneyleri sonucu açığa çıkan sıvının elde edilmesine denir. Türkçe’de kısmen “çıkarm” olarak nitelendirilebilir. Genellikle uygulanan ekstraksiyon tipleri üç ana bölümde incelenebilmektedir: Kesikli (batch) laboratuvar ekstraksiyon deneyi, kolon (lysimeter) deneyi ve saha ölçekli liç deneyi (Yıldız, 2008).

Liç Yöntemleri: Atık maddelerin sahada liç oluşumuna uygun bir sistem elde etmek amacıyla laboratuvarda 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 Yağmurlamalı 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 laboratuvar prosesi oldukça pahalı ve deney süresi uzun olduğu için kesikli liç prosesleri daha çok tercih edilmektedir. (Townsend vd., 2003).



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

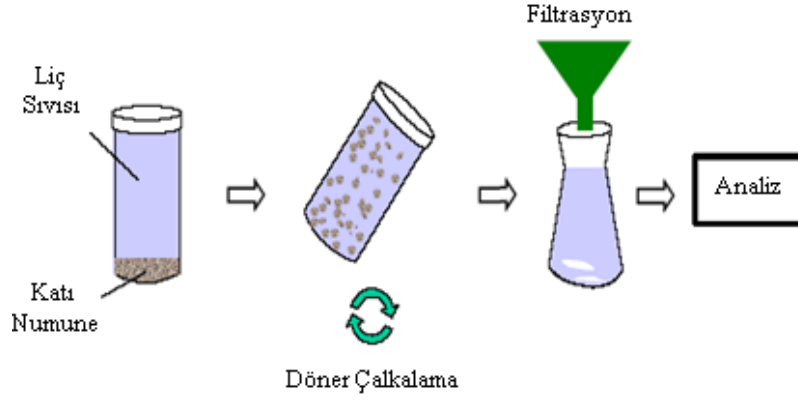
2.2. SPLP (Yapay Yağmurlamalı Liç Prosesi) Deney Metodu

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, 1999b; EPA, 1996). 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 vd., 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 aşamalarında numune çıkarımında kullanılan döner çalkalama aygıtı (Liç Reaktörü), (Yıldız, 2008)



Şekil 5. SPLP liç aşaması basitleştirilmiş temsili şekli (Townsend vd. 2003)

2.3. Liç Ekstraksiyonunda Belirlenmesi Gereken Zararlı Maddeler

Ferrokrom cürüfları 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 (Fe ve Cr) ile agrega karışımına zarar verebilecek kükürtlü bileşik olan Sülfid (SO₃) için uygulanmıştır.

SPLP deneyi liç çıkarımı yapılarak, çıkarım çözeltisi içerisindeki Fe⁺², Cr⁺⁶, toplam Cr ve SO₃ miktarı literatüre uygun olarak laboratuvar şartlarında (Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Laboratuvarında) analiz edilmiştir. Analizler HACH DR-2000 spektrofotometresi ile yapılmıştır. Liç ekstraksiyon aletinden çıkarılan numunelerin ilk olarak son pH değerleri ölçülür (Şekil 6). Son pH ölçümü yapılan numuneler için spektrofotometre ile Tablo 2’deki analizler gerçekleştirilir (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)

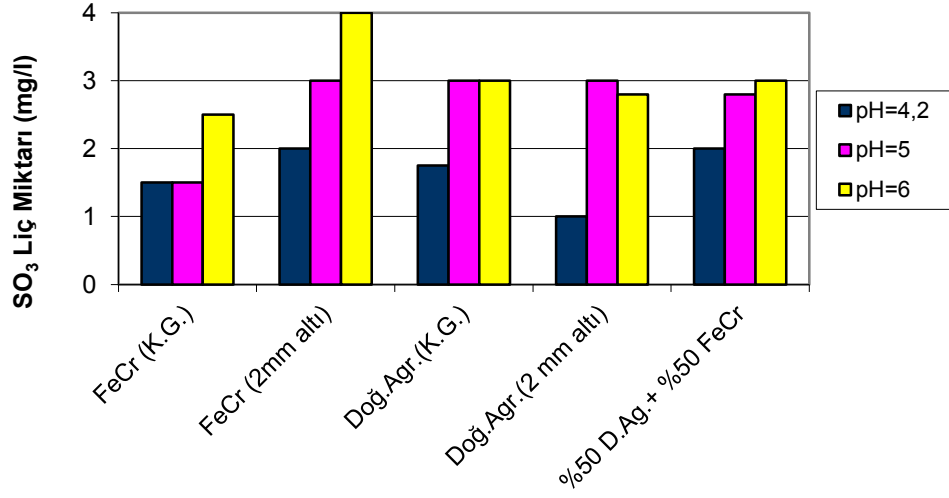
ARANAN MADDE	ANALİZ METODU
Cr ⁺⁶	1,5 - Diphenycarbohydrazide Method, 0,060 Mg/L
Toplam Cr	Alkaline Hypobromide Oxidation Method, 0-0,60 Mg/L
Fe ⁺²	FerroZine Method, 0-1.300 Mg/L
Toplam Fe	FerroVer Method, 0-3.00 Mg/L
SO ₃ (Sülfid)	Iodate-İodide Buret Titration Method
(Cr ⁺³ , Toplam Krom belirlendikten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

3. LİÇ DENEY BULGULARI ve RİSK DEĞERLENDİRMESİ

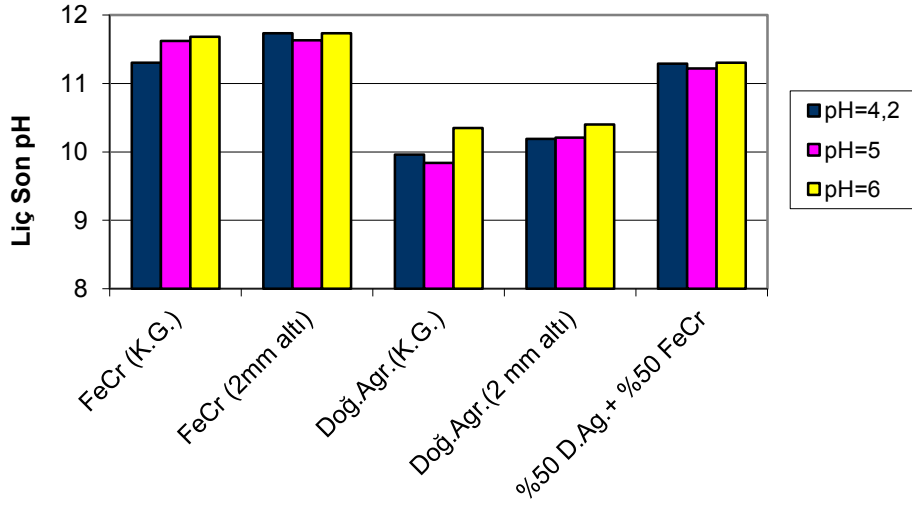
SPLP Leach (Liç) deneyi sonucu FeCr cürufu ve doğal agrega için elde edilen bulgular Şekil 8 - Şekil 12'de verilmiştir.

FeCr cürufunun kimyasal kompozisyonu içerisinde %1,5-2 civarında Fe bulunmasına rağmen, liç deneylerinde Fe ye rastlanmamıştır. Bu metalin çözelti ortamına salınım yapmadığı anlaşılmaktadır.

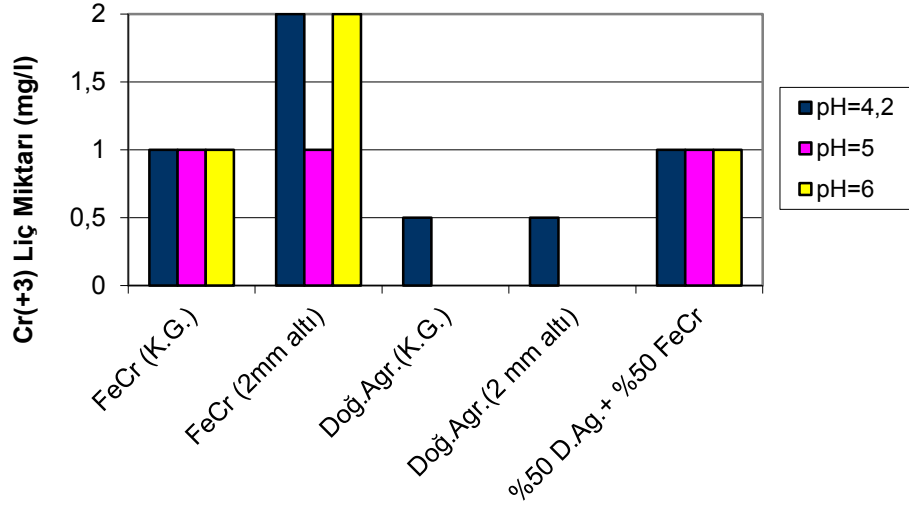
Şekil 8'de FeCr cürufunun ve Doğal agreganın SO₃ değerleri verilmiştir. Cüruf ekstraksiyon sıvısı içerisindeki SO₃ miktarı 1 - 4 mg/l aralığında doğal agregaya benzer şekilde düşük sonuçlar vermiştir.



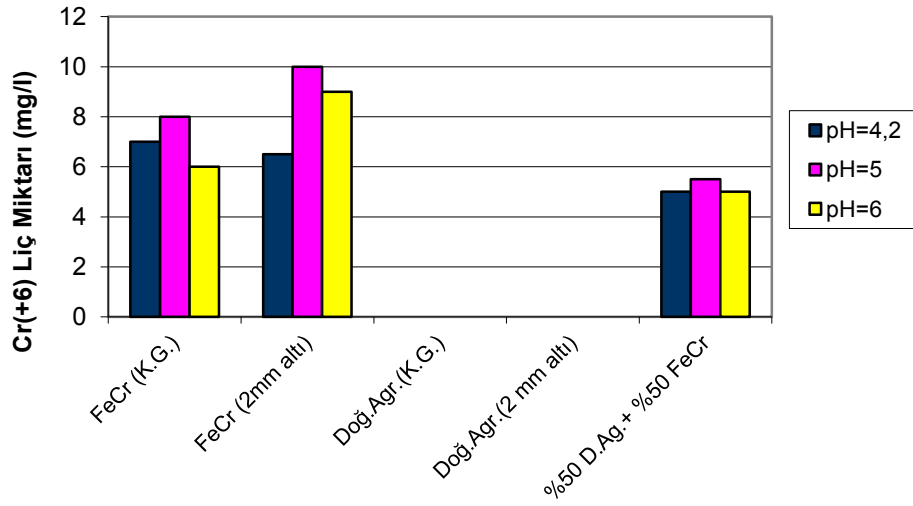
Şekil 8. Doğal agreganın ve FeCr cürufunun SO₃ değerleri



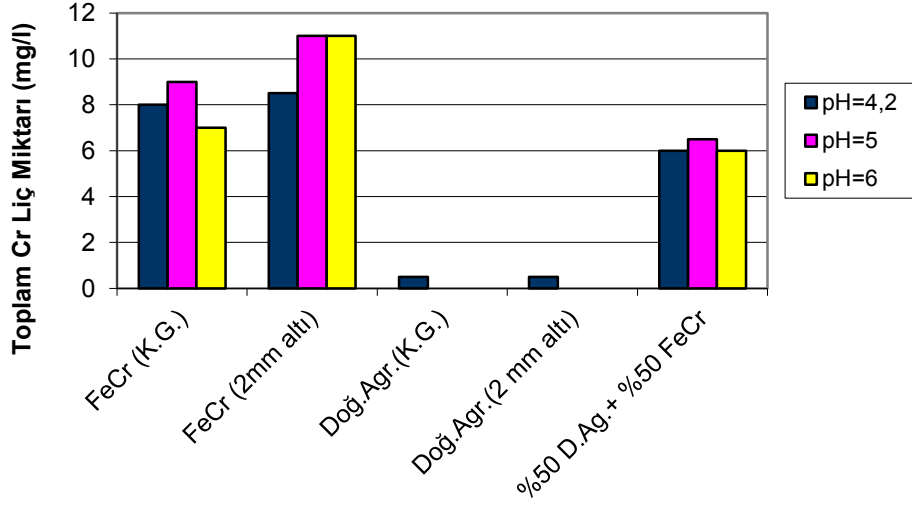
Şekil 9. Doğal agreganın ve FeCr cürufunun “Son pH” değerleri



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



Şekil 11. Doğal agreganın ve FeCr cürufunun Cr^{+6} liç çıkarmı grafiği



Şekil 12. Doğal agreganın ve FeCr cürufunun “toplam Cr” liç çıkarmı grafiği

Şekil 9’deki 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.

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

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 çözeltiliye 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.

FeCr cürufu için toplam Cr ekstraksiyonu değerinin sınır değeri aştığı gözlenmektedir. Uygulanan liç çıkarmı yöntemi (SPLP) gereği deney yapılan katı malzeme doğrudan sıvı içerisine 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, 2001). Gerçek arazi şartlarında bu değerlerin daha düşük olacağı tahmin edilmektedir.

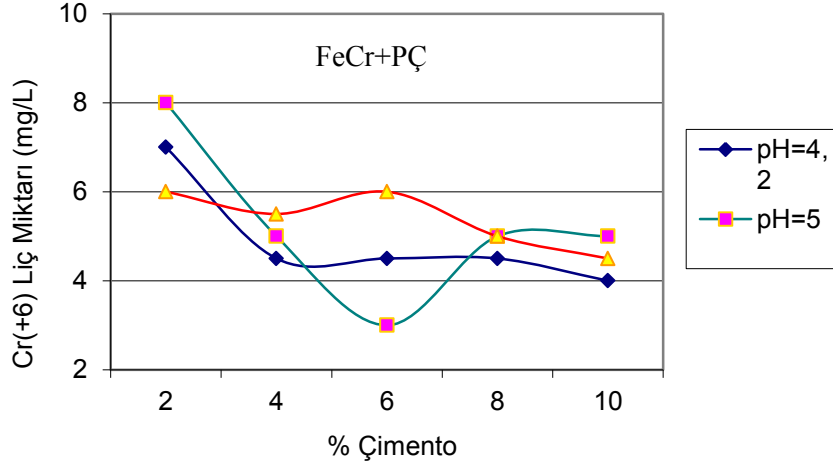
Çimento Bağlayıcı ile Karıştırılan Cürufların Liç Deney Bulguları

Cüruflar 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.

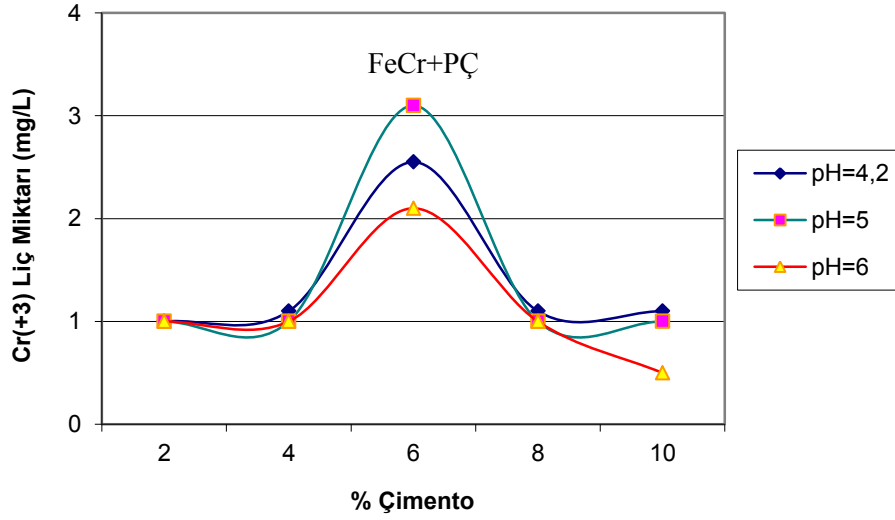
Şekil 13 – Şekil 16’da çimento bağlayıcı ile %2 ila %10 oranlarında karıştırılan FeCr cürufunun liç çıkarımları görülmektedir. Bu grafiklerden FeCr cürufunun Portland çimentosu ile birlikte kullanılması durumunda Cr^{+6} ve toplam Cr çıkarımlarının azaldığı görülmüştür. Özellikle toplam Cr değerine bakıldığında %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. Literatürde de bu hususa değinildiği bilinmektedir (Kindness, 1994; Conner, 1997).

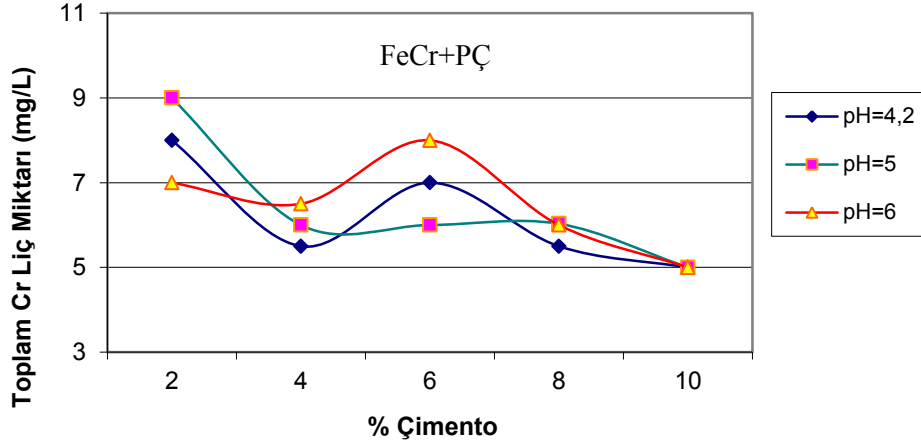
Liç deney bulguları neticesinde, FeCr cürufunun doğal agregalar ile karıştırılarak yada çimento gibi bir bağlayıcı ile stabilize edilerek kullanılması, çevresel etkileri açısından daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.



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

4. SONUÇLAR

Deney bulguları neticesinde, kapalı gradasyonlu (KG) cüruf karışımların Cr ekstraksiyon miktarı, 2 mm altı malzemeye göre daha düşüktür. Diğer bir deyişle ince taneli malzemelerin çözeltiliye 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} çözeltilde 0,5 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Liç deneylerinde %100 FeCr cürufunun SPLP yöntemi ile ekstraksiyonu sonucunda toplam Cr değerinin sınır değerleri aştığı gözlenmiştir. Uygulanan liç çıkarım yöntemi gereği, deney yapılan malzeme doğrudan sıvı içerisine 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 suarına 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.

- Ilıcalı, 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, 92-93.
- Karaşahin, M., Kayacan, R., Tığdemir, 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, 153–165.
- Ramirez, T., 1992. Steel Slag Aggregate in Bituminous Mixtures - Final Report, Pennsylvania Department of Transportation, 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, s.149.
- US. 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.
- US. EPA, 1999a. Hazardous Waste Identification Rule (HWIR): Identification and Listing of Hazardous Wastes, U.S. Environmental Protection Agency.
- US. 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.
- US. 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,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, 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 Cürufları ile Silis Dumanının Yol Üstyapısında Kullanımının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora tezi, Isparta.
- Yılmaz, A., Karaşahin M., 2007. Granüler Yol Malzemeleri Üzerinde Uygulanan Dinamik Deney Yöntemleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, 15. Yıl Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Bildiriler Kitabı III, Isparta.
- Zelic, J., 2005. Properties of Concrete Pavements Prepared with Ferrochromium Slag as Concrete Aggregate, *Cement and Concrete Research* 35, 2340 – 2349.