



2. ULUSAL KATI ATIK YÖNETİMİ KONGRESİ 18-20 EKİM 2010

KAYIT FORMU

Adı ve Soyadı : _____

Unvanı/Görevi : _____

Kurum/Kuruluş : _____

Adres : _____

İş Telefonu : _____

Cep Telefonu : _____

E-posta : _____

Kongreye;

Bildiri ile katılacağım.

Bildiri Başlığı : _____

Poster ile katılacağım.

Bildiri Başlığı : _____

Dinleyici olarak katılacağım.

DÜZENLEYENLER

Kongre, Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi'nin (KAKAD) işbirliği ile Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından düzenlenmektedir.

ONUR KURULU

Prof. Dr. Veysel EROĞLU	Çevre ve Orman Bakanı
Macit ÖZCAN	Mersin Büyükşehir Bel. Bşk.
Prof. Dr. K. Süha AYDIN	Mersin Üniversitesi Rektörü
Prof. Dr. H.İbrahim EKİZ	MEÜ.Mühendislik Fakültesi Dekanı
Prof. Dr. Gülay ALTAY	Kriton Curi Çevre Vakfı Başkanı

BİLİM KURULU

Prof. Dr. Günay KOCASOY, Başkan	KAKAD, Boğaziçi Üni.
Prof. Dr. Fikret ADAMAN	Boğaziçi Üni.
Prof. Dr. Lütfü AKÇA	Çevre ve Orman Bakanlığı
Doç. Dr. Erdem Ahmet ALBEK	Anadolu Üni.
Prof. Dr. Nesrin ALGAN	Ankara Üni.
Prof. Dr. Necdet ALPASLAN	KAKAD, Dokuz Eylül Üni.
Doç. Dr. Ahmet ALTIN	Karaelmas Üni.
Prof. Dr. İbrahim ALYANAK	Pamukkale Üni.
Prof. Dr. Semiha ARAYICI	KAKAD, İstanbul Üni
Prof. Dr. Aysel ATIMTAY	Orta Doğu Teknik Üni.
Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN	Selçuk Üni.
Prof. Dr. Nuri AZBAR	Ege Üni.
Doç. Dr. Müfide BANAR	KAKAD, Anadolu Üni.
Prof. Dr. Abdurrahman BAYRAM	Dokuz Eylül Üni.
Doç. Dr. Nilgün CILIZ	KAKAD, Boğaziçi Üni.
Doç. Dr. Necla ÇAĞLARIRMAK	KAKAD, Celal Bayar Üni.
Prof. Dr. Avni ÇAKICI	Atatürk Üni.
Prof. Dr. Ahmet DEMİR	Yıldız Teknik Üni.
Prof. Dr. Göksel DEMİRER	Orta Doğu Teknik Üni.
Doç. Dr. Ertan DURMUŞOĞLU	KAKAD, Kocaeli Üni.
Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ	KAKAD, Işık Üni.
Prof. Dr. Ertuğrul ERDİN	Dokuz Eylül Üni.
Prof. Dr. Hunay EVLİYA	KAKAD, Çukurova Üni.
Prof. Dr. Ayşe FİLİBELİ	KAKAD, Dokuz Eylül Üni.
Prof. Dr. Sultan GİRAY	Çukurova Üni.
Prof. Dr. Hüseyin GÖKÇEKUŞ	Yakın Doğu Üni.
Prof. Dr. M. Talha GÖNÜLLÜ	Yıldız Teknik Üni.
Prof. Dr. Bülent KESKİNLER	Gebze Yük. Tek. Ens.
Prof. Dr. Cumali KINACI	İstanbul Teknik Üni.
Prof. Dr. Erhun KULA	Bahçeşehir Üni.
Prof. Dr. Halil KUMBUR	Mersin Üni.
Doç. Dr. Nurcan KÖLELİ	Mersin Üni.
Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK	İstanbul Teknik Üni.
Prof. Dr. Mustafa ÖZYURT	Mersin Üni.
Prof. Dr. Ayşegül İYLİKÇİ PALA	KAKAD, Dokuz Eylül Üni.
Prof. Dr. Ahmet SAMSUNLU	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Dilek SANİN	KAKAD, Orta Doğu Teknik Üni.
Doç. Dr. Selim SANİN	Hacettepe Üni.
Prof. Dr. Delya SPONZA	KAKAD, Dokuz Eylül Üni.
Prof. Dr. İlhan TALINLI	İstanbul Teknik Üni.
Prof. Dr. Fadime TANER	KAKAD, Mersin Üni.
Prof. Dr. Bülent TOPKAYA	KAKAD, Akdeniz Üni.
Prof. Dr. Zerrin TOPRAK	Dokuz Eylül Üni.
Prof. Dr. İsmail TORÖZ	İstanbul Teknik Üni.
Prof. Dr. Olcay TUNAY	KAKAD, İstanbul Teknik Üni.
Doç. Dr. Emine UBAY ÇOKGÖR	İstanbul Teknik Üni.
Prof. Dr. Kahraman ÜNLÜ	KAKAD, Orta Doğu Teknik Üni.
Prof. Dr. Ülkü YETİŞ	Orta Doğu Teknik Üni.
Dr. Caner ZANBAK	KAKAD, Türkiye Kimya San. Der.



2. ULUSAL KATI ATIK YÖNETİMİ KONGRESİ

UKAY 2010

18-20 EKİM 2010

MERSİN ÜNİVERSİTESİ MERSİN

Atık Mermer Tozunun Beton İçerisinde Kum ile Yer Değiştirilerek Kullanılabilirliğinin Araştırılması	488
<i>Kürşat Esat Alyamaç, Fatih Cetişli</i>	
Türk İnşaat Sektöründe Katı Atık Yönetimi Konusunda Farkındalıkların Belirlenmesi	497
<i>Mustafa Öztürk, Hilmi Coşkun</i>	
Yüksek Fırın Cürufunun İnşaat Sektöründeki Yeri ve Önemi	505
<i>Gamze Bilgen, Aydın Kavak, S. Taner Yıldırım, Ömer F. Çapar</i>	
Sıkıştırılmış Killerde Hacimsel Büzölmelerin Sentetik Lif Kullanılarak Azaltılması	514
<i>Ender Başarı, Fatih Işık, A. Hakan Ören, Okan Önal</i>	
Petrokimya ve Zeytin İşleme Endüstrisi Atık Çamurlarının Sonikasyonla Stabilizasyonunu Etkileyen Proses Parametreleri	520
<i>Delia Teresa Sponza, Rukiye Öztekin, Oğuzhan Gök</i>	
Aritma Tesisi Çamurlarının Biyogaz Oluşumuna ve Kompozisyonuna Etkileri	530
<i>Günay Kocasoy, Gıyasettin Güneş</i>	
Endüstriyel Aritma Çamurlarından Ağır Metal Giderim Yöntemleri	540
<i>Naim Sezgin, Emine Elmaslar Özbaş, C. Emre Gökçe, Serdar Aydın, H.Kurtuluş Özcan, Sinan Güneysu, Serkan Emik, Işıl Acar, Nilgün Balkaya</i>	
Nonil Fenollerin Çevre Sistemlerinde ve Aritma Çamurunda Varlığı ve Etkileri	552
<i>Seçil Ömeroğlu, Fadime Kara, Muneer Ahmed, Hande Bozkurt, F. Dilek Sanin</i>	
Gıda Endüstrisi Atık Çamurlarının Evsel Atıklarla Kompostlaştırılması	564
<i>Eyüp Sağdıç, Asude Ateş</i>	
Aritma Çamurlarının Kompostlaştırılmasına Farklı Karışım Maddelerinin Etkisi	576
<i>Tekin Çınar, Selim Gül, Yılmaz Kurtulmuş, Saim Özdemir</i>	
Farklı Stabilizasyon Yöntemlerinin Aritma Çamurlarında DOC Giderimine Etkisi	582
<i>Berrak Özü Türk, Sibel Subaşı, Nil Bayram, Ömer H. Dede, İbrahim Bal</i>	
Aritma Çamurlarının Giderilmesinde Gazlaştırma Teknolojileri	587
<i>Mustafa Tolay, Ron Baileys, Andre Waterschoot</i>	
Aritma Çamurlarının Kompostlaştırılması ve Karşılaşılan Sorunlar	596
<i>Nurdan Aycan, N. Gamze Turan</i>	
Kompost Uygulamasının Potansiyel Toprak Kirliliği Açısından Araştırılması	605
<i>Merve Oya Orkun, Emre Burcu Özkaraova Güngör, Ertuğrul Erdin</i>	
Sızıntı Sularının Fotokimyasal Yöntemle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi	614
<i>Emine Malkoç, Filiz Nuran Acar</i>	
Sızıntı Suyu ve Aşılı İlavasının Kompostlaştırma Prosesine Etkisi	619
<i>Deniz İzlen Çiğçi, Elif Banu Gençsoy, Mahmut Altınbaş, Osman Atilla Arıkan, Levent Öztürk, Şenol Yıldız, Talat Çiğçi, İsmail Çakmak, İzzet Öztürk</i>	
Sızıntı Sularının Arıtılmasında Uygulanan Yasal Mevzuatın Avrupadaki Örneklerle Karşılaştırılması	629
<i>Ahmet Karagündüz, Bülent Keskinler</i>	
Ters Ozmoz Sistemiyle Sızıntı Suyu Arıtımı: Erzurum Örneği	640
<i>İlker Ardıç</i>	

YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ YERİ VE ÖNEMİ

Gamze Bilgen¹, Aydın Kavak², S. Taner Yıldırım², Ömer F. Çapar³

¹ Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi Alaplı MYO, 67850, Alaplı, Zonguldak

² Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Umuttepe kampüsü, 41180, Kocaeli

³ Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 67000, Zonguldak

Özet

Bu çalışmada çelik üretimi esnasında ortaya çıkan, bir yan ürün olan “Yüksek Fırın Cürufu (YFC)” nun inşaat sektöründe kullanılabilirliği irdelenmektedir. Demir çelik fabrikalarında demir ve çelik üretiminin yaklaşık % 25-30’u oranında YFC elde edilmektedir. Bünyesinde kil ve silt bulunmaması, iyi bir sürtünme özelliğine sahip olması ve pürüzlü bir yüzeye sahip olması nedeni ile aderansı yüksektir. Bunun yanında donma-çözölmeye karşı gösterdiği direnç de oldukça büyüktür. Ayrıca sahip olduğu yüksek soyulma direnci ve yoğunluk, düşük su emme yüzdesi ve öğütölüp katıldığında bağlayıcılığı artırması gibi avantajları, cürufun karışımlarda kullanılabilirliği açısından önem taşımaktadır. Bu özellikler, inşaat sektöründe agrega ve puzolan olarak tercih edilmesine sebep olmaktadır. Özellikle puzolan olarak çimento ve betonda kullanılabilirliği üzerine birçok çalışmalar vardır ve mevcut durumda “Cürufu Çimento” olarak da üretimi oldukça yaygındır. Duvar bloğu yapı elemanı üretimlerinde, zemin stabilizasyonunda ve yalıtım sektöründe de oldukça ilgi görmektedir. Zemin iyileştirme çalışmalarında özellikle killi zeminlerin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalardan alınan sonuçlar da olumlu yöndedir. Bu çalışmada YFC ve inşaat sektöründe değişik şekillerde kullanımı üzerine yapılan araştırmalar derlenerek beton ve zemin stabilizasyonunda kullanılmasıyla ilgili yazarlar tarafından yapılan çalışmaların sonuçları ile birlikte sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Beton, cüruf, yüksek fırın cüruf

BLAST FURNACE SLAG AND ITS IMPORTANCE IN THE CONSTRUCTION SECTORS

Abstract

In this study, blast furnace slag (BFS) which is a by-product of the iron and steel-making process was investigated for its usability in the construction industry. Iron and steel factories produce blast furnace slag approximately 25-30 % of total weight of the production of steel. Since there is no clay and silt contained within the slag and it has high frictional properties due to rough surface of the particles, it provides strong mechanical bond. The freeze-thaw resistance is quite large; moreover advantages of its high peeling resistance and density, low water absorption percentage and stronger adhesive behavior when grounded and mixed are crucial in terms of usability as a binder material. These features are preferred as aggregate and pozzolan in the construction industry. Especially, there are many studies on using the slag as pozzolan in cement and concrete. "Slag Cement" as the production is quite common use in the construction projects. Block walls as building components, soil stabilization and insulation applications are also very popular. Ground improvement projects for improving engineering properties of clayey soils and the results of the studies are positive. In this study, usability of BFS in construction sectors in different ways is presented by some previous studies compiled by the authors.

Keywords: Blast furnace slag, concrete, slag

1. GİRİŞ

Cüruf çelik üretimi sırasında oluşan bir atıktır. Ancak bu tanım artık “Çelik üretimi sırasında ortaya çıkan, ekonomik bir değeri olan yan ürün” olarak değişmektedir. Bir ton çelik üretiminden ortalama 250 kilo, yani %25 oranında cüruf meydana gelmektedir. Ereğli Demir Çelik fabrikasında yılda yaklaşık 600,000 ton YFC ortaya çıkmaktadır. Üretilen cürufun hemen hemen tamamı başta inşaat sektörü olmak üzere değişik sektörlere satılmaktadır (Erdemir, 2008).

ABD 1990 yılında “The Clean Air Act Amendments” (Temiz Hava Hareketi Kanun Düzenlemeleri) yüksek sülfürlü bitüm kömürü yakan orta batıda, sülfür dioksit emisyonunu azaltmak için bir karar almıştır. Bu karar kömür yakmayla üretilen, uçucu kül, yanan cüruf ve kükürt giderici ucucu gaz (flue gas desulfurization FGD) gibi maddelerin geniş miktarlarda üretilmesine yol açmıştır (Butalia vd., 2000).

Yapılan bir çalışmaya göre Kazakistan’da 475 hektarlık bir alanda 12 milyon ton cüruf atığı bulunmaktaydı ve yeraltı suyu ile havaya karışmak sureti ile tehlike oluşturuyordu. Ancak bu cüruf arıtma işlemlerinde bor cevheri eklenmek sureti ile çakıl haline getirilerek kullanılmaya başlandı ve böylece atık sahalarının % 70’i boşaltıldı. Kazakistan’da satış fiyatı 1,10\$/ton’dur ve 2003’teki tahmini kazanç 110,670 \$’dır (Grinenko, 2002).

Polonya’da yapılan bir araştırmaya göre elektrik üretim istasyonları ve termal güç istasyonlarından toplam 267 milyon tonun üzerinde atık elde edilmiştir. Bu atıkların önemli bir kısmı kül ve cüruftur. Her 1 kWh elektrik veya ısıtma enerjisi üretiminden, kullanılan kömürün kalitesine bağlı olarak yaklaşık 35 ile 220 gr. civarında uçucu kül ve cüruf elde edilmektedir. Bunlar dolgu olarak sığ göllerde kullanılmaktadır (Steekiwicz ve Adamska, 1997).

Finlandiya’da yılda yaklaşık 6 milyon tonun üzerinde atık oluşmaktadır. Bunlardan cüruf, beton ve yol yapımında kullanılmaktadır (Mroueh ve Wahlström, 2002). Kanada’da yapılan bir çalışmaya göre cüruf 500–900 °C de ısıtıldığında içindeki serbest kalsiyum oksit, kalsiyum karbonata dönüşmekte ve bu yol yapımı için çok ideal bir malzemeye dönüşmektedir (Mikhail ve Tucotte, 1997).

Birçok ülkede ve ülkemizde cüruf üzerine yapılan çalışmalarda çok olumlu sonuçlar alınmıştır. Cürufun yeraltı suyundan etkilenmediği ve arazide kullanımının uygun olduğu ve YFC’nun yol stabilizasyonunda kireç ile birlikte katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi görülmüştür (Bilgen, 2004; Motz ve Geiseler, 2001).

Bu çalışmada, cürufun üretimi, özellikleri ile inşaat sektöründeki önemi ve kullanım şekillerine değinilerek, cürufu beton ve zemin iyileştirmeleri üzerine yazarlar tarafından yapılan araştırmalar derlenmiştir.

2. ÇELİK ÜRETİMİ VE CÜRUFUN ELDE EDİLİŞİ

Çeliğin üretim aşaması kısaca şu şekilde özetlenebilir. Yoğun olarak demir filizleri içeren kaya yapıları “Yüksek Fırın” denilen fırınlarda 1400 °C’de sıcaklığa maruz bırakılırlar ve bu sıcaklıkta demir filizleri erir. Eriyen demir filizleri, birim hacim ağırlıklarının yüksek olması sebebi ile aşağı doğru hareket etmeye başlarlar ve akkor halinde akarlar. Akkor halinde, eritilmiş demir; vagonlarla çelikhaneye taşınır. Geriye ise 1400 °C’de sıcaklığa maruz kalmış olan kayaç kalıntıları kalır ve bu kalıntı açık havada soğumaya bırakılır. Soğuduktan sonra 2-5 mm arasında dane boyutuna sahip kum görüntüsüne sahip bir hal alır. Bu malzemeye Yüksek Fırın Cürufu (YFC) denir.

Vagonlarla çelikhaneye taşınan, akkor halindeki demirin içerisine, karbon ve istenilen özelliklere göre diğer elementler eklenir. Bu esnada, akkor halindeki demire bol miktarda “Kireç” eklenmektedir. Elde

edilen karışım istenilen şekilde boyutlandırılır ve istenilen özelliklere sahip çelik elde edilmiş olur. Çelikhaneadaki karışım işlemlerinde de geriye bir takım kalıntılar kalmaktadır. Buradan çıkan kalıntı malzemeye de “Çelik Cürufu” denir. Bu kalıntı malzemeleri, içerisindeki CaO/SiO₂ oranı, 1 den küçük olması durumunda asitik, 1’den büyük olduğunda bazik olarak adlandırılmaktadır.

3. CÜRUFUN KİMYASAL VE FİZİKSEL YAPISI

Çelik Üretimini özetlendiği birinci bölümden anlaşıldığı üzere, iki farklı cüruf söz konusudur:

1. Yüksek Fırın Cürufu (YFC)
2. Çelikhane Cürufu “Basic Oxygen Furnace” (BOF)

Elde edilişleri farklı olan bu iki cürufun kimyasal ve fiziksel özellikleri farklılıklar göstermektedir. Erdemir Ar- Ge Laboratuvarından alınan veriler (2008) ışığında hazırlanan cürufar arasındaki kimyasal analiz farklılığı Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. YFC kimyasal analizi

	Yüksek Fırın Cürufu	Çelikhane Cürufu
CaO	36-43	48-54
CaO Serbest	-	1-10
SiO ₂	35-39	11-18
Al ₂ O ₃	8-12	1-4
MgO	4-12	1-4
Toplam Fe	<0,5	14-19
Toplam Mn	<0,5	1-4
Na ₂ O	<0,5	-
K ₂ O	<0,7	-
S	1,2-1,6	-
CaO/SiO ₂	1,0-1,2	2,8-4,4

Demir cevherleri doğada esas olarak içerdikleri demir oksit bileşimlerinin yanı sıra silis, alümin, kükürt, fosfor ve mangan gibi bazı elementleri de bünyesinde bulundurmaktadır. (Erdoğan,1995). Cürufun kimyasal yapısı, demir cevherinin kimyasal yapısını yansıtmaya karşın, cürufu oluşturan kireç, silis, alüminyum yüzde miktarları önemli şekilde değişiklikler göstermektedir (Tablo 2). Bu değişiklikler sadece demir cevherinin yapısından değil, kok kömüründen, ekonomi sağlamak için farklı demir cevherleri ile hazırlanan karışımlardan ve yüksek fırındaki yüksek dereceli sıcaklıklardan meydana gelmektedir (Erdemir, 2003).

Kendi halinde soğumaya bırakılan cürufun granülometrisi çok düzensizdir. Ancak eleme ve kırma işlemine tabii tutulduğunda istenilen granülometriye getirilebilir. Havada soğutulan YFC kırılıp elendiği zaman fiziksel özellikleri genel olarak diğer agregalara nazaran özel avantajlar göstermektedir. Bünyesinde kil ve silt bulunmaması, iyi bir sürtünme özelliğine ve pürüzlü bir yüzeye ve dolayısı ile iyi bir adhezyona sahip olması üstün özellikleridir. (Atanur,1983).

Tablo 2. Dünyadaki yüksek fırın cüruflarının karşılaştırmalı kimyasal analizi

	ABD ve Kanada	Güney Afrika	Avustralya	Türkiye	Portland Çimentosu
CaO	29-50	30-40	38-44	34-41	60-67
SiO ₂	30-40	30-36	33-37	34-36	17-25
Al ₂ O ₃	7-18	9-16	15-18	13-19	3-8
Fe ₂ O ₃	0,1-1,5	-	0-0,7	0,3-2,5	0,5-6,0
MgO	0-19	8-2,1	1-3	4-7	0,1-4,0
MnO	0,2-1,5	-	0,3-1,5	1-2,5	-
S	0-0,2	1-1,6	0,6-0,8	1-2	-
SO ₃	-	-	-	-	1-3

Sıvı haldeki cürufa belirli miktarda su, buhar ve hava püskürtülerek gözenekli bir yapı sahip olan genişletilmiş YFC elde edilebilir. Bu cürufun, özgül ağırlığı 1100-2200 kg/m³'tür. Bu değer, normal agregalara nazaran oldukça düşüktür (OECD, 1977).

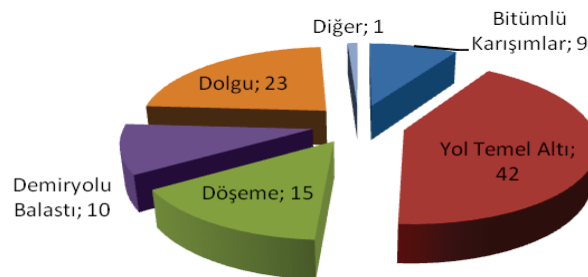
Çelikhane cürufunun içerisinde oldukça yüksek miktarda kireç ve demir bulunmaktadır (Tablo 1). YFC'nun rengi oldukça açık, krem renginde iken, çelikhane cürufunun içindeki yüksek miktardaki demir ve magnezyum sebebi ile renk koyu gridir.

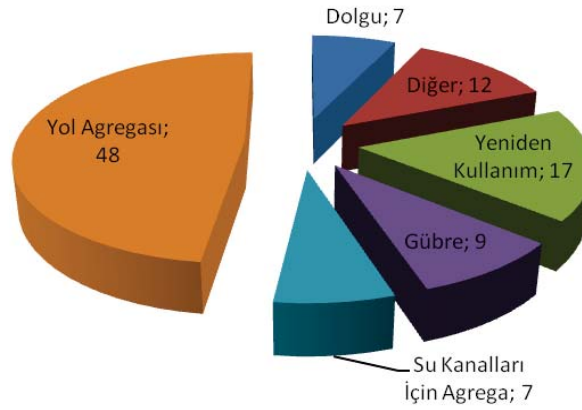
Cürufların türlerine göre, yoğunlukları ve fiziksel özellikleri değişiklikler gösterebilir (Hosking, 1967). Cürufun, donma-çözülmeye karşı gösterdiği mukavemet oldukça büyüktür. Ayrıca çelik cürufunun sahip olduğu yüksek soyulma direnci ve yüksek yoğunluğu düşük su emme yüzdesi gibi avantajları, bu cürufun bitümlü karışımlarda kullanılabilirliği açısından önem taşımaktadır (OECD,1977).

Cürufun ısı ızalasyonu yapabilme özelliğinin yanısıra işlenme kolaylığı özelliği, ateşe ve donma-çözülmeye karşı yüksek dayanıklılık özellikleri de bulunmaktadır. Bu avantajlar sayesinde yapı türüne bağlı olarak toplam maliyette % 10 - % 15 oranında tasarruf sağlanabilmektedir (Güner,1993; Çevik,1993).

4. CÜRUFUN KULLANIM ALANLARI

Cüruf; demiryolu balastı, beton agregası, çimento sanayi, briket ve tuğla yapı, prefabrik, eleman ve blokların yapımı, asfalt agregası, dolgu malzemesi, beton agregası, demiryolu, yalıtım, cam üretimi, yem sanayi, tarım ve çevre uygulamaları gibi geniş bir alanda kullanılabilir. Cürufu etkin şekilde kullanan Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'nın cürufu hangi oranlarda nerelerde kullandıkları Şekil 1 ve 2'de verilmiştir (Belli, 1975; Güner, 1993; www.Nationalslagassoc.org, 2009; Atanur,1983; Erdoğan,1993; MAM,2005).

**Şekil 1.** Cürufun kullanım alanları (Amerika Birleşik Devletleri)



Şekil 2. Cürufun kullanım alanları (Kanada)

Cüruflar doğrudan veya elenmiş olarak kullanlanılabilir. Genel olarak dağılım şu şekildedir:

Doğrudan Kullanılan Alanlar:

- Beton agregası**
- Hafif beton**
- Hafif dolgu malzemesi**
- Yalıtım**

Öğütülmüş Olarak Kullanılan Alanlar:

- Çimento yapımı**
- Beton agregası**
- Cam Sanayi**
- Harç Enjeksiyonu**
- Zemin Stabilizasyonu**

Özellikle YFC çok aranan ve çok iyi derecede verim alınabilen bir malzemedir. Yüksek durağanlık, geçirimsizlik, yüksek mukavemet, ateşe dayanıklılık, ekstra sertlik, yalıtkanlık, hafiflik özelliklerinden dolayı tercih edilir.

Taze betondaki işlenebilmeyi artırmaktadır, terlemeyi azaltmaktadır. Hidratasyon ısısını azaltarak, priz süresini uzatmaktadır. Sertleşmiş betonun su geçirimliliğini azaltmaktadır ve sülfata dayanıklılığını artırmaktadır (Beycioğlu vd., 2008).

5. YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN BETONDAKİ KULLANIMI

Cüruflar betona genellikle puzolan olarak katılmaktadır. Puzolan olarak beton ya da çimento üretimi esnasında katılarak beton özelliklerini iyileştirici yönde etki sağlaması beklenmektedir.

Çimentonun YFC ile yüksek oranlarda (% 30 ve % 40) yer değiştirilmesi mümkün olabilmektedir. Bunun sonucu, özellikle erken dayanımlarda bir miktar düşüşler olmaktadır. Ancak, puzolanik reaksiyonun gelişmesiyle birlikte 28 günlük dayanımlarda bu farkın kapandığı görülmektedir. Daha uzun sürede ise dayanımlar katkısız beton ile aynı ya da daha yüksek olabilmektedir. YFC içeren betonlar suda ve sülfatta bekletildiğinde, genleşmelerin azaldığı ve standart limitlerinin sağlandığı görülmüştür. (Yazıcı, 2006). YFC ve uçucu kül katkılı betonların sülfat dayanıklılığının irdelendiği çalışmalarda, en iyi performansı YFC kullanılan betonların gösterdiği ifade edilmiştir (Li ve Zhao, 2003).

Katı ve kuru tuzlar betona zarar vermemektedir. Fakat su ile birlikte bulunmaları sonucu, sertleşmiş çimento harcıyla reaksiyona girmektedir. Bazı killer alkali magnezyum ve kalsiyum sülfat gibi kimyasal maddeler içermektedir, bunlar yer altı suyuyla birleşince zararlı etki ortaya çıkarmaktadır. Zemin yüzeyinde oluşan tuz birikintileri çoğunlukla sodyum sülfattır, fakat magnezyum sülfata da birçok bölgede rastlanmaktadır. Na_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve C_3A ile, CaSO_4 ise yalnızca C_3A ile reaksiyona girmektedir. Deniz suyunda da bulunabilen MgSO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve C_3A 'nın yanı sıra kalsiyum silikat hidrate (C-S-H) yapıyla da reaksiyona girebilmektedir (Baradan vd., 1987; Neville, 1998). Reaksiyonun gelişimini, sülfatlı ortamın şiddeti, betonun geçirimsizliğini, betonda kullanılan çimentonun kimyasal yapısı ve suyun varlığı etkilemektedir. Sülfat dayanıklılığını arttırmak için sülfata dayanıklı çimento ile birlikte uçucu kül, YFC gibi puzolanik katkıları kullanılabilir. Puzolanlar, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'i bağlayarak sülfatlarla reaksiyonu önlerler ve sadece Portland Çimentosu kullanımı ile kıyaslandığında bağlayıcı içindeki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve C_3A oranının azaltılmasını sağlamaktadır (Akman, 1992; Mehta ve Monteiro, 1997; Yeğinobalı, 1999; Özdemir, 2006).

Bir başka geri dönüştürülmeye çalışılan malzeme olan camın puzolan olarak içine katıldığı beton üzerine yapılan bir çalışmada, bağlayıcı olarak öğütülmüş atık şişe camları ve endüstriyel yan ürünler içeren harçların özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, iki farklı renkte camın tek başlarına ve cama ilaveten YFC'nun çimento ile çeşitli oranlarda yer değiştirmesi suretiyle oluşturulan harç numuneleri üretilmiştir. Numunelerin basınç dayanımı, NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 gibi sülfatlı bileşiklere (tuzlara) ve yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılıkları araştırılmıştır. Ayrıca Alkali Silika Reaksiyonu (ASR) yönünden genleşme ölçümleri yapılmıştır. Çimento ile, %10 oranında renksiz cam-YFC yer değiştirmesi ile elde edilen örneklerde, yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir. Diğer durabilite deneylerinde ise bütün yer değiştirme oranlarında sadece çimento ile referans olarak hazırlanmış olan beton örneklerine kıyasla yüksek sonuçlar elde edilmiştir. ASR etkisinde genleşme değerlerinde; cam yer değiştirmesi, % 30 yer değiştirmeye kadar olumlu sonuç verirken % 50 yer değiştirmede genleşme değeri referanstan yüksek olmuştur. YFC ise bütün yer değiştirmelerde iyi sonuçlar verirken birlikte kullanım ile % 50 yer değiştirmede görülen camın kötü etkisini azaltmıştır. Yüksek sıcaklık etkisinde bütün yer değiştirme oranları referanstan yüksek sonuç vermiştir (Aşık vd.,2004; Özkan, 2007).

Normal ve düşük dayanımlı mineral katkılı betonların sünme ve rötre deformasyonlarını incelenmek amacı ile yapılan bir çalışmada, mineral katkıları olarak silis dumanı, uçucu kül ve öğütülmüş YFC kullanılmıştır. Rötre ve sünme deformasyonlarının deneysel değerlerinin tahmin edilmesi için ise modeller kullanılmıştır. Mineral katkılı ve referans betonlardan elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, mineral katkıların düşük dayanımlı betonların zamana bağlı deformasyonları üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı, buna karşın, normal dayanımlı betonlarda sünme ve rötre değerlerinde düşüşe neden olduğu belirlenmektedir (Akperov, 2006).

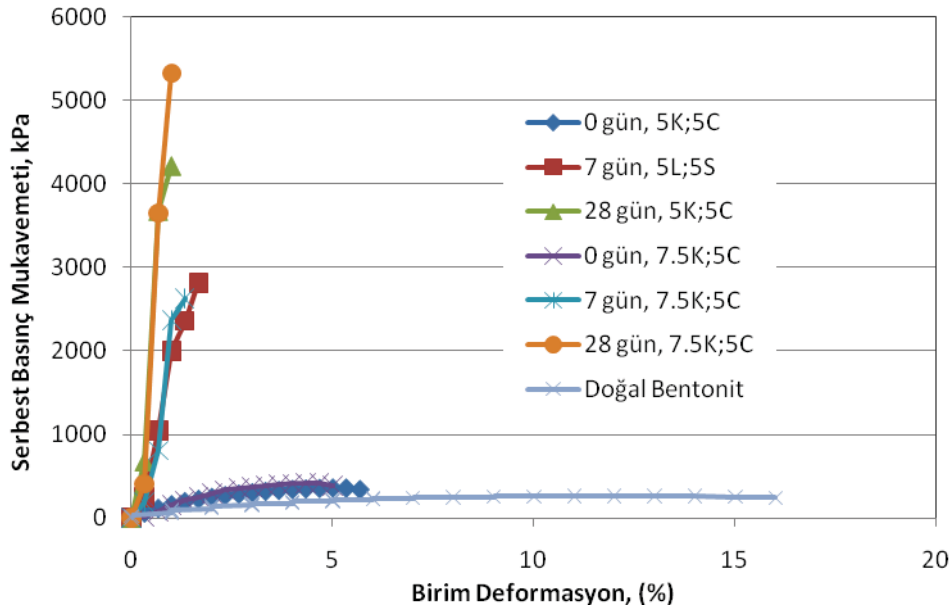
Kendiliğinden yerleşen beton, karışımlarında normal betona kıyasla çok miktarda bağlayıcı maddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla uçucu kül, YFC ve taş tozu gibi malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Yazıcı, 2004). Literatürde uçucu kül ya da YFC birçok kullanılarak yürütülen birçok araştırma bulunmaktadır. Bunlardan birinde UK ve YFC, ağırlıkça % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında Portland çimentosu ile ikame edilerek SA katkılı betonlar üretilmiştir. Betonda uçucu kül ve YFC miktarı arttıkça beton karışımlarının işlenebilirliği azalmaktadır. YFC ikameli betonlarda çökme değerleri elde edilmiştir. Buna karşılık basınç yönünden çimento ile en iyi ikame değerleri uçucu kül için %10'la sınırlı kalırken, YFC için %20 civarında görülmüştür (Yaprak, 2004).

6. CÜRUF VE ZEMİN İYİLEŞTİRME KONULU ÇALIŞMALAR

Cürufun inşaat sektöründeki diğer bir çalışma alanı da zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılmasıdır (Veth, 2000; Bilgen, 2004; Kavak vd.,2005; Çapar ve Bilgen, 2007). Yazarlar tarafından yapılan bazı araştırmalar aşağıdaki şekilde derlenmiştir:

Öğütülmüş YFC ve kireç bentonit ile değişik oranlarda karıştırılarak basınç deneyine tabi tutulmuştur. Kil zeminin taşıma gücünün 28 gün sonunda 25-30 misline varan artışlar görülmüştür (Bilgen G., 2004). Kil zeminlerin şişme potansiyelinin fazla olmasına karşın, kireçle birlikte uygun oranlarda karıştırılan YFC' nun killerdeki şişmeyi neredeyse yok ettiği deneysel olarak ispatlanmıştır (Bilgen 2004; Kavak ve Bilgen 2005 a,b).

Kireç ve öğütülmüş YFC; sadece bentonit kili üzerinde değil, değişik bölgelerden alınan killer üzerinde de değişik oranlarda denenmiştir. Yapılan çalışmaların hepsinde, serbest basınç dayanımı değerlerinde önemli artışlar meydana geldiği gözlenmiştir ve Şekil 3'te grafikte gösterilmiştir (Çapar ve Bilgen, 2007; Kavak vd, 2009).



Şekil 3. YFC, kireç ve bentonit karışımlarının serbest basınç deneyi sonuçları

Serbest basınç mukavemeti saf bentonit için 260 kPa olmasına rağmen % 7,5 kireç ve %5 curufun katkı olarak kullanıldığında 28 günde 5000 değerini aşmaktadır. Birim deformasyonlar ise % 10-15 mertebelerinde % 1-2'lere düşmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan araştırma sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- YFC; dünyada kullanım alanlarının artmasıyla, giderek önemli bir atık malzeme haline gelmektedir.
- YFC'nun çimento ve beton yapımında oldukça olumlu bir puzolan olduğu bilinmektedir. Özellikle çimento ile ikame ettirilerek hem mühendislik özellikleri daha üstün, hem de daha ucuz beton üretimine olanak vermektedir.
- YFC betonda olduğu gibi zeminde de tercih edilmesi gereken bir malzemedir. Hatta zemine olan katkıları çok daha fazladır ve yol altyapıları için mutlaka tercih edilmelidir.
- YFC özellikleri değişken bir malzeme olduğundan ilgili standart ve şartnameler ışığında özelliklerine bakılarak ve araştırmaları yapılarak beton ya da zemin içinde kullanılmalıdır.

- YFC; hem atık bir malzemenin geridönüşümünü sağlayarak, hem de çimento ve beton gibi diğer malzemelerin CO₂ yayarak verdikleri zararı indirgeyerek, çevre yönünden olumlu bir malzeme haline gelmektedir.
- Demir-çelik fabrikalarının yan ürünü veya atık malzemesi olan çelikhane cürufunun da inşaat sektörü için değerli bir hammaddeye dönüşmesi, ülkemizde bu malzeme üzerine de yapılacak araştırmalara bağlıdır.

KAYNAKLAR

- Akman, M.S., Mazlum, F., Esenli F., “A Comparative Study On Naturel Pozzolans Used İn Blended Cement Production”, *4th Intern. Cosf Of Acı/Canmet On Fly - Ash, Silica – Fume Slag And Natural Pozzolans*, V1, 471-494, İstanbul,1992
- Akperov, A., “Betonun Zamana Bağlı Deformasyonlarının Tahmini”, *İTÜ Dergisi/Dmühendislik* ,5 (3), 155-164, 2006.
- Aşık, İ., Şen, H., Ergintav, Y., Ünsal, A., Şentürk, E., Bayrak, E., “Alkalı Agrega Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocagın İyileştirilmesi”, *Beton Kongresi*, İstanbul, 2004.
- Atanur, A., *Yol Yapımında Yüksek Fırın Cürufu* , Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara 1983.
- Baradan, B, "Fly Ash-Cement Based Structural Materials", *The International Journal Of Cement Composites And Lightweight Concrete*, 9 (4), 225-228, 1987.
- Belli, Y., Yüksek Fırın Cüruflarının Değerlendirilmesi, İTÜ Maden Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1975.
- Beycioğlu, A., Başyigit, C., Subaşı, S., “Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması” *Çevre Sorunları Sempozyumu*, 1386-1394, Kocaeli, 2008.
- Bilgen, G., Yüksek Fırın Cürufu ile Zemin Stabilizasyonu, Kocaeli Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- Butalia T., Wolfe W., Dick W., Limes D., Stowell R., Coal Combustion Products, Ohaio State University Fact Sheet, 2000.
- Çapar, Ö.F., Bilgen, G., Devrek Kilinin Kilin Yüksek Fırın ve Kireç ile Stabilize Edilerek Mühendislik Parametrelerinin İyileştirilmesi”, *Çevre Sempozyumu*, Mersin, 2007.
- Çevik, M., “Yüksek Fırın Cüruf ve Uçucu Külden Taşıyıcı Hafif Agrega Üretimi”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Senpozyumu Bildiriler Kitabı*, 235-242 , Ankara, 1993.
- Erdemir Ereğli Demir Çelik Fabrikası, Ar-Ge Müdürlüğü, 2008.
- Erdoğan, T.Y., “Atık Maddelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Senpozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, 1993.
- Erdoğan, T.Y., “Atık Malzemelerin İnşaat Sektöründe Kullanımı-Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cüruf ve Kullanımı”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Senpozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, 1995.
- Grinenko, V., Cowan, D., “Development Of Integrated Solid Industrial Waste Management System at Aktubinsk Ferroalloys Plant”, *The Project in Aktubinsk Ferroalloys Plant*, Aktobe, Kazakhstan, 2002.
- Güner, A. , “Günümüzde Yüksek Fırın Cürufu İnşaat Sektöründe Kullanımı” *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Senpozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, 1993.
- Hosking J.R., *Road Stone Tests On Present Day Blast Furnace Slag*, Rrl Report Lr 96, Crowthorne, 1967.
- Kavak A, G.Bilgen, “Yüksek Fırın Cürufu Ve Kirecin Katkı Olarak Kil Üzerindeki Etkileri Ve Yol Yapımında Kullanımının Araştırılması”, *Geoteknik Sempozyumu*, Adana, 2005.

- Kavak, A, Bilgen, G., “Kilin Yüksek Fırın ve Kireç ile Stabilizasyonu”, *12. Kil Sempozyumu*, Van, 2005.
- Li, G., Zhao, X., “Properties Of Concrete Incorporating Fly Ash and Ground Granulated Blast-Furnace Slag”, *Cement and Concrete Composites*, 25, 293-299, 2003
- Ortak Proje, “Çelikhane Curufunun Çimento Katkısı Olarak Değerlendirme Araştırması ve Uygulaması”, *Mam - Ereğli Demir-Çelik Fabrikaları Ortak Projesi*, 2005.
- Mikhail, S.A, Tucotte, A.M., “Thermal Stabilization of Steelmaking”, *Journal of Cleaner Production*, 5(1),170, 1997.
- Motz, H., Geiseler, J. , “Product of Steel Slag an Opportunity to Save Natural Resources”, *Waste Management* , 21(3), 285-293, 2001.
- Neville, A., “High Performance Concrete”, *Metasrials and Structers*, 31 (2), 1359-5997, 1998.
- OECD, Use of Waste Materials And By-Products In Road Canstruction, OECD Road Research Group,Paris, 1977.
- Özdemir, E., “Pç Ve Mineral Katkı Maddelerin İkili, Üçlü, Dörtlü Kombinasyonlarını İçeren Harç Numunelerinin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi”,Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi, Adana, 2006.
- Özkan, Ö., “Atık Cam ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Özellikleri”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 22 (1), 87-94, 2007.
- Steekiwicz, R., Adamska, K.Z., “Application of Power Industry Wastes in Road Embankments”, *Fuel And Energy Abstracts* , 36 (4), 294, 1997.
- Mroueh, U.M., Wahlström, M., “By-Products and Recycled Materials in Earth Construction in Finland”, *Resources Conervation and Recycling*, 35(1), 117-129, 2002.
- Aruntaş, H.Y., “Süper Akışkanlaştırıcı Bir Katkının Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, *Çimento ve Beton Dünyası*, 2, (9), 33-38, 1997.
- Yazıcı H., Felekoğlu, B., Aydın, S., Tosun, B., Baradan, B., “Silika Tozu Ve Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton”, *Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongre ve Sergisi*, 464-468, İstanbul, 2004.
- Yazıcı, H., “Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* , 8 (1), 51-58 , 2006.
- www.nationalslagassoc.org, 2009.