

CÜRUF ÇEŞİTLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Fatma Füsün UYSAL^{1*}, Selin BAHAR²

¹Namık Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 59100, Tekirdağ, fuyusal@nku.edu.tr 05332110288

²Namık Kemal Üniversitesi, Çerkezköy Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Lojistik Programı 59500, Tekirdağ, sbahar@nku.edu.tr 05327793630

Makale Bilgileri	Öz
Makale Tarihiçesi: (Gün/Ay/Yıl) Geliş:23/02/2018 Kabul: 18/06/2018	Cürufun kullanımı Türkiye’de gelişmiş ülkelerin gerisindedir. Oluşan cüruf dağları yer işgal etmekte ve çevresel problemlere neden olmaktadır. Hava, toprak ve su kirliliği gibi çevresel problemler insan sağlığı ve bitki büyümesini etkilemektedir. Cüruf kullanımının artırılması bu problemleri çözmek için önemli bir yoldur. Metalürjik ergitme cürufu sadece bir atık olarak düşünülmez fakat aynı zamanda hem metalürjik proseslerde hem de diğer endüstri uygulamalarında kullanılabilen değerli ikincil bir hammadde olarak düşünülebilir. Yüksek fırın cürufu ve çelik cürufu toplam cürufun önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Demir içeren cüruflar ikincil bir yapı malzemesi olarak kullanılmasına rağmen demir olmayan diğer cüruflar toksik özelliği ve çevresel riskler nedeniyle daha az sıklıkla kullanılmaktadır. Doğal agregaların bir kısmının ve tamamının cüruf yan ürünleriyle yer değiştirmesi, hammaddenin korunması ve atık malzemelerin azaltılmasıyla kayda değer çevresel ve ekonomik kazançlar sağlayabilecektir. Bu makalede cüruf çeşitleri ve kullanım alanları tartışılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Alüminyum cürufu Bakır cürufu Cüruf Çelik cürufu Yüksek fırın cürufu	

SLAG TYPES AND UTILIZATION AREAS

Article Info	Abstract
Article History: (DD/MM/YYYY) Received: 23/02/2018 Accepted: 18/06/2018	The utilization of slag in Turkey is behind of developed countries. The resulting slag mountains occupy space and cause environmental problems. Environmental problems such as air, soil and water pollution affect human health and plant growth. Increasing the use of slag is an important way to solve these problems. Metallurgical smelting slag is not only considered as waste, but it can also be considered as a valuable secondary raw material that can be used both in metallurgical processes and in other industrial applications. Blast furnace slag and steel slag constitute a significant portion of the total slag. Although iron-containing slags are usually used as a secondary building material, other non-iron slags are less frequently used due to their toxic character and environmental risks. Replacement of some or all of the natural aggregates with slag byproducts may provide significant environmental and economic benefits by protection raw materials and reducing waste materials. In this paper, slag types and their utilization areas were discussed.
Keywords: Aluminium slag Blast Furnace slag Copper slag Slag Steel slag	

1. Giriş

Cüruf, metallerin veya metal içeren cevherlerin, eritildiklerinde oluşan ve metalden daha hafif oksitler ve silikatlar kompleksi olan ve yoğunluk farkı nedeniyle yüzeyde biriken bir yan ürün olarak tanımlanmaktadır (Ünal ve Ark., 2014).

Cüruflar pirometalürjik proseslerde çok büyük miktarlarda üretilirler ve uygun şekilde geri dönüştürülmedikleri ve kullanılmadıkları durumda büyük oranda atık kaynağıdır. Endüstrileşmenin artmasıyla birlikte metalürjik cüruflar için düzenli depolama sahaları gerekmekte ve bertaraf maliyetleri artmaktadır. Atık malzemelerle dolan sahalar hava, toprak ve su kirliliği yaratan kirlilik kaynağı olmuşlardır. Bunlar da insan sağlığını ve bitki büyümesini etkilemektedir (Reuter ve Ark., 2004).

Çevresel sorumluluğu karşılamak üzere metalürji endüstrisi cüruflarını proses etme ve azaltma yönünde çabalar gösterilmektedir. Metal ekstraksiyonunda, rafinasyonunda ve alaşım proseslerinde çeşitli metalürjik cüruflar oluşmaktadır. Cürufların bileşimleri, mineral yapıları ve soğutma hızları kullanımlarında önemli bir rol oynamaktadır. Farklı metalürjik proseslerden elde edilen metalürjik cüruflar, farklı cüruf karakteristiklerine bağlı olarak farklı şekilde kullanılmaktadır (Reuter ve Ark., 2004). Deformasyona dayanıklı, güvenilir ve sağlam malzemeler oluşturduğundan, bu durum cürufları asfalt yüzey malzemeleri ve yol yüzey malzemeleri için ideal bir agrega yapmaktadır. Metalürjik ergitme cürufu sadece bir atık olarak düşünülmez fakat aynı zamanda hem metalürjik proseslerde ve diğer endüstri uygulamalarında kullanılabilen değerli ikincil bir hammadde olarak düşünülebilir. (Reuter ve Ark., 2004).

Birçok farklı özelliğe sahip cüruflar, değişik mikro yapı ve mineralojik bileşimli olup, duvar yer karolarının ve kristalin cam malzemelerin

üretimlerinde kullanılmaktadır. Seramik ürün üretiminde bakır cürufu, silisyumlu mangan cürufu ve demir-çelik cürufu gibi atık malzemelerin kullanılabilmesi için kimyasal bileşimi ve maliyeti açısından uygun olması, yapılacak cüruf değerlendirme çalışmalarında önem arz etmektedir (Kaya ve Turan, 2003).

Dünya Çelik Örgütü cüruf, çamur ve toz gibi çelik üretimi yan ürünlerini tekrar kullanarak ve geri kazanarak çelik endüstrisinde sıfır atığa ulaşmayı hedeflemektedir. Cüruf geri dönüşüm çabalarının hedefi hem çevresel hem de ekonomiktir. Tekrardan işlenen cüruf gerekli diğer çoğu maliyetli malzemelerle yer değiştirebilir. Cürufu geri dönüştürmek atığı, bertaraf maliyetini, enerji kullanımını azaltmaktadır ve fırın ömrünü uzatmaktadır (Dietz, 2014).

Cüruf geri dönüşümünde önemli bir husus da şudur: cüruf çevresel olarak zararlı malzemeleri içerebilir, kullanımından önce elementel bileşimi için analiz edilmelidir. Endüstriyel işlemlerden elde edilen cüruflar rehabilite edilmeden maden sahalarında ve orman alanlarında bırakıldıkları, bazı durumlarda direkt olarak göllerin ve nehirlerin yanına boşaltıldıkları belirtilmektedir. Cüruf yığınlarının büyüklüğü ve bileşimi büyük ölçüde değişmektedir ve dünyada yılda 50-66 Mt arası demir olmayan cüruf yığınlarının oluştuğu tahmin edilmektedir. Demir içeren cüruflar ikincil bir yapı malzemesi olarak kullanılmasına rağmen cüruflar toksisitesi ve neticede oluşturduğu çevresel riskler nedeniyle demir olmayan diğer cüruflar daha az sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle de çevresel sorunlara neden olduğu ifade edilmektedir (Souter ve Watmough, 2017).

Cüruf yığınları gözenekli olup yağmur suyu süzülüp aşağıya inmekte ve çevrenin kirlenmesine yol açan cüruf ile etkileşime girmektedir. Doğal koşullarda SO₄-2 ve metaller çevredeki sucul ve karasal çevrelere zarar verebilmektedir. Araştırmalar cürufun

reaktif olduğunu ve zamanla aşındığını göstermiştir; aşınma, cüruftaki başlıca metal ve sülfür fazlarının çözünmesi vasıtasıyla aşınma prosesinin delili olarak gözlenmektedir. Bu aşınma sadece yığınların fiziksel olarak dışında değil, yoğun olarak içinde de oluşmaktadır (Souter ve Watmough, 2017).

Metaller bir kez yüzey sularına cüruftan salındığında, çevresel etkileme oluşturabilen bir seri biyojeokimyasal prosesler meydana gelmektedir. Örneğin çökeltme ve flokülasyon birçok yıldır sedimanlarda metallerin tutulması için önemli reaksiyonlar olarak tanınmıştır. Sudaki askıdaki metaller sorpsiyon mekanizmaları vasıtasıyla partiküllere, koloidal madde ve floklara yapışabilmektedir (Bradl, 2004).

Yol inşaatında atık cüruflar kullanılması durumunda dikkat edilecek önemli hususlardan biri de; malzeme içerisinde bulunan organik ve inorganik kirleticilerin, yağmur suyu ile serbest hale geçerek yeraltı sularına ve içme sularına sızabilmesi diğer bir deyişle “liç” olabilmesidir. Bu tür kirleticiler yağmur suyu ile birlikte yeraltı sularına sızdıkları takdirde, insan sağlığına etki edip, önemli sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Yılmaz ve Yıldız, 2015).

Dünya’da son yıllarda kaynak verimliliği kavramı gittikçe önem kazanmış olup, Avrupa birliği nezdinde atıkların geri dönüşümü kullanım çalışmaları demir-çelik sektörünü çok yakından ilgilendirmektedir. Entegre demir-çelik firmalarının yüksek fırın cürufları 2007 yılında Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanan “Atık ve Yan Ürünlerin Tanımlanmasına Yönelik Tebliğ” kapsamında yan ürün olarak tanımlanmış olup, atık sınıflandırmasının dışına çıkartılmıştır (TTGV, 2012).

Yüksek fırın cürufu, İngiltere Ulusal Mevzuatında Avrupa Birliği yaklaşımıyla örtüşen bir şekilde yan ürün olarak değerlendirilmektedir. Avrupa Birliği ve gelişmiş ülkelerde, demir-çelik cüruflarının

ekonomiye kazandırılması için yasal prosedürler ve izinler hafifletilmekte ve ortadan kaldırılmaktadır (TTGV, 2012).

Kocaeli’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ndan lisanslı bir cüruf düzenli depolama tesisi mevcut olup, İzmir’de ise cürufların büz boru üretimi, parke taşı, agrega için değerlendiren bakanlık lisanslı geri kazanım tesisi bulunmaktadır (Sivri, 2017).

Türkiye’de binden daha fazla taş ocağının inşaat sektörü için agrega temin etmek için işletildiği açıklanmaktadır. Doğal agregaların bir kısmının veya tamamının cüruf yan ürünleriyle yer değiştirmesi hammaddelerin korunması ve atık malzemelerin azaltılmasıyla kayda değer çevresel ve ekonomik kazançlar sağlayacağı ifade edilmektedir (Gökalp ve Ark., 2018).

Çelik cüruf ve yüksek fırın (YF) cürufu toplam cüruf içerisinde önemli bir paya sahiptir. YF cürufu ile çelik cürufunun çalışma ve kullanımı çok uzun süredir araştırılmaktadır. 1880 yılında cüruf, fosfat gübresi olarak kullanıldığı kayıtlarda yer almaktadır.(Öcal, 2014).

2. Metalurjik Cüruf Çeşitleri

2.1. Çelik Üretimi

Çelik, endüstride yaygın kullanıma sahip olup, dünyada iki şekilde üretilmektedir (Ünal ve Ark., 2014):

1-Demir cevherinden (genellikle demir oksit) enerji (yüksek kalorili kömür) kullanılarak, (redükleme ile) yüksek fırında sıvı çelik eldesi,

2-Ömürleri tamamlanmış, çelik hurdaların elektrik ark ocağında eritilmesiyle sıvı çelik eldesi,

Türkiye’de çelik üretimi, hurda/elektrik ark ocağı teknolojisine dayalı olmasına rağmen, Dünya’da bunun tam tersi olup, dünya çelik üretiminin çoğu

cevher/yüksek fırın teknolojisine dayalı olarak yapılmaktadır.

Yeryüzünde demir minerallerinin demir tenörü dolayısıyla cevher özelliklerinin nicelik ve nitelik yönünden azalması neticesinde çelik üretimi daha çok hurda malzemelerden elde edilmektedir (Ünal ve Ark., 2014).

Proses gereği ark ocaklı tesislerde verim %90 civarında olup, yani 100 birim hurdadan 90 birim sıvı çelik elde etmek mümkündür. Cevher işleyen yüksek fırınlı tesislerde bu oranın %50 civarında olduğu belirtilmektedir. Bu da çelik üretimi kaynaklı atığın daha fazla olmasına neden olmaktadır (Ünal ve Ark., 2014).

A.B.'de ham çeliğin yıllık üretimi 170 milyon ton (Mt), Türkiye'de tam kapasite çelik üretimi 50 Mt olarak verilmektedir. Çelik yapımı prosesi esnasında, toplam üretimin %15-20'i cüruf olarak hesaplanmaktadır. Buna göre A.B. yılda 30 Mt ve Türkiye 9Mt çelik üretmektedir. Bunun da ötesinde, 2020'de dünyada çelik üretiminin 1781 Mt olacağı tahmin edilmektedir ve bu miktar da cüruf için farklı uygulamaların gerektiğini açıklamaktadır (Gökalp ve Ark., 2018). Hindistan'da ise yaklaşık olarak yılda 17000 ton demir cürufu üretildiği belirtilmektedir (Singh ve Siddique, 2016). Dünya için verilen rakam ise yılda 400 milyon tondan daha fazla demir ve çelik cürufu olduğu şeklindedir (Carvalho ve Ark., 2017).

Çelik üretiminde yüksek fırın cürufları ve çelikhane cürufları oluşmaktadır.

2.2. Yüksek Fırın Cürufları

Yüksek fırın cürufu (YFC) bir yan ürün olup, demir-çelik tesislerinde yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında açığa çıkmaktadır. Yüksek fırın cürufları demir filizi, kok, kireç gibi maddelerin 1450°C-1550°C arasında indirgenmesi prosesinde oluşmaktadır. Cürufun kimyasal bileşimleri,

hammadelerin beslenmesine ve ergitme işlemlerine bağlıdır. Cüruf miktarı malzemeye bağlıdır. 1 ton sıcak metalden yaklaşık 200-600 kg cüruf elde edilmektedir. Ortalama olarak ağırlıkça %0.5-0.8 FeO, %35-42 CaO, %35-40 SiO₂, %8-9 MgO, %8-15 Al₂O₃, %0.3-1.0 MnO ve %0.7-1.5 S içermektedir (Reuter ve Ark., 2004).

YFC'nin bağlayıcılık özelliği 1774 yılından beri bilinmektedir. YFC, 1889 yılında Paris metrosu inşaatı yapımında kullanılmıştır. YFC ilk kez 1892'de Almanya'da, 1896 yılında ABD'de, çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmıştır. 1950'li yıllardan sonra betona katkı maddesi olarak katılmıştır (Ünal ve Güçlüer, 2016).

YF cürufu düşük miktarda demir içermekte olup, içindeki demirin üretimde geri kazanılması önem arz etmemektedir. Bu yüzden cürufların genellikle demir-çelik üretimi haricinde metal geri kazanımı yapılmaktadır (Öcal, 2014).

Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufunun potansiyel kullanım alanları mevcuttur, bu alanlara örnek olarak; beton yol agregası, yol temel ve alt temel malzemesi, kayma direnci yüksek agrega olarak kar ve buz ile mücadele, asfalt betonu agregası, demiryolu balastı, zemin iyileştirme (stabilizasyon) malzemesi, yapısal dolgularda dolgu malzemesi olarak kullanımınıdır. Yüksek fırın cürufu, tek başına bağlayıcı olmayıp ancak Portland Çimentosu ile birlikte kullanıldığında bağlayıcılık özelliği oluşan bir malzemedir. Yüksek fırın cürufunun olumlu katkılarının betonunun fiziksel ve mekanik özelliklerine neden olduğu belirtilmektedir. (Reuter ve Ark., 2004).

Türkiye'de üretim sonucu katı, sıvı ve gaz biçiminde birçok atık malzeme yan ürün olarak oluşmaktadır. Bu atıklar arasında miktar olarak üretimi fazla olan ve tekrar kullanım olanağı açısından uygun olan yüksek fırın cürufları üst sıralarda yer almaktadır (Baycık, 2003).

Gülfıdan (2007) yaptığı çalışmada Safranbolu kerpiç evlerinin tamirat ve tadilatı için hazırlanacak harçların bileşiminde Alker+%30 yüksek fırın cürufu bir karışımın en iyi sonuç verdiği bulunmuştur. Alker kireç toprağına %10-%20 oranında alçı katılmış bir kerpiç türüdür. Yüksek fırın cürufunun bu bölgede fazla olması ve ekonomik açıdan uygun olması nedeniyle önerilmektedir.

Sürül (2015) yaptığı çalışmada tuğla üretiminde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanarak tuğla üretmiştir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu tuğla üretiminde kile ağırlıkça %10, %20, %30, %40 oranlarında katılarak ve toplam katkı olarak %40'ı geçmemek üzere %10, %20; %30 değişik oranlarda birlikte kullanılarak tuğla örnekleri yapılmıştır. Tuğla gibi yapı malzemelerinde uçucu külün tuğlanın birim hacim ağırlığını azaltarak örneklerin ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğü belirtilmektedir. Bu nedenle, enerji tasarrufu açısından uçucu kül katkılı tuğlaların önemli oranda yalıtım özelliklerine sahip oldukları ve kullanılabilir oldukları düşünülmektedir. Katkısız tuğlalara göre, yüksek fırın cürufu katkılı tuğlaların basınç mukavemeti daha yüksek olduğundan taşıyıcı özelliğe sahip yığma yapı tuğla üretiminde kullanılabilirliği belirtilmektedir. Isı yalıtım özelliğine sahip bölme duvar tuğlası üretiminde katkı olarak uçucu külün, 950 °C pişirme sıcaklığında ve ağırlıkça %40 oranında kullanılması önerilmektedir. Tuğla pişirme sıcaklığının 950 °C ve katkı olarak yüksek fırın cüruf katkısının %40 oranında kullanılması basınç mukavemetini %20 oranında arttırdığından bu oran ve pişirme sıcaklığı, taşıyıcı özelliğe sahip yığma tuğla üretiminde tavsiye edilmektedir.

Lemougna ve Ark. (2017) yaptıkları çalışmada kırmızı çamur (alüminyum endüstrisinde büyük miktarda üretilen yan ürün) ve granüle yüksek fırın cürufundan inşaat uygulamaları için jeopolimer malzemeleri üretmişlerdir. Jeopolimer malzemelerin

geliştirilmesinin Portland Çimento üretimine göre daha az CO₂ ayak izine sahip olduğu belirtilmektedir.

Çimento endüstrisi sürekli CO₂ emisyonu oluşturması ve sürekli olarak taş ocağından kireçtaşı ve kil çıkarılması nedeniyle çevre dostu olmayan endüstri olarak düşünülmektedir. Dünyadaki birçok araştırmacının çimento endüstrisinde yaratılan bu ciddi konu üzerinde çalıştıkları belirtilmektedir ve çözümlerden biri de inorganik alümina-silikat polimerinin gelişimiyle polimerik çimentoların tanıtılmasıdır. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel yan ürünlerin alkali sıvı ile reaksiyonuyla elde edilmektedir. Aktivatör olarak alkali sıvıyla aktive edilen hammaddelerin doğasına bağlı olarak, farklı mikro yapılarda reaksiyon ürünleri geliştirilmektedir. (Lemougna ve Ark., 2017)

Cürufun aktivasyonunda asıl reaksiyon ürününün CHS jeli gibi hidratize kalsiyum silikat olduğu uçucu külün aktivasyonunda elde edilen reaksiyon ürünün alüminosilikat zincirleriyle oluşturulan amorf yapıdaki inorganik polimer olduğu açıklanmaktadır (Sayed ve Zeedan, 2017).

Çevresel ve enerji kazançları nedeniyle tüm dünyada alkali aktive edilmiş bağlayıcılar için artan ilgi vardır. Alkali aktive edilmiş bağlayıcılar kireçten sonra üçüncü jenerasyon bağlayıcı olarak sınıflandırılmaktadır. Akçaözoglu ve Ulu (2014) alkali aktive edilmiş atık PET agreganın kullanımını ve cüruf/metakaolin karıştırılmış harç kullanımını araştırmışlardır. Yüksek fırın cürufu çimento özellikleri hiç göstermemekte ya da az miktarda çimento özellikleri göstermesine rağmen alkali aktive edilmiş cüruf betonlar uygun bir alkali aktivatörün mevcudiyetinde çok yüksek bir dayanıklılık gösterdikleri belirtilmektedir.

2.3. Çelik Cürufları

Bazik Oksijen Fırın (BOF) Cürufu ve Elektrik Ark Fırını (EAF) Cürufu çelik cürufları olarak ifade

edilmektedir (TCUD, 2015). Çelik cürufu farklı besleme malzemesi ve ergitme koşulları sonucu oluşan, değişik bir aralıktaki kimyasal ve mineral bileşimi olan demirden çelik yapılmasının bir yan ürünüdür. Yüksek fırın cüruflarıyla karşılaştırıldığında Çelikhane cürufu ve Elektrik Ark Fırını cürufları yükseltgenme (oksidasyon) prosesi ile elde edilmektedir ve bundan dolayı çeşitli değerli

maddeleri içermektedir (Reuter ve Ark., 2004). Çelik cürufu başlıca SiO₂, CaO, Fe₂O₃, FeO, Al₂O₃, MgO, MnO, P₂O₅'den oluşmaktadır. Çelik cürufunun kimyasal bileşimi fırın tipi ve ön muamele metoduna göre değişmektedir. Çizelge 1'de bazik oksijen fırını cürufu ve elektrik ark fırını cüruflarının kimyasal bileşimi aşağıda özetlenmektedir (Yi ve Ark., 2012).

Çizelge 1. Bazik oksijen fırını cürufu ile elektrik ark fırını cürufunun kimyasal bileşiminin karşılaştırılması (Yi ve Ark., 2012)

OKSİTLER (%)		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅
Bazik	Oksijen	45-60	10-15	1-5	3-9	7-20	3-13	2-6	1-4
Fırını Cürufu									
Elektrik	Ark	30-50	11-20	10-18	5-6	8-22	8-13	5-10	2-5
Fırını Cürufu									

Çelikhane cürufunun üstün özellikler göstermesinin sebebi çok yoğun, sert ve dayanımı yüksek bir malzeme olmasıdır. EAF cürufu ve doğal agreganın

fiziksel özelliği birbirine benzemekte olup, her ikisinin fiziksel özellikleri karşılaştırılmalı olarak Çizelge 2'de verilmektedir (Ünal ve Ark., 2014).

Çizelge 2. EAF cürufu ve doğal agreganın fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması (Ünal ve Ark., 2014)

Özellikler	Elektrik Ark Fırını Cüruf Agregası	Doğal Agrega
Los Angeles Aşınma Katsayısı	13,0	15-29
Aşınma Direnci (Mikro Leval)	8,0	8,0-11,0
Dona Dayanıklılık Süreci (Mg ₂ SO ₄ , % w/w)	1,0	0-1,7
Dona Dayanıklılık Süreci(Don ve Buz Çözülmesi (% w/w)	0,4	0-0,3
Cıvalı Taş Değeri	70,0	32,0
Tane Gradasyonu (% w/w)	0,5	0,5
Su Absorpsiyonu (% w/w)	>1	<1
Yığın Yoğunluğu (mg/m ³)	3,4	2,8
Hacim Stabilesi (% V/V)	2,9	

Metalurji tesisinde çelik cürufu hammaddenin ikincil kaynağıdır. Direkt olarak sinterleştirmede, çelik yapımında ve akı olarak kullanılmaktadır. Böylelikle faydalı elementler geri kazanılabilmektedir. Diğer taraftan çelik cürufu yapı malzemesi, kaldırım malzemesi ve mühendislik malzemesi olarak kullanılmaktadır (Reuter ve Ark., 2004).

Elektrik ark fırını cürufu katılaştıktan ve soğutulduktan sonra çok basamaklı parçalama prosesinde kaba partikülden ince partiküle kadar parçalanır. Her parçalama basamağını metalik kısmın elektromanyetik uzaklaştırması izler. Metalik malzeme elektrik ark fırını yüküne geri döndürülmektedir. Metali uzaklaştırılan cüruf yapay

taş olarak adlandırılmaktadır (Mihok ve Ark., 2004). Çelik yapım prosesinin her aşamasında elektrik ark fırını cürufunun metalik demir miktarını değerlendirmek önemlidir. Her basamakta farklı çeşitte cüruf oluşmakta olup bunlarda farklı demir içeriğine sahiptirler (Varvara ve Ark., 2014).

Çelik cürufu orta derecede alkalidir, pH aralığı 8-10 arasındadır. Çelik cürufunun sızıntı suyunun pH'ı 11'i geçebilir ve bu durumda cürufuyla direkt temasta olan galvaniz borular veya alüminyuma korozif etki olabilir (FHWA, 2017).

Çelik cürufu agregalarının hem su ve hem de atmosferle teması sonucu Tufa tipi çökeleklerin oluştuğu literatürde rapor edilmiştir. Tufa beyaz, başlıca CaCO_3 içeren beyaz, toz halinde bir çökelektir. Doğada oluşmakta ve bilhassa su yapılarında bulunmaktadır. Çelik cürufundaki kireç su ile Ca(OH)_2 oluşturmak üzere birleşebilmektedir. Atmosferdeki CO_2 'e maruz kaldığında CaCO_3 (kalsit) yüzey sularında, yüzeysel Tufa ve toz sediment şeklinde çökelmektedir. Tufa çökeleklerinin oluşumunun kaldırım sistemlerinde tıkanma oluşturduğu rapor edilmiştir (FHWA, 2017).

Çelik cürufu agregalar genleşme eğilimindedir. Bu silika yapılarıyla reaksiyona girmemiş serbest kireç ve magnezyum oksitlerin varlığı nedeniyle olup ve hidratize olabilmekte ve nemli ortamlarda genleşebilmektedir. Bu potansiyel genleşme (%10'a kadar hacimsel değişimler veya kalsiyum ve magnezyum oksitlerin hidratasyonu şeklindedir) çelik cürufu içeren ürünlerde zorluklara neden olabilmektedir. Bundan dolayı çelik cürufu agregaların Portland çimentosunda kullanımı uygun olmadığı belirtilmektedir (FHWA, 2017).

Agrega kullanımı için ayrılmış olan çelik cürufu dışarıda aylarca neme ve/veya spreyleme ile su muamelesine maruz kalacak şekilde yığılmalıdır. Böyle depolamanın amacı potansiyel parçalayıcı

hidratasyona izin vermek ve agrega uygulamalarında kullanım öncesi malzemenin genleşmesini sağlamaktır. Genleşen oksitleri hidratize etmek için bazı durumlarda 18 aya kadar bir süre gerekli olabilmektedir (FHWA, 2017).

Demir çelik üretiminden kaynaklanan cürufuların çevre yatırımları alanında kullanımları da mevcuttur, Örneğin katı atık bertaraf tesisleri ve atık su arıtma tesisleri gibi. Böylece cürufular atık olmaktan çıkmakta, doğal kaynak kullanımı azaltılmakta ve çevre yatırımlarına destek sağlamaktadır. Çelik cürufularının arıtım çalışmalarında denendiği görülmektedir (TCUD, 2015).

Çelik cürufu gözenekli yapı ve büyük yüzey alanı oluşturmaktadır. Buna ilave olarak, yüksek yoğunluğa sahip olduğundan sudan ayrılması kolaydır. Çelik cürufuyla civa içeren deniz suyunun arıtım çalışmalarında yüksek adsorpsiyon kapasitesi gözlemlenmiştir. Çelik cürufunun sulu sistemlerde arsenik uzaklaştırılmasında %95-100 giderme veriminin olduğu saptanmıştır (Yi ve Ark., 2012). Kim ve Ark., (2008) çelik cürufu kullanarak bakırın uzaklaştırma mekanizmalarını araştırılmış, başlıca mekanizmaların adsorpsiyon ve çökeltme olduğunu belirlemiştir. Çelik cürufu aynı zamanda koagülant hazırlamada hammadde olarak kullanılabilir (Yi ve Ark., 2012). Birçok çalışma çelik cürufunun atıksudan fosfat adsorpsiyonunda etkili bir eleman olabileceğini göstermektedir. Yüksek pH'dan dolayı çoğu cüruf atık su arıtılmasında sınırlı uygulamaya sahiptir. İnşa edilmiş sulak alanlarda hızla soğutulmuş bazik oksijen fırın cürufu filtre malzemesi olarak kullanıldığında fosfat uzaklaştırılmasında etkili olduğu görülmüştür (Park ve Ark, 2017).

CO_2 başlıca sera gazlarından biridir, iklim değişikliğine büyük katkısı olmaktadır. Bundan dolayı, CO_2 tutulması ve depolanması araştırması, CO_2 azaltma teknolojilerinin odağında yer almıştır. Çelik cürufu büyük miktarda CaO içermektedir, bu

nedenle orta derecedeki sıcaklık koşullarında ve CO₂ basıncında çelik cürufu çamuru kullanılarak CO₂'i karbonatlar şeklinde depolamak mümkündür. (Yi ve Ark., 2012).

Baca gazı desülfürizasyon metodu ıslak proses, kuru proses ve yarı kuru prostesten oluşmaktadır. Bunlar arsında ıslak kireç taşı /kireç metodu en fazla kullanılan metottur. Çelik cürufu özellikle yüksek miktarda CaO içeriği dolayısıyla desülfürizasyon için kullanılmaktadır. Çelik cürufunun kullanıldığı ıslak desülfürizasyonda giderim %60'dan fazlasına ulaşmaktadır (Yi ve Ark., 2012).

Çelik cürufu gübre bileşenleri olarak CaO, SiO₂ ve MgO içermektedir. Bu üç bileşene ilave olarak, FeO, MnO ve P₂O₅ içermektedir. Bu nedenle tarımsal amaçla geniş bir aralıkta kullanılmıştır. Alkali özelliği nedeniyle toprağın asitliğini iyileştirme özelliği bulunmaktadır (Yi ve Ark., 2012). Çevresel açıdan önemli bir problem oluşturan cürufun Fe içeren inorganik gübre olarak kullanılabilmesi Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği'nde yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Böylelikle hem tarım topraklarında demir eksikliğinin giderilmesi hem de ekonomik olarak kullanılması ile yurt dışından ithal edilen gübre yerine kullanılabilir (Demir ve Ark., 2014).

Cürufun; terkedilmiş ve asitli muameleye uğramış maden sahalarının iyileştirilmesinde kullanılabilir. Deniz ortamında tabanda biriken ve ötrofikasyona neden olabilecek çamurun arıtılması amacıyla kullanılması çevresel faaliyetlerde kullanımına verilen örneklerden biridir (TCUD, 2015). Maden sahalarının toplam asiditesini nötralize etmek üzere olan uygulama oranları yüksektir ve kirecin tekrar uygulanması teknik veya ekonomik olarak uygun olmayabilir (Chand ve Ark., 2015). Çelik cürufu senelerdir tarım topraklarında toprağın asiditesini nötralize etmek üzere kireç taşı yerine başarıyla kullanılmıştır (Chand ve Ark., 2015).

Demir oksitler iyi yükseltgenme ve indirgenme potansiyeli, yükseltgeyici madde ilavesi yüksek derecede aktif radikaller oluşumu nedeniyle heterojen katalizörler olarak kullanılmaktadır. Kil, elektrik ark fırını tozu, yüksek fırın cürufu ve diğer düşük maliyetteki hammaddeler bu nedenle dikkat çekmiştir. Elektrik ark fırını cürufu farklı metal oksitlerden oluşmaktadır. Bunlar Magnetit (Fe₃O₄), maghemit (γ -Fe₂O₃), hematit (α -Fe₂O₃) ve goethit (α -FeOOH)'dir. Demir oksit ve diğer geçiş metallerinin karışımı bu malzemeyi potansiyel Fenton foto katalizörüne dönüştürmektedir. Yapılan bir çalışmada elektrik ark fırını cürufunun metilen mavisi ve asit mavisi 29 gibi boyaların indirgenmesinde etkili olduğu bulunmuştur (Nasuha ve Ark., 2017).

Dünyada çelikhane cürufu kara ve demir yollarında balast malzemesi veya temel ve temel altı malzemesi olarak kullanılabilmesi kanıtlanmıştır. Ayrıca deniz dolgularında ve buzlanmada kaymayı önleyici kum olarak kullanılabilmesi de kanıtlanmıştır (Ünal ve Ark., 2014).

Tersanelerde gemi yapımında, aşındırıcı raspa malzemesi olarak; 0.4-1.8 mm parça iriliğinde cüruf tanecikleri, boya öncesi yüzey hazırlama işleminde grit olarak kullanılmaktadır. Kum kullanıldığında çalışanlarda sağlık sorunları olduğundan bu nedenle cüruf griti kullanılmaktadır (Ünal ve Ark., 2014).

Cüruf kumu, 0,4-0,8 mm parça iriliğinde, yeraltı boru hatlarında yatak malzemesi olarak kullanılması sayesinde, boruda koruyucu görevi görmektedir.(Ünal ve Ark., 2014).

2.4. Ferrokrom Cürufları

Ferrokrom üretimi yapan tesislerin, elektrik ark fırınlarındaki fiziko-kimyasal prosesler sırasında ferrokrom cürufları oluşmaktadır. Ferrokrom cürufları havada yavaş yavaş soğumaya bırakılmasından dolayı aktif değildir ve kristal yapı kazanmaktadır. Bu cüruf türü bu nedenle "Havada Soğutulmuş Elektrik Ark

Fırını Cürufu” olarak adlandırılmıştır. Bu şekildeki cüruf, yüksek mekanik özelliğe sahip olup, çoğunlukla agrega olarak kullanılmaktadır (Yılmaz ve Yıldız, 2015).

Ferrokrom üretiminin artması nedeniyle büyük miktarda ferrokrom cürufu oluşmaktadır. Küresel ferrokrom cüruf üretiminin yaklaşık 12-16 milyon ton/yıl olduğu belirtilmektedir. Ferrokrom üretimi sırasında oluşturulan büyük miktardaki cürufun verimli kullanımı ve geri dönüşümünün ferrokrom üreticileri için büyük bir sorun olduğu açıklanmaktadır. Ferrokrom cürufunun büyük bir kısmı ya gelişigüzel atıldığı ya da düzenli depolama sahalarına gönderildiğine dikkat çekilmektedir (Suhu ve Ark., 2016).

Ferrokrom cürufu yüksek karbonlu ferrokrom üretiminde elde edilen atık malzemedir. Zeolit ve ferrokrom cürufu yapılan tuğlaların ısı izolasyonu sağlayan yapı malzemesi olarak kullanılmasının uygun olduğu belirtilmiştir (Gencel ve Ark., 2013).

Türkmen ve Ark. (2017) Elazığ ferrokrom cürufunun yıllık üretiminin yaklaşık 50000 ton olduğunu belirtmektedir. Bu atık malzemenin bu nedenle inşaatlarda uygulanması önem kazanmıştır. Cürufun inşaat uygulamalarında potansiyel avantajlarını görmek üzere alçı ve Elazığ Ferrokrom Cürufu'nun yanmaz toprak tuğla malzemelere etkisini araştırma çalışması Türkmen ve Ark. (2017) tarafından yapılmıştır. Kohesif toprak için toprak, alçı, ferrokrom cürufu ve saman lif kullanılmıştır. Kohesif toprak bileşimi %18 kil, %23 silt, %54 kum ve %5 çakıldan oluşmaktadır. Hazırlanan numunelerin sıkıştırma kuvveti, kuruma büzülmesi, su absorplama katsayısı ve yoğunluğu belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu sıkıştırma kuvveti hariç tüm özelliklerin cüruf kullanımıyla arttığı görülmüştür.

2.5. Ferronikel Cürufları

Ferronikel cüruf paslanmaz çelik ve nikel alaşımları üretimi esnasında ortaya çıkan endüstriyel bir atıktır. Üretim teknikleri ve hammaddelerdeki farklılığa bağlı olarak ferronikel cürufu elektrik ark fırını ferronikel cürufu ve yüksek fırın ferronikel cürufu olarak kategorize edilebilir. Çin'de yılda 30 milyon tondan fazla ferronikel cürufu ortaya çıkmaktadır. Ferronikel cürufunun betonda kullanımına, inorganik polimerler ve cam üretiminde kullanımına dair çalışmalar vardır (Huang ve Ark., 2017). Şato ve Ark., (2011) granüle ferronikel cürufun doğal kumdan daha yüksek yoğunluğa ve daha yüksek su absorpsiyonu olduğunu rapor etmektedir. Büyük miktarlarda ferronikel cürufu depolama sahalarında gerekli önlemler alınmadan depolanmaktadır. Böylece de geniş bir arazi işgal ederek, çevreyi kirletmektedir (Huang ve Ark., 2017).

2.6. Bakır Cürufları

Bakır cürufları, sülfürlü bakır cevherlerinden pirometalurjik yöntemle bakır üretimi sürecinde oluşan katı yan ürünlerdir. Her bir ton bakır üretimi 2.5 ton bakır cürufu oluşturmaktadır. Bakır cürufu miktarı ABD'de yılda 4 milyon ton, Japonya'da 2 milyon ton, İran, Brezilya ve Oman'da ise 360000, 244000 ve 60000 ton olduğu belirtilmektedir (Najimi ve Ark., 2011). Bakır cürufları siyah renkli ve camsı görünüme sahiptir. Cürufların yaklaşık % 95'ini demir oksitler, silika, alümina ve kalsiyum oksit oluşturmaktadır. Bakır cüruflarının kimyasal bileşimi işletme koşullarına, fırının çeşidine, üretim prosesine ve cevherin özelliğine göre değişiklik göstermekle beraber, yaklaşık olarak tipik bir bakır cürufunun bileşimi; %30-40 Fe, %35-40 SiO₂, % ≤ 10 CaO, % ≤ 10 Al₂O₃, %0.5-2 Cu ve diğerleri (Co, Zn, Ni, Mn) şeklinde olduğu belirtilmektedir. Cürufların yüksek aşınma ve korozyon direncine sahip kararlı yapılar olduğu açıklanmaktadır. Bu üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı metali giderilmiş cüruflar aşındırıcı malzemelerin yapımında, inşaat

sektöründe, çimentoda, yol yapımında, beton endüstrisinde, cam ve fayans üretiminde kullanılmaktadır (Beşe, 2017; Shi ve Ark., 2008).

Portland çimentosunun üretimi hammaddelerin öğütülmesi, 1500 °C'de kalsinasyonları ve çimento klinkerinin alçıtaşı ile öğütülmesinden oluşmaktadır. Bir ton çimento üretimi için gerekli enerji girişi 5.06 milyon KJ'dur. Enerji yoğun bir proses olup, kayda değer ölçüde CO₂ emisyonları yayılmaktadır ve oldukça maliyetlidir. Cürufun çimento ile kısmi olarak yer değiştirilmesi büyük ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır. Cüruf kullanımında yapılacak tek işlem öğütme olmaktadır (Shi ve Ark., 2008).

Mirhosseini ve Ark. (2017) tarafından bakır cürufunun betonun özelliklerine nasıl etkilediğini çalışılmıştır. Çimento malzemesi olarak cürufun miktarını yaklaşık %25-30'a arttırdıklarında yaptıkları testlerde sıkıştırma kuvvetinin arzulanan sıkıştırma kuvvetine (400 kg/cm²) ulaştığını göstermişlerdir. Bakır cürufu çimento ile yer değiştirilerek kullanıldığı zaman farklı yüzdelerde bakır cürufu içeren betonun Portland çimentosu betonuyla karşılaştırdıklarında daha iyi bir performansa sahip olduğu belirtilmiştir. Çimentonun maliyetinin fazla olması nedeniyle bakır cürufunun çimento malzemeleri içinde kullanılmasını beton maliyetlerini düşürmek için önermektedirler. Najimi ve Ark. (2011) bakır cürufu kullanarak yaptıkları çalışmada beton yapımında bakır cürufu uygulamasının sülfat dayanıklılığını arttırdığını bulmuşlardır.

Sarfo ve Ark. (2017) bakır cürufunun yaklaşık olarak %1 bakır ve %40 demir içerdiğini bunun yanında SiO₂ ve diğer eser elementler olan Zn, Mo, Pb ve As gibi elementleri içerdiğini belirtmektedirler. Bu metaller kayda değer miktarda zararlı element içeriği nedeniyle çevresel kirlenmeye yol açmaktadır. Bu elementler biyolojik olarak parçalanabilir değildir, toksik olup aynı zamanda birçok sağlık problemine

neden olarak yaşayan organizmalarda birikmektedir (Heo ve Ark., 2016).

Sarfo ve Ark. (2017) yaptıkları çalışmada indirgenme deneylerinde bir fırın, kireç (CaO) ve alümina (Al₂O₃) kullanarak karbotermik indirgeme ile başlangıçtaki cüruftan metalleri kazanabilmişlerdir. Yüksek sıcaklıkta (1440 °C civarında) karbotermik indirgeme, metal değerlerinin (örn. Fe, Cu ve Mo) çoğunluğunun, çelik üretimi için bir besleme malzemesi olabilen demir açısından zengin alaşım ürününe dönüşmesine yardımcı olmuştur. Metali azaltılmış ikincil cürufun ise cam ve seramik endüstrilerinde kullanılabilceğini belirtmektedirler.

Liv ve Ark. (2018) yaptıkları çalışmada kömürün yakılmasıyla oluşan baca gazında elementel civa (Hg⁰)'nın oksidasyonunun katalizlenmesinde bakır cürufunu kullanmışlardır. Bakır cürufu 200 °C ile 300 °C arasındaki sıcaklıklarda çok iyi katalitik performans göstermiştir. Hidrojen klorür (HCl) bakır cürufunun üzerindeki oksidasyondan sorumlu baca gazı bileşeni olmuştur. Bakır cürufunda demir ve bakır oksitlerini içeren geçiş metali oksitlerin HCl'ün mevcudiyetinde Hg⁰'nin yüzey ortamındaki oksidasyonunda kayda değer katalitik aktiviteler gösterdiği bulunmuştur

2.7. Alüminyum Cürufları

Metalik alüminyum iki yol ile üretilmektedirler (Çelik, 2015).

1- Boksit cevherlerinden "Birincil alüminyum üretimi",

2- Hurdalardan "İkincil alüminyum üretimi".

Alüminyum cürufları birincil ve ikincil alüminyum üretimi sonucu oluşan atıklar beyaz ve siyah cüruf olarak adlandırılmaktadır. Bu atık cüruflar içerisindeki alüminyum metali miktarına göre sınıflandırılmaktadır. Beyaz cüruf daha fazla

alüminyum metali içermektedir. İçerdiği metal miktarı %15-%70 arasında değişmektedir. Kara cüruf ise %12 ile %18 arasında alüminyum metali ve alüminyum oksit karışımı içermektedir. Bu cürufun içerisinde yüksek miktarda (%40' dan daha fazla) tuz bulunmaktadır (Sözber ve Ark., 2014).

Birincil alüminyum tesisleri ve dökümhanelerde, ergitme, alaşım yapma ve döküm proseslerinde oluşan birincil üretim ve ocak cürufları; metalik alüminyum içeriği açısından bakıldığında, atık değil, ekonomik bir değere sahip yarı ürün olduğu görülmektedir. Diğer yandan, işlenmeden doğaya verildiği takdirde de çevresel problemlere neden olmaktadır (ÇŞB, 2016). Yani cüruf değerlendirme işlemlerinin ana amacı, cüruf içindeki metalik alüminyum kazanmak ve oluşan ikincil cürufu çevre için tehlikesiz forma getirerek, bu cüruftan ekonomik bir değer üretmektir (Yücel ve Car, 2015). Cüruf değerlendirme altında uygulanan yöntemler dört başlık altında incelenebilmektedir (ÇŞB, 2016).

1-Demir-çelik sektörü için sentetik cüruf yapıcı (alüminyum esaslı flaks) olarak kullanılması,

2-Alüminyum endüstrisi için tuz flaksları olarak kullanılması,

3-İkincil alümina üretiminde kullanılması,

4-Çimento endüstrisi için katkı malzemesi olarak kullanılması

İkincil alüminyum üretimi ülkemizde günden güne artmaktadır. İkincil alüminyum üretiminde ergitme sonrasında flaks ve gazlar yardımıyla cüruf oluşumu ve temizlenmesi işlemi yapılmaktadır. Oluşan bu cürufa da alüminyum siyah cürufu adı verilmektedir.

Alüminyum siyah cürufundan metalik alüminyum geri kazanılması sırasında tuzlu alüminyum cürufu (cüruf keki – metalik olmayan kısım) oluşmaktadır. Bu cüruf yapısında % 5 – %10 tuz (NaCl, KCl, CaF₂), % 10 –

%20 metalik alüminyum, % 30 – %60 Al₂O₃ ve % 5 – %10 diğer metal oksit ve bileşikler bulunmaktadır. Alüminyum tuzlu cürufunun geri dönüşümü yapılmadan veya bertaraf edilmeden gömülmesi Dünya'nın birçok ülkesinde yasaktır. Devlet kurumlarının ve sivil toplum örgütlerinin baskıları sonucu bu konuda önemli yasalar çıkarılmıştır. Bu atığın hammadde kaynağı olarak birçok sektörde kullanılabileceği fark edildiği için yüksek teknoloji sahibi ülkeler, bertaraf etmek yerine işleyip, büyük geri dönüşüm şirketleri kurmaktadır (Çelik, 2015).

Alüminyum siyah cüruf ve tuz keklerinin işlenmesi ihtiyacını doğuran 3 temel etmen vardır (Yücel ve Car, 2015):

1- Tehlikeli atık olarak tanımlanan cürufun temizlenmesi, tehlikesiz hale gelmesi,

2- Cürufun içerdiği ve çevresel sorunların ana kaynağı olan tuz ve tuz atıklarının cüruftan ayırarak, ergitme proseslerinde yeniden kullanılması,

3-Cüruf işleme ve temizleme sonrasında elde edilen alüminyum oksitçe zengin ve ekonomik değeri olan yapının değerlendirilmesi.

Hem cüruf ve tuz keklerinin yarattığı çevresel sorunların üstesinden gelmek hem de ikincil cüruf atıklarından ekonomik olarak değer yaratabilmenin teknik çözümlerinden birisi de ikincil alümina üretimi olduğu belirtilmektedir (Yücel ve Car, 2015).

Çalışmalar zenginleştirilmiş cürufun devrilebilir döner fırınlarda tuz altında ergitilmesi ile metalik alüminyum kazanılırken, oluşan tuz kekinin büyük oranda oksit esaslı olduğunu ve ikincil alümina üretimine olanaklı olduğunu göstermiştir (Yücel ve Car, 2015).

3. Sonuçlar

Türkiye çelik sektörü olarak dünyada sekizinci sırada yer almaktadır. Buna rağmen çelik cüruflarının

Türkiye’de çeşitli sektörlerde hammadde olarak kullanımı yeterli ölçülerde değildir. Demir-çelik üretiminden elde edilen yan ürün olan cüruf atıl olarak saklama alanlarında bekletilmektedir. Cürufları depolamak en son seçenek olmalıdır ve bu sadece karakteristikleri çeşitli alanlarda kullanımlarına izin verilmediği takdirde yapılmalıdır. Örneğin çelik cürufundan metalik demirin ayrılması çeşitli alanlarda büyük kazançlar sağlayacak ve doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunacaktır.

Cürufların briket ve tuğla yapımı, demiryolu balastı, çimento sanayi, beton agregası, asfalt agregası, dolgu malzemesi, yalıtım, cam üretimi gibi geniş bir kullanım alanı vardır. Tarım ve çevre uygulamaları konusunda araştırmalar yapılarak cürufun kullanımının artırılmasına çalışılmaktadır. Örneğin Çelik cürufu atık sudan iyonik bakır ve iyonik kurşun gibi bazı tehlikeli maddeleri uzaklaştırmada kullanılabilir. Gelecekte daha sık atık bertarafı yönetmelikleri beklenmektedir. Bu nedenle atık geri dönüşüm alternatiflerinin daha önem kazanacağı beklenmektedir.

Ergitme teknolojisinin yan ürünü olarak çıkan metalürjik atıklar küller, çamurlar ve cüruflardır. Bu atıklar arasında cüruflar üretim miktarının fazlalığı ve içerdikleri değerli metaller açısından özel bir yere sahiptir. Önceleri cüruflar inert malzemeler olarak düşünüldükleri için atık sınıfında değerlendirilmemekteydi. Ancak yapılan araştırmalar, çevresel faktörlerin etkisi ile cürufta bulunan metallerin aktif hale geçtiğini gösterdiği için cüruflar artık çevre açısından potansiyel tehlikeli sınıfta değerlendirilmektedir (Beşe, 2017). Cürufların yeterli önlem alınmaksızın cüruf sahalarında toplanması yer altı suyunun ve toprağın kirlenmesine neden olmaktadır.

Metalürji tesislerinde oluşan cüruflar tesis içinde depolandığında büyük alanları kapladığından kullanımları artırılmalıdır. Cürufun kullanımı cüruf

stok sahalarını azaltabilecek, bir ölçüde de olsa doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunacaktır. Bir sektörün yan ürünü konumundaki cürufun bir diğer sektörde kullanımı ile temiz üretim çalışmalarına katkı sağlayacaktır. Maden atıkları konusundaki envanter çalışmaları yetersiz olup, bu konuya önem verilmelidir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bilimsel çalışmamız ile kişisel durumumuz arasında potansiyel veya mevcut bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

ORCID

Fatma Füsun UYSAL, ID: 0000-0001-9674-9558

Selin BAHAR, ID: 0000-0003-3512-425X

Kaynaklar

AKÇAÖZOĞLU S., Ulu C. *Recycling of Waste Pet granules as aggregate in alkali-activated blast furnace slag/metakaolin blends*, Construction and Building Materials, 58, 31-37, 2014.

BAYCIK S. Granüle Yüksek Fırın Cüruflarının Karo Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. 2003.

BEŞE A. Bakır cüruflarından metallerin kazanılması, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*,2(1):140-149. 2017.

BRADL H.B. *Adsorption Of Heavy Metal İons On Soils And Soil Constituents*, J.Cooloid Interface Sci,277(1),1-18. 2004

CARVALHO S.Z., VERNILI F., ALMEDIA B., DEMARCO M., SİLVA S.N. The Recycling Effect

- Of BOF Slag In The Portland Cement Properties”, Resources, Conservation & Recycling, 127, 216-220, 2017.
- CHAND S., PAUL B., KUMAR B. An Overview of Use of Linz-Donawitz(LD) Steel Slag in Agriculture, *Current World Environment*, Vol.10(3), 975-984. 2015.
- ÇŞB, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sektörel Atık Kılavuzları, Birincil ve İkincil Alüminyum Üretimi, 2016.
- ÇELİK OH. Alüminyum Siyah Cüruflarındaki Alüminyumun ve Bileşiklerinin Hidro ve Pirometalurjik Yöntemler ile Geri Kazanılması. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. 2015.
- DEMİR A., YILDIRIM D., KÖLELİ N. Çelikhane Cürufundan ve Tufalından Bitki Besin Elementlerinin Geri Kazanımı ve Bu Elementlerin Bitki Büyümesine Etkisi. ISITES, 2014
- DIETZ S. Zero Waste Initiatives a Boon for the Scrap Metal Industry, Thermo Fisher Scientific, 2014. <https://www.thermofisher.com/blog/metals/zero-waste-initiatives-a-boon-for-the-scrap-metal-industry>, (Erişim Tarihi: 12.02.2017)
- EMİROĞLU M., KOÇAK Y., SUBAŞI S. Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Cilt 1: 113-117, 2011. Elazığ
- FHWA. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, Steel Slag, 2017. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/ssa1.cfm>, (Erişim Tarihi:17.02.2017)
- GENCEL O., SUTCU M., ERDOGMUS E., KOC V., CAY VV. Properties of Bricks with Waste Ferrochromium Slag and Zeolite, *Journal of Cleaner Production*, 59, 111-119. 2013.
- GÖKALP İ., UZ V.E., SALTAN M., TUTUMLUER E. *Technical and environmental evaluation of metallurgical slags as aggregate for sustainable pavement layer applications*, *Transportation Geotechnics*, 14, 61-69, 2018.
- GÜLFİDAN A. *Safranbolu Evlerinde Kullanılan Kerpiç Malzemesinin Yüksek Fırın Cürufu ile İyileştirilmesi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- GÜNDEŞLİ U. Uçucu kül, Silis dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye. 2008.
- HEO J., CHUNG Y., PARK J.H. Recovery of Iron and Removal of Hazardous Elements from Waste Copper Slag via a Novel Aluminothermic Smelting(ASR) Process, 2016.

- HUANG Y., WANG Q., SHI M. Characteristics and Reactivity of Ferronickel Slag, *Construction and Building Materials*, 156, 773-789. 2017.
- KAYA G., TURAN S. Yüksek Fırın Cürufalarının Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makine*, Cilt 45, Sayı 536: 48-60. 2003.
- KIM DH., SHIN MC., CHOI HD., SAO CI., BAEKA K. Removal mechanisms of copper using steel-making slag. adsorption and precipitation, *Desalination*, 223:283-289. 2008.
- LEMOUGNA P.N., WANG K-T., TANG Q, CUI X-M. *Study on the Development of Inorganic Polymers from red Mud and Slag System. Application in Mortar and Lightweight Materials*, 15, 486-495, 2017.
- LI H, ZHANG W., WANG J., YANG Z., LI L., SHIH K. *Copper Slag as a Catalyst for Mercury Oxidation in Coal Combustion Flue Gas*, *Waste Management*, 74, 253-259, 2018.
- MIHOK L., SEILEROVÁ K., BARICOVÁ D. Recycling of Steelmaking Slag from Electric Arc Furnace, *Archives of Foundry*, 4(13), 165-169. 2004.
- MIRHOSSEINI S.R., FADEE M., TABATABACI R., FADEE M.C., *Mechanical Properties of Concrete with Sacheshmen Mineral Complex Copper Slag as a Part of Cementitious Materials*, 134, 44-49, 2017.
- NAJIMI M., SOBHANI J., POURKHORSHIDI A.R. Durability of copper slag contained concrete exposed to sulfate attack", *Construction and Building Materials*, 1895-1905, 2011.
- NASUHA N., ISMAIL S., HAMEED BH. Activated Electric Arc Furnace Slag as an Effective and Reusable Fenton-like Catalyst for the Photodegradation of Methylene blue and Acid Blue 29, *Journal of Environmental Management*, 196, 323-329. 2017.
- ÖCAL Y. Demir çelik sektöründe atık yönetimi, *Uzmanlık Tezi*, T.C. Kalkınma Bakanlığı Yayın No:2911. 2014.
- PARK J.H., WANG J.J., KIM S.H., SIU C.J., SEO D.C. Phosphate Removal in Constructed Wetland with Rapid Cooled Oxygen Furnace Slag, *Chemical Engineering Journal*, Volume 327, 713-724. 2017.
- REUTER M., XIAO Y., BOIN U. Recycling and environmental issues of metalurgical slags and salt fluxes. VII. International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, 349-356 p. 2004.
- SARFO P., DAS A., WYSS G., YOUNG C., Recovery of Metal Values from Copper Slag and Reuse of Residual Secondary Slag, *Waste Management*, 70, 272-281, 2017.
- SATO T., WATANABE K., OTA A., ABA M., SAHOI Y. Influence of excessive bleeding on frost susceptibility of concrete incorporating ferronickel slag as Aggregate, *Proceedings of the 36 th Conference on Our World in Concrete and Structures*, Singapore. 2011.

- SAYED M., ZEEDAN S.R. Green Building material using alkali activated blast furnace slag with silica fume”,Housing and Building National Research Center HBRC Journal, 8, 177-184, 2012
- SINGH G., SIDDIQUE R. Effect of Iron Slag as Partial Replacement of Fine Aggregates on the Durability Characteristics of Self-Compacting Device, Construction and Building Materials,128,88-95, 2016.
- SİVRİ H. Recycling industry dergisinden alıntıdır .2017.<http://www.hikmetsivri.com/index.asp?id=2&hid=510&sid=h>(Erişim Tarihi:02.01.2017)
- SOUTER L., WATMOUGH S.A., Geochemistry and Toxicity of a Large Slug Pile and its Drainage Complex in Sudbury,Ontario ,Science of the Total Environment, 606-606, 461-470, 2017
- SÜRÜL O. “Yüksek fırın cürufu ve uçucu külün tuğla üretiminde katkı olarak kullanımının araştırılması, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 84, 2015.
- SÖZBİR N, AKÇİL M, OKUYUCU H. Alüminyum Cürufundan Alüminyum Metali ve Flaks Eldesi,ISME,1109-1113, 2014. Adıyaman,Türkiye.
- SHI C., MEYER C., BEHNOOD A. Utilization of Copper Slag in Cement and Concrete., Resources, Conservation and Recycling, 52: 1115-120. 2008.
- SUHU N., BİSWAS A., KAPURE G. A short review on utilization of ferrochromium slag, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2016, vol.37, No.4, 211-219. 2016.
- TCUD. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, 2015. Demir Çelik Cüruf Raporu.
- TTGV. Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Raporu Şubat 2012, Demir-Çelik Sektörü Atıklarının Ekonomiye Kazandırılması.
- TÜRKMEN İ., EKİNCİ E., KANTARCI F., SARCI T. The Mechanical and Physical Properties of Unfired Earth Bricks Stabilized with Gypsum and Ferrochrome Slag, International Journal of Sustainable Built Environment,Volume 6,Issue 2,565-573, 2017.
- ÜNAL S., YÜCEL O., KURT M., GÜL S. Atık’tan Ürün’e Demir-Çelik Cürufu, İleri Teknolojiler Çalıştayı,255-267,2014.
- ÜNAL O., GÜÇLÜER K. Gazbeton Üretiminde Yüksek Fırın Cürufu Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı, 218-221. 2016.
- VARVARA DAI., MÂRZA MC., BRÂNDUŞAN L., ACIU C., BALOG A., COBÎRZAN N. Assesment of Metallic Iron Content from Steelmaking Slags in order to Conserve Natural Resources,Procedia Technology,12, 615-620. 2014.
- YÜCEL O., CAR E. Alüminyum Cüruflarının Değerlendirilmesi ve Kalsiyum Alüminat Sentetik Cüruf Yapıcı Üretimi, 2015. www.metalurji.org.tr (Erişim tarihi: 14.06.2017)
- YILMAZ A., YILDIZ AH. Cüruf Atıklarının Yol İnşaatında Kullanılması Durumunda Çevresel Etkileri,

Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, 267-279. 2015. YI H., XU G., HUIGAO C., WANG J., NAN Y., CHEN HAN. Overview of Utilization of Steel Slag, Pcedia Environmental Sciences, 16: 791-801. 20