

BURSA'DAKİ ATIK DÖKÜM KUMLARININ ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ İLE HAZIR BETON ÜRETİMİNDE HAMMADDE OLARAK KULLANIMI

*Melike YALILI KILIÇ **
*Murat TÜYLÜ**

Alınma: 24.09.2018; düzeltme: 04.02.2019; kabul: 12.02.2019

Öz: Türkiye, metal döküm üretim sektöründe dünya çapında önemli bir yere sahiptir. Metal döküm üretim faaliyetleri sonrasında oluşan atıkların bertarafı, çözülmesi gereken ciddi bir problemdir. Atık döküm kumları uygun bir şekilde yönetildiklerinde, alternatif hammadde olarak kullanılabilir ve endüstriyel simbiyoz ile bir işletmenin atığı diğerinin hammaddesi olarak değerlendirilebilmektedir. Ancak uygun yönetilmediklerinde, su ve toprak kirliliğine neden olarak çevre ve insan sağlığını tehlikeye atmakta ya da gönderildikleri düzenli depolama sahalarında, sahanın kullanım ömrünü kısaltmakta ve ekonomik açıdan zarar vermektedir. Atık döküm kumlarının alternatif hammadde olarak hazır beton üretiminde kullanılması ile atık döküm kumu bertaraf maliyetleri azalacaktır. Dünyada yapılan araştırmalar, atık döküm kumunun %20 oranında hazır beton üretiminde yapay agrega olarak kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada, ülkemizde faaliyet gösteren döküm fabrikalarında bir yılda oluşan atık döküm kumunun düzenli depolama tesislerine gönderilmesi yerine, hazır beton sektöründe alternatif hammadde olarak kullanılması sonrasında tüketilebileceği yapılan hesaplamalar sonucunda bulunmuştur. İlave olarak, Bursa ilinde faaliyet gösteren bir döküm fabrikasında, bir yılda oluşan atık döküm kumunun, hazır beton santralının üretiminde %20 yerine %8 oranında yapay agrega olarak kullanılmasına dayalı olarak yapılan ekonomik analiz ile beton santralının bir yılda 58 694 \$, döküm fabrikasının ise 293 471 \$ kar elde edebileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık döküm kumu, Bursa, endüstriyel simbiyoz, maliyet.

Utilization of Waste Casting Sands as Raw Material in Ready Mixed Concrete Production by Industrial Symbiosis in Bursa

Abstract: Turkey has an important place in metal casting industry in worldwide. The disposal of wastes generated in metal casting production activities, which is one of the important industrial types in the world, is a serious problem to be solved. Waste casting sands can be evaluated as raw material for another industry by industrial symbiosis. However, when not properly managed, they are stored on the grounds of foundries, causing water and soil pollution, endangering the environment and human health, or shortening the life of the landfill where they are carried and causing economic damage. The disposal costing of waste casting sands will decrease by using in ready mixed concrete production as alternative raw materials. The researches in the world have revealed that waste casting sand can be used as an artificial aggregate in ready mixed concrete production by 20%. In this study, the amount of waste casting sand that occurred foundries in our country in a year was calculated, the negative effects on the environment were evaluated and cost analysis was made from an economic point of view. It is found that waste casting sand can be

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer, Bursa
İletişim Yazarı: Melike YALILI KILIÇ (myalili@uludag.edu.tr)

"Bu makale 10-12 Ekim 2017 tarihleri arasında U.Ü. Asım Kocabıyık M.Y.O. Yerleşkesi/Gemlik de düzenlenen Ulusal Çevre, Deniz ve Kıyı Kirliliği Sempozyumu'nda (UCEDKKS-2017 Bursa) sunulmuş ve yeniden değerlendirilmiştir."

consumed in the ready mixed concrete by using as an alternative raw material instead of carrying to landfill sites. In addition, it is calculated that the concrete plant and the foundry in a year could make a profit of 58 694 \$, 293 471 \$, respectively. The economic analysis was done according to using waste casting sand in one year as artificial aggregate 8% instead of 20% in the production of the ready mixed concrete plant operating near the foundry which in the province of Bursa.

Keywords: Waste casting sand, Bursa, industrial symbiosis, cost

1. GİRİŞ

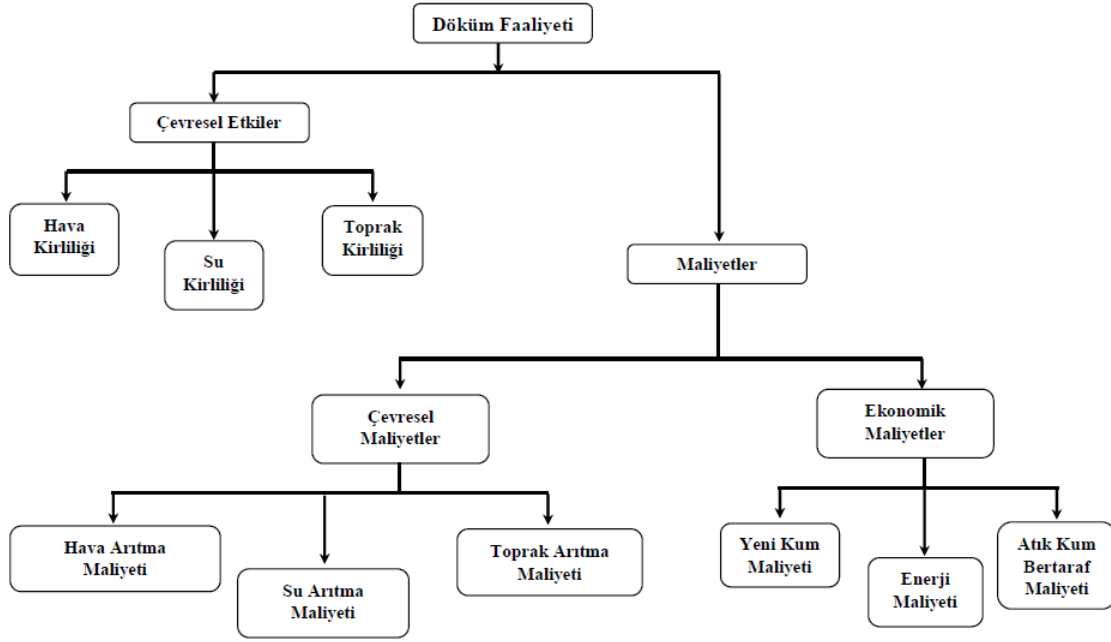
Türkiye, metal döküm üretim sektöründe dünya çapında önemli bir yere sahiptir. Dünya metal döküm üretimi 2014 yılı verilerine göre, Türkiye dünyada ilk 10, Avrupa'da ise ilk üç sırada yer almaktadır (Anonim, 2015a). Gelişen teknoloji ile hızlı üretimin sonucu olarak tüketim de artmakta ve buna bağlı olarak hammadde ve prosesler sonucu oluşan atık miktarlarında da artışlar görülmektedir.

Önemli sanayi türlerinden biri olan metal döküm sektöründe oluşan atık türlerinden biri de atık döküm kumlarıdır. Döküm kumu, metal endüstrisinde eriyen metalin katı hale geçmesi sırasında kalıp boşluğunu korumak için kullanılmaktadır (Güney ve diğ., 2006). Döküm üretiminin büyük bir kısmı kum kalıplar kullanılarak yapılmakta ve genel olarak 1 ton metal döküm üretimi için 4 - 5 ton kum gerekmektedir (Uçar, 2016). Metal dökümü için kalıplamada kullanılan kum, sistem içinde birkaç defa yer aldıktan sonra atık haline geçmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı Döküm Sektörü Rehber Doküman'da, 1 ton metal döküm üretimi sonrası 0,2 – 0,5 ton döküm atığı oluştuğu ve bu atıkların %65 oranında atık döküm kumlarından kaynaklandığı belirtilmiştir (Anonim, 2012a). Dökümün yapılacağı kalıp döküm kumu, silis kumu (SiO_2), bağlayıcı (bentonit), su ve kömür tozundan oluşmaktadır. Atık haline gelen döküm kumları da silis, organik katkı maddeleri ve bentonit içermektedir.

Khatib ve diğ. (2013) yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda yaklaşık 100 milyon ton döküm üretimi yapıldığını ve bunun sonucu olarak da 6-10 milyon ton atık döküm kumu oluştuğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte yapılan üretim sonucu bir yılda, İngiliz döküm fabrikalarında 1 milyon ton, Hintli döküm fabrikalarında ise 1,71 milyon ton atık döküm kumu oluştuğu ifade edilmiştir. Güney ve diğ. (2010) göre, Türkiye'de çeşitli sektörlerde yılda 300 000 ton kum kullanılmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı Döküm Sektörü Rehber Doküman'da, 2007 yılında 1 294 500 ton metal döküm üretimi yapıldığı ve bu üretime karşılık yaklaşık 450 000 ton atık oluştuğu ve bu atığın %65'inin atık döküm kumlarından meydana geldiği belirtilmiştir (Anonim, 2012a).

Atık döküm kumları doğru ve uygun bir şekilde yönetildiğinde genellikle çevre için tehlike arz etmemektedir. Ülkemizdeki döküm fabrikalarında oluşan atık döküm kumları atık üreticileri tarafından atık bertaraf maliyetlerinin yüksek bulunması nedeniyle genellikle fabrika sahalarında biriktirilmekte, doğru ve uygun bir şekilde yönetilemediğinden, toprak ve su kirliliğine neden olmaktadır. Yapılan metal üretim faaliyeti sonrası atık haline gelmiş döküm kumlarının fabrika sahalarında depolanması sırasında neden olabileceği hava, su ve toprak kirliliğine dair çevresel etkiler ve atık döküm kumu bertarafından kaynaklanan ekonomik maliyet Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir (Saha, 1996).

Ulusal ve uluslararası literatürde atık döküm kumlarının çimento üretiminde (Apay ve diğ., 2011 ve Yazoghli-Marzouk ve diğ., 2014), tuğla üretiminde (Alonso-Santurde ve diğ., 2012) ve Quijorma ve diğ., 2012), boruların döşenmesinde yatak kumu olarak (Arulrajah ve diğ., 2017), yol ve otoyol yapımlarında dolgu ve asfalt olarak (Güney ve diğ., 2006, Miller ve diğ., 2001, Bakış ve diğ., 2006) kullanılabilceği belirtilmiştir.



Şekil 1:
Atık döküm kumu çevresel etki ve maliyet analizi

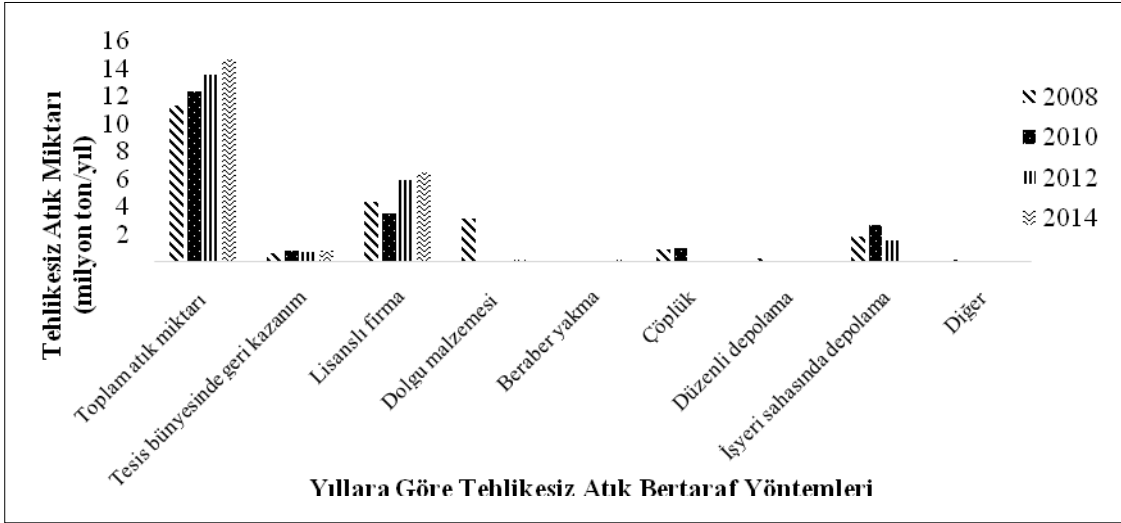
Hazır beton santralleri yol, inşaat, köprü, viyadük yapımında kullanılmak üzere hazır beton üretmektedirler. Hazır beton üretilirken taş madeni ocaklarından temin edilen agrega (mıcır, temel alt malzemesi vb.) kullanılmaktadır. Aynı zamanda hazır beton üretiminde yapay agrega olarak atık döküm kumu da kullanılabilir. Güney ve diğ. (2010) atık döküm kumlarının genellikle dolgu ve yol malzemesi olarak kullanıldığını ve eğer parçacık boyut dağılımları dikkatli düzenlenirse, yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Khatib ve diğ. (2011) atık döküm kumu ile beton üretiminde kullanılan agreganın yer değiştirilmesi ile beton üretimi üzerinde çalışarak yeterli oranda atık döküm kumu karıştırıldığında beton üretimi için atık döküm kumu kullanımının uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Parke taşı ve bordür üretiminde atık döküm kumları veya F tipi uçucu kül %25'e kadar kumla yer değiştirebilmektedir (Naik ve diğ., 1998, 2001, Kaya ve Karakurt 2016). Beton üretiminde ince agrega yerine atık döküm kumu ve dip külü kullanımı ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada, atık döküm kumu ve dip külünün %30 oranında kullanımının sıkıştırma, yarma, çekme ve eğilme dayanımında artış gösterdiği ve %50 oranına kadar kullanılabileceği belirtilmiştir (Aggarwal ve Siddique, 2014). Singh ve Siddique (2012a, 2012b) yaptıkları çalışmada beton üretiminde ince agrega yerine, %15 oranına kadar atık döküm kumu kullanılabildiğini, atık döküm kumunun, beton, beton içerikli ürünler ile iyi kaliteli beton ve yapı malzemeleri üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Siddique ve Noumowe 2008, Siddique ve Singh 2011, Khatib ve diğ., 2013). Gönen ve diğ. (2012) beton üretimi için yeni atık malzemelerin kullanılabilirliği ile ilgili yaptıkları çalışmada, atık döküm kumunun beton üretiminde yerine kullanılan malzemelere göre aynı ya da daha üstün performans sergilediğini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, ülkemizde faaliyet gösteren döküm fabrikalarında bir yılda oluşan atık döküm kumlarının miktarı hesaplanmış, çevreye olan olumsuz etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca Bursa ilinde faaliyet gösteren bir döküm fabrikasında bir yılda oluşan atık döküm kumunun, fabrika yakınında faaliyet gösteren hazır beton santralının üretiminde yapay agrega olarak kullanılmasına dayalı yapılan ekonomik analiz ile her iki fabrikanın elde edeceği kar miktarları hesaplanmıştır.

2. TÜRKİYE'DE TEHLİKESİZ ATIK YÖNETİMİ

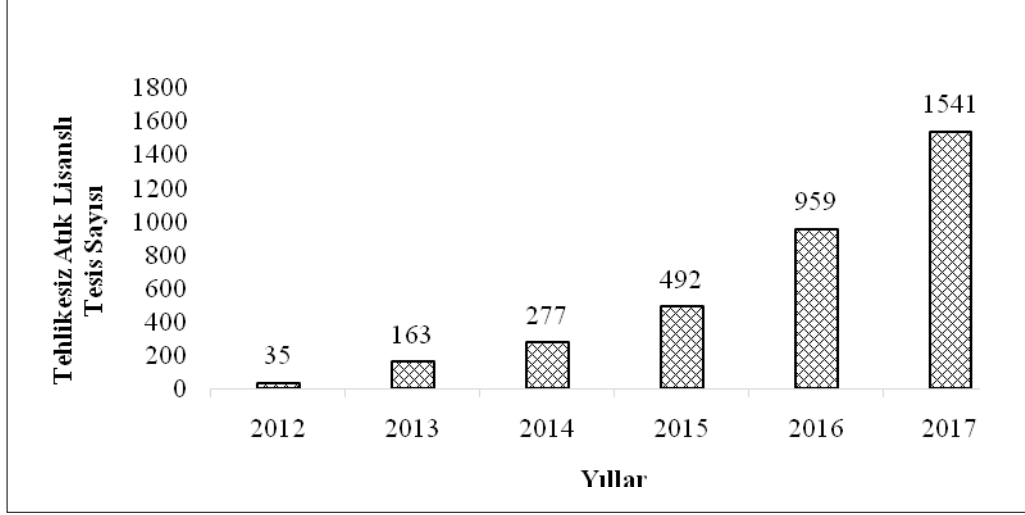
Türkiye'de tehlikesiz atık kavramı, başta 1991 yılında yayımlanarak yürürlüğe giren Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Anonim, 1991) olmak üzere, 2010 yılında yayımlanan Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (Anonim, 2010a) ve 17.06.2011 tarih ve 27967 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (Anonim, 2011) ile mevzuattaki yerini almıştır. Tebliğin yayınlanmasından önce atıkların üretildiği adresten başka bir tesise gönderilmesi için ön koşul aranmazken, günümüzde yürürlükte olan Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (Anonim, 2011) ile tehlikesiz atıkların toplanması, ayrılması, tesis dışına gönderim şartları yasal mevzuat kapsamına alınmıştır. Atık kabulü yapan işletmelere tehlikesiz atık toplama ayırma belgesi, geri kazanım yapan işletmelere de tehlikesiz atık geri kazanım lisansı alma zorunluluğu getirilmiştir. Yine Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği'nde (Anonim, 2011) atık üreticisi konumunda olan işletmelerde oluşan tehlikesiz atıkların geçici olarak depolandığı alanlar için özel şartlar yer almaktadır. Atık üreticileri tehlikesiz atıklarını yağmur ve yüzey suları ile temasından meydana gelebilecek kirliliğin önlenmesi için zemin geçirimsizliği sağlanmış, suların drenajı için toplama sistemleri bulunan alanlarda biriktirmek zorundadırlar.

Türkiye'de oluşan tehlikesiz atıklar, atık üreticilerinin kendi sahalarında geçici olarak depolanmakta, kendi bünyelerinde geri kazanılmakta ve lisanslı tesislere, belediyeye ait düzenli depolama ya da çöp depolama tesislerine ve yakma tesislerine gönderilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2000-2014 verilerine göre (Anonim, 2017a), ülkemizde oluşan atık miktarı yıllara göre artış göstermektedir. Türkiye'de oluşan atık miktarları ve bu atıkların geri kazanım/bertaraf yöntemlerine ait grafik Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2:
Türkiye'deki tehlikesiz atıkların gönderim yerleri

Çevre Kanuna bağlı olarak 29.04.2009 tarih ve 27214 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan ve 24.12.2009 tarih ve 27442 sayılı Resmi Gazete'de yapılan değişiklik ile birlikte 01.04.2010 tarihinde yürürlüğe giren Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik (Anonim, 2009) kapsamında atık geri kazanım faaliyeti yürüten işletmelere en geç iki yıl içerisinde çevre izin veya lisans belgesi alma koşulu getirilmiştir. Böylelikle 2012 yılından itibaren lisanslı işletme sayılarında artışlar görülmüştür. Ülkemizdeki tehlikesiz atık geri kazanım lisanslı işletmeleri hızlı bir artış göstermiş olup, yıllara göre sayıları Şekil 3'te verilmiştir (Anonim, 2017b).



Şekil 3:

Türkiye'deki tehlikesiz atık lisanslı tesislerin yıllara göre sayıları

Çevre Kanuna bağlı olarak 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde (Anonim, 2015b) altı haneli atık kodları bulunmakta olup, atık döküm kumları için belirlenmiş atık kodları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Atık döküm kumları için tanımlanan atık kodları

Atık Kodu	Atık Tanımı	Tehlike Sınıfı
10 09 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	M
10 09 08	10 09 07 dışında döküm yapılmış maça ve kum döküm kalıpları	-
10 10 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	M
10 10 08	10 10 07 dışındaki döküm yapılmış maça ve kum döküm kalıpları	-

Ülkemizde oluşan atık döküm kumları, atık üreticileri tarafından TÜBİTAK'ta yaptırılan tehlikelilik analizleri sonucunda, çoğunlukla tehlikesiz atık kapsamında yer almaktadır. Türkiye'deki döküm fabrikalarından kaynaklanan tehlikesiz atık döküm kumları, alternatif hammadde olarak kullanılmak üzere çimento fabrikalarına (lisanslı tesislere) ya da depolanmak ve örtü tabakası olarak kullanılmak üzere belediyelere ait düzenli depolama tesislerine gönderilmektedir. Metal döküm faaliyetinin gerçekleştiği döküm fabrikasının bulunduğu alanın yakınlarında ya da civar illerde düzenli depolama tesisi veya çimento fabrikası bulunmaması durumunda, atık üreticileri oluşan döküm kumlarını fabrika sahalarında biriktirmeyi ya da belediyenin çöp depolama alanlarına göndermeyi tercih etmektedirler. Ekonomik kaygılar ve atık döküm kumlarının lisanslı işletmelere gönderilmesi sonucu oluşan maliyetler nedeniyle atık döküm kumlarının oluştukları alanlarda çevresel kirlilik de başlamaktadır.

08.06.2010 tarih ve 27605 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak 08.06.2015 tarihinde yürürlüğe giren Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik'in (Anonim, 2010b) Ek-2 Listesi Tablo 2'de potansiyel toprak kirlenici faaliyetler ile bu faaliyetlere özel kirlilik gösterge parametreleri listesi yer almaktadır. Metal döküm faaliyetleri sonrasında toprak kirliliği açısından oluşması beklenen kirlenici parametreler listesi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Potansiyel toprak kirlenici faaliyetler ile faaliyetlere özel kirlilik gösterge parametreleri listesi

Faaliyet Türü	Faaliyete Özel Kirlenici Gösterge Parametreleri
Demir döküm	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U, V, Zn
Çelik dökümü	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U, V, Zn
Hafif metallerin dökümü	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U, V, Zn
Diğer demir dışı metallerin dökümü	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U, V, Zn

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı Döküm Sektörü Rehber Doküman'dan (Anonim, 2012a) faydalanarak Bursa ilinde faaliyet gösteren bir döküm fabrikasından kaynaklanan atık döküm kumu miktarı hesaplanarak, bu atıkların düzenli depolama tesislerine gönderilmesi yerine, beton santrallerinde alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi sonucu elde edilecek çevresel ve ekonomik analiz yapılmıştır.

4. BULGULAR

Atık döküm kumları silis, organik katkı maddeleri ve bentonit içermektedir. Atık döküm kumlarının kimyasal içeriği Tablo 3'te verilmiştir (Güney ve diğ., 2006).

Tablo 3. Atık döküm kumlarının içeriği

Kimyasal İçerik	Değer (%)
Silis (SiO ₂)	98
Alüminyum (Al ₂ O ₃)	0,8
Demir (Fe ₂ O ₃)	0,25
Potasyum (K ₂ O)	0,04
Kalsiyum (CaO)	0,035
Magnezyum (MgO)	0,023
Nikel	0,004
Krom	0,003
Kurşun	0,003
Çinko	0,003
Bakır	0,002
Kadmiyum	0,001
Sülfür	-
Eser Elementler	0,836

Türkiye'de otomotiv sanayinin hızlı yükselişi ve buna bağlı olarak otomotiv yan sanayicilerinin üretimlerinin artması nedeniyle, metal döküm sektörü üretim miktarları da artmıştır. Ayrıca, üretim faaliyeti sonrasında oluşan atık döküm kumu miktarlarında da artışlar görülmektedir. 2010 yılında 300 000 ton civarında olan atık döküm kumları, 2015 yılında 420 000 ton seviyelerine gelerek, 5 yıl içinde hızlı bir artış göstermiştir. 1 ton metal döküm üretimi sonrası ortalama 0,35 ton döküm atığı oluştuğu ve bu atığın %65'nin atık döküm kumu olduğu kabulü (Anonim, 2012a) ile yıllık metal döküm üretimine göre oluşan atık döküm kumlarının miktarı hesaplanarak Tablo 4'te verilmiştir (Anonim, 2013, 2014b, 2015a, 2016; Başar, 2012).

Tablo 4. Yıllara göre metal döküm üretimi ve atık döküm kumu miktarları

Yıllar	(A) Metal Döküm Üretim Miktarı (ton)	(B=Ax0,35) Döküm Atığı Miktarı (ton)	(C=Bx0,65) Atık Döküm Kumu Miktarı (ton)
2006	1 209 500	423 325	275 161
2007	1 316 500	460 775	299 504
2008	1 265 000	442 750	287 788
2009	1 030 000	360 500	234 325
2010	1 291 700	452 095	293 862
2011	1 433 050	501 568	326 019
2012	1 445 000	505 750	328 738
2013	1 543 000	540 050	351 033
2014	1 750 000	612 500	398 125
2015	1 850 000	647 500	420 875

2015 yılında 1 850 000 ton metal döküm ürünü üretilmiştir.

Buna bağlı olarak yalnızca 2015 yılında;

$1\,850\,000 \times 0,35 = 647\,500$ ton döküm atığı ve

$647\,500 \times 0,65 = 420\,875$ ton atık döküm kumu oluşmuştur.

Türkiye’de son yıllarda kentsel geri dönüşüm, otoyol, köprü, havalimanı inşaatlarının yoğun olarak devam etmesi nedeniyle, hazır beton üretim miktarlarında da artışlar görülmektedir. Türkiye Hazır Beton Birliği’nin 2013-2014 yılı hazır beton sektörü istatistiklerine göre, hazır beton üretiminin yıllara göre değişimi Tablo 5’te verilmiştir (Anonim, 2015c).

Tablo 5. Hazır beton üretiminin yıllara göre değişimi

Yıllar	Firma Sayısı	Tesis Sayısı	Hazır Beton Üretimi (m ³)
2005	277	568	46 300 000
2006	409	718	70 732 631
2007	477	845	74 359 847
2008	462	825	69 600 000
2009	467	845	66 430 000
2010	500	900	79 680 000
2011	520	945	90 450 000
2012	540	980	93 050 000
2013	580	1 040	102 000 000
2014	600	1 080	107 000 000

Hazır beton üretiminde hammadde olarak kullanılan agrega yerine %20 oranına kadar atık döküm kumu kullanılabilir (Başar, 2012).

100 000 m³ hazır beton üretimi için 44 200 ton agrega gereklidir (Başar, 2012).

İhtiyaç olan agreganın %20’si;

$44\ 200 \times 0,20 = 8\ 840$ ton atık döküm kumlarından karşılandığında, agrega maliyetlerinden %20 oranında tasarruf edilmiş olacak ve aynı zamanda atık döküm kumları geri kazanılarak çevre kirliliğinin önüne geçilmiş olacaktır.

Türkiye'de bir yılda hazır beton üretimi için ihtiyaç duyulan agrega miktarı;

$$107\ 000\ 000\ m^3 \times (44\ 200\ ton / 100\ 000\ m^3) = 47\ 294\ 000\ ton'dur.$$

Türkiye'de bir yılda oluşan atık döküm kumu miktarı yaklaşık 420 000 ton olarak hesaplanmıştır (Tablo 4).

$(420\ 000 / 47\ 294\ 000) \times 100 = \%1$ tüm beton santralleri üretiminde %1 oranında atık döküm kumu kullandığında ülke genelindeki tüm döküm fabrikalarında oluşan atık döküm kumları geri kazanılmış olacaktır.

Bursa ilinde faaliyet gösteren büyük döküm fabrikalarından birinin,

Yıllık metal döküm üretim kapasitesi 90 300 ton'dur (Anonim, 2012b).

Yıllık oluşan atık miktarı $90\ 300\ ton \times 0,35 = 31\ 605\ ton$,

Yıllık oluşan atık döküm kumu miktarı ise; $31\ 605\ ton \times 0,65 = \underline{20\ 543\ ton}$ olarak hesaplanmaktadır.

Bursa Büyükşehir Belediyesi Düzenli Katı Atık Depolama tesisinde, 1 ton tehlikesiz atık döküm kumu 75 TL (14,29 \$) karşılığında bertaraf edilmektedir. Atık döküm kumları, bertaraf için düzenli depolama tesislerine gönderilirse, yıllık atık döküm kumu bertarafı için ödenecek bedel;

$$20\ 543\ ton \times 75\ TL = \underline{1\ 540\ 725\ TL\ (293\ 471\ \$)}$$
'dir. (1 \$ = 5,25 TL)

20 543 ton atık döküm kumunu düzenli depolama tesislerine göndermek yerine, döküm fabrikası yakınındaki hazır beton santralinde üretimde alternatif hammadde olarak kullanılmasıyla geri kazanılması mümkündür. 100 000 m³ hazır beton üretimi için 44 200 ton agrega gerekli olduğu bilgisinden yola çıkılarak, yıllık 576 000 m³ hazır beton üretim kapasitesi bulunan hazır beton santralinin (Anonim, 2014a),

$$(576\ 000 / 100\ 000) \times 44\ 200 = \underline{254\ 592\ ton}$$
 agrega ihtiyacı bulunmaktadır.

Bu ihtiyacın %20'sini atık döküm kumundan karşıladığında ise;

$254\ 592 \times 0,20 = 50\ 918$ ton atık döküm kumu geri kazanım kapasitesi olduğu görülmektedir. Bu da döküm fabrikasından oluşan atık döküm kumlarının tamamının hazır beton santralinde alternatif kullanılması için yeterli kapasitede olduğunu göstermektedir.

Diğer bir deyişle;

$(20\ 543 / 254\ 592) \times 100 = \%8$ oranında atık döküm kumu kullanıldığında döküm fabrikasının bir yılda oluşan tüm atık döküm kumları geri kazanılmış olacaktır.

Bu durumda hazır beton santrali, döküm fabrikasında oluşan 20 543 ton atık döküm kumunun yapay agrega olarak kullanılması sonrasında agrega ton başına ödeyeceği 15 TL (2,86 \$) maliyetten de kar etmiş olacaktır.

Döküm fabrikası ise, atık döküm kumlarının belediyenin düzenli depolama tesisine göndermek için ton başına ödeyeceği 75 TL (14,29 \$) ücreti ödemeyerek kar etmiş olacaktır. Her iki işletme arasındaki alışverişin bedelsiz gerçekleşmesi sonrasında;

- Döküm fabrikasının atık bertarafı için ödeyeceği bedel
 $20\ 543\ ton \times 0\ TL/ton = 0\ TL\ (0\ \$)$
- Döküm fabrikasının elde edeceği kar miktarı
 $20\ 543\ ton \times 75\ TL/ton = 1\ 540\ 725\ TL\ (293\ 471\ \$)$
- Hazır beton santralinin agrega alımı için ödeyeceği bedel
 $20\ 543\ ton \times 0\ TL/ton = 0\ TL\ (0\ \$)$
- Hazır beton santralinin elde edeceği kar miktarı
 $20\ 543\ ton \times 15\ TL/ton = 308\ 145\ TL\ (58\ 694\ \$)$ 'dir.

5. SONUÇLAR

Gelişen teknoloji ve sanayi ile birlikte birim zamanda daha fazla üretim ve maksimum fayda hedeflenmektedir. Üretim yaparken aynı zamanda çevreye yapılan olumsuz etkiler ve oluşan atık miktarları da giderek artmaktadır. Tehlikesiz nitelikteki endüstriyel atıkların düzenli depolama tesislerinde depolanması geçici bir çözüm olmakla birlikte, bu sahaların endüstriyel atıklar ile doldurulması kullanım ömürlerinin kısalmasına yol açmaktadır. Atıkların endüstriyel simbiyoz ile alternatif hammadde olarak kullanılması hem çevresel, hem de ekonomik açıdan faydalı olacaktır.

Atık döküm kumlarının lisanslı işletmelere gönderilmesi sonucu oluşacak ek maliyetler nedeniyle, oluştuğu alanda biriktirilmesi çevre kirliliğine neden olmaktadır. Belediyelerin düzenli atık depolama tesislerine gönderilen atık döküm kumları ise, depolama alanlarının kapasitesini doldurmaktadır. Endüstriyel simbiyoz çalışmaları ile atık döküm kumlarının hazır beton üretimi gibi diğer sektörlerde hammadde olarak değerlendirilmesi neticesinde, hem atık bertaraf maliyetleri azaltılabilmekte, hem de ekonomik kazanç elde edilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Bursa ilinde faaliyet gösteren bir döküm fabrikasında bir yılda oluşan atık döküm kumlarının, fabrika yakınında faaliyet gösteren hazır beton santralının üretiminde yapay agrega olarak kullanılmasına dayalı yapılan ekonomik analiz ile her iki fabrikanın elde edeceği kar miktarı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Atık döküm kumlarının üretildikleri alanda biriktirilmesi yerine, geri kazanım tesislerine gönderilerek değerlendirilmesi neticesinde, oluştuğu alanda depolamadan kaynaklanacak hava, su ve toprak kirliliğinin önüne geçilmiş olunacaktır. İlave olarak, bu çevresel etkilerin önlenmesi ya da olası kirliliğin giderilmesi için ekstra maliyet oluşmayacaktır.
- Endüstriyel simbiyoz ile atık döküm kumunun alternatif hammadde olarak kullanılması sonucunda bertaraf maliyeti oluşmayacak ve döküm fabrikası bertaraf için ödenecek bedel kadar kar elde etmiş olacaktır.
- Döküm fabrikasından bir yılda oluşan atık miktarı ile fabrika yakınındaki hazır beton santralının ihtiyaç duyduğu agrega miktarı kıyaslandığında, beton santralının üretiminde %20 yerine %8 oranında atık döküm kumunun kullanılmasının, döküm fabrikasında bir yılda oluşan tüm atık döküm kumlarının geri kazanılması için yeterli olacağı bulunmuştur.
- Bursa ilinde faaliyet gösteren bir döküm fabrikasının atık döküm kumlarının hazır beton üretiminde kullanılması sonucunda, yılda 1 540 725 TL (293 471 \$) kar elde edebileceği hesaplanmıştır.
- Atık döküm kumunu yapay agrega olarak kullanan bir beton santrali de hammaddeye ödeyeceği bedel kadar kar elde edecektir.
- Bursa ilinde yer alan bir döküm fabrikası yakınında faaliyet gösteren hazır beton santralinde yapay agrega yerine döküm fabrikasında bir yılda oluşan atık döküm kumlarının kullanılmasına dayalı yapılan hesaplamada, beton santralının hammaddeye ödeyeceği 308 145 TL (58 694 \$) kadar kar elde edebileceği bulunmuştur.
- Atık döküm kumlarının hazır beton üretiminde kullanılması ve hazır beton üretim tesislerinin her ilde yaygın olması nedeniyle atık döküm kumlarının tek bir depolama tesisi ya da çimento gibi geri kazanım tesislerine taşınması yerine, daha yakın bölgelerde geri kazanılmasının sağlanacağı belirlenmiştir.

Atık döküm kumu üzerine yapılan ulusal ve uluslararası araştırmalarda, atık döküm kumunun kıymetli bir hammadde olarak değerlendirildiği, endüstriyel simbiyoz ile atıktan maksimum fayda sağlanması amaçlandığı görülmüştür. Bu konuda yapılan çalışma sayısının artırılmasının, beton santrallerinde üretim yapan tesisler için faydalı olacağı ve diğer sektörlerde de atık döküm kumunun hammadde olarak kullanımı için öncülük edeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Aggarwal, Y. and Siddique, R. (2014) Microstructure and properties of concrete using bottom ash and waste foundry sand as partial replacement of fine aggregates, *Construction and Building Materials*, 54, 210-223. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.12.051
2. Alonso-Santurde, R., Coz, A., Viguri, J.R. and Andres, A. (2012) Recycling of foundry by-products in the ceramic industry: green and core sand in clay bricks, *Construction and Building Materials*, 27, 97-106. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.08.022
3. Anonim, (1991). Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, R.G. Tarihi: 14.03.1991, R.G. Sayısı:20814, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
4. Anonim, (2009). Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik, R.G. Tarihi: 29.04.2009, R.G. Sayısı:27214, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
5. Anonim, (2010a). Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği, R.G. Tarihi: 12.05.2010, R.G. Sayısı:27579, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
6. Anonim, (2010b). Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, R.G. Tarihi: 08.06.2010, R.G. Sayısı:27605, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
7. Anonim, (2011). Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği, R.G. Tarihi: 17.06.2011, R.G. Sayısı:27967, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
8. Anonim, (2012a). Türkiye'de Sanayiden Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Yönetiminin İyileştirilmesi Döküm Sektörü Rehber Doküman, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
9. Anonim, (2012b). Döküm Radyatör Döküm Kat Kaloriferi Döküm Kazan Döküm Soba Quartz ve Doğalgaz Sobası Hidrofor Üretim Tesisi Kapasite Artışı Proje Tanıtım Dosyası, BURÇED, Bursa.
10. Anonim, (2013). 47th census of world casting production. The American Foundry Society, Illinois. Erişim Adresi: <http://www.afsinc.org/multimedia/archiveMC.cfm?navItemNumber=8542&Yr=2013> (Erişim Tarihi: 13.08.2017)
11. Anonim, (2014a). Hazır Beton İnegöl Tesisi Proje Tanıtım Dosyası, ÇEDFEM, Bursa.
12. Anonim, (2014b). 48th census of world casting production. The American Foundry Society, Illinois. Erişim Adresi: <http://www.afsinc.org/multimedia/archiveMC.cfm?navItemNumber=8542&Yr=2014> (Erişim Tarihi: 13.08.2017)
13. Anonim, (2015a). 49th census of world casting production. The American Foundry Society, Illinois. Erişim Adresi: <http://www.afsinc.org/multimedia/archiveMC.cfm?navItemNumber=8542&Yr=2015> (Erişim Tarihi: 13.08.2017)
14. Anonim, (2015b). Atık Yönetimi Yönetmeliği, R.G. Tarihi: 02.04.2015, R.G. Sayısı:29314, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
15. Anonim, (2015c). 2013 – 2014 Yılı Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul. Erişim Adresi: <http://www.thbb.org> (Erişim Tarihi: 09.08.2017)
16. Anonim, (2016). 50th census of world casting production. The American Foundry Society, Illinois. Erişim Adresi:

<http://www.afsinc.org/multimedia/archiveMC.cfm?navItemNumber=8542&Yr=2016>
(Erişim Tarihi: 13.08.2017)

17. Anonim, (2017a). Türkiye İstatistik Kurumu, İmalat Sanayi Atık Göstergeleri 2000-2014, Erişim Adresi: http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1438 (Erişim Tarihi: 13.08.2017)
18. Anonim, (2017b). İzin lisans ve geçici faaliyet belgesi alan işletmeler. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Erişim Adresi: <http://www.csb.gov.tr/gm/ced/index.php?Sayfa=sayfaicerikhtml&IcId=664&detId=663&ustId=664> (Erişim Tarihi: 09.08.2017)
19. Apay, A.C., Özkan, Ö. and Yılmaz, C. (2011) Alternatif yakıt ürünlerinin klinker üretiminde kullanımına bir örnek: Akçansa Büyükçekmece Çimento Fabrikası, *New World Sciences Academy*, 6(4), 1306-3111.
20. Arulrajah, A., Yaghoubi, E., Imteaz, M., and Horpibulsuk, S. (2017) Recycled waste foundry sand as sustainable subgrade fill and pipe-bedding construction material: engineering and environmental evaluation, *Sustainable Cities and Society*, 28, 343-349. doi:10.1016/j.scs.2016.10.009
21. Bakış, R., Koyuncu, H. and Demirbaş, Y. (2006) An investigation of waste foundry sand in asphalt concrete mixtures, *Waste Management & Research*, 24, 269-274. doi: 10.1177/0734242X06064822
22. Başar, H.M. (2012). Dökümhanelerden kaynaklanan atıkların uygun geri kazanım/tekrar kullanım ve bertaraf yöntemlerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
23. Gönen, T., Onat, O., Cemalgil, S. Yılmaz, B. and Altuncu T.T. (2012) Beton teknolojisi için yeni atık malzemeler üzerine bir inceleme, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 36-43.
24. Güney, Y., Aydılek, A.H., and Demirkan, M.M. (2006) Geoenvironmental behavior of foundry sand amended mixtures for highway subbases, *Waste Management*, 26, 932-945. doi:10.1016/j.wasman.2005.06.007
25. Güney, Y., Sarı, Y.D., Yalçın, M., Tunçan, A., and Dönmez, S. (2010) Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete, *Waste Management*, 30, 1705-1713. doi:10.1016/j.wasman.2010.02.018
26. Kaya, T. and Karakurt, C. (2016) Uygulamadaki beton parke taşlarının mühendislik özelliklerinin incelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 469-474.
27. Khatib, J.M., Herki, B.A., Fırat, S., Menadi, B., and Kenai, S. (2011) Capillarity of concrete incorporating foundry sand as replacement of sand, *New World Sciences Academy*, 6(4), 1306-3111.
28. Khatib, J.M., Herki, B.A., and Kenai, S. (2013) Capillarity of concrete incorporating waste foundry sand, *Construction and Building Materials*, 47, 867-871. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.05.013
29. Miller, E., Bahia, H.U., Benson, C., Khatri, A. and Braham, A. (2001) Utilization of waste foundry sand in hot mix asphalt mixtures, *AFS Transactions*, 01(103), 1-15.
30. Naik, T.R., Singh, S.S., and Ramme, B.W. (1998) *ACI Materials Journal*, 95(4), 454-462.
31. Naik, T.R., Singh, S.S., Kraus, R.N., and Ramme, B.W. (2001) *American Concrete Institute*, 199, 163-184.

32. Quijorna, N., Coz, A., Andres, A., and Cheeseman, C. (2012) Recycling of Waelz slag and waste foundry sand in red clay bricks, *Resources, Conservation and Recycling*, 65, 1-10. doi:10.1016/j.resconrec.2012.05.004
33. Saha, N. (1996). A decision making framework for foundry sand using life cycle assessment and costing techniques, *The Degree of Master*, U.W. Department of Industrial and Manufacturing Systems Engineering, Ontario.
34. Siddique, R., and Noumowe, A. (2008) Utilization of spent foundry sand in controlled low-strength materials and concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 27-35. doi:10.1016/j.resconrec.2008.09.007
35. Singh, G. and Siddique, R. (2011) Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing, *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 885-892. doi:10.1016/j.resconrec.2011.05.001
36. Singh, G. and Siddique, R. (2012a) Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS), *Construction and Building Materials*, 28, 421-426. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.08.087
37. Singh, G. and Siddique, R. (2012b) Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete, *Construction and Building Materials*, 26, 416-422. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.06.041
38. Uçar, A. (2016) Döküm esasları ve yöntemleri. Uçar Yayıncılık, İstanbul.
39. Yazoghli-Marzouk, O., Vulcano-greullet, N., Cantegrit, L., Friteyre, L. and Jullien, A. (2014) Recycling foundry sand in road construction-field assessment, *Construction and Building Materials*, 61, 69-78. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.02.055