



**Review Paper / Derleme Makalesi**  
**RECOVERY APPLICATIONS OF WASTE FOUNDRY SAND**

**Hatice Merve BAŞAR<sup>\*1</sup>, Nuran DEVECİ AKSOY<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Çevre Enstitüsü, Gebze-KOCAELİ

<sup>2</sup>Istanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Maslak-İSTANBUL

Received/Geliş: 08.03.2012 Revised/Düzelme: 14.05.2012 Accepted/Kabul: 17.05.2012

---

**ABSTRACT**

Giving priority in the manufacturing industry to the production, product quality and costs at present situation in Turkey led recovery applications to be postponed to the second stage. However, utilization of natural resources efficiently by minimizing the consumption of materials and recovering qualified wastes is a very substantial topic to be considered. Conversion of waste foundry sand (WFS) generated from foundries and arising in high amounts in casting process to the economically valuable beneficial products with environmentally friendly methods instead of disposal as waste is one of the hot topics of developed countries working on it. However, studies on recovery applications of WFS in our country is inadequate yet; WFS are mostly disposed at landfills at present situation. Increasing landfill costs and limited landfill areas especially in the municipalities become a considerable matter for the foundry industry. Therefore, recovery of WFS instead of disposal will provide important savings both in production costs and disposal costs via the minimization of waste amounts. Preventing rapid consumption of natural resources, conversion of wastes to the input for economy instead of being a threat against environment and human health and finding them a place as energy purpose and as valuable chemical raw materials are the necessities according to the concept of *sustainable environment* and *sustainable development*, which is embraced as preferential policy target in world and as in our country. Thus, in this study, probable recovery applications for WFS which owns a substantial potential in Turkey are investigated and compiled in national and international basis.

**Keywords:** Waste foundry sand, recovery, natural resources, environment, secondary raw material.

**ATIK DÖKÜM KUMUNUN GERİ KAZANIM UYGULAMALARI**

**ÖZET**

Türkiye'de mevcut durumda imalat sanayinde öncelik; üretim, ürün kalitesi ve maliyete verilmiş olduğundan, atık geri kazanım uygulamaları ikinci planda kalmıştır. Halbuki, malzeme tüketimini azaltmak ve değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasının sağlanması oldukça önemli bir konudur. Dökümhanelerden kaynaklanan ve döküm işlemi sırasında yüksek miktarlarda ortaya çıkan atık döküm kumunun (ADK) atık olarak bertaraf edilmesi yerine çevre dostu yöntemlerle ekonomik değeri olan faydalı ürünlere dönüştürülmesi, gelişmiş ülkelerde üzerinde sıkça çalışılan bir konudur. Buna karşın, ülkemizde bu konu ile ilgili çalışmalar henüz yetersizdir, ADK çoğunlukla tekrar değerlendirilemeden düzenli depolama tesislerinde depolanmak suretiyle bertaraf edilmektedir. Artan depolama maliyeti ve özellikle büyükşehirlerdeki kısıtlı depolama alanları, döküm sektöründe önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu nedenle ADK'nın bertaraf yerine geri kazanımı; hem üretim maliyetlerinde, hem de atık miktarının azaltılması suretiyle atık bertaraf maliyetlerinde önemli bir tasarruf sağlayacaktır. Doğal kaynakların hızla tüketilmesinin önlenmesi ve atıkların çevre ve insan sağlığı için bir tehdit olmaktan çıkartılarak ekonomi için bir girdiye dönüştürülmesi, enerji amaçlı veya değerli kimyasal hammadde olarak uygulamalar bulması tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de giderek öncelikli bir politika hedefi olarak benimsenen *sürdürülebilir çevre* ve *sürdürülebilir kalkınma* açısından bir gerekliliktir. Bu çalışmada Türkiye için önemli bir potansiyele sahip olan ADK'ların olası geri kazanım uygulamaları ulusal ve uluslararası bazda incelenmiş ve derlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Atık döküm kumu, geri kazanım, doğal kaynak, çevre, ikincil hammadde.

---

\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: merve.basar@mam.gov.tr, tel: (262) 677 29 74

## 1. GİRİŞ

Ergimiş metalin içerisinde boşluk bulunan bir kalıba dökülüp katılaştırılmasıyla istenilen şeklin elde edilmesi yöntemine *döküm* denir [1]. Döküm sanayi; çeşitli pik demir, çelik hurda ve ferro alaşımların endüksiyon, ark veya kupol ocaklarında ergitilerek kum, seramik veya metal kalıplarda şekillendirilmesiyle, sanayinin ihtiyacı olan pik, çelik, sfero ve temper döküm ürünlerinin ham veya işlenmiş olarak üretildiği sanayi sektörüdür [2]. 4D sektörü (dirty, difficult, dangerous, dusty) olarak da anılan kirli, zor, tehlikeli ve tozlu bir sektördür. Ancak, gerek sağladığı istihdam, gerekse ülke sanayisine katkısı nedeniyle tüm dünyada vazgeçilemez sektörlerden biridir [3].

2011 yılı döküm sektörü verilerine göre, Türkiye'de yer alan toplam 1040 kuruluştan 1024'ü özel sektör, 16'sı ise kamu ve askeri kuruluştur. 2011 yılında demir-çelik döküm sektöründe 655 kuruluş, demir dışı döküm sektöründe ise 375 kuruluş faaliyetini sürdürmüştür. Türk döküm sektörünün gerek Avrupa'da, gerekse dünyada önemli bir yeri vardır. Türk döküm sektöründeki 2011 yılı kuruluş sayıları Çizelge 1'de, Türkiye'de döküm sektöründe faaliyet gösteren işletmeler ve üretim miktarlarının yıllara göre değişimi ise Çizelge 2'de verilmiştir [4].

Çizelge 1. Türk döküm sektörü kuruluş sayısı [4]

Üretim Cinsi	Kuruluş Sayısı (2011) yılı				Toplam
	Özel Sektör			Kamu & Askeri	
	Büyük	KOBİ	Mikro		
Pik ve Sfero Döküm	18	212	356	8	594
Temper Döküm	1	2	-	-	3
Çelik Döküm	13	35	17	3	68
Alüminyum	19	42	113	2	176
Zamak	4	23	149	1	177
Bakır Alaşımları	2	7	11	2	22
<b>TOPLAM</b>	<b>57</b>	<b>321</b>	<b>646</b>	<b>16</b>	<b>1 040</b>

Türk döküm sektörü, 2010 yılı üretim rakamları itibarı ile Almanya, Fransa ve İtalya'yı takiben Avrupa'da 4. sıraya yerleşmiş olmakla birlikte, Dünya sıralamasında 13. sırada yer almıştır. Dünya döküm üretiminin %1.4'ü Türkiye'de yapılmaktadır. 2010 yılı Avrupa döküm üretim miktarları Çizelge 3'te verilmiştir:

Çizelge 2. Türk döküm sektörü verileri [4]

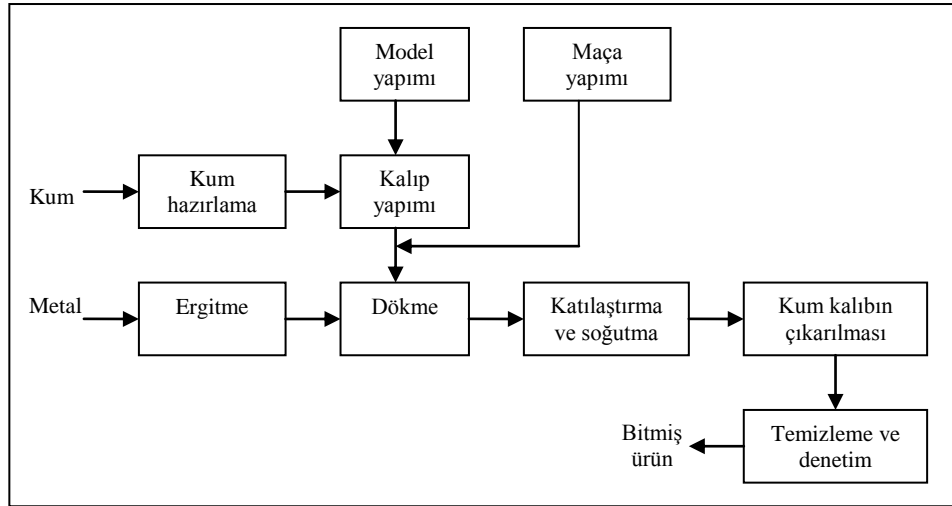
Sektörel göstergeler	İşletme sayısı	Üretim miktarı (ton)
2004	1 256	982 000
2005	1 299	1 121 200
2006	1 285	1 209 500
2007	1 216	1 316 500
2008	1 189	1 265 000
2009	1 097	1 030 000
2010	1 071	1 291 700
2011	1 040	1 433 050

Çizelge 3. 2010 yılı Avrupa döküm üretimi [4]

Sıra	Ülke	Üretim (ton)	Sıra	Ülke	Üretim (ton)
1	Almanya	4 794 179	6	Ukrayna	1 000 000
2	Fransa	1 956 966	7	Polonya	928 150
3	İtalya	1 970 666	8	İngiltere	501 400
4	Türkiye	1 291 700	9	Çek Cum.	344 377
5	İspanya	1 143 038	10	Avusturya	305 857

### 1.1. Döküm Prosesi Temel Adımları

Döküm işleminde altı temel adım takip edilir: 1) model yapımı; 2) maça yapımı; 3) kum hazırlama; 4) kalıp hazırlama ve kalıplama işlemi; 5) metal ergitme ve dökme ve 6) temizleme [5]. Döküm sektörüne ilişkin genel proses akım şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Döküm prosesi genel akım şeması [1]

### 1.2. Döküm Kumunun Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Döküm kumunun fiziksel ve kimyasal özellikleri döküm prosesinin türüne ve kaynaklandığı sanayi sektörüne bağlıdır [6, 7]. Döküm kumu tipik olarak yarı-köşeli veya yuvarlak şekillidir [8]. Tane boyutu dağılımı uniformdur, %85-95'i 0,6 mm ile 0,15 mm arasındadır, %5-12'si ise 0,075 mm'den küçüktür [9]. Döküm kumunun özgül ağırlığı 2,39 ile 2,55 arasındadır ve su emme kapasitesi düşüktür; ayrıca, non-plastik ve kimyasal bileşimi ergimiş metalin türüne, bağlayıcı çeşidi ve yakata bağlıdır. ADK esas olarak, ince film halinde yanmış karbonla kaplı silika kumu, artık bağlayıcı (bentonit, kömür, reçine/kimyasal vb.) ve tozlardan oluşur. Döküm kumunun kimyasal bileşimi Çizelge 4'te gösterilmiştir. Silika kumu hidrofildir ve suyu yüzeyine çeker [7]. Döküm kumunun kalitesi; dayanıklılığı ve kimyasal bileşimi ile belirlenir. Döküm kumunun dayanıklılığı, inşaat mühendisliği uygulamalarında uzun süreli performansı açısından önemlidir. Geoteknik uygulamalarda döküm kumu sıklıkla yüksek dayanım göstermektedir [8].

Çizelge 4. Döküm kumunun kimyasal bileşimi [10]

Bileşen	%
SiO <sub>2</sub>	87.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.94
CaO	0.14
MgO	0.30
SO <sub>3</sub>	0.09
Na <sub>2</sub> O	0.19
K <sub>2</sub> O	0.25
TiO <sub>2</sub>	0.15
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02
SrO	0.03
Kızdırma kaybı	5.15

Dökümhanelerde kalıp yapımında kullanılan kumun esas görevi, sıvı metal dökülüp katılaşıncaya kadar kalıp boşluğunu bozulmadan korumaktır. Dökümün hatasız ve kaliteli olması için döküm kumunun aşağıdaki özelliklere sahip olması istenir [5, 11]:

- **Mukavemet:** Döküm işlemi sırasında sıvı metalin basıncı nedeniyle kalıbın şeklini koruyup koruyamadığını ifade eder.
- **Refrakterlik:** Döküm sıcaklığında kum tanelerinin topaklanmasına, birbirine yapışmasına ve ergmiş metalin sıcaklığı nedeniyle kum kalıbın bozulmasına refrakterlik denir. Kalıp döküm sıcaklığında çatlamamalı ve yumuşamamalıdır.
- **Permeabilite:** Sıvı metal kum kalıba döküldüğünde kumun, kalıp içinde bulunan veya döküm sırasında oluşan gazların geçişine izin verme özelliği, kumun permeabilitesidir. Kuvars taneleri arasındaki küçük kanallar, metal dökümü sırasında kalıpta açığa çıkan gazların geçişine izin verir.
- **Akıcılık:** Kumun kalıp şeklini alabilmesi için kil ve su eklenerek belirli bir akıcılığa getirilmesi gerekir.
- **Düzgün yüzey:** Döküm parçalarının düzgün yüzeyli olması için ince taneli kumların yüzeye dökülmesi gerekir.
- **Yeniden kullanma:** Ergimiş metal kalıba döküldüğünde kum taneleri çatlamadan ve topaklanma olmadan kalabilmeli ve yeni kalıp hazırlanırken yeniden kullanılabilmelidir.
- **Plastiklik:** Kalıp kumunun kalıbın şeklini alabilmesi için plastik yapıda olması gerekir, bunun için kuma kil ve su eklenir.
- **Kohezyon:** Uygun bağlayıcı ve sıkıştırma yöntemi kullanarak kalıp şeklinin korunmasıdır [11].
- **Sabit partikül boyutu dağılımı:** Kum tanelerinin boyutu ve dağılımı, hem döküm malzemesinin bitmiş yüzeyini etkiler, hem de kalıptaki su buharı ile kalıp gazlarının çıkışını kolaylaştırır [12].

### 1.3. Döküm Kumunun Sınıflandırılması

Döküm kumunu sınıflandırma yollarından biri, metal dökümü sırasında kullanılan bağlayıcılardır [6]. Kum taneleri doğal yollarla birbirine bağlanamayacağından, kum tanelerinin birarada tutunmasını sağlamak, ergimiş metalin kalıba dökümü ve döküm parçasının soğuması sırasında kalıbın şeklini koruyabilmesi için kuma çeşitli bağlayıcılar ilave edilir [8, 12]. Genellikle iki tür bağlayıcı sistemi kullanılmakta ve döküm kumlarının sınıflandırılması buna dayanmaktadır [6,

12]: **1)** Mekanik yolla (kille) bağlanmış kumlar (yeşil kum), **2)** Kimyasal yolla bağlanmış kumlar (reçineler).

Her iki kum da farklı fiziksel ve çevresel özelliklere sahiptirler. Yeşil kum kalıplarıyla döküm malzemelerinin %90'ı üretilmektedir [12]. Yeşil kumun bileşimi %85-95 yüksek kaliteli silika, bağlayıcı olarak bentonit kili (%4-10), karbon katkısı (%2-10) ve sudan (%2-5) oluşmakta, eser miktarda da MgO, K<sub>2</sub>O ve TiO<sub>2</sub> gibi kimyasallar içermektedir [13]. Yeşil kum (green sand), en yaygın kullanılan döküm kumudur ve karbon içeriğinden dolayı siyah renktedir [6, 7].

Kimyasal yolla bağlanmış kumlar, hem ergimiş metalin sıcaklığına yüksek dayanım gereken maça yapımında, hem de kalıp yapımında kullanılmaktadır. Döküm işlemi sonunda kalıp parçalanarak döküm malzemesi kalıptan alınırken, maça kumları yeşil kuma karışmaktadır [8]. Bu tür kumlar genellikle açık renkli olup, %93-99 silika ve %1-3 kimyasal bağlayıcı içermektedirler [6, 7].

Mekanik bağlayıcılar (bentonit) sadece kalıp yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Kimyasal bağlayıcılar ise inorganik (örneğin sodyum silikat) ve organik bazlı (örneğin furan reçine, üretan) olmak üzere ikiye ayrılmakta ve temelde maça yapmak için kullanılmaktadır [12, 14]. Döküm kumları *elde edilışlerine göre* iki türlü sınıflandırılmaktadır:

- **Doğal kum:** Deniz, göl kenarları veya ocaklardan çıkartılan kumdur. İçerisindeki kil miktarı ocaktan çıktığı haliyle muhafaza edilir ve dökümhaneye getirildikten sonra gerekli su ilavesi yapılır. Bu kumun avantajı, ucuz olması ve kolay hazırlanmasıdır, dezavantajı ise özelliğini çabuk kaybetmesidir.
- **Sentetik kum:** Doğal kuma silis tozu, demir oksit, odun talaşı, grafit tozu gibi maddeler katılarak hazırlanan kumdur. Doğal kuma göre avantajı, daha düzgün tane boyutuna sahip olması, daha az su ve kil ihtiyacı göstermesidir. Doğal kumda %6-8, sentetik kumda %3 nem bulunmaktadır [11].

Döküm kumları *kullanışına göre* ise üç kısma ayrılmaktadır:

- **Yeni kum:** Granit, bazalt, mika gibi volkanik taşların ve kum taşı, kireç taşı gibi çökelek taşların aşınmasıyla oluşmuştur. Şile bölgesinden çıkarılmaktadır.
- **Eski kum:** Dökümden sonra bozulan kalıplardan elde edilir. Döküm esnasında ani sıcaklık değişimi kum tanelerini çatlatır, kumun refrakterliği ve gaz geçirgenliği azalır, kuma plastiklik kazandıran kil yanarak bağlayıcılık özelliğini kaybeder.
- **Kullanım kumu:** Eski kuma %20-50 yeni kum, %5-15 kömür tozu, %5-12 su karıştırılarak elde edilir [15].

#### 1.4. Döküm Kumunun Bileşenleri

Dökümhanelerde kalıp yapımında kullanılan yeşil kum; silis (kum), kil, nem ve yabancı maddelerden meydana gelir:

- **Silis (kum):** Döküm kumunun esas bileşenidir (%85-95), refrakter bir malzemedir ve 1700°C'ye kadar ergimeden kalabilir. Oval, yuvarlak, düzgün yüzeyli veya pürüzlü olabilir.
- **Kil (bentonit):** Yeşil kumda bağlayıcı olarak doğal kil olan bentonit kullanılır. Kil, hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda kum tanelerini birbirine bağlar [12]. Kil, içinde su bulunan alüminyum silikattır (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O). Saf iken rengi beyazdır, ısıya karşı dayanımı yüksektir, su ile birleşince kuma plastiklik kazandırır ve kum tanelerini birbirine kenetler. Kalıp kumunun içinde istenen şartlara göre %4-10 oranında bulunur [11]. Sodyum ve kalsiyum bentonit, metal döküm işlemlerinde çoğunlukla kullanılan iki doğal kil türüdür [12]. Kalıp kumundaki kil 1000-1400°C arasında yanar ve bağlayıcılık özelliğini kaybeder [11].
- **Su (nem):** Kalıp kumlarının içinde %2-8 nem bulunur. Görevi, kili aktif hale getirerek kuma plastiklik ve mukavemet kazandırmak, kum tanelerinin birbirine yapışmasını

sağlamaktır [6]. Ancak, fazla su, kalıp mukavemetini azaltır. "Yeşil" kelimesi, kalıp kumundaki nemi ifade eder [5].

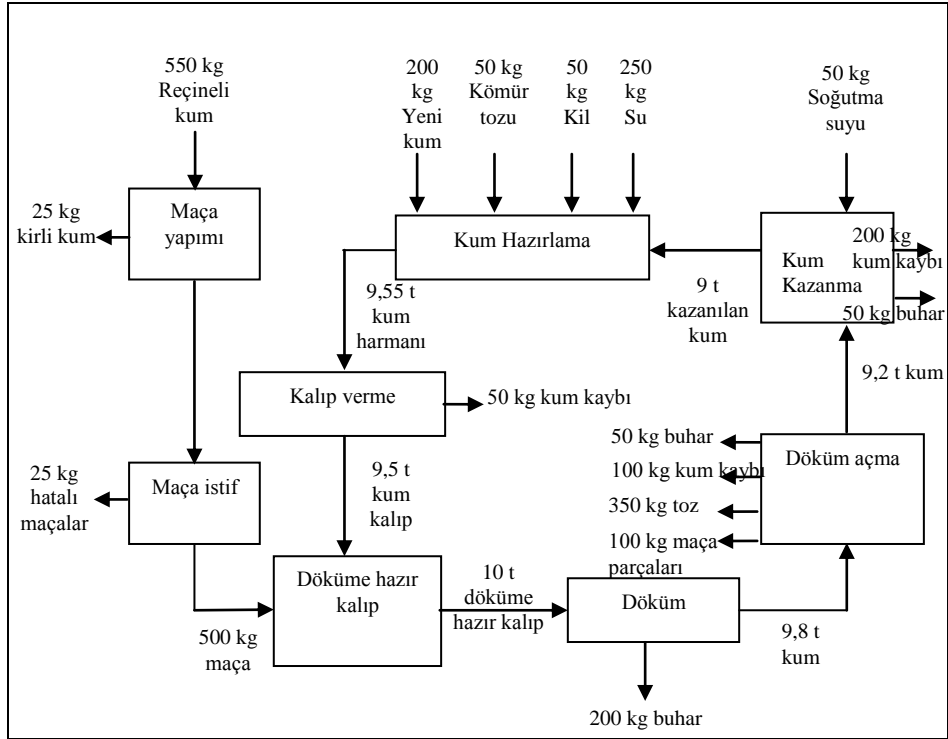
- **Yabancı maddeler:** Kalıp kumunun özelliklerini iyileştirmek amacıyla içerisine çeşitli oksitler ve organik maddeler de katılabilir (kömür tozu, talaş, silis tozu, demir oksit vb.); ancak, iyi bir kalıp kumunda yabancı madde oranı %8'i geçmemelidir [11, 16]. Demir dökümlerde kalıp kumu içerisine kömür tozu eklenmesinin nedeni; sıvı metalin kalıba doldurulması esnasında kalıp içerisindeki kömür tozunun yanarak kalıp ile döküm malzemesi arasında bir gaz tabakası (CO<sub>2</sub>) oluşturmasıdır [5]. Bu gaz tabakası hem kum tanelerinin sıcaklığın etkisi ile birbirlerine kaynamasını önler, hem de kumun döküm yüzeyine yapışmasını önleyerek döküm parça yüzeyinin temiz çıkmasını sağlar [6, 16]. Kömür tozu aynı zamanda kumun refrakter özelliğini artırır [12]. Ancak, aşırı gaz oluşumunu engellemek amacıyla kömür tozu miktarı sınırlı olmalıdır [5].

### **1.5. Döküm Kumunun Yeniden Kullanımı Ve Geri Kazanımı**

Döküm kumu, kararlı fiziksel özelliklere sahip yüksek kaliteli silika kumudur. Demir ve demir dışı döküm endüstrisinin yan ürünüdür ve yıllar boyu termal iletkenliği, ergimiş metalin ısı ve basıncına karşı direnç göstermesi ve ekonomik oluşundan ötürü dökümhanelerde kum kalıp yapımında kullanılmıştır [6, 13, 17].

Dökümlerin büyük bir kısmı kum kalıplar kullanılarak yapılır ve yaygın olarak kullanılan kalıplama malzemesi kumdur. Genellikle 1 ton döküm için 4-5 ton kum gereklidir. Bu miktar dökülen metalin cinsine, parça büyüklüğüne ve kalıplama tekniğine göre değişir [5]. Kum kalıba döküm yöntemi, kullanılan kalıbın cinsine göre değişik gruplara ayrılabilir. Bunların başlıcaları; yaş ve kuru kum kalıp, maça kalıp, kabuk kalıp, gaz sertleştiricili silikat yöntemi ile hazırlanan kalıp ve air-set kalıplara döküm yöntemleridir [16].

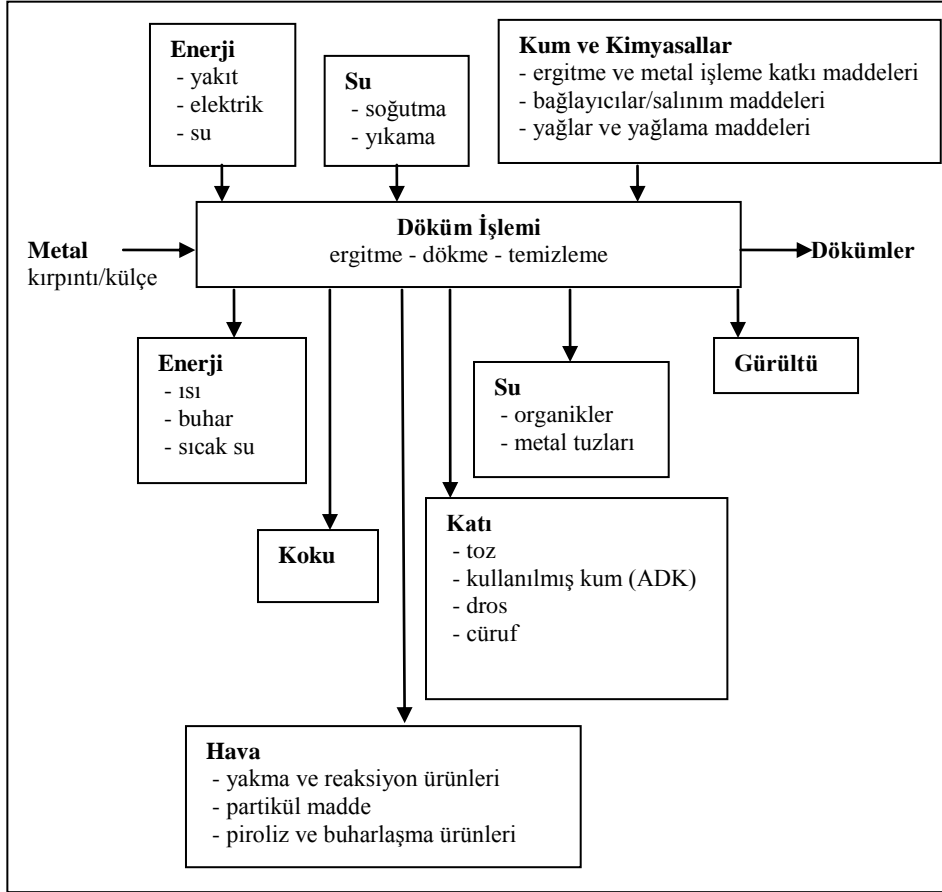
Kum kalıplar her döküm işleminden sonra açılarak kumdaki büyük parçalar elenerek uzaklaştırılmakta, azalan kum kadar sisteme yeni kum eklenerek tesiste çevrim devam etmektedir [5, 6]. Ancak döküm kumu belli bir çevrimden sonra döküm kalıplarında daha fazla kullanılamayacak hale gelir ve "atık döküm kumu (ADK)" olarak dökümhanelerden uzaklaştırılır [7, 18, 19]. Bunun sebepleri; kumun fiziko-kimyasal olarak bozulması, döküm sırasında ~1 500°C'deki ergimiş metale maruz kalması [20], kum içerisindeki bentonit bağlayıcılık özelliğini kaybetmesi ve mekanik aşınmayla kum taneleri direncinin kırılmasıdır [21]. Şekil 2'de 10 ton kalıp kumu için yeniden kullanımın yapıldığı dökümcülük işlemlerindeki yaklaşık kütle dengesi verilmiştir [3]:



Şekil 2. Dökümcülük işlemleri kütle dengesi [3]

## 2. DÖKÜMHANELERDEN KAYNAKLANAN ATIKLAR

Metal dökümcülüğü geri dönüşümü en fazla olan endüstri dallarından biri olmasına rağmen yine de katı, sıvı ve gaz atıklar üretmektedir. Girdisi büyük miktarlarda kum olan dökümhane atıklarının, içerdikleri kirlilikler açısından genellikle inorganik karakterli olduklarına inanılmaktadır [22]. Döküm sektörünün temel girdi ve çıktıları Şekil 3'te verilmiştir. Bir ton döküm malzeme üretiminde ~0.6-0.8 ton arası atık ortaya çıkmakta olup 0.4-0.6 tonunu kullanılmış kumlar oluşturmaktadır. Örneğin Türkiye'de 2011 yılı üretim rakamlarına göre, 1 433 050 ton döküm üretimi yapılmış, buna karşılık proseslerden tahmini 450 000 ton atık oluşmuştur. Bu miktarın yaklaşık %65'i ADK, %10'u cüruf, %15'i toz-çamur ve %10'u refrakter, yağ, taş, boya, varil gibi atıklar olmuştur [16].



Şekil 3. Döküm sektörünün temel girdi ve çıktıları [16]

Dökümhanelerden kaynaklanan atıklar 05.07.2008 tarihli ve 26927 sayılı "Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (AYGEİY)-EK IV: Atık Listesi"ne göre iki grupta sınıflandırılmaktadır; bunlar, demir döküm işleminden kaynaklanan atıklar ile demir dışı döküm atıklarıdır (Çizelge 5). "ADK", AYGEİY-EK IV'te verilen Tehlikeli Atık Listesi'nde; (10) kodlu, "Isıl işlemlerden kaynaklanan atıklar"-10 09 "Demir döküm işleminden kaynaklanan atıklar" grubuna dahil olup bu tür atıklar tehlikeli atıklar listesi alt sınıflarında **10 09 07** olarak kodlanmakta ve "Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları" (M) ve (\*) işareti ile belirtilmektedir. Söz konusu atık listesinde (M) işaretli atıkların tehlikelilik özelliklerini belirlemede, AYGEİY-EK III A'da listelenen özelliklerden H3-H8 ile H10 ve H11 ile ilgili değerlendirmeler ve AYGEİY-EK III B'deki eşik konsantrasyon değerleri esas alınmaktadır [23].

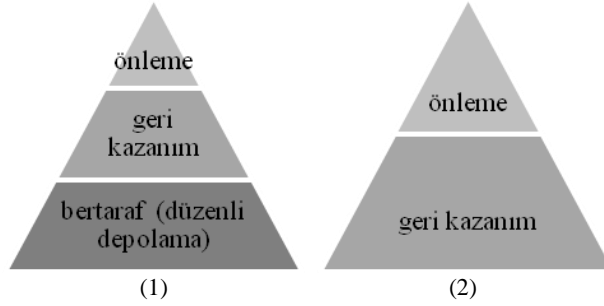


Çizelge 5. “AYGEİY-EK IV Atık Listesi” - Isıl işlemlerden kaynaklanan atıklar [23]

ISIL İŞLEMLERDEN KAYNAKLANAN ATIKLAR					
10	ISIL İŞLEMLERDEN KAYNAKLANAN ATIKLAR				
10 09	Demir Döküm İşleminde Kaynaklanan Atıklar		10 10	Demir Dışı Döküm Atıkları	
10 09 03	Ocak çürüfleri		10 10 03	Ocak çürüfleri	
10 09 05*	Henüz döküm yapılamamış, tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	M	10 10 05*	Henüz döküm yapılamamış, tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	M
10 09 06	10 09 05 dışında henüz döküm yapılamamış maça ve kum döküm kalıpları		10 10 06	10 10 05 dışındaki henüz döküm yapılamamış maça ve kum döküm kalıpları	
10 09 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	M	10 10 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 08	10 10 07 dışındaki döküm yapılmış maça ve kum döküm kalıpları	
10 09 09*	Tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu	M	10 10 09*	Tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu	M
10 09 10	10 09 09 dışındaki baca gazı tozu		10 10 10	10 10 09 dışındaki baca gazı tozu	
10 09 11*	Tehlikeli maddeler içeren diğer partiküller	M	10 10 11*	Tehlikeli maddeler içeren diğer partiküller	M
10 09 12	10 09 11 dışındaki diğer partiküller		10 10 12	10 10 11 dışındaki diğer partiküller	
10 09 13*	Tehlikeli maddeler içeren atık bağlayıcılar	M	10 10 13*	Tehlikeli maddeler içeren bağlayıcı atıkları	M
10 09 14	10 09 13 dışındaki atık bağlayıcılar		10 10 14	10 10 13 dışındaki bağlayıcı atıkları	
10 09 15*	Tehlikeli madde içeren çatlak belirleme kimyasalları atığı	M	10 10 15*	Tehlikeli madde içeren çatlak belirleme kimyasalları atığı	M
10 09 16	10 09 15 dışındaki çatlak belirleme kimyasalları atığı		10 10 16	10 10 15 dışındaki çatlak belirleme kimyasalları atığı	
10 09 99	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar		10 10 99	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar	

### 3. ATIK YÖNETİMİ HİYERARŞİSİ VE ATIK GERİ KAZANIMI

Tehlikeli atık yönetim sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar 1970'lerin başlarına dayanmaktadır. Tehlikeli atıkları kaynağında ayırma, toplama, geçici depolama, geri kazanım, taşıma, bertaraf ve bertaraf sonrası kontrol vb. işlemlerin tümü “*tehlikeli atık yönetimi*” olarak adlandırılmaktadır [24]. Tehlikeli atık yönetiminde temel amaç; güvenli, etkin ve ekonomik yollarla atıkların toplanması, taşınması, arıtımı ve bertarafının sağlanmasıdır [25]. Tehlikeli atık yönetiminde “Atık Yönetim Hiyerarşisi”nde belirtilen ve yönetimde tercih edilen öncelik sırasını ortaya koyan adımlar takip edilmelidir [24, 26]. Hiyerarşi ilk defa 75/442/EEC “Atık Çerçeve Direktifi” ile tanımlanmış [27], 2008/98/EC sayılı “Yeni Atık Çerçeve Direktifi”yle revize edilmiştir [28]. 2008/98/EC Direktifinin 4. maddesinde tanımlanan hiyerarşiye göre atık yönetiminde öngörülen öncelik sırası Şekil 4’te verilmiştir [29]:



Şekil 4. Atık yönetimi hiyerarşisi (1) geleneksel (2) 2020 yılı için hedeflenen [29]

Geleneksel atık yönetimi hiyerarşisindeki sıralamada, atık üretiminin ve zararlılığının kaynağında önlenmesi/azaltılması en tercih edilen seçenek olup diğer bir seçenek, atıkların yeniden kullanım, geri dönüşüm ve enerji/hammadde geri kazanımının sağlanmasıdır. Son seçenek ise atıkların güvenli bir şekilde nihai bertarafının (düzenli depolama, enerji geri kazanımı olmadan yakma) sağlanmasıdır [28]. 2020 yılı hedefi ise atıkların kaynağında azaltılması/önlenmesi ve enerji/hammadde geri kazanımıdır [29]. AYGEİY Madde 5'e göre de atık üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda geri dönüşüm, tekrar kullanım ve ikincil hammadde elde etme amaçlı diğer işlemler ile atığın geri kazanılması veya enerji kaynağı olarak kullanılması esastır. Atıkların çevre dostu yöntemlerle geri kazanımı ve diğer endüstriler için katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülerek sanayide uygulamaya aktarılması; doğal kaynaklarımızın korunması, hammadde tasarrufunun sağlanması, ekonomiye katkı sağlanması, çevrenin korunması, atık miktarının azaltılması ve gelecek için yatırım olması nedenlerinden ötürü ülkemiz açısından gerekliliktir [23].

#### 4. ATIK DÖKÜM KUMUNUN GERİ KAZANIMINA İLİŞKİN LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Çeşitli araştırmacılar, ADK'nın geoteknik uygulamalarda (bent, yapısal ve akışkan dolgu, düzenli depo sahası örtüsü, geçirimsiz perde yapımı), imalat ürünü uygulamalarında (Portland çimentosu, harç, asfalt betonu, tuğla-briket, parke taşı üretimi), karayolu inşaatı uygulamalarında (yol alt ve üst temel malzemesi, bitümlü asfalt karışımı) ve tarımsal uygulamalarda (toprak iyileştirici, kompost, üretim toprağı, yüzey örtüsü) kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır [30-83].

##### 4.1. Geoteknik Uygulamalar

Ham ve Boyle [30], Fero ve diğerleri [31], Engroff ve diğerleri [32], Ham ve diğerleri [33] ile Tikalsky ve diğerleri [34] ADK'nın sızma (iç) karakteristiklerini incelemişlerdir. Reddi ve diğerleri [35] ile Tarun ve Shiw [36] ADK'ları çamurlarla karıştırarak permeabilitelelerini araştırmışlar ve geri dönüştürülebilir bir atık olarak geoteknik uygulamalardaki kullanımlarını incelemişlerdir. Ham ve diğerleri [37] ise ADK'nın depolandığı sahadaki sızıntı suyunun kalitesini araştırmışlardır. Ayrıca, ADK'nın hidrolik bariyerlerde [38, 39, 40], akışkan dolgularda [41, 42, 43], diğer geoteknik uygulamalarda [44] ve zemin ıslahında [45] da kullanılabilirliği irdelenmiştir.

Solmaz [46], ADK'nın geçirimsizlik özelliğini bentonit katkısıyla iyileştirerek depo sahasında geçirimsiz perde yapımında kullanılabilirliğini incelemiştir. Bu kapsamda İstanbul civarındaki 14 dökümhaneden temin ettiği ADK'ların indeks özelliklerini (Atterberg limitleri, tane boyutu dağılımı ve birim hacim ağırlığı, %bentonit, kızdırma kaybı) belirlemiş, ADK'ları farklı oranlarda bentonit katkısı ilavesiyle standart (ASTM D698) ve modifiye Proktor (ASTM

D1557) teknikleri uygulayarak sıkıştırmış, deneyler sonucu optimum su içeriği (%12-23) ve kuru birim hacim ağırlıklarını ( $1.44-1.86 \text{ g/cm}^3$ ) belirlediği numunelerin permeabilitesini ölçmüş ve süzüntü sularında ise ağır metal analizlerini yapmıştır. Sıkıştırma enerjisi arttıkça kuru birim hacim ağırlığın arttığını, su içeriğinin azaldığını ve daha iyi sıkışma elde edildiğini, permeabilitenin  $1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ 'ye kadar indiğini gözlemlemiş, ADK'nın III. sınıf (inert atık) düzenli depolama tesislerinde geçirimsiz perde olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

#### 4.2. İmalat Ürünleri Uygulamaları

Smith [47], Khatib ve Ellis [48], Naik ve diğerleri [49], Fiore ve Zanetti [50], Lawrence ve Mavroulidou [51], *Etzeberria ve diğerleri* [52], Monosi ve diğerleri [53], Siddique ve diğerleri [6, 54] ile Başar ve Aksoy [55] ADK'nın beton ve beton ürünlerdeki (tuğla-briket, blok, parke taşı, hazır beton) kullanımına dikkat çekmişlerdir. Naga ve El-Maghraby [56], Raupp-Perairaa ve diğerleri [57], Seung-Whee ve Woo-Keun [58] ile Quaranta ve diğerleri [59] ADK'nın seramik-fayans malzemelerinde kullanımına; Javed ve diğerleri [60], Bakis ve diğerleri [61] ile Guney ve diğerleri [19] asfalt betonlardaki uygulamasına; Korac ve diğerleri [62] ile Monosi ve diğerleri [53] ise harçlardaki kullanımına değinmişlerdir.

Yalçın ve diğerleri [63], ADK'nın betonda kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, standard beton karışımına ince kum yerine %15 oranında ADK ekleyerek değişik s/ç oranlarında hazırladıkları karışımlarda fiziksel ve mekanik özellikleri incelemişlerdir. Taze betonda slump, sertleşmiş betonda ise basınç ve çekme dayanımı, su emme, özgül ağırlık, kılcal geçirimsizlik ve ultrases dalga hızı testlerini gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçları, ADK'nın içerisinde bulunan kil ve toz parçacıkların aderansı (beton-donatu kenetlenmesini) zayıflattığını ve beton içerisindeki boşlukların artmasına sebep olduğunu, ADK'lı betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin bir miktar bozulduğunu, ancak buna rağmen, ADK'lı betonun betonarme olmayan büyük kütle betonlarında (baraj gölü setlerinde) kullanımının uygun olacağını bildirmişlerdir.

Bakis ve diğerleri [61], tane boyutu 0.8-30 mm olan ADK'nın asfalt betonda kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, ince agregaya yerine farklı ikame oranlarında (%0, %4, %7, %10, %14, %17, %20) ADK ile hazırladıkları asfalt beton karışımlarındaki dolaylı çekme dayanımının ADK oranı azaldıkça lineer azalma gösterdiğini, %10 ikame oranında hazırlanan asfalt betonunun optimum sonuç verdiğini ifade etmişlerdir. Çekme dayanımlarını, şahit betonda 1.39 MPa, %20 ADK içeren betonda 0.94 MPa ölçmüşlerdir.

Lawrence ve Mavroulidou [51], polimerik bağlayıcı ADK ve kalıp kumu içeren betonların özelliklerini inceledikleri çalışmada, ince agregaya yerine farklı ikame oranlarında (%0, %10, %30, %50, %70 ve %100) ADK ve kalıp kumu içeren taze ve sertleşmiş betonlarda işlenebilirlik, hava içeriği, basınç ve yarmada çekme dayanımı, elastisite ve kırılma modülüyle su emme oranı gibi özellikleri araştırmışlardır. ADK ve kalıp kumu içeren tüm taze betonlarda slump ve işlenebilirliğin yüksek olduğunu, ADK arttıkça hava içeriğinin arttığını ve su emme oranının azaldığını; beton numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımı ile elastisite ve kırılma modülünün tüm ikamelerde birbirine yakın olduğunu, ADK'nın betonda kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Siddique ve diğerleri [6], ADK'nın betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmada, ince agregaya yerine ADK ile üç farklı ikame oranında (%10, %20 ve %30) hazırladıkları beton numunelerin basınç, çekme ve eğilme dayanımı ile elastisite modülünü farklı kür sürelerinde (7, 28, 56, 91 ve 365 günlük) ölçmüşler, ADK eklendikçe ve kür süresi arttıkça beton karışımlarındaki mekanik özelliklerin artış gösterdiğini ve ADK'nın kaliteli beton ve inşaat malzemeleri üretiminde kullanımının uygunluğunu ortaya koymuşlardır.

Guney ve diğerleri [19], ADK'nın yüksek dayanımlı beton malzemesi üretiminde kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, ince agregaya yerine dört farklı ikame oranında (%0, %5, %10, %15) ADK kullanarak hazırladıkları betonların basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülünü saptamışlardır. Betondaki ADK oranı arttıkça; taze betonda slump ve

işlenebilirlik değerlerinde, sertleşmiş betonda ise basınç ve çekme dayanımı ve elastisite modülünde azalma olduğu halde %10 ikame oranındaki betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin şahit beton ile benzerlik gösterdiğini ve ADK'nın yüksek dayanımlı betonlarda (65 MPa dayanım sınıfı) tanecik boyutu dağılımını ayarlamak şartıyla kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Khatib ve diğerleri [64], ADK'nın betondaki kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmalarında, ADK ve bağlayıcı olarak Portland çimentosu içeren betonun özelliklerini incelemiştir. İnce agrega yerine farklı ikame oranlarında (%0, %20, %40, %60, %80 ve %100) ADK kullanarak hazırladıkları karışımlarda su/çimento oranını sabit tutarak, taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini ortaya koymuşlardır. Sertleşmiş betonda 14, 28 ve 56 günlük kür süreleri sonunda su emme, ultrasonik darbe hızı, basınç dayanımı ve boy değişimi özelliklerini incelemiştir. ADK miktarı arttıkça ince agregadaki tane boyutu küçüldüğü için slump değerinde azalma gözlemlenmiş; kür süresi arttıkça ultrasonik darbe hızının arttığını, ADK miktarı arttıkça darbe hızının azaldığını belirlemişlerdir. ADK'nın basınç dayanımını, ultrasonik darbe hızını ve betonun işlenebilirliğini olumsuz etkilediğini, bununla beraber su emme oranını ve rötreyi arttırdığını tespit etmişlerdir.

Monosi ve diğerleri [53], ADK'nın çimento harcı ve betonda kullanılabilirliğine yönelik yaptıkları çalışmada, doğal kum yerine üç farklı ikame oranı (%10, %20, %30) ve 0.45, 0.50, 0.55 s/ç oranında ADK kullanarak hazırladıkları çimento harçlarının basınç dayanımını; ayrıca iki farklı ikame oranı (%7, %10) ve 0.46, 0.50 s/ç oranında ADK kullanarak hazırladıkları betonların basınç dayanımını, elastisite modülünü ve rötre özelliklerini farklı kür sürelerinde (1, 3, 7, 14 ve 28 günlük) incelemiştir. Doğal kum yerine kullanılan ADK'nın işlenebilirliği (slump) azalttığını ve aynı slump değeri için daha fazla süper akışkanlaştırıcı eklenmesi gerektiğini, ADK'nın yapısal harç ya da çimento üretiminde kullanılabilceğini vurgulamışlardır. Harçlarda (tüm s/ç oranlarında) ADK arttıkça basınç dayanımının azaldığını, aynı ADK oranı için s/ç oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığını belirlemişlerdir. Betonlarda ADK arttıkça basınç dayanımı ve elastisite modülünün azaldığını, rötre ise arttığını ifade etmişler ve ADK'nın bina yapı malzemesi olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Alonso-Santurde ve diğerleri [65], ADK'nın seramik (kil) tuğla üretiminde kullanılabilirliğini laboratuvar, pilot ve endüstriyel-ölçekli araştırdıkları çalışmada, referans kum yerine %10 ila %35 oranında ADK kullanarak hazırladıkları seramik tuğlaların kalıptan çıkma, kuruma ve pişme davranışı (plastiklik, kuruma hassasiyeti, mekanik dayanım, yığın yoğunluk, su emme ve büzülme) özelliklerini incelemiştir. Tuğlaların mikro-yapısal, faz bileşimi, dayanıklılık ve sızma (liç) özelliklerini ise optimum pişme sıcaklığında (850°C) irdelemiştir. ADK'nın seramik tuğla üretiminde %30 oranında kullanımının teknolojik ve çevresel açıdan olumsuz bir etkiye yol açmadığını saptamışlardır.

Şahmaran ve diğerleri [66], ADK'nın uçucu kül ile birlikte (çevre dostu ve ekonomik) kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, ince agrega yerine %0, %25, %50 ve %100 ikame oranında ADK ve Portland çimentosu yerine 4 farklı ikame oranında (%0, %30, %50 ve %70) uçucu kül kullanarak 16 adet beton karışımı hazırlamışlar ve dört farklı kür süresi uygulamışlardır (7, 28, 56 ve 90 gün). Hazırlanan karışımlarda taze beton (çökmede yayılma çapı, çökmede yayılma süresi, V hunisi akma süresi, eşik kayma gerilmesi ve bağlı viskozite) ve sertleşmiş beton (basınç dayanımı, kuruma büzülmesi, hızlı klor geçirimsizliği, geçirgen boşluk hacmi) özelliklerini incelemiştir. ADK ve uçucu kül kullanarak hazırladıkları kendiliğinden yerleşen betonların uygun taze beton, mekanik ve dayanıklılık özellikleri gösterdiğini ve uçucu külün ADK'nın zararlı etkilerini önlediğini saptamışlardır.

Başar ve Aksoy [55], ADK'nın hazır beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, silika kumunu ağırlıkça %0 (şahit), %10, %20, %30 ve %40 oranlarındaki ADK'yla yer değiştirerek karışımlar hazırlamışlar ve ADK-esaslı hazır beton ürünlerinin mekanik, sızma ve mikro-yapısal özelliklerini incelemiştir. Dört farklı kür süresi (7, 28, 56 ve 90 gün) uygulanan taze ve sertleşmiş betonların performanslarını belirlemek üzere çökme, birim ağırlık, sıcaklık, priz

süresi, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, elastisite, su emme oranı ve yoğunluk gibi fiziksel ve mekanik özelliklerini saptamışlar ve en uygun ikame oranının %20 olduğunu belirlemişlerdir. S/S işlemi tamamlanmış hazır beton ürünlerini, farklı doğa koşullarında gösterdikleri davranışları incelemek ve olası kirleticilerin sızıntı suyuna geçme özelliğini belirlemek amacıyla farklı pH'larda özütleme testine tabii tutmuşlardır. Özütleme işlemi sonucunda hazır beton ürünlerinin çevreyi kirletici özelliklerinin bulunmadığını saptamışlardır. Ayrıca, şahit hazır beton ve ADK ile hazırlanan %20 ikame oranına sahip hazır beton ürünü arasında mikro-yapısal ve morfolojik olarak herhangi bir farklılık gözlememişlerdir. Sonuç olarak; ADK'nın hazır beton üretiminde ince agrega yerine maksimum %20 ikame oranında kullanımının fiziksel, mekanik, çevresel ve mikro-yapısal açıdan olumsuz bir etkiye sebep olmadığını ortaya koymuşlardır.

Kaur ve diğerleri [67], mantar kültürü ile muamele edilen (arıtılan) ADK içeren betonun mekanik özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, mantar (*Aspergillus spp.*) kültürünün betonun basınç dayanımı, su emme oranı ve porozitesine olan etkisini incelemişlerdir. %5 (ağ./hacim) oranındaki kültür mantarının, %20 ADK içeren betonda 28 günlük kür süresi sonunda, betonun basınç dayanımında %15,6'lık artma, su emme oranında %68,8'lik azalma ve porozitesinde %45,9'luk azalma tespit etmişlerdir. XRD analiz sonuçları da mantar kültürünün betonda çimentonun ADK ile reaksiyon kabiliyetini arttırdığını ve C-S-H jel oluşumunu hızlandırdığını ifade etmişlerdir.

Lin ve diğerleri [68], ADK'nın (maça kumu ve kalıp kumunun) çimento katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, hammadde olarak ADK, kireçtaşı ve ferrat ( $FeO_4^{-2}$ ) kullanarak ve karışım oranlarını modelleme yolu ile belirledikleri dört farklı çimento karışımını 1400°C sıcaklıktaki döner fırında 6 sa boyunca yakarak (sinterleştirerek) granül hale getirmişler, döner fırından çıkarttıkları klinkerleri soğuttuktan sonra %3.5 alçıtaşı ile birlikte çimento değirmeninde öğüterek çimento haline getirmişlerdir. Dört farklı karışım oranında hazırladıkları çimentolarda serbest basınç dayanımı, sızma (liç) testi, ağır metal analizleri, prizlenme süresi, mineraloji, kimyasal bileşim, FTIR spektrumu, hidrasyon derecesi özelliklerini belirlemişler ve elde ettikleri sonuçları Portland çimentosu ile karşılaştırmışlardır. ADK'nın çimento katkı malzemesi olarak kullanımının fiziksel, mekanik ve çevresel açıdan uygun olduğunu saptamışlardır.

Singh ve Siddique [69], ADK'nın betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, ince agrega (normal kum) yerine ADK ile beş farklı ikame oranında (%0, %5, %10, %15 ve %20) hazırladıkları beton numunelerin basınç dayanımını, yarmada çekme dayanımını, elastisite modülünü, ultrasonik darbe hızını ve  $Cl^-$  iyonu nüfuzunu farklı kür sürelerinde (7, 28 ve 91 günlük) ölçmüşlerdir. ADK eklendikçe ve kür süresi arttıkça beton karışımlardaki dayanım özelliklerinin %15 ikame oranına kadar artış gösterdiğini; ayrıca, ADK miktarı arttıkça ultrasonik darbe hızının arttığını ve  $Cl^-$  iyonu nüfuzunun azaldığını, bu sayede betonun daha yoğun ve daha geçirimsiz hale geldiğini; dolayısıyla, ADK'nın %15 ikame oranı ile yapısal beton üretiminde kullanımının uygun olduğunu ortaya koymuşlardır.

### 4.3. Karayolu İnşaatı Uygulamaları

Ham ve diğerleri [70], Kirk [71], Mast ve Fox [72], Partridge ve diğerleri [73], Kleven ve diğerleri [74] ve Azizian ve diğerleri [75] ADK'nın karayolu seddelerinde; Braham [76] ise bitümlü asfalt karışımlarda kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Güney ve Koyuncu [77] ile Güney ve diğerleri [78] ADK'nın yol alt ve üst yapısında dolgu malzemesi ve temel tabaka olarak kullanımını araştırmışlardır.

Partridge ve diğerleri [73], ADK'nın karayolu seddesinde kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, ADK'nın sedde inşaatlarında ince agrega yerine kullanımının jeoteknik ve çevresel açıdan herhangi bir probleme sebep olmadığını saptamışlardır. Sedde inşaatı

çevresinde açılan gözlem kuyularında ADK kaynaklı kontaminasyona (metal, iyon ve toksikolojik olarak) rastlanmadığını ifade etmişlerdir.

Güney ve Koyuncu [77], ADK'ların yol alt yapısında kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, ADK'ları çimento, kireç, kaolin ve Na bentonit kiliyle stabilize edip standart Proktor deneyi ile optimum su içeriklerine göre sıkıştırarak 1, 7 ve 28 günlük küre tabii tutmuşlardır. Bu karışımlar üzerinde serbest basınç, permeabilite, donma-çözünme ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneylerini uygulamışlardır. Stabilizasyon malzemesi ilavesinin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriğini azalttığını ifade etmişler, kür süresi ile serbest basınç mukavemetinin arttığını, permeabilitenin azaldığını ve donma-çözünme dayanımının yeteri kadar sağlandığını, en iyi CBR değerinin %70 olduğunu saptamışlardır. Sonuç olarak, yol yapımında aranan şartların Türk Karayolları Standartlarını sağladığı, iyi kür edilmiş ve sıkıştırılmış ADK'nın ilave stabilizasyon malzemesi (örneğin %10 kireç) ile yol alt temel inşasında kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Gedik ve diğerleri [13], ADK'nın karayolunda dolgu malzemesi veya stabilize edilerek yol alt temel ve temel malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, indeks ve geoteknik özellikleri belirlenen ADK'yı optimum su içeriğinde sıkıştırmışlar ve mekanik testlere tabii tutmuşlardır. Stabilizasyon; yol malzemesinin mekanik özelliklerini (taşıma kapasitesi, plastisite, permeabilite vb.) iyileştirdiğinden, ADK'yı %2, %4, %8 ve %10 oranında çimento ve kireçle ayrı ayrı stabilize etmişler, 7, 14, 28 gün, 3 ay ve 6 ay boyunca nem odasında (%100 nem, 21°C) küre tabii tutmuşlar, numuneleri standart (ASTM D698) ve modifiye Proktor (ASTM D1557) teknikleriyle farklı enerji seviyesinde hazırlayarak stabilizasyonun etkisini Kaliforniya taşıma oranı (CBR), ultrasonik dalga hızı ve serbest basınç dayanım testleriyle incelemişlerdir. Çimento ve kireçle ayrı ayrı stabilize ederek hazırladıkları malzemeyi klasik yol malzemesiyle ekonomik açıdan karşılaştırmışlar ve ADK'nın umut verici yol malzemesi olduğunu belirtmişlerdir.

#### **4.4. Tarımsal Uygulamalar**

Dayton ve diğerleri [21] ise ADK'nın çoğu kez toprak benzeri kalite göstermesi ve bitki besi maddeleri (N, P, K, S), karbon, kil ve eser elementler (Cu, Zn, Mn, Mo, Co) içermesinden ötürü, üretim topraklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine katkı sağladığını bildirmişlerdir. Lindsay ve Logan [79] ile US EPA [80] da ADK'nın tarımsal uygulamalarına (toprak iyileştiricisi, kompost, üretim toprağı, yüzey örtüsü) dikkat çekmiştir.

#### **4.5. Diğer Genel Uygulamalar**

Siddique ve Noumowe [43], ADK'nın set-bent ve geçirimsiz perde yapımında, akışkan dolgularda, karayolunda, tarımsal uygulamalarda/zemin ıslahında, bitümlü asfalt karışımlarda, Portland çimentosu üretiminde, harçlarda, karlı-buzlu yollarda kaymayı önlemede, tehlikeli maddelerin vitrifikasyonunda, taş yünü ve cam yünü üretiminde ve depo sahası örtüsü olarak kullanımına dair mühendislik uygulamalarına değinmişlerdir. Portland çimentosu endüstrisi de, son yıllarda üretim prosesinde ADK'yı %80 silika içeriği, düşük alkali seviyesi, uygun tane boyutu vb. şartları sağlamak koşuluyla kullanmaktadır. ADK, beton karışımlarda ince agrega yerine kullanılarak briket-blok ve parke taşı yapımında da değerlendirilmektedir [81].

Gönüllü [3], ADK'nın daha çok zemin ıslahı işlerinde, örneğin; yol tabanı, yol kenarı seddesi, çöp depo yeri dolgusu/örtüsü, otoban inşası vb. kullanıldığını, içerisinde en az %6 oranında bentonit bulunması sebebiyle sıkıştırılarak belli ölçüde düşük permeabiliteli geçirimsiz tabaka elde edilebildiğini, kum-çimento-katkı ile duvar arası harç olarak kullanıldığını vurgulamıştır.

Güney ve diğerleri [19] ise ADK'nın karayolu seddelerinde, geçirimsiz perde yapımında, depo sahası örtüsü uygulamalarında, akışkan dolgu, bitümlü asfalt karışımı, Portland

çimentosu ve harç üretiminde, karlı-buzlu yollarda kaymayı önlemede ve taş yünü ile fiberglas üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

## 5. ULUSLARARASI ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR

ADK temel olarak ince agregadır, bu nedenle doğal kumun yerine pek çok uygulamada kullanılabilecek ve doğal kaynak korunumuna katkı sağlayacaktır [51]. ADK'nın endüstride kullanım bulduğu uygulamalar Çizelge 6'da sıralanmıştır. ADK'nın akışkan dolgu olarak Ohio/ABD'deki Cleveland Havaaalanı inşaatı ve beton bariyerlerde, Ohio Turnpike karayolunda yol dolgusu ve kademeli dolgu olarak, ayrıca Ohio'daki fidanlıklarda toprak ve gübreyle karıştırılarak süs bitkisi yetiştirilmesinde ve golf sahası yeşillendirilmesinde kullanıldığı ifade edilmiştir [82].

**Çizelge 6.** ADK'nın endüstriyel uygulamaları [82]

No	Uygulama
1	Set/bent, yapısal dolgular
2	Karayolu temel ve alt temel malzemesi
3	Bitümlü asfalt karışımları
4	Akışkan dolgular
5	Toprak ve tarımsal uygulamalar
6	Çimento ve beton ürünleri
7	Karlı havada kaymayı önleyici malzeme
8	Diğer uygulamalar

ABD'de yılda yaklaşık 500 000-700 000 ton ADK'nın mühendislik uygulamalarında kullanıldığı bildirilmiştir [19]. Kanada'da ADK'nın bitümlü asfalt karışımlarında kullanımına 1980'den beri izin verilmekte olup Avustralya'da akışkan dolgularda kullanımı [83], Kuzey Amerika'da ise Portland çimentosu üretiminde kullanımı mevcuttur [53]. Siddique ve diğerleri [54] de ADK'nın İngiltere, Avrupa ve Kuzey Amerika'da geri kazanılarak çimento, asfalt, beton, briket ve akışkan dolgu üretimi gibi inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanıldığını, bu uygulamaların Hindistan'da da benimsendiği ancak henüz başlangıç aşamasında olduğunu belirtmişlerdir.

Tüm bu alternatif endüstriyel uygulamalar, hem dökümhanelere hem de diğer kullanıcı durumundaki sanayicilere mali yönden kazanç sağladığı gibi, yerel ve ulusal bazda çevresel fayda da sağlamaktadır [42].

## 6. ULUSAL ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR

Uluslararası alanda ADK geri kazanımı üzerine gerçekleştirilen tüm endüstriyel uygulamalara karşın, ülkemizde ADK'nın geri kazanım uygulamaları oldukça yetersizdir. Daha önceleri belediyelere ait çöp sahalarında yüzey örtüsü olarak kullanılmak suretiyle bertaraf edilen ADK'nın 2005'li yıllardan itibaren düzenli depolama tesislerinde depolanması Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından zorunluluk haline getirilmiştir. Bu nedenle ülkemizde ADK'lar genellikle düzenli depo sahalarında depolanmak suretiyle bertaraf edilmektedir [46].

Ancak artan depolama maliyeti ve özellikle büyükşehirlerdeki kısıtlı depolama sahaları, döküm sektöründe önemli bir sorun haline gelmiştir [13]. Dökümhanelerin genellikle İstanbul ve çevresinde yoğunlaştığı göz önüne alındığında, söz konusu atığın başka alanlarda değerlendirilmesi zorunluluk haline gelmiştir [46]. Bu nedenle döküm sanayicileri ADK'nın geri kazanımı için uygun alanlar aramaktadırlar [13].

Ülkemizdeki sınırlı sayıdaki geri kazanım uygulamalarında ADK'nın genellikle depo sahası örtüsü olarak kullanıldığı, az bir miktarının mühendislik alanlarında değerlendirildiği

belirtilmektedir [19]. Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği'nden edinilen bilgiler ışığında; ADK'nın çok az sayıdaki çimento fabrikasında (örneğin Akçansa Çimento A.Ş.) hammadde olarak kullanıldığı (yüksek orandaki silis içeriğinden ötürü), ayrıca kaldırımlar için parke taşı, bordür üretiminde ve beton park bahçe mobilyaları imalatında sınırlı miktarda kullanıldığı belirlenmiştir [84]. Bu durum, ADK'nın olası kullanım alanlarındaki bilgi ve araştırma eksikliğinden ileri gelmektedir [19]. Ayrıca endüstriyel atıkların ülkemizde farklı mühendislik alanlarında tekrar kullanımıyla ilgili yasal ve bürokratik düzenlemeler ile çevresel yatırımı destekleyen teşvik mekanizmalarındaki yetersizlikler de ADK'ların geri kazanım potansiyelini yavaşlatmaktadır.

## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Türkiye için önemli bir potansiyele sahip olan ADK'ların muhtemel geri kazanım uygulamaları ulusal ve uluslararası alanda incelenmiş ve özetlenmiştir. Ülkemizde 1993 sonrası daha etkin olarak gelişen çevre koruma bilinci ve yasal yaptırımlar, endüstriyel atık miktarındaki artış, atık bertarafı sırasında karşılaşılan güçlükler (kısıtlı depo alanları, yüksek bertaraf maliyetleri) ve üretim proseslerinde çevre koruma önlemlerinin önem kazanması, temiz teknolojilerin kullanımını ve atık geri kazanımını ön plana çıkarmıştır. Atık yönetim politikalarının belirlenmesi ve uygulanması ise AB Çevre Müktesebatının en önemli başlıklarından biri haline gelmiştir.

Döküm tesislerinden kaynaklanan ve döküm esnasında yüksek oranlarda ortaya çıkan ADK'ların endüstriyel atık olarak bertarafı yerine çevre dostu yöntemlerle katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi, gelişmiş ülkelerde üzerinde sıkça çalışılan bir konu olmasına karşın, ülkemizde bu konudaki çalışmalar henüz yetersizdir, ADK'lar genellikle tekrar değerlendirilemeden düzenli depolama yolu ile bertaraf edilmektedir. ADK'ların çevre dostu teknolojilerle faydalı ve ekonomik ürünlere dönüştürülmesi ve sanayide uygulamaya aktarılması; doğal kaynakların ve çevrenin korunması, hammadde tasarrufu ve ekonomik katkı sağlanması ve atık miktarının azaltılması açısından ülkemize büyük bir avantaj sağlayacaktır.

## Acknowledgments / Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki katkılarından ötürü TÜBİTAK MAM'a ve bilgi paylaşımı için TÜDOKSAD'a teşekkür ederiz.

## REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Sylvia J.G., "Cast Metals Technology", The Pennsylvania University, US, 1972.
- [2] Kepez Ü., "Türkiye'de Döküm Sektörü-Demir Döküm", TÜBİTAK Metal Teknoloji Platformu Oluşturma Çalıştayı, 23-24 Şubat, Kocaeli, 2007.
- [3] Gönüllü M.T., "Döküm Kumu Rejenerasyonu Değerlendirmesi", 2. Uluslararası Döküm ve Çevre Sempozyumu ve Sergisi, 24-26 Ekim, İstanbul, 2007
- [4] TÜDOKSAD, "Türkiye Döküm Sanayi-2012 Yılına Girenken Mevcut Durum", Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği, İstanbul, 2012.
- [5] Zanetti M.C., Fiore S., "Foundry Processes: The Recovery of Green Moulding Sands for Core Operations", Resources, Conservation and Recycling, 38, 243-254, 2002.
- [6] Siddique R., Schutter G., Noumowe A., "Effect of Used-Foundry Sand on the Mechanical Properties of Concrete", Construction and Building Materials, 23, 976-980, 2009.
- [7] Siddique R., Kaur G., Rajor G., "Waste Foundry Sand and its Leachate Characteristics", Resources, Conservation and Recycling, 54, 1027-1036, 2010.
- [8] Kaur I., "Mechanical Properties of Concrete Incorporating Used Foundry Sand", Yüksek Lisans Tezi, Deemed University, Thapar Institute of Engg&Tech., Patiala, 2006.



- [9] Javed S., Lovell C.W., "Use of Waste Foundry Sand in Civil Engineering", Transportation Research Board, 1486,109-113, 1994.
- [10] American Foundrymen's Society, "Alternative Utilization of Foundry Waste Sand", Final Report (Phase I) prepared by AFS Inc. for Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Des Plaines, Illinois, 1991.
- [11] Ay İ., "Döküm Yolu ile İmalat", Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü İmalat Yöntemleri I Ders Notları, Balıkesir, 2008.
- [12] Cruz N., Briens C., Berruti F., "Green Sand Reclamation Using a Fluidized Bed with an Attrition Nozzle", Resources, Conservation and Recycling, 54, 45-52, 2009.
- [13] Gedik A., Lav A.H., Lav M.A., "Atık Döküm Kumlarının Yol İnşaatında Alt Temel ve Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması", 3. Uluslararası Döküm ve Çevre Sempozyumu, 28-29 Ocak, İstanbul, 2010.
- [14] IPPC BREF EC., "Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry", KV/EIPPCB/SF\_BREF\_FINAL, Institute for Prospective Technological Studies; Sustainability in Industry, Energy and Transport, European IPPC Bureau, Spain, 2004.
- [15] Ersümer A., "Genel Döküm", 2. Basım, İstanbul, 1978.
- [16] HAWAMAN, "Türkiye'de Sanayiden Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Yönetiminin İyileştirilmesi", Döküm Sektörü Rehber Döküman, LIFE HAWAMAN Projesi, LIFE06 TCY/TR/000292, ÇOB, Ankara, 2009.
- [17] Beeley P., "Foundry Technology", University of Leeds, England, 2001.
- [18] Clegg A.J., "Precision Casting Processes", New York: Pergamon Press, US, 1991.
- [19] Guney Y., Sari Y.D., Yalcin M., Tuncan A., Donmez S., "Re-usage of Waste Foundry Sand in High-Strength Concrete", Waste Management, 30, 1705-1713, 2010.
- [20] Dungan R.S., Huwe J., Chaney R.L., "Concentrations of PCDD/PCDFs and PCBs in Spent Foundry Sands", Chemosphere, 75, 1232-1235, 2009.
- [21] Dayton E.A., Whitacre S.D., Dundan R.S., Basta N.T., "Characterization of Physical and Chemical Properties of Spent Foundry Sands Pertinent to Beneficial Use in Manufactured Soils", Plant Soil, 329, 27-33, 2010.
- [22] Yerlikaya C., Dökümhane atık kumlarındaki inorganik ve organik kirleticilerin karakterizasyonu, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
- [23] Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (05.07.2008, R.G.: 26927), ÇOB, Ankara, 2008.
- [24] Kocasoy G., Aydın G.A., Zeren B.A. (ed.), "Gelişmekte Olan Ülkelerde Tehlikeli Atıkların ve Deprem Atıklarının Yönetimi", Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2005.
- [25] Cutter S.L., "Living With Risk: The Geography of Technical Hazards", London, 1983.
- [26] ÇED Rehberi, "Atık Bertaraf Tesisleri", Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED Sektörel Rehberleri, Ankara, 2006.
- [27] Council Directive of 15 July 1975 on waste (75/442/EEC), Official Journal of EU, L 194, 25.07.1975, 39-41, 1975.
- [28] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives, Official Journal of EU, L 312, 29.11.2008, 3-30, 2008.
- [29] Çevre ve Orman Bakanlığı, "Tehlikeli Atıkların Sınıflandırılması Kılavuzu", LIFE HAWAMAN Projesi, LIFE06TCY/ TR/000292, ÇOB, Ankara, 2009.
- [30] Ham, R.K., Boyle W.C., "Leachability of Foundry Process Solid Wastes", Journal of the Environmental Engineering Division, 107(1), 155-170, 1981.
- [31] Fero R.L., Ham R.K., Boyle W.C., "An Investigation of Ground Water Contamination by Organic Compounds Leached From Iron Foundry Solid Wastes", Final Report to American Foundrymen's Society, Des Plaines, IL, 1986.

- [32] Engroff E.C., Fero E.L., Ham R.K., Boyle W.C., "Laboratory Leachings of Organic Compounds in Ferrous Foundry Process Waste", Final Report to American Foundrymen's Society, Des Plaines, IL, 1989.
- [33] Ham R.K., Boyle W.C., Blaha F.J., "Comparison of Leachate Quality in Foundry Waste Landfills to Leach Test Abstracts", *Journal of Hazardous and Industrial Solid Waste Testing Disposal*, 6, 29-44, 1990.
- [34] Tikalsky P.J., Smith E., Regan R., "Proportioning Spent Casting Sand in Controlled Low-Strength Materials", *ACI Materials Journal*, 95(6), 740-746, 1998.
- [35] Reddi N.L., Rieck P.G., Schwab A.P., Chou S.T., Fan L.T., "Stabilization of Phenolics in Foundry Sand Using Cementitious Materials", *Journal of Hazardous Materials*, 45, 89-106, 1995.
- [36] Tarun R.N., Shiw S.S., "Permeability of Flowable Slurry Materials Containing Foundry Sand and Fly Ash", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(5), 446-452, 1997.
- [37] Ham R.K., Boyle W.C., Blaaha F.J., Oman O., Trainer D., Kunes T.P., Nichols D.G., Stanforth R.D., "Leachate and Groundwater Quality In and Around Ferrous Foundry Landfill and Comparison to Leach Test Results", *Transaction of American Foundrymen's Society*, 94, 935-942, 1986.
- [38] Abichou T., Benson C.H., Edil T.B., Freber B.W., "Using Waste Foundry Sand for Hydraulic Barriers", *ASCE Geotechnical Special Publication*, 79, 86-99, 1998.
- [39] Abichou T., Benson, C.H., Edil, T.B., "Foundry Green Sands as Hydraulic Barriers: Laboratory Study", *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(12), 1174-1183, 2000.
- [40] Goodhue M.J., Edil T.B., Benson, C.H., "Interaction of Foundry Sands With Geosynthetics", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127, 353-362, 2001.
- [41] Tikalsky P.J., Gaffney M., Regan R., "Properties of Controlled Low-Strength Material Containing Foundry Sand", *ACI Materials Journal*, 97(6), 698-702, 2000.
- [42] Deng A., Tikalsky P.J., "Geotechnical and Leaching Properties of Flowable Fill Incorporating Waste Foundry Sand", *Waste Management*, 28, 2161-2170, 2008.
- [43] Siddique R., Noumowe A., "Utilization of Spent Foundry Sand in Controlled Low-Strength Materials and Concrete", *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 27-35, 2008.
- [44] Dungan S.R., Kukier U., Lee B., "Blending Foundry Sands with Soil: Effect on Dehydrogenase Activity", *Science of the Total Environment*, 357(1-3), 221-230, 2006.
- [45] Vipulanandan C., Weng Y., Zhang C., "Designing Flowable Grout Mixes Using Foundry Sand, Clay and Fly ash in Advances in Grouting Modification", *ASCE Geotechnical Special Publications*, 104, 215-233, 2000.
- [46] Solmaz P., "Atık Döküm Kumunun Geçirimsiz Perde Yapılarak Tekrar Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [47] Smith A., "Utilization of Used Foundry Sand in Concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 6(2), 254-63, 1994.
- [48] Khatib J.M., Ellis, D.J., "Mechanical Properties of Concrete Containing Foundry Sand", *ACI Special Publication*, 200, 733-748, 2001.
- [49] Naik T.R., Kraus R.N., Chun Y.M., Ramme W.B., Siddique R., "Precast Concrete Products Using Industrial By-products", *ACI Materials Journal*, 101(3), 199-206, 2004.
- [50] Fiore S., Zanetti M.C., "Foundry Wastes Reuse and Recycling in Concrete Production", *American Journal of Environmental Sciences*, 3(3), 135-142, 2007.
- [51] Lawrence D., Mavroulidou M., "Properties of Concrete Containing Foundry Sand", *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology*, 3-5 Eylül, Chania, Greece, 2009.

- [52] Etxeberria M., Pacheco C., Meneses J.M., Berridi I., "Properties of Concrete Using Metallurgical Industrial By-products as Aggregates". *Construction and Building Materials*, 24, 1594–1600, 2010.
- [53] Monosi S., Sani D., Tittarelli F., "Used Foundry Sand in Cement Mortars and Concrete Production", *The Open Waste Management Journal*, 3, 18-25, 2010.
- [54] Siddique R., Aggarwal Y., Aggarwal P., Kadri E. H., Bennacer R., "Strength, Durability and Microstructural Properties of Concrete Made With Used-Foundry Sand (UFS)", *Construction and Building Materials*, 25, 1916-1925, 2011.
- [55] Başar H.M., Aksoy N.D., "The Effect of Waste Foundry Sand (WFS) as Partial Replacement of Sand on the Mechanical, Leaching and Micro-structural Characteristics of Ready-Mixed Concrete", *Construction and Building Materials*, 2012. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.078).
- [56] Naga S.M., El-Maghraby A., "Industrial Waste as Raw Materials for Tile Making", *Silicates Industrials*, 68, 89-92, 2003.
- [57] Raupp-Pereira F., Hotzab D., Segadaesa A.M., Labrincha J.A., "Ceramic Formulations Prepared with Industrial Wastes and Natural Sub-products", *Ceramics International*, 32, 173-179, 2006.
- [58] Seung-Whee R., Woo-Keun L., "Characteristics of Spent Foundry Sand-Loess Mixture as Ceramic Supports Materials", *Materials Science Forum*, 510-511, 378-381, 2006.
- [59] Quaranta N., Caligaris M., Lopez H., Unsen M., Pasquini J., Lalla N., Boccaccini A.R., "Recycling of Foundry Sand Residuals as Aggregates in Ceramic Formulations for Construction Materials", *Transactions on Ecology and the Environment*, 122, 503-512, 2009.
- [60] Javed S., Lovell C.W., Wood L.E., "Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete", *Transportation Research Record*, 1437, 27-34, 1994b.
- [61] Bakis R., Koyuncu H., Demirbas A., "An Investigation of Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete Mixtures", *Waste Management Resources*, 24, 269-274, 2006.
- [62] Korac M., Gavrilovski M., Kamberovic Z., Illic I., "Possibility of Used Foundry Sand Exploitation in Civil Engineering", *Acta Metallurgica Slovaca*, 12, 203-207, 2006.
- [63] Yalçın M., Güneç Y., Koyuncu H., Baş, Ö.F., "Atık Döküm Kumunun Betonda Kullanılabilirliği", 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim, İstanbul, 2003.
- [64] Khatib J.M., Baig S., Bougara A., Booth C., "Foundry Sand Utilisation in Concrete Production", 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, 28-30 Haziran, Ancona, Italy, 2010.
- [65] Alonso-Santurde R., Andres A., Viguri J.R., Raimondo M., Guarini G., Zanelli C., Dondi M., "Technological Behaviour and Recycling Potential of Spent Foundry Sands in Clay Bricks", *Journal of Environmental Management*, 92, 994-1002, 2011.
- [66] Şahmaran M., Lachemi M., Erdem T.K., Yücel H.E., "Use of Spent Foundry Sand and Fly Ash for the Development of Green Self-Consolidating Concrete", *Materials and Structures*, 44, 1193-1204, 2011.
- [67] Kaur G., Siddique R., Rajor A., "Properties of Concrete Containing Fungal Treated Waste Foundry Sand", *Construction and Building Materials*, 29, 82-87, 2012.
- [68] Lin K-L., Cheng C-J., Cheng A., Chao S-J., "Study on Recycled Waste Foundry Sand as Raw Materials of Cement Additives", *Sustainable Environment Research*, 22(2), 91-97, 2012.
- [69] Singh G., Siddique R., "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, 2012.
- [70] Ham R.K., Hippe J.C., Boyle W.C., Lovejoy M., Trager P.A., Wellender D., "Evaluation of Foundry Wastes for Use in Highway Construction", *ASCE Environmental Engineering*, 681-682, 1990.

- [71] Kirk P.B., “Field Demonstration of Highway Embankment Constructed Using Waste Foundry Sand”, Doktora Tezi, Purdue University, West Lafayette, IN, US, 1998.
- [72] Mast D.G., Fox P.J., “Geotechnical Performance of a Highway Embankment Constructed Using Waste Foundry Sand”, Geotechnical Special Publication, 79, 66-85, 1998.
- [73] Partridge B.K., Fox P.J., Alleman J.E., Mast D.G., “Field Demonstration of Highway Embankment Construction Using Waste Foundry Sand”, Journal of the Transportation Research Board, 1670, 98-105, 1999.
- [74] Kleven J.R., Edil T.B., Benson C.H., “Evaluation of Excess Foundry System Sands for Use as Subbase Material”, Transportation Research Record, 1714, 40-48, 2000.
- [75] Azizian M.F., Nelson P.O., Thayumanavan P., Williamson K.J., “Environmental Impact of Highway Construction and Repair Materials on Surface and Ground Waters: Case Study: Crumb Rubber Asphalt Concrete”, Waste Management, 23, 719-728, 2003.
- [76] Braham A., “The Use of Blended Recycled Foundry Sand in Hot Mix Asphalt”, Interim Report, University of Wisconsin, US, 2002.
- [77] Güney Y., Koyuncu H., “Atık Döküm Kumlarının Yol Alt Yapısında Kullanımı”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, 21-22 Ekim, Eskişehir, 2002.
- [78] Guney Y., Aydılek A., Demirken M., “Geoenviromental Behavior of Foundry Sand Amended Mixtures for Highway Subbase”, Waste Management, 26, 932-945, 2006.
- [79] Lindsay B.J., Logan T.J., “Agricultural Reuse of Foundry Sand”, Journal of Residuals Science&Technology, 2(1), 3-12, 2005.
- [80] US EPA, “State Toolkit for Developing Beneficial Reuse Programs for Foundry Sands”, Washington DC, US, 2006.
- [81] AFS, “Turning Used Foundry Sand into a Marketable Resource”, Sand Beneficial Reuse Guide, US, 1-7, 2006.
- [82] AFS, “Foundry Sand Facts for Civil Engineers”, FHWA-IF-04-004, Prepared by AFS for Federal Highway Administration, US, Sf. 80, 2004.
- [83] US EPA, “Beneficial Re-use of Ferrous Foundry By-products”, Draft Environmental Guideline, Washington DC, US, 1999.
- [84] TÜDOKSAD, Kişisel görüşme, Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği, İstanbul, 2012.