



**ATIK DÖKÜM KUMLARININ YENİDEN  
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**Murat TÜYLÜ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK DÖKÜM KUMLARININ YENİDEN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**Murat TÜYLÜ**

0000-003-1034-4811

Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ

0000-0001-7050-6742

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

## TEZ ONAYI

Murat TÜYLÜ tarafından hazırlanan “Atık Döküm Kumlarının Yeniden Kullanımının Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ

**Başkan** : Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ  
0000-0001-7050-6742  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Doç. Dr. Gizem EKER ŞANLI  
0000-0002-7175-2942  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Saadet HACISALİHOĞLU  
0000-0002-2603-3578  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Bölümü

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

.../2019

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez.içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

04.12/2019

**Murat TÜYLÜ**

## ÖZET

Yüksek Lisans

ATIK DÖKÜM KUMLARININ YENİDEN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

**Murat TÜYLÜ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ

Ülkemiz metal döküm ürünlerinin üretimi konusunda 2017 yılı verilerine göre dünyada 11. Avrupa’da ise 3. sırada yer almaktadır. Ülkelerin gelişimi ve kalkınması için metal döküm üretimi önemli rol oynamaktadır ancak dökümhaneler üretim prosesi gereği aynı zamanda atık döküm kumlarının üretime bağlı olarak sürekli oluştuğu sektörlerdendir. Ülkemizde 2017 yılında 2 155 000 ton metal döküm ürünleri üretimi yapılmış ve hesaplamalara göre 490 262,5 ton atık döküm kumu oluşmuştur. Yapılan bu çalışmada oluşan atık döküm kumlarının düzenli depolama tesislerine bertarafa gönderilmesi yerine alternatif hammadde olarak hazır beton santrallerinde %0,97, asfalt plent tesislerinde %1,05 oranında kullanılmasının yeterli olduğu hesaplanmıştır.

Bursa ilinde faaliyet gösteren bir dökümhanede bir yılda oluşan 25 500 ton atığın, atık döküm kumu geri kazanım tesisine gönderilmesi durumunda dökümhanenin 2 108 136 TL (365 995 \$), düzenli depolama tesisine gönderilmesi durumunda 2 519 400 TL (437 395 \$) ve çimento fabrikasına gönderilmesi durumunda ise 2 841 720 TL (493 354 \$) ödemesi gerektiği sonucu bulunmuştur. Bununla birlikte atıkların alternatif hammadde olarak hazır beton veya asfalt plent tesisine gönderilmesi durumunda ise dökümhane tarafından yalnızca 26 928 TL (4 675 \$) ödenmesi gerektiği görülmüştür. Dökümhane ile hazır beton ve asfalt plent tesisi ile kurulacak endüstriyel simbiyoz ilişkisi ile de hammaddeye bedel ödemeyecekleri için 1 504 500 TL (261 198 \$) kar edecekleri hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalar ve hesaplamalar sonucu atık döküm kumlarının alternatif hammadde olarak kullanılmasının çevresel ve ekonomik faydalarının olduğu ancak atık döküm kumlarının iyi tanınmadığı ve bu nedenle sınırlı kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın öncülüğünde başlatılacak endüstriyel simbiyoz projeleri, atık döküm kumunun değerlendirilmesi ve kaynakların verimli kullanımını konusunda yol gösterici ve teşvik edici olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Atık döküm kumu, endüstriyel simbiyoz, alternatif hammadde, çevre ve şehircilik bakanlığı  
**2019, vii + 51 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### INVESTIGATION OF REUSE OF WASTE FOUNDRY SAND

**Murat TÜYLÜ**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Melike YALILI KILIÇ

According to 2017 data, our country ranks 11th in the world and 3rd in Europe in the production of metal casting products. Metal casting production plays an important role for the development and improvement of the countries, but foundries are also one of the sectors where waste foundry sands are continuously produced depending on the production process. In 2017, 2 155 000 tons of metal casting products were produced in our country and 490 262.5 tons of waste casting sand was formed according to the calculations. In this study, instead of sending the waste foundry sands to the landfill, it is calculated that 0.97% of the ready-mixed concrete plants and 1.05% of the asphalt plant facilities are sufficient as alternative raw materials.

It has been found that 25 500 tons of waste foundry sand generated in one year in a foundry operating in Bursa province should be paid to 2 108 136 TL (365 995 \$) if it is sent to waste casting sand recovery facility, 2 519 400 TL (437 395 \$) if it is sent to landfill and 2 841 720 TL (493 354 \$) if it is sent to cement plant. However, if the wastes are sent to the ready-mixed concrete or asphalt plant as an alternative raw material, it is seen that the foundry only needs to pay 26 928 TL (4 675 \$). The industrial symbiosis relationship which will make with the foundry and the ready-mixed concrete or asphalt plant should provide 1 504 500 TL (261 198 \$) profit per year because the raw material will be free of charge. As a result of the researches and calculations, it has been concluded that the use of waste foundry sands as alternative raw materials has environmental and economic benefits, but the waste foundry sands are not well known and therefore limited use. Industrial symbiosis projects to be initiated under the leadership of the Ministry of Environment and Urbanization will be guiding and encouraging in the utilization of waste foundry sand and efficient use of resources.

**Key words:** Waste foundry sand, industrial symbiosis, alternative raw material, Ministry of Environment and Urbanization

**2019, vii + 51 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu bitirme çalışmasında, çevre danışmanı olarak çalıştığım meslek hayatım boyunca karşılaştığım ve mutlaka çözülmesi gereken bir sorun olarak gördüğüm atık döküm kumlarının alternatif hammadde olarak yeniden kullanılması ile ilgili olarak ülkemizde eksik ve az bilinen konulara dikkat çekerek hem çevresel hem de ekonomik açıdan katkıda bulunmayı amaçlamaktayım.

Bu çalışmayı hazırlarken, yüksek lisans eğitimim süresince bana yol gösteren, büyük bir özveriyle yardımcı olabilmek için vakit ayıran danışman hocam Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ'a ve yüksek lisans eğitimime başlamamda önemli katkıları ve desteği bulunan Foça Çevre Şube Müdürü Sn. Müberra AKKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Anne karnından başlayarak bugüne kadar yüksek lisans sürecinde hep bizimle birlikte olan 25 aylık kızım Bilge Duru TÜYLÜ'ye ve bir an olsun desteğini esirgemeyen sevgili eşim Araş. Gör. Demet KOÇ TÜYLÜ'ye teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Murat TÜYLÜ  
04/12/2019

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Dökümün Tanımı ve Tarihçesi.....	3
2.2. Dökümün Yöntemleri.....	4
2.3. Türkiye’deki Döküm Faaliyetleri.....	5
2.4. Döküm Prosesi İş Akım Şeması ve Anlatımı.....	8
2.5. Dünyada ve Türkiye’de Atık Döküm Kumları.....	9
2.6. Atık Döküm Kumlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	11
2.7. Türkiye’de Atık Döküm Kumları ile ilgili Mevzuat.....	12
2.7.1. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga).....	13
2.7.2. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga).....	13
2.7.3. Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (Mülga).....	13
2.7.4. Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik (Mülga).....	14
2.7.5. Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik.....	15
2.7.6. Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (Mülga).....	15
2.7.7. Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği.....	15
2.7.8. Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği.....	16
2.7.9. Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği.....	17
2.7.10. Atık Yönetimi Yönetmeliği.....	17
2.8. Endüstriyel Simbiyoz.....	18
2.9. Atık Döküm Kumlarının Yeniden Kullanım Alanları.....	20
2.9.1. Yapısal Dolgu.....	21
2.9.2. Boru Yatakları ve Dolguları.....	21
2.9.3. Toprak Islahı ve Zenginleştirilmesi.....	21
2.9.4. Düzenli Depolama Alanlarında Kullanımı.....	21
2.9.5. Alternatif Hammadde Olarak Başka Bir Ürün İçinde Kullanımı.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	28
4.1. Türkiye’de Hazır Beton Üretimi.....	32
4.2. Türkiye’de Asfalt Üretimi.....	33
4.3. Türkiye’de Çimento Üretimi.....	35
4.4. Atık Döküm Kumlarının Alternatif Hammadde Olarak Kullanımının Maliyet Analizi ile Örneklenmesi.....	36
5. SONUÇ.....	43
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	51



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
Ag	Gümüş
As	Arsenik
Ba	Baryum
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
Hg	Cıva
kN	KiloNewton
Mpa	MegaPascal
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
TOX	Toplam Organik Halojenler
TPH	Toplam Petrol Hidrokarbonları
U	Uranyum
Hg	Cıva
V	Vanadyum
Zn	Çinko
\$	Dolar

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
API	Asphalt Paving Inc.
ATY	Atıktan Türetilmiş Yakıt
CSB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EPA	Çevre Koruma Ajansı
M.Ö.	Milattan Önce
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye’de metal döküm miktarının yıllara göre değişimi.....	5
Şekil 2.2. Döküm prosesi iş akım şeması .....	8
Şekil 2.3. Türkiye’de atık döküm kumu almaya yetkili lisanslı firmaların dağılımları.....	10
Şekil 2.4. Atık döküm kumları ve bir kum tanesinin mikroskop görüntüleri.....	11
Şekil 3.1. Çalışma yapılan tesislerin yer bulduru haritası .....	27
Şekil 4.1. Yıllara göre oluşan atık döküm kumları.....	29
Şekil 4.2. Yıllara göre atıklara uygulanan yöntemler.....	30
Şekil 4.3. Türkiye’de atık döküm kumu almaya yetkili lisanslı firmaların yıllara göre dağılımları.....	31
Şekil 4.4. 2010-2017 yılları arasında Türkiye ve Avrupa’daki asfalt üretim miktarları .....	34
Şekil 4.5. Atık döküm kumu gönderilebilecek tesislerin konumları .....	37

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Dünyada metal döküm üretim miktarları .....	6
Çizelge 2.2. Avrupa’da metal döküm üretim miktarları.....	7
Çizelge 2.3. Atık döküm kumunun kimyasal özellikleri .....	12
Çizelge 2.4. Atık döküm kumları için tanımlanan atık kodları .....	14
Çizelge 2.5. Potansiyel toprak kirlenici faaliyetler ile faaliyetlere özel kirlilik gösterge parametreleri listesi.....	15
Çizelge 2.6. İzin verilen atık döküm kumu kodları .....	17
Çizelge 4.1. Yıllara göre oluşan atık döküm kumları.....	29
Çizelge 4.2. Türkiye’de Hazır beton üretiminin yıllara göre değişimi.....	32
Çizelge 4.3. Asfalt üretiminin yıllara göre değişimi.....	34
Çizelge 4.4. Çimento üretiminin yıllara göre değişimi.....	35
Çizelge 4.5. Atık döküm kumu taşıma ve bertaraf maliyeti.....	42

## 1. GİRİŞ

Dökümhaneler ve demir-çelik fabrikaları pik demir, hurda demir ve demir dışı metaller ile ferro alaşımların kupol, indüksiyon veya elektrikli ark ocakları kullanılarak ergitme işleminin yapıldığı, ergimiş metalin de kum, seramik veya metal kalıplar içerisine dökülerek şekillendirildiği ve özellikler kazandırıldığı fabrikalardır. Bu prosesler sayesinde pik demir ve hurda metallerden döküm metal ürünleri üretilmektedir (Anonim 2013). Günümüzde otomotiv parçaları, radyatör ve kazan parçaları ile yağmur ve kanalizasyon sularına ait ızgara ve rögar kapakları gibi metal parçaların üretimi için döküm ürünleri kullanılmaktadır.

Türkiye metal döküm ürünlerinin üretimi konusunda 2017 yılına ait 2 155 000 ton üretim miktarı ile dünyada 11. Avrupa'da ise 3. sırada yer almaktadır (Anonim 2018a). 2017 yılında dünyada yapılan metal dökümün %44,96'sı Çin'de, %10,97'si Hindistan'da, %8,8'i Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD), %4,99'u Almanya'da ve %1,96'sı Türkiye'de gerçekleşmiştir. Avrupa ülkeleri arasında yapılan dökümün %26,34'ü Almanya'da, %10,78'i İtalya'da ve %10,36'sı Türkiye'de gerçekleşmiştir.

Dökümlerin büyük kısmı kum kalıplar kullanılarak yapılır. Yüksek sıcaklıklarda ergitilen metaller önceden hazırlanan kum kalıplara sıvı olarak dökülerek, sıvının kalıbın şeklini alması sağlanır ve ardından soğutulur istenilen metal parça elde edilmiş olur. Genel olarak 1 ton döküm için 4 ile 5 ton kum gerekli olup, bu miktar dökülen metalin cinsine, parça büyüklüğüne ve kalıplama tekniğine bağlı olarak değişmektedir. Döküm prosesinin gereği olarak sisteme yeni kum ilave edildiğinde, eklenen miktar kadar atık döküm kumu sistemden dışarı çıkmaktadır. Dolayısıyla kalıplamada kullanılan döküm kumu, sistem içinde birkaç defa kullanıldıktan sonra atık haline gelmektedir. Döküm sektörü için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı Rehber Doküman'da, 1 ton metal döküm üretiminde 0,2-0,5 ton döküm atığı oluştuğu ve bu atıkların %65 oranında atık döküm kumlarından kaynaklandığı belirtilmiştir (Anonim 2012).

Yürütülen tez çalışmasında, atık döküm kumlarının ülkemizde ve dünyadaki kullanım alanları karşılaştırılarak, yeniden kullanım alanları araştırılmıştır. Ülkemizde yıllara göre oluşan atık döküm miktarları hesaplanarak bu atıkların geçici depolama, geri kazanım veya bertaraf yöntemleri ülkemiz mevzuatı açısından değerlendirilmiştir. Ülkemizde ve dünyadaki uygulamalara yer verilerek, atık döküm kumlarının mevcut durumdaki yönetim

şekli ile alternatif hammadde olarak kullanılması arasındaki farklar çevresel faydanın ile birlikte ekonomik olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın kapsamında, Bursa ilinde faaliyet gösteren bir dökümhane örnek olarak seçilerek bir yılda oluşan atık döküm kumu miktarı hesaplanmıştır. Atık döküm kumlarının çimento fabrikası, düzenli depolama tesisi, tehlikesiz atık geri kazanım tesisi ile hazır beton ve asfalt plant tesislerine gönderilmesi için oluşacak atık taşıma ve bertaraf maliyetleri, tesislere olan mesafeler de göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular sonrası atık döküm kumlarının ülkemizde kısıtlı kullanılmasının nedenleri sonuçlar bölümünde verilerek, hazırlanan tez çalışmasının ülkemizde oluşan atık döküm kumlarının bertaraf edilmek yerine alternatif hammadde olarak yeniden kullanılmasına rehberlik etmesi amaçlanmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Dökümün Tanımı ve Tarihçesi

“Metal döküm, istenilen bir şekli elde etmek için, seçilen metal veya alaşımın ergitilmesi ve istenilen şeklin negatifi olan kalıp boşluğuna dökülmesi ve katılaşmasını bekleme işlemi olarak” tanımlanmaktadır (Anonim 2012).

“Dökümcülük, metalleri işlemek ve şekillendirmek konusunda yüzyıllardır kullanılagelen, en önemli endüstri dallarından birisidir. Gündelik hayatımızın her aşamasında; kuyumculuktan, ağır sanayi tezgâhlarına, tarım makinelerinden gemi makinelerine kadar çok değişik alanlarda döküm yöntemi ile üretilen malzemeler kullanılmaktadır” (Anonim 2013).

“Demir ve çelik döküm sanayi; endüksiyon, elektrik ark ocakları veya kupol ocaklarında, çeşitli pik demiri, metal hurdaları ve ferro alaşımların ergitilerek, kalıplama tesislerinde hazırlanmış kum, seramik veya metal kalıplar içerisinde şekillendirilmesi ve özel ısıtma işlemleri ile değişik mekanik özellikler kazandırılması sureti ile pik döküm, çelik döküm, sfero döküm ve temper döküm türündeki ürünleri ham döküm, işlenmiş döküm ve mamul olarak üreten bir sektördür” (Anonim 2013).

Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği (Anonim, 2013) tarafından yayımlanan “2013 Yılına Giren Mevcut Durum” adlı dokümanda metalleri işleme ve şekillendirmenin “insanlık tarihinin en eski mesleklerinden biri olduğu ve dökümcülüğe milattan önce 9 000’li yıllarda ilk metal ve metal oksitlerin kullanılmasıyla başladığı anlatılmaktadır. Çayönü Tepesi ve Catalhöyük’te bakır boncuk, çengel ve levhalar, madenlerin ilk olarak Anadolu’da kullanılmaya başladığına dair örneklerin bulunduğu ve bunların C14 radyografik analizleri ile tarihlendiği belirtilmektedir. Cumhuriyet devri ile birlikte Türk döküm sanayi, küçük atölyeler ve loncalar şeklinden büyük ölçekli sanayi kuruluşlarına dönüştüğü ve İstanbul, Bursa, Kocaeli, Sakarya üçgeni ile Ankara, Eskişehir, Konya, İzmir, Denizli, Samsun, Çorum, Trabzon, Adana, Kahramanmaraş ve Gaziantep gibi birçok şehir önemli üretim merkezleri haline geldiği” belirtilmektedir.

## 2.2. Dökümün Yöntemleri

Metallere şekil vermek için makineler için pres, dövme ya da kaynak gibi yöntemler kullanılması ya da döküm yapılması gerekmektedir. Dökümü yapılacak metal alaşımları fiziksel ve kimyasal olarak farklı özellikler gösterdiğinden bunlar üç grupta incelenmektedir (Anonim 2012).

- Demir döküm
  - Lamen grafitli dökme demir
  - Küresel grafitli dökme demir
  - Temper dökme demir
- Çelik döküm
  - Karbon çelikleri ve az alaşımlı çelikler
  - Yüksek alaşımlı çelikler (paslanmaz, ısıya dayanıklı)
- Demir dışı döküm
  - Alüminyum esaslı alaşımlar
  - Bakır esaslı alaşımlar (pirinç ve bronz)
  - Magnezyum esaslı alaşımlar
  - Çinko esaslı alaşımlar
  - Nikel esaslı alaşımlar
  - Diğer alaşımlar (kurşun, kalay ve kobalt esaslı)

Kalıbın tekrar kullanılıp kullanılmayacağı esasına göre döküm yöntemleri ikiye ayrılmaktadır (Anonim 2012).

- Harcanan kalıp kullanan döküm yöntemleri:
  - Kum Kalıba döküm,
  - Kabuk Kalıba döküm,
  - Seramik Kalıba döküm,
  - Alçı Kalıba döküm,
  - Hassas döküm.

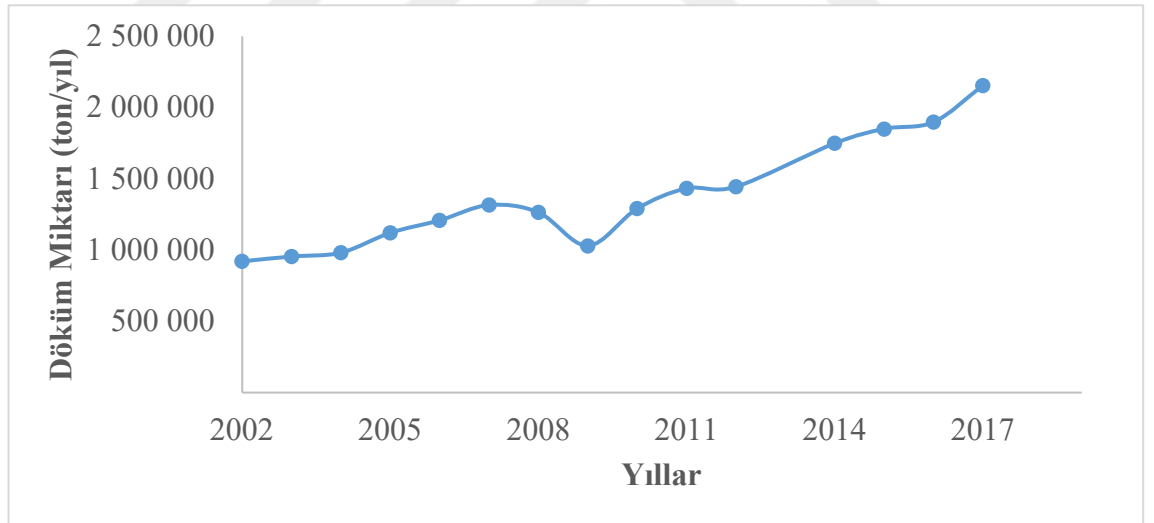
Harcanan kalıp kullanan yöntemlerin hemen hemen hepsindeki temel süreç adımları aşağıdaki gibidir.

- Model maça sandığı gibi döküm takımlarının imalatı

- Maça yapımı
  - Kalıplama
  - Ergitme ve dökme
  - Temizleme
- Kalıcı kalıp kullanan döküm yöntemleri:
    - Metal kalıba döküm,
    - Basınçlı döküm,
    - Savurma döküm,
    - Sürekli döküm.

### 2.3. Türkiye'deki Döküm Faaliyetleri

Türkiye metal döküm ürünlerinin üretimi konusunda Avrupa'da 3, dünyada ise 11. sırada yer almaktadır (Anonim 2018a). Son 15 yılın metal döküm miktarlarına bakıldığında Türkiye'de metal döküm faaliyetinin 2009 senesi dışında artan bir eğilime sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1.** Türkiye'de metal döküm miktarının yıllara göre değişimi

2017 yılında ülkelerin metal döküm üretim miktarlarına göre sıralaması ve toplam metal döküm miktarı içindeki yüzdesi Çizelge 2.1'de verilmiştir (Gedik 2008, Anonim 2018a). Buna göre Türkiye 2017 yılında ürettiği 2 155 000 ton metal döküm ürünleri ile dünyada 11. sırada yer almaktadır.



**Çizelge 2.1. Dünyada metal döküm üretim miktarları**

<b>Sıra No</b>	<b>Ülke</b>	<b>Metal Döküm Üretimi (ton)</b>	<b>Yüzde (%)</b>
1	Çin	49 400 000	44,96
2	Hindistan	12 055 100	10,97
3	ABD	9 668 066	8,80
4	Almanya	5 481 570	4,99
5	Japonya	5 453 613	4,96
6	Rusya	4 225 000	3,85
7	Meksika	2 909 461	2,65
8	Kore	2 536 200	2,31
9	İtalya	2 243 096	2,04
10	Brezilya	2 215 727	2,02
<b>11</b>	<b>Türkiye</b>	<b>2 155 000</b>	<b>1,96</b>
12	Fransa	1 722 796	1,57
13	Ukrayna	1 560 000	1,42
14	İspanya	1 295 397	1,18
15	Tayvan	1 278 679	1,16
16	Polonya	1 036 500	0,94
17	Kanada	646 543	0,59
18	İngiltere	533 390	0,49
19	Güney Afrika	443 000	0,40
20	Çek Cumhuriyeti	417 000	0,38
21	Avusturya	304 887	0,28
22	İsveç	301 612	0,27
23	Pakistan	266 420	0,24
24	Belarus	258 900	0,24
25	Macaristan	210 272	0,19
26	Mısır	200 000	0,18
27	Portekiz	198 650	0,18
28	Slovenya	195 951	0,18
29	Romanya	112 750	0,10
30	Danimarka	88 006	0,08

**Çizelge 2.1.** Dünyada metal döküm üretim miktarları (devam)

Sıra No	Ülke	Metal Döküm Üretimi (ton)	Yüzde (%)
31	İsviçre	77 003	0,07
32	Hırvatistan	68 385	0,06
33	Finlandiya	67 896	0,06
34	Sırbistan	60 801	0,06
35	Bulgaristan	55 774	0,05
36	Belçika	43 399	0,04
37	Bosna Hersek	38 450	0,03
38	Norveç	38 283	0,03

Türkiye, dünyada Çin, Hindistan, ABD ve Almanya gibi döküm metal üretimi konusunda önemli paya sahip ülkeler arasında 11. sırada yer alırken, 2017 yılı verilerine göre Avrupa ülkeleri arasında Almanya ve İtalya'nın ardından 3. sırada yer almaktadır (Anonim 2018a). (Çizelge 2.2.)

**Çizelge 2.2.** Avrupa'da metal döküm üretim miktarları

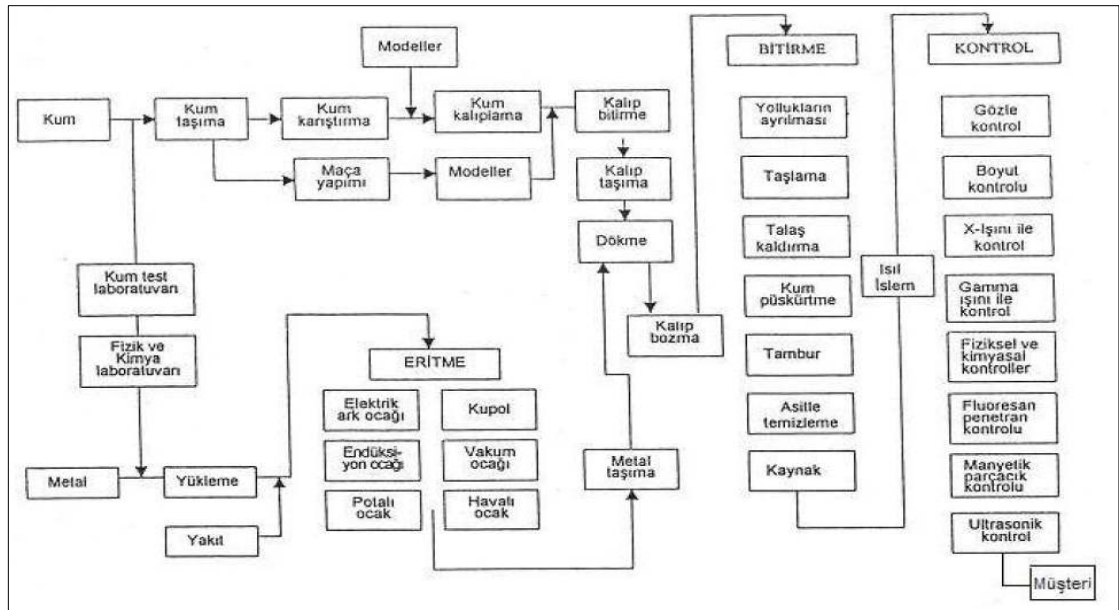
Sıra No	Ülke	Metal Döküm Üretimi (ton)	Yüzde (%)
1	Almanya	5 481 570	26,34
2	İtalya	2 243 096	10,78
3	<b>Türkiye</b>	<b>2 155 000</b>	<b>10,36</b>
4	Fransa	1 722 796	8,28
5	Ukrayna	1 560 000	7,50
6	İspanya	1 295 397	6,23
7	Polonya	1 036 500	4,98
8	İngiltere	533 390	2,56
9	Çek Cumhuriyeti	417 000	2,00
10	Avusturya	304 887	1,47
11	İsveç	301 612	1,45
12	Belarus	258 900	1,24
13	Macaristan	210 272	1,01
14	Portekiz	198 650	0,95

**Çizelge 2.2.** Avrupa’da metal döküm üretim miktarları (devam)

Sıra No	Ülke	Metal Döküm Üretimi (ton)	Yüzde (%)
15	Slovenya	195 951	0,94
16	Romanya	112 750	0,54
17	Danimarka	88 006	0,42
18	İsviçre	77 003	0,37
19	Hırvatistan	68 385	0,33
20	Finlandiya	67 896	0,33
21	Sırbistan	60 801	0,29
22	Bulgaristan	55 774	0,27
23	Belçika	43 399	0,21
24	Bosna Hersek	38 450	0,18
25	Norveç	38 283	0,18

#### 2.4. Döküm Prosesi İş Akım Şeması ve Anlatımı

Kum esaslı kalıp kullanan bir dökümhanede metal döküm yapmak için model üretimi, kalıplama, maça üretimi, eritme, bitirme ve kalite kontrol faaliyetleri gerçekleştirilir. Yapılan işlemler Şekil 2.2’de gösterilmektedir (Aran 2007).



**Şekil 2.2.** Döküm prosesi iş akım şeması

Kalıp içinde metalin dolacağı boşlukları oluşturmak için modeller kullanılır. Model üretiminde ahşap, metal, plastik gibi malzemeler kullanılmaktadır. Parça içerisindeki boşlukların elde edilmesi için maçalar kullanılır. Maçalar üretilecek parçanın şeklinde kumdan yapılmış modellerdir. Kalıplar içerisine maça ve kum yerleştirilerek döküm yapılmak üzere hazır hale getirilir. Bu kalıplama işlemi elle ya da makineler yardımıyla yapılabilir. Döküm için gerekli madenin elde edilebilmesi için pik demir ve hurda metaller şarj arabalarına yüklenir ve buradan da eritme ocaklarına taşınırlar. Enerji olarak eritme türüne göre elektrik ya da kömür kullanılan kupol, elektrik ocakları, potalı ocaklar gibi ocaklarda eritilen metaller potalar yardımıyla kalıplara dökülür. Kalıp içerisinde sıvı metal soğuyarak katı hale geçtikten sonra kum kalıp bozularak parça çıkarılır. Kalıptan çıkarılan parçadan yolluk adı verilen metal döküm uzantıları ayrılır ve yüzey temizleme, ısıl işlem, boyama gibi işlemlerden geçirilerek metal döküm parça üretimi tamamlanmış olur. Ürün müşteriye gönderilmeden önce istenilen şartlarda üretilip üretilmediği için kalite kontrol aşamalarından geçer ve gönderimi yapılır (Anonim 2012).

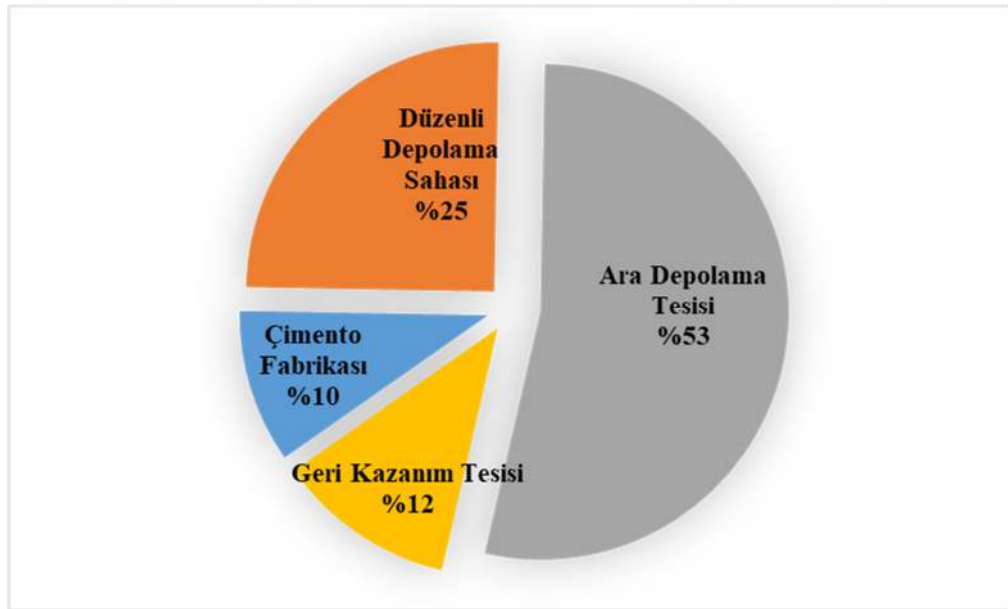
## **2.5. Dünyada ve Türkiye’de Atık Döküm Kumları**

Döküm kumu, metal endüstrisinde eriyen metalin katı hale geçmesi sırasında kalıp boşluğunu korumak için kullanılmaktadır (Güney ve ark. 2006). Döküm üretiminin büyük bir kısmı kum kalıplar kullanılarak yapılır ve genel olarak 1 ton döküm metal üretimi için 4-5 ton kum gereklidir (Uçar 2016). Metal dökümü için kalıplamada kullanılan kum, sistem içinde birkaç defa kullanıldıktan sonra atık haline gelmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın 2012 yılında yayımladığı Döküm Sektörü Rehber Doküman’da 1 ton metal döküm üretimi sonrası 0,2-0,5 ton arasında döküm atığı oluştuğu ve bu atıkların %65 atık döküm kumlarından kaynaklandığı belirtilmiştir (Anonim 2012). 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 içermektedirler.

Atık döküm kumları, yapılan metal döküm miktarı ile doğru orantılı olarak oluşmaktadır. Khatib ve ark. (2013), yalnızca ABD’de 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 dökümhanelerinde

1 milyon ton, Hintli dökümhanelerde 1,71 milyon ton ve Brezilya'daki dökümhanelerde 3 000 000 tondan fazla atık döküm kumu oluştuğu belirtilmiştir (Matos ve ark. 2019). Güney ve ark. (2010), Türkiye'de çeşitli sektörlerde yılda 300 000 ton kum kullanıldığını belirtmişlerdir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2012 yılında 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'ini atık döküm kumlarının oluşturduğu belirtilmiştir (Anonim 2012).

Türkiye'deki dökümhanelerden kaynaklanan atık döküm kumları genellikle alternatif hammadde olarak kullanılmak üzere çimento fabrikalarına ya da depolanmak veya örtü tabakası olarak kullanılmak üzere belediyelere ait düzenli depolama tesislerine gönderilmektedir. Atık döküm kumlarının geri kazanım ve bertarafı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan lisanslı almış tesislerin dağılımı Şekil 2.3.'te gösterilmektedir. Tesislerine kabul ettikleri atıkları en fazla 1 yıl depolamak koşuluyla faaliyet gösteren atık ara depolama tesisleri lisanslı tesislerin çoğunluğunu (%53) oluşturmaktadır. Son yıllarda ara depolama tesislerinin artması ile atık döküm kumlarının gönderilebileceği tesis sayısı da artmış bulunmaktadır.



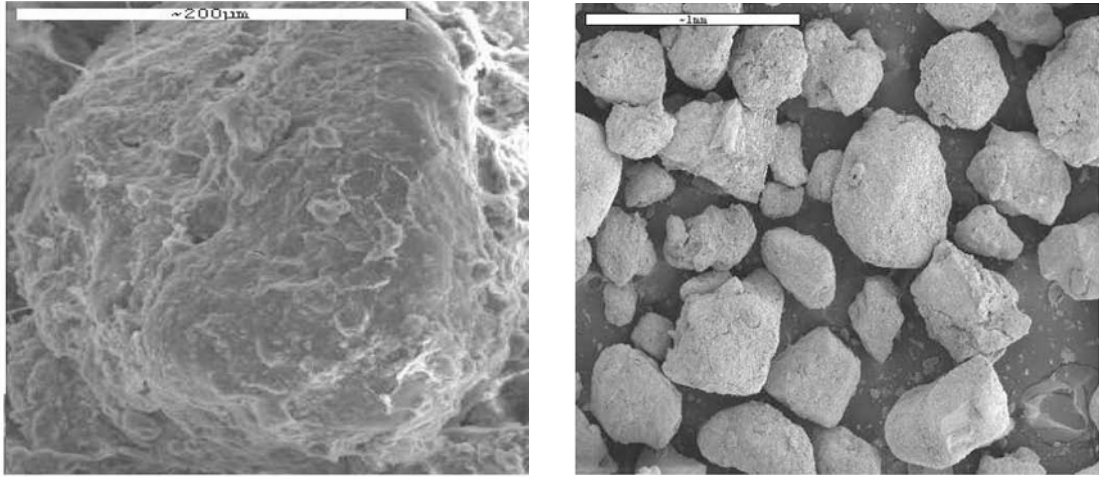
Şekil 2.3. Türkiye'de atık döküm kumu almaya yetkili lisanslı firmaların dağılımları

## 2.6. Atık Döküm Kumlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Atık döküm kumları, döküm sonrası renginin siyah olması ve atık içeriğinin doğru bilinmemesi nedeniyle genellikle tehlikeli ya da istenmeyen atık olarak kabul görmektedir.

Atık döküm kumlarının şekli genellikle yuvarlak ve alt köşelidir. Döküm yapılmış kumlar siyah veya gri renktedir. Atık döküm kumunun tane dağılımına bakıldığında %85-95 oranında 0,6 ile 0,15 mm. arasında, %5-12 oranında ise 0,075 mm'den küçüktür. Atık döküm kumunun özgül ağırlığı 2,39 ile 2,55 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir (Siddique ve Noumowe 2008).

Bilecik ili, Bozüyük ilçesindeki Toprak Döküm fabrikasında yaklaşık 1500 °C'deki döküm prosesinde 8-10 defa kullanılmış olan atık döküm kumlarına ait örnekler Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) boyut ve biçimsel olarak incelenerek Şekil 2.4'deki görüntüler elde edilmiştir. Atık döküm kumunun tane boyutu homojen olup, tamamı 1 mm'den küçüktür. %10 kadarının boyutu 0,5 mm'den büyük ve %5 kadarının boyutu da 0,125 mm'den küçüktür. Atık döküm kumları kömür veya bentonit kullanımından dolayı siyah renkli olup, özgül ağırlığı 2,45'tir (Güney ve ark. 2010).



Şekil 2.4. Atık döküm kumları ve bir kum tanesinin mikroskop görüntüleri

Atık döküm kumunun fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanıldığı proses çeşidine göre değişmektedir. Döküm kumu olarak kullanılan kum %85-95 oranında silika, %0-12 oranında kil, %2-10 oranında karbonlu katkıları ve %2-5 oranında su içermektedir. Silika

yüksek sıcaklıkta dayanımı, kil ve su içeriği ise esnekliği sağlamaktadır. Karbonlu katkıları yanmayı ya da kumun döküm yüzeyine kaymasını önlemektedir (Gedik 2008).

Atık döküm kumunun kimyasal özellikleri Çizelge 2.3'te gösterilmektedir (Siddique ve Singh 2011). Çeşitli kaynaklar tarafından yapılan kimyasal analizler sonucu atık döküm kumunun büyük çoğunluğunun silis kumundan oluştuğu, bunun yanı sıra alüminyum ve demir oksit formunda metaller içerdiği görülmektedir.

**Çizelge 2.3.** Atık döküm kumunun kimyasal özellikleri

	<b>American Foundrymen's Society (1991)</b>	<b>Güney ve ark. (2010)</b>	<b>Siddique ve ark. (2011)</b>
SiO <sub>2</sub>	87,91	98,00	78,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,70	0,80	6,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,94	0,25	4,83
CaO	0,14	0,035	1,88
MgO	0,30	0,023	1,95
SO <sub>3</sub>	0,09	0,01	0,05
Na <sub>2</sub> O	0,19	0,04	0,10
K <sub>2</sub> O	0,25	0,04	
TiO <sub>2</sub>	0,15		
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02		
SrO	0,03		
LOI	5,15		2,15

Bozüyük döküm fabrikasından elde edilen atık döküm kumlarında Cr, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe ve Cu gibi ağır metaller bulunduğu raporlanmıştır. Ancak bulunan değerler toprak kirliliğindeki maksimum ağır metal limitlerinin %1'inden daha da düşük bulunmuştur (Bakış ve ark. 2006).

## **2.7. Türkiye'de Atık Döküm Kumları ile ilgili Mevzuat**

Çevre Kanunu'na bağlı olarak yayımlanan yönetmelik ve tebliğler ile birlikte katı atık, tehlikeli ve tehlikesiz atık tanımları, bu atıkların toplanması ve taşınması ile ilgili hususlar, geri kazanım ve bertaraf tesislerinin sağlanması gereken fiziksel şartlar belirlenmiştir. Atık

döküm kumları ile ilgili olarak geçmişten günümüze yayımlanan ilgili yönetmelik ve tebliğler 2.7.1. – 2.7.10 arasındaki başlıklarda değerlendirilmiştir.

### **2.7.1. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga)**

“Her türlü atık ve artığın çevreye zarar verecek şekilde, doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan tüketim maddelerinin idaresini belli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta kalıcı etki gösteren kirleticilerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve geliştirilmesi” amacıyla 1991 yılında Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Anonim 1991). Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde “sanayi ve ticarethane katı atıklarının toplanması, taşınması, geri kazanılması, değerlendirilmesi, bertaraf edilmesi ve zararsız hale getirilmesi esaslarına” yer verilmiştir. 02.04.2015 tarihinde Atık Yönetimi Yönetmeliği’nin yayımlanarak yürürlüğe girmesi ile birlikte Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği yürürlükten kaldırılmıştır (Anonim 2015a).

### **2.7.2. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (Mülga)**

“Tehlikeli atıkların, üretiminden nihai bertarafına kadar, üretildiği yere en yakın mesafede bertaraf edilmesi ve çevreyle uyumlu yönetimin sağlanması” amacıyla 1995 yılında yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Anonim 1995). Katı atıklardan ayrı olarak tehlikeli olarak tanımlanan atıklar ilk kez bu yönetmelik ile tanımlanmıştır. 02.04.2015 tarihinde yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği’nin 02.04.2016 tarihinde yürürlüğe girmesi ile birlikte Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği yürürlükten kaldırılmıştır (Anonim 2015a).

### **2.7.3. Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (Mülga)**

“Atıkların oluşumlarından bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetimlerinin sağlanmasına yönelik genel esasların belirlenmesi” amacıyla Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik 2008 yılında yayımlanmıştır (Anonim



2008). Yönetmelik ile birlikte sektörlere göre oluşacak atıkların altı haneli atık kodları da tanımlanmış olup yönetmeliğin Ek-4'ünde sunulmuştur. Atık kodlarının sonuna “ \* ” işareti konularak tehlikeli olanlar işaretlenmiştir. Atık döküm kumları ile ilgili olarak tehlikeli ve tehlikesiz atık kodları Çizelge 2.4'te verilmiştir. Dolayısıyla ilk kez tehlikeli ve tehlikesiz olarak atık döküm kumlarının ayırımı yapılmış ve atık kodları belirlenmiştir.

**Çizelge 2.4.** Atık döküm kumları için tanımlanan atık kodları

Atık Kodu	Atık Tanımı	Tehlike Sınıfı
10 09 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 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 09 05*	Henüz döküm yapılamamış, tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	M
10 09 06	10 10 05 dışındaki henüz döküm yapılamamış 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	-

02.04.2015 tarihinde Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin yayımlanarak yürürlüğe girmesi ile birlikte Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik yürürlükten kaldırılmıştır (Anonim 2015a).

#### **2.7.4. Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik (Mülga)**

Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik'in Ek-1 ve Ek-2 listesinde yer alan işletmelerin ve işletmecilerin yükümlülüklerinin belirlenmesi amacıyla 2009 yılında yayımlanmıştır (Anonim 2009). Bu yönetmelik ile birlikte atık işleme, geri kazanım ve bertaraf tesislerinin atık kodlarına göre lisans alma zorunluluğu bulunmaktadır.

### 2.7.5. Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirilenmiş Sahalara Dair Yönetmelik

Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirilenmiş Sahalara Dair Yönetmelik 2010 yılında yayımlanmıştır (Anonim 2010a). Yönetmeliğin 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 Çizelge 2.5’te verilmiştir.

**Çizelge 2.5.** Potansiyel toprak kirlenici faaliyetler ile faaliyetlere özel kirlilik gösterge parametreleri listesi

<b>Faaliyet Türü</b>	<b>Faaliyet Özel Kirlenici Gösterge Parametreleri</b>
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

### 2.7.6. Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (Mülga)

“Bir faaliyet sonucunda ortaya çıkan tehlikesiz ve inert atıkların çevreye olabilecek olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi, atık miktarının azaltılması, geçici depolanması, geri kazanım tesislerinin kurulması ve bu tesislerin çevreyle uyumlu yönetiminin sağlanmasına yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi için gerekli idari ve teknik esasların düzenlenmesi amacıyla” 2010 yılında Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği yayımlanmıştır (Anonim 2010b). Tebliğ ile birlikte atık üreticilerine tehlikesiz atıklar ile ilgili olarak depolama şartları, izinli/belgeli firmalara verme zorunluluğu, beyan yükümlülüğü ve atık yönetim planı hazırlama gibi sorumluluklar getirilmiştir.

### 2.7.7. Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği

Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği 2011 yılında yayımlanmıştır (Anonim 2011). Tebliğ ile birlikte Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği yürürlükten

kaldırılmıştır. Atık üreticileri için tehlikesiz atıklar ile ilgili olarak depolama şartları, izinli/belgeli firmalara verme zorunluluğu, beyan yükümlülüğü ve atık yönetim planı hazırlama gibi sorumluluklar devam ederken, geri kazanım tesisleri için sağlanması gereken asgari şartlarda değişiklikler olmuştur.

Tebliğ kapsamında “tehlikesiz atık üreticileri, atıkların yağmur veya yüzey suları ile temasından meydana gelebilecek kirliliğin önlenmesi için zemin geçirimsizliğinin sağlanması, suların drenajı amacı ile ızgara, kuşaklama kanalları ve benzeri toplama sistemlerinin oluşturulması” koşuluyla atıklarını geri kazanıma kadar bir yılı geçmemek üzere depolayabilmektedir (Anonim 2011). Bu kapsamda tehlikesiz atık olarak tanımlanan atık döküm kumlarının, zemin geçirimsizliği sağlanmış alanlarda, önlemler alınarak depolanması gerekmektedir.

#### **2.7.8. Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği**

“Atıkların alternatif hammadde olarak kullanılması, atıktan türetilmiş yakıt hazırlanması ve bu hazırlama tesislerinde bulunması gereken asgari şartlara ilişkin teknik, idari ve uyulması gereken genel kurallar ile atıktan türetilmiş yakıt kullanımı ve beraber yakma tesislerinde ek yakıt olarak kullanılacak atıklara ilişkin esasları belirlemek” amacıyla 2014 yılında Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği yayımlanmıştır (Anonim 2014a). Tebliğ ile birlikte “bir tesisin faaliyeti neticesinde oluşan, mineral özellikleri dolayısıyla çimento fabrikaları gibi tesislerde hammaddeye katkı olarak kullanılabilir özellikteki atıklar” alternatif hammadde olarak tanımlanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ndan onay almak şartıyla, atık üreticisi ile çimento gibi atıkları alternatif hammadde olarak kullanacak tesisler arasında atık gönderimi yapılabilmektedir. Alternatif hammadde kullanacak tesisler çevre lisansından muaf tutulmaktadır. Dolayısıyla atık döküm kumu oluşan dökümhanelerden çimento fabrikalarına Bakanlık’tan onay almak şartıyla atık döküm kumlarının alternatif hammadde olarak lisans şartı aranmaksızın gönderilmesi bu tebliğ ile sağlanmıştır. Tebliğ’in Ek-4’ünde alternatif hammadde olarak izin verilen atık kodları listelenmekte olup, atık döküm kumlarına ait atık kodları bu liste içerisinde yer almaktadır (Çizelge 2.6).

**Çizelge 2.6.** İzin verilen atık döküm kumu kodları

<b>Atık Kodu</b>	<b>Atık açıklaması</b>	<b>Açıklama</b>	<b>ATY</b>	<b>Ek Yakıt</b>	<b>Alternatif Hammadde</b>
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	-			✓

### **2.7.9. Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği**

2014 yılında Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği'nin yayımlanması ile birlikte Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik yürürlükten kaldırılmıştır (Anonim 2014b). Atık işleme, geri kazanım ve bertaraf tesislerinin atık kodlarına göre lisans alma zorunluluğu Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği ile birlikte devam etmektedir.

### **2.7.10. Atık Yönetimi Yönetmeliği**

“Atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atıkların oluşumundan bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanması” amacıyla 2015 yılında Atık Yönetimi Yönetmeliği yayımlanmıştır (Anonim 2015a). Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik adlı yönetmelikler yürürlükten kaldırıldığı için, atık döküm kumları ve diğer atıklar ile ilgili atık kodları Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin ekinde aynı şekilde yayımlanmıştır. Atık Yönetimi Yönetmeliği ile birlikte üretim prosesi sonucu zorunlu olarak oluşan ve asıl amacın bu maddenin üretilmesi olmadığı durumlarda geçerli olmak

üzere “yan ürün” tanımı yapılmış ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ndan onay alınarak bu şartları sağlayan bazı atıkların yan ürün olarak değerlendirilebileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla atık döküm kumları da proses sonucu zorunlu olarak oluşması nedeniyle yan ürün tanımına uygun atıklar arasında yer almaktadır.

## **2.8. Endüstriyel Simbiyoz**

Atık Yönetimi Yönetmeliği’ne göre “atıkların üretildikleri yere en yakın ve en uygun tesise en hızlı şekilde ulaştırılarak, uygun yöntem ve teknolojiler kullanılarak işlenmesi esastır” (Anonim 2015a). Atık döküm kumlarının düzenli depolama sahaları veya çimento fabrikalarına taşınması yerine, olduğu yere yakın yerel çözümler içinde değerlendirilmesi, atıkların daha az taşınmasını ve yakın tesisler arasında endüstriyel simbiyoz ilişkisinin kurulmasını sağlayacaktır. Endüstriyel simbiyoz tercihen birbirine fiziksel olarak yakın olup, normalde birbirlerinden bağımsız çalışan iki veya daha fazla endüstriyel işletmenin bir araya gelerek hem çevresel performansı, hem de rekabet gücünü artıracak uzun süreli ortaklıklar kurması ve dayanışma içinde çalışması olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel simbiyoz yaklaşımı ekonomik kalkınma, yeşil büyüme ve kaynak verimliliği çabaları için stratejik bir politika aracı olarak görülmektedir. Yakın tarihli Avrupa Birliği politika kaynakları, endüstriyel simbiyozu ekonomik ve çevresel politikanın bütünsel bir parçası olarak desteklemişlerdir (Çoban 2016).

Çetin (1997) otomobil lastiği, plastik (polietilen), kül, petrolü sondaj atığı ve mermer tozu gibi endüstriyel atıkların asfalt beton kaplama karışımları üzerinde etkilerini araştırdığı yüksek lisans tezi çalışmasında, yaptığı testler ve deneyler sonucunda lastik ve plastik ilave edilen asfalt beton kaplama karışımların tokluk ve elastiklik özelliklerinin iyileştiğini gösterdiği sonucuna varmıştır. Atıklar, endüstriyel simbiyoz ile başka bir üretim içinde değerlendirilmiştir.

Akbulut ve Gürer (2006) tarafından mermer ocaklarındaki yapılan üretimin yaklaşık %40-60 kadarı mermer atığı olarak oluştuğu ve bu atıkların pası döküm sahalarına dökülerek yığınlar halinde istenmeyen görüntüler oluşturduğu belirtilmiştir. Mermer ocaklarında oluşan %40-60 oranındaki atıkların maden kırma eleme şantiyelerinde kırılarak agrega haline getirilerek hem şehir içi gibi orta trafik hacimli yollarda değerlendirilebileceği

ve ekonomiye kazandırılacağı hem de alternatif hesaplı bir agrega kaynağı elde edilmiş olacağı belirtilmiştir. Yapılan çalışma ve deneyler sonucunda atık mermerden üretilen agrega ve sıcak karışımların şartname değerlerini sağladığı, düşük ve orta trafik hacimli asfalt kaplamalarda binder tabaka olarak değerlendirilebileceği görülmüştür.

Huang ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada demir ve çelik endüstrisine ait cürufaların asfalt üretiminde kullanılabildiğini, ancak Avrupa Standartlarında en fazla %3,5 oranında izin verildiğini ve asfalt en üst tabakasının altındaki asfalt binder tabakasında geri kazanılmış plastiklerin 2,36–5 mm. arasındaki agrega yerine %30 oranında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Karacasu ve Bilgiç (2009), yaptıkları çalışmada Eskişehir Organize Sanayi Bölgesinde bulunan bir atık işleme tesisinden aldıkları sert plastik parçaları, araç lastiği parçaları ve lastik tozu örneklerini asfalt üretiminde kullanılmasını test etmişlerdir. Yapılan test ve analizler sonucunda atık oranı arttıkça özgül ağırlığı ile Marshall Dayanımının azaldığı ve akma miktarı ile boşluk oranının arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Atıklardan %2, %4 ve %6 oranlarında yaptıkları testlerde %2 ve %4 oranlarında sert plastik parçaları ve lastik tozu ilave edilerek üretilen asfalt betonlarında Marshall Dayanımı ve deformasyon testlerinde olumlu sonuçlar alınmıştır.

Üstünkol ve Turabi (2009), yaptıkları çalışmada farklı özelliklere sahip endüstriyel atıkların asfalt betonu aşınma tabakası üzerinde fiziksel ve mekanik etkilerini araştırmıştır. Mermer tozu, uçucu kül, fosfoalçı ve cam tozu gibi endüstriyel atıklar ile değişen bitüm oranları kullanarak hazırlanan numunelere Marshall metodu uygulanarak optimum bitüm oranı %4,9 olarak bulunmuştur. Bitüm oranı sabit tutularak bu kez farklı miktarlardaki endüstriyel atıklarla hazırlanan karışımlarla da yine Marshall stabilite deneyi yapılarak boşluk, stabilite ve akma değerlerinin değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda %7 oranında endüstriyel atığın bitümlü sıcak karışımlarda (asfalt üretiminde) taş tozu (agrega) yerine kullanılabileceği görülmüştür.

Apay ve ark. (2011) yapılan çalışmada lastikler, evsel atıklar, atık yağlar, endüstriyel atıklar, grid, pirit külü, yüksek fırın cürufu, mermer atıkları, döküm kumu, demir tozu, tufal,

alçı kırığı, bypass tozu, uçucu kül gibi malzemelerin çimento fabrikalarında kullanılan bazı atık maddelere örnek olduğu belirtilmiştir.

Aktaş ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada atık shingle parçacıklarının bitümlü sıcak karışım içinde kullanımını test etmişler ve Karayolları Teknik Şartnamesindeki limitler içerisinde kaldığını belirtmişlerdir.

Aktaş (2011) beton atıklarının kırılarak geri dönüştürülmesi sonucu elde edilen agregaların asfalt içerisinde %10, %20, %30 ve %40 oranlarında kullanılması amacıyla deneyler yapmıştır. Elde edilen sonuçlarda geri dönüşüm agregası arttıkça Marshall dayanımının düştüğü görülmüştür. Atık katkılı numunelerde normal numunelere göre boşluk oranları daha fazla olduğundan atık katkılı maddeler ile üretilen asfalt için daha fazla bitüm kullanılması gerektiği belirtilmiştir. İçerisinde atık beton agregası bulunan asfalt kaplamaların, yüksek hizmet kapasitesine sahip yollar yerine daha düşük hizmet kapasitesine sahip yollarda kullanılmasında bir sakınca olmadığına kanaat getirilmiştir.

Gönen ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada betona katılabilen klasik atıkların dışında, plastikler, arıtma çamuru, poliüretan köpük, boya atıkları, atık döküm kumu ve araba lastiği gibi daha yeni malzemeleri değerlendirmiş ve sonuç olarak bu malzemelerin ya aynı performansı sergilediği ya da daha üstün performansı sergilediği görülmüştür.

## **2.9. Atık Döküm Kumlarının Yeniden Kullanım Alanları**

Atık döküm kumu birçok faydalı alanlarda kullanım için uygun olabilir. Ülkeler arasında kullanım alanlarında farklılık olsa da EPA Avrupa'daki atık döküm kumlarının kullanım alanları için bir veya birden çok ülke tarafından uygulanan yöntemleri tanımlamıştır. Atık döküm kumları asfalt, tuğla, çimento, beton blok, dolgu malzemesi, harç ve hafif agrega olarak kullanılabilir (Anonim 2002).

Atık döküm kumlarının bazı kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

### **2.9.1. Yapısal Dolgu**

Atık döküm kumları, suyun atık döküm kumu içinden süzülmesini önleyen genellikle kil gibi maddelerin arasında doldurularak karayolları, otoparklar, binalar ve parçalar gibi yapılara destek olacak şekilde dolgu malzemesi olarak kullanılabilir (Anonim 2002).

### **2.9.2. Boru Yatakları ve Dolguları**

Atık döküm kumları taşkın kanal ve kanalizasyon borularının yeraltına döşenmesinde yatak vazifesi görmesi için boruların altına dolgu malzemesi olarak kullanılabilir (Anonim 2002).

### **2.9.3. Toprak Islahı ve Zenginleştirilmesi**

Atık döküm kumları, bahçe ve saksı toprakları, bitkisel toprak ve çim saha yapımı için kullanılabilir. Üst toprak, gübre, turba ve atık döküm kumu karışımları ile kompostlama maddesi olarak kullanılacak performansı geliştirilmiş topraklar elde edilebilir (Anonim 2002).

### **2.9.4. Düzenli Depolama Alanlarında Kullanımı**

Atık döküm kumları, düzenli depolama sahalarında örtü tabakası olarak, sahalardaki lotlar arasında yol yapımında ya da sızıntı suyu toplama katmanlarında agrega yerine kullanılabilir (Anonim 2002).

Akkaya (2015), %9 oranına kadar bentonit içeren atık döküm kumlarının katı atık depolama sahasında örtü tabakası olarak kullanılabilirliğini, ancak %9 oranından fazla bentonit içeren atık döküm kumu numunelerinin geçirimsiz kaplama yapımı için istenen genel hidrolik iletkenlik değeri  $10^{-9}$  m/s'nin altında kaldığını belirtmiştir. Ayrıca kullanılmış lastik tozu ile atık döküm kumu birlikte kullanılması durumunda ise kopma dayanımının arttığı ancak bu kez de permabilitenin de artması nedeniyle genel hidrolik iletkenliğin istenen değerin altında kaldığı sonucuna varılmıştır.



### 2.9.5. Alternatif Hammadde Olarak Başka Bir Ürün İçinde Kullanımı

Atık döküm kumları, asfalt, çimento, beton, harç, hafif gaz beton, beton blok, tuğla, kiremit, cam ve seramik gibi kontrol edilebilir ve düşük mukavemetli ürünlerin üretiminde hammadde olarak kullanılabilir (Anonim 2002).

Atık döküm kumları asfalt üretiminde, hazır beton üretiminde, betonlu yapıların üretiminde, tuğla ve kaldırım taşı üretiminde, harç üretiminde, düzenli depolama sahası günlük örtü olarak kullanılmaktadır. Atık döküm kumları hacimce en çok dolgu malzemesi, asfalt üretimi, yol yapımı ve alt temel malzemesi, akışkan yatak dolgusu, toprak ve tarımda, çimento ve beton üretiminde kullanılmaktadır (Gedik 2008).

Atık döküm kumları dolgu malzemesi olarak, su geçirmez bariyer katmanları, akışkan dolgularında, otoyol yapımında, toprak güçlendirme işlemlerinde, asfalt üretiminde kullanılabilir. Bununla birlikte çimento üretiminde, harç ve beton üretiminde, tarımsal faaliyetlerde, buz ve karlı yüzeylerde, taş yünü ve fiber glass imalatında ve düzenli depolama sahalarında hidrolik bariyer ya da örtü tabakası olarak özel mühendislik uygulamaları ile kullanılabilir (Siddique ve Noumowe 2008).

Quijorna ve ark. (2012) Kuzey İspanya'da problemlili atıklardan olan ve düzenli depolama sahasına giden atık döküm kumu ve Waelz çamurunun tuğla üretiminde kil yerine kullanımı üzerine çalışmışlar ve %30 oranına kadar kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

Çimento Üretiminde Atık Döküm Kumu Kullanımı:

Kum, beton ve çimentonun bileşenlerinden biridir. Portland çimentosu üretimi için %80 oranında silis içeren kum gerekli olup, birçok dökümhanenin atık döküm kumu bu oranı karşılamaktadır. Ayrıca Portland çimentosu üretimi için, çoğu dökümhanenin atık döküm kumunda bulunan demir ve alüminyum oksitler de gereklidir. Çimento ve agrega ya da atık döküm kumları (yeniden kullanılan) betonun da bileşenlerini oluşturmaktadır (Anonim 2002).

Çimento kalsiyum oksit, silika, alüminyum oksit ve demir oksitin belirli oranlarda karıştırılması sonucu elde edilir. Bu içerikler doğal kayalarda killi şist, dolomit ve kireçtaşı olarak bulunmaktadır. Silika kaynağı olarak atık döküm kumları çimento üretimi için önemlidir. Ancak çimento üretiminde kullanılabilmesi için,

- Silika içeriğinin %80 ve üzeri olması,
- Düşük alkali malzeme olması,
- Büyük miktarlarda atık döküm kumunun bulunması ve
- Partikül boyutlarının homojen olması gerekmektedir.

%0, 4,45, %8,90 ve %13,36 oranlarında atık döküm kumu kullanılarak yapılan çimento üretim deneyinde klinkerin kimyasal karakteristik sonuçları döküm kumu olmayan örnekle küçük farklılıklar gösterse de atık döküm kumu ile üretilen çimentonun tüm kimyasal özellikleri karşıladığı belirtilmiştir (Anonim 2004).

Tosun (2006) tarafından, atıkların içindeki organik unsurların çimento fırınındaki yüksek ısı, uzun işlem süresi ve oksitleyici ortam nedeniyle tamamen ortadan kalktığı, inorganik unsurların ise fırındaki ham maddelerle birleşerek ve çimentonun bir parçası olarak süreçten çıktıkları belirtilmiştir. Çimentoya geçen ağır metallerin betonun içinde bağlı kaldığı, atık yakıt kullanılarak üretilen çimentodan yapılan betonun fiziksel ve çevresel özellikleri ile fosil yakıtlar kullanılarak üretilen çimentodan yapılan betonun özelliklerinin farklı olmadığına vurgu yapılmıştır.

#### Hazır Beton Üretiminde Atık Döküm Kumu Kullanımı:

Güney ve ark. (2010) çalışmasında bir seri deney yaparak atık döküm kumunun yüksek dayanımlı hazır beton üretiminde kullanılmasını test etmişlerdir. Kontrol numunesi için normal beton karışımı hazırlanmış ve 65 MPa basınç uygulanmıştır. Atık döküm kumu ile hazırlanan numunelerde ise sırasıyla ince agrega yerine %5, %10 ve %15 oranlarında atık döküm kumu kullanılmıştır. Hazırlanan betonun mekanik özellikleri için çekme ve basınç dayanım testleri yapılmış ve bununla birlikte bazı fiziksel özellikleri de incelenmiştir. Betonun yaşlandırma testinde ise %10 oranında kullanılan atık döküm kumu numunesi mekanik ve fiziksel özellikler açısından kontrol numunesi ile benzer sonucu vermiştir. Kış

şartlarındaki performansını görmek için donma-çözülme döngüleri ile yapılan serbest sıkıştırma testleri sonucunda kontrol numunesine göre atık döküm kumu içeren örnek daha az dayanım gösterse de hazır beton standardı olan ACI 318-99'u geçtiği ve standarda uygun olduğu belirtilmiştir. Yapılan araştırmalar ve testler ile agregaya yerine %10 oranında atık döküm kumu kullanımının yüksek dayanımlı hazır beton üretimi için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Singh ve Siddique (2012), yaptıkları çalışmalarda atık döküm kumu içeren betonun dayanımını ve aşınma direncini araştırmışlardır. Agregaya yerine kütlece sırasıyla %0, %5, %15 ve %20 oranlarında atık döküm kumu kullanmışlar ve su-çimento oranını (w/c) 0,40 olarak sabit tutmuşlardır. Test sonuçları agregaya yerine kullanılan atık döküm kumunun, 28 günlük testler sonucunda kullanılan atık döküm kumu miktarına bağlı olarak, basınç dayanımını %8,3-%17 oranında, gerilme dayanımını %3,6-%10,4 oranında ve elastikiyet modülünü %1,7 ile %6,4 oranında artırdığını ve 365 güne kadar sürekli olarak mekanik özelliklerinde iyileştirmeler gösterdiğini ortaya koymuştur. Atık döküm kumlarının agregaya yerine kullanıldığında betonun dayanımını tüm yaşlarda önemli şekilde artırdığını ve hazır beton üretiminde %15 oranına kadar kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Başar ve Aksoy (2012), atık döküm kumunun hazır beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, silika kumunu ağırlıkça %0 (şahit), %10, %20, %30 ve %40 oranlarındaki atık döküm kumuyla yer değiştirerek karışımlar hazırlamışlar ve atık döküm kumu esaslı hazır beton ürünlerinin mekanik, sızma ve mikro-yapısal özelliklerini incelemişlerdir. 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. Hazır beton ürünlerinin, 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 atık döküm kumu ile hazırlanan %20 ikame oranına sahip hazır beton ürünü arasında mikro-yapısal ve morfolojik olarak herhangi bir farklılık gözlememişlerdir. Sonuç olarak; atık döküm kumunun hazır beton üretiminde ince agregaya yerine maksimum %20

ikame oranında kullanımının fiziksel, mekanik, çevresel ve mikro-yapısal açıdan olumsuz bir etkiye sebep olmadığını ortaya koymuşlardır.

Prabhu ve ark. (2014), atık döküm kumları ile ilgili olarak yaptıkları çalışma sonucunda atık döküm kumlarının %20 oranında ince agrega yerine kullanıldığında betonun mukavemetinde yalnızca %2,1 oranında düşüş olduğunu, dolayısıyla %20 oranına kadar kullanılabileceğini, ancak bu değerden sonrasının uygun olmadığını belirtmişlerdir.

#### Yol Yapımı ve Asfalt Üretiminde Atık Döküm Kumu Kullanımı:

Atık döküm kumlarının karayolunda alt temel malzemesi olarak kullanımı ile ilgili olarak yaptıkları testlerde, atık döküm kumunun normal hammaddeye göre özellikle kış aylarında daha dayanıklı olduğu ve yağışı tutmayarak doğrudan aşağıya geçirdiği ve yapılan liç testlerinde de bu geçiş sonrasında suda yapılan analizlerde atık döküm kumundan suya herhangi bir istenmeyen bileşiklerin geçmediği görülmüştür (Güney ve ark. 2006).

Bakış ve ark. (2006) tarafından asfalt üretim içinde agrega yerine %0, %4, %7, %10, %14, %17 ve %20 oranlarında atık döküm kumu kullanarak yaptıkları deney sonucunda, atık döküm kumlarını alternatif hammadde olarak en fazla %10 olarak kullanılabilmesini test etmişlerdir. Atık döküm kumu yüzdesi %0'dan %20'ye çıkarıldığında Marshall Stabilite Testi sonucu 12,1 kN'den 9,7 kN'ye düşmüştür. Bu değer asfalt üretimi için yeterli bulunmadığından atık döküm kumu oranı %10'a düşürülerek yeniden test yapıldığında Marshall Stabilite Testi sonucu'nun 10,9 kN olduğu ve Türkiye Cumhuriyeti Karayolları standartlarına uygun olduğu belirtilmiştir. Asfalt döşemesinin uzun vadeli performansını görebilmek için çekme mukavemet deneyi önemli testlerden biridir. Yapılan test ile karışım içindeki atık döküm kumu miktarı arttıkça çekme mukavemetinin lineer olarak düştüğü görülmüştür. Atık döküm kumu oranı %0 iken 13,9 kPa olarak bulunan çekme mukavemeti, atık döküm kumu oranı %20'ye çıkarıldığında 9,4 kPa'ya düşmüştür. %10 oranında atık döküm kumu ile yapılan test sonucunda ise çekme mukavemeti %11,8 kPa olarak bulunmuş olup, bu değer yeterli görülerek asfalt üretimi içinde kullanılacak atık döküm kumu oranı maksimum %10 olarak bulunmuştur.

Gedik (2008) tarafından atık döküm kumunun karayolu malzemesi olarak büyük miktarda kullanılabilirliği ve böylelikle yüksek miktarda atık malzemenin değerlendirilebilmesi araştırılmıştır. Atık döküm kumları, üretim tekniği ve şekline göre sınıflarına ayrılmış ve indeks özellikleri tespit edilmiştir. Daha sonra malzeme çeşitli metotlar kullanılarak sıkılaştırılmış ve stabilizasyonun malzeme özelliklerini iyileştireceği düşünüldüğünden atık döküm kumu ağırlıkça %2, %4, %8 ve %10 oranında çimento ve kireçle ayrı ayrı stabilize edilerek numuneler 7 gün, 14 gün, 28 gün, 3 ay ve 6 ay süre boyunca nem odasında kür edilmiştir. Hazırlanan numunelere stabilizasyonun etkisini araştırmak için 3 farklı deney (Ultrasyon Dalga Hızı Testi, Serbest Basınç Mukavemet Deneyi, ve Kaliforniya Taşıma Oranı Deneyi) yapılmıştır. Deney sonuçlarının ışığında atık döküm kumlarının klasik yol malzemeleriyle ekonomik karşılaştırılması yapılarak, amaca uygunluğu irdelenmiştir. Yapılan test ve deneyler sonucunda %8 ve %10 oranında çimento ve kireç ile stabilize olmuş atık döküm kumu örneklerinin daha fazla mukavemet gösterdiği ve kaldırım taşı olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı Döküm Sektörü Rehber Doküman'dan (Anonim 2012) faydalanılarak ülkemizde oluşan ve Bursa ilinin Orhangazi ilçesinde faaliyet gösteren bir dökümhane seçilerek buradan kaynaklanan atık döküm kumu miktarı hesaplanmış, bu atıkların düzenli depolama tesisine gönderilmesi yerine, hazır beton santralleri, asfalt plant tesisleri ve çimento fabrikalarında alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi sonucu her bir tesis için çevresel ve ekonomik analiz yapılmıştır. Çalışma için seçilen dökümhanenin bulunduğu Orhangazi ilçesini gösteren yer bulduru haritası Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma yapılan tesislerin yer bulduru haritası

Bursa ili örneği için seçilen dökümhanede için Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre Ek-3B analizi yapılmış ve sonucu tehlikesiz atık olarak tanımlanmış atık döküm kumlarının alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi üzerine çevresel ve ekonomik analizi yapılmıştır.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

ABD’de yılda yaklaşık 100 milyon ton döküm üretimi yapılmakta ve bunun sonucu olarak da 6-10 milyon ton atık döküm kumu oluşmaktadır. Bununla birlikte yapılan üretim sonucu bir yılda, İngiliz dökümhanelerinde 1 milyon ton, Hintli dökümhanelerde ise 1,71 milyon ton atık döküm kumu meydana gelmektedir (Khatib ve ark. 2013).

ABD’de demir ve demir dışı metal ürünler üreten dökümhanelerde atık döküm kumları toplam atığın %55–90’nını oluşturmaktadır. Bu atıkların yalnızca %2’si tehlikeli olup, %98’i ise tehlikesiz atıklardan oluşmaktadır (Anonim 2002).

Meydana gelen atık döküm kumlarının büyük çoğunluğu tehlikesiz atıklardan oluşmaktadır. Atık üreticileri tarafından Atık Yönetim Yönetmeliği Ek-3B analizleri yaptırılarak atığın tehlikesiz olduğu analiz sonucu ile belgelenmektedir.

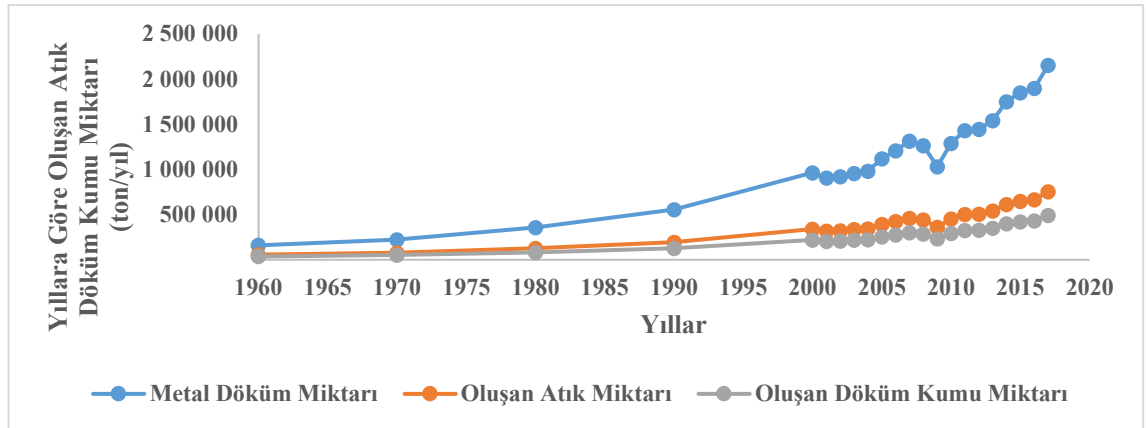
Döküm sektörü için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın yayımladığı Rehber Doküman’da, 1 ton metal döküm üretiminde 0,2-0,5 ton döküm atığı olduğu ve bu atıkların %65 oranında atık döküm kumlarından kaynaklandığı belirtilmiştir. 2006 yılı verilerine göre, 1 294 500 ton metal döküm üretimi yapılmış ve bu üretime karşılık yaklaşık 450 000 ton atık olduğu belirtilmiştir (Anonim 2012). Buna göre 1 ton metal döküm üretimine karşılık,  $450\ 000 \text{ ton atık} / 1\ 294\ 500 \text{ ton metal döküm} = 0,35 \text{ ton atık}$  oluşmaktadır. Başka bir deyişle 1 ton metal döküm üretiminde %35 oranında atık meydana gelmekte ve oluşan bu atığın da %65’ni atık döküm kumu oluşturmaktadır.

Yaylalı (2007) tarafından belirtilen 1960-2006 yılları arasındaki metal döküm ürünleri miktarları (Gedik 2008) ve 2007-2017 yılları arasındaki metal döküm ürünleri miktarlarına göre oluşan atık döküm kumları hesaplanarak Çizelge 4.1’de gösterilmiştir (Anonim 2018a).

**Çizelge 4.1.** Yıllara göre oluşan atık döküm kumları

Yıllar	Metal Döküm Miktarı (ton/yıl) (A)	Oluşan Atık Miktarı (ton/yıl) (B = A x 0,35)	Oluşan Döküm Kumu Miktarı (ton/yıl) (C = B x 0,65)
1960	161 100	56 385	36 650
1970	222 000	77 700	50 505
1980	357 000	124 950	81 218
1990	555 700	194 495	126 422
2000	965 000	337 750	219 538
2001	905 800	317 030	206 070
2002	921 500	322 525	209 641
2003	955 000	334 250	217 263
2004	982 000	343 700	223 405
2005	1 121 200	392 420	255 073
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
2016	1 898 500	664 475	431 909
2017	2 155 000	754 250	490 263

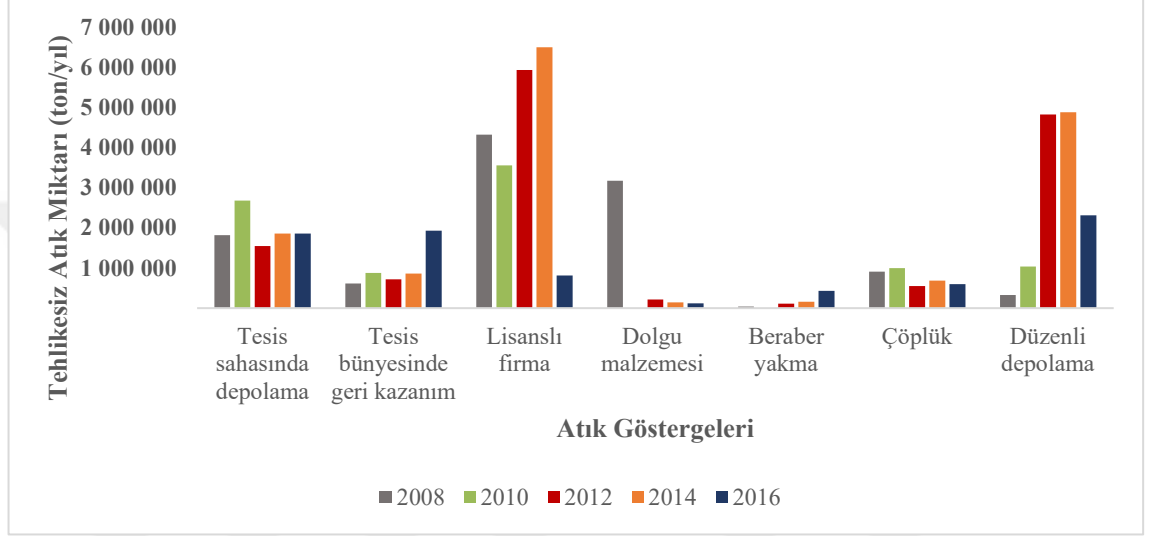
Yıllara göre metal döküm üretiminde artış gözlemlendiğinden, buna bağlı olarak atık dökümü oluşumunda da artış meydana gelmiştir. Oluşan atık döküm kumlarının yıllara göre değişimi Şekil 4.1’de gösterilmektedir (Gedik 2008, Anonim 2018a).



**Şekil 4.1.** Yıllara göre oluşan atık döküm kumları



Ülkemizde 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 (Yalılı Kılıç ve Tüylü 2019). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2008-2016 verilerine göre (Anonim 2019b) atık göstergeleri ve geri kazanım/bertaraf yöntemleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

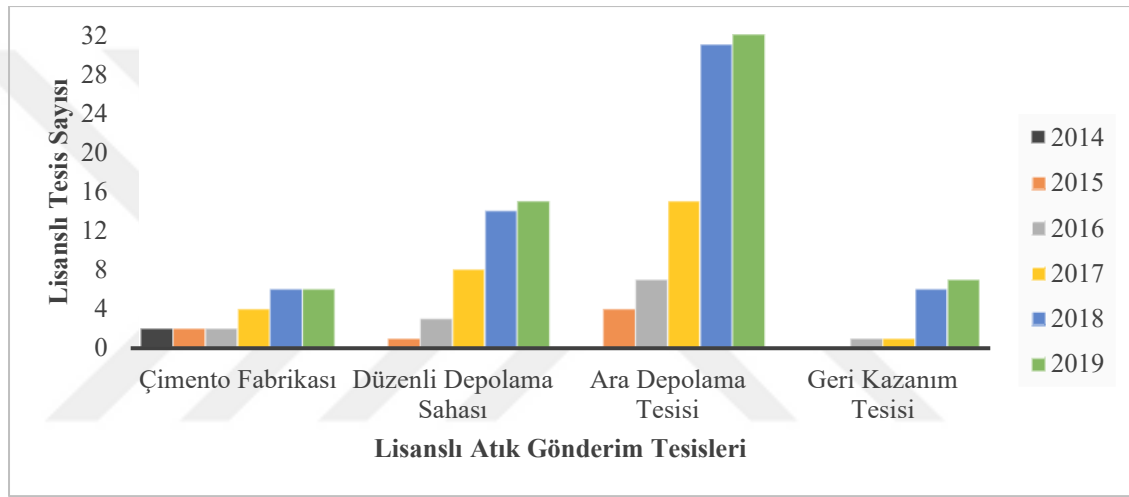


Şekil 4.2. Yıllara göre atıklara uygulanan yöntemler

Ülkemizde oluşan atıklar uygun geri kazanım/bertaraf tesislerine gönderilmeden önce tesis sahasında geçici olarak depolanmakta, daha sonra çoğunlukla lisanslı firmalara ya da düzenli depolama tesislerine gönderilmektedir. Atık döküm kumları Atık Yönetimi Yönetmeliği’ne göre uygun atık kodları belirlenerek, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yetkilendirilmiş ve lisans verilmiş tesislere gönderilmesi gerekmektedir. Atık üreticileri tarafından tesislerinde oluşan atık döküm kumları genellikle düzenli depolama tesislerine ya da çimento fabrikalarına gönderilmekte ya da bertaraf maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle tesis sahalarında depolanarak çevre kirliliğine neden olmaktadır. Düzenli depolama sahalarına gönderilen atık döküm kumları, depolama sahasının alanını doldurmakta ve faydalı kullanım ömrünü azaltmaktadır. Çimento fabrikalarında alternatif hammadde olarak atık döküm kumları çimento üretiminde kullanılmakta olup, çimento fabrikalarının dökümhanelere olan mesafelerinin uzak olması nedeniyle de çimento fabrikaları tüm dökümhanelere hizmet verememektedir. Bu nedenle atık döküm kumlarının alternatif hammadde olarak başka bir proseste değerlendirilmesi ve dökümhaneler ile diğer

tesisler arasında endüstriyel simbiyoz ilişkisi kurulması atığın değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin azalması ve atıkların uzak mesafelere taşınmasının önlenmesi için büyük önem arz etmektedir.

Atık döküm kumlarının çimento dışında başka bir proses içinde kullanımı için 2016 yılında bir firma atık döküm kumu için geri kazanım lisansı alırken, son yıllarda bu konunun öneminin artması ile atık döküm kumu geri kazanım tesisi sayısı 2019 yılı itibariyle 7'ye yükselmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan atık döküm kumları için lisans alan işletmelerin sayılarının yıllara göre değişimi Şekil 4.3'de gösterilmektedir (Anonim 2019a).



**Şekil 4.3.** Türkiye’de atık döküm kumu almaya yetkili lisanslı firmaların yıllara göre dağılımları

Ülkemizdeki atık döküm kumlarının yönetimine ve alternatif hammadde olarak kullanılmasına örnek olması açısından yabancı ülkelerde yapılan çalışmalardan örnekler incelendiğinde, atık döküm kumlarının yol (Güney ve ark. 2006, Bakış ve ark. 2006), dolgu (Anonim 2002), asfalt (Güney ve ark. 2006, Bakış ve ark. 2006) ve beton (Güney ve ark. 2010, Singh ve Siddique 2012, Başar ve Aksoy 2012, Prabhu ve ark. 2014) üretiminde kullanıldıkları görülmektedir.

ABD’de Asphalt Paving Inc. (API) adlı asfalt üretim tesisine 2001 yılında 31 000 ton’dan fazla atık döküm kumu gönderilmiştir. ABD’nin Batı Virginia eyaletinde 2000 yılında 21 000 ton atık döküm kumu otopark inşaatında alt temel malzemesi olarak kullanılmıştır (Anonim 2002). 2016 yılı Temmuz ayında yapımına başlanan ve 30 Haziran 2019 tarihinde

tamamlanması planlanan Madrid-Bilbao Yüksek Hızlı Tren inşaatının dolgu uygulamalarında ve akışkan harç hazırlanmasında Avrupa'da bulunan bir çelik dökümhanesinin atık döküm kumları %60 oranında kullanılmaktadır (Anonim 2018b).

#### 4.1. Türkiye'de Hazır Beton Üretimi

Son yıllarda inşaat yatırımlarının artması ve yol, köprü, viyadük, stadyum, baraj gibi büyük yapıların inşa ediliyor olması nedeniyle hazır betona olan talep de artmıştır. Buna bağlı olarak artan hazır beton talebi sonrasında 2017 yılında 115 milyon m<sup>3</sup> hazır beton üretilmiştir. Hazır beton üretiminin yıllara göre değişimi Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Türkiye, dünyada Çin ve ABD'den sonra en büyük hazır beton üreticisi konumundadır. Avrupa'da ise 2009 yılından beri birinci sırada yer almaktadır (Anonim 2017a).

**Çizelge 4.2.** Türkiye'de Hazır beton üretiminin yıllara göre değişimi

Yıllar	Firma Sayısı	Tesis Sayısı	Hazır Beton Üretimi (m <sup>3</sup> )
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	580	1 040	107 000 000
2015	621	1 098	107 000 000
2016	570	1 120	109 000 000
2017	540	1 184	115 000 000

2017 yılında ülkemizde 2 155 000 ton metal döküm ürünü üretilmiştir (Anonim 2018a).

Buna bağlı olarak yalnızca 2017 yılında;

$2\,155\,000 \times 0,35 = 754\,250$  ton döküm atığı ve

$754\,250 \times 0,65 = 490\,262,5$  ton atık döküm kumu oluştuğu hesaplanmaktadır.

2017 yılında ülkemizde 115 000 000 m<sup>3</sup> hazır beton üretimi yapılmıştır.

100 000 m<sup>3</sup> hazır beton üretimi için 44 200 ton agregaya gereklidir (Başar 2012).

115 000 000 m<sup>3</sup> x (44 200 ton/100 000 m<sup>3</sup>) = 50 830 000 ton agregaya ihtiyacı vardır.

490 262,5 / 50 830 000 x 100 = **%0,97** ülkemizdeki hazır beton santralleri üretiminde yalnızca %0,97 oranında atık döküm kumu kullandığında ülke genelinde oluşan tüm atık döküm kumlarını değerlendirilmiş olacaktır.

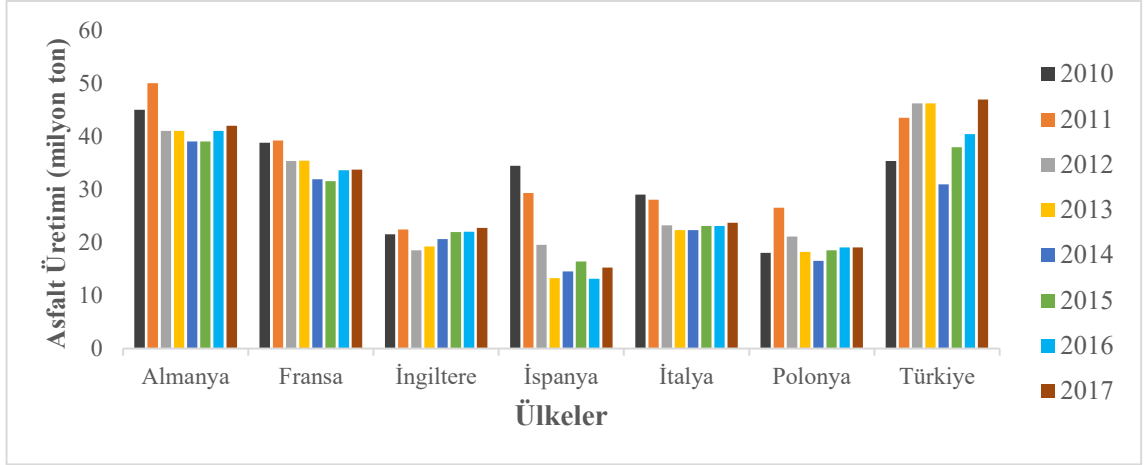
Hazır beton, çimento, su ve agreganın karıştırılması sonucu elde edilmektedir. Güney ve ark. (2010) yaptıkları araştırmalar ve testler ile agregaya yerine %10 oranında atık döküm kumu kullanımının yüksek dayanımlı hazır beton üretimi için uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Başar ve Aksoy (2012) tarafından %20 oranında atık döküm kumu ile hazırlanan hazır beton numunesi ile şahit numune arasında mikro-yapısal ve morfolojik olarak herhangi bir farklılık gözlemlenmediği belirtilmiştir.

Siddique ve Noumowe (2008) tarafından atık döküm kumunun kaliteli beton ve inşaat malzemeleri yapımında çok rahatlıkla kullanılabilceği ve kullanılan döküm kumu miktarı arttıkça beton karışımların mukavemet özelliklerinin zamanla arttığı belirtilmiştir.

## **4.2. Türkiye’de Asfalt Üretimi**

Türkiye’de son yıllarda İstanbul-İzmir Otoyolu, Osmangazi Köprüsü, Yavuz Sultan Selim Köprüsü, Avrasya Tüneli ve İstanbul Havalimanı gibi önemli ve büyük projelerin hayata geçmesi ile asfalt kullanım miktarlarında da artış olmuştur. Türkiye ve diğer Avrupa ülkelerinin 2010-2017 yıllarına ait asfalt üretim miktarları (Anonim 2017b) Şekil 4.4’te gösterilmiştir. Türkiye 2017 yılında 46,9 milyon ton asfalt üreterek, daha önce gerisinde bulunduğu Almanya’nın da önüne geçerek Avrupa’da asfalt üretiminde lider konumuna gelmiştir.



Şekil 4.4. 2010-2017 yılları arasında Türkiye ve Avrupa'daki asfalt üretim miktarları

Türkiye'de ve diğer Avrupa ülkelerinde 2010-2017 yılları arasında üretilen asfalt miktarları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Türkiye 46,9 milyon ton asfalt üretimi ile 2017 yılında Avrupa'da lider konumunda yer almaktadır (Anonim 2017b).

Çizelge 4.3. Asfalt üretiminin yıllara göre değişimi

	Asfalt Üretim Miktarı (milyon ton/yıl)							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Almanya</b>	45	50	41	41	39	39	41	42
<b>Fransa</b>	38,8	39,2	35,3	35,4	31,9	31,5	33,6	33,7
<b>İngiltere</b>	21,5	22,4	18,5	19,2	20,6	21,9	22	22,7
<b>İspanya</b>	34,4	29,3	19,5	13,2	14,5	16,4	13,1	15,2
<b>İtalya</b>	29	28	23,2	22,3	22,3	23,1	23,1	23,7
<b>Polonya</b>	18	26,5	21,1	18,2	16,5	18,5	19	19
<b>Türkiye</b>	35,3	43,5	46,2	46,2	30,9	37,9	40,4	46,9

Karayollarının yapımı ve bakımı için büyük miktarda agrega gerektirmektedir. Asfalt karışımlarının %90'ı agregadan oluşmaktadır (Huang ve ark. 2007). Atık döküm kumu yapısal olarak mineral bir malzeme olması nedeniyle asfalt üretiminde kullanılan ince agrega ile fiziksel olarak benzerlik göstermektedir (Dyer ve ark. 2018).

2017 yılında ülkemizde 2 155 000 ton metal döküm ürünü üretilmiştir.

Buna bağlı olarak yalnızca 2017 yılında;

$$2\ 155\ 000 \times 0,35 = 754\ 250 \text{ ton döküm atığı ve}$$

$$754\ 250 \times 0,65 = \mathbf{490\ 262,5 \text{ ton atık döküm kumu oluştuğu hesaplanmaktadır.}}$$

2017 yılında ülkemizde 46 900 000 ton asfalt üretimi yapılmıştır.

$$490\,262,5 / 46\,900\,000 \times 100 = \%1,05$$

Ülkemizdeki asfalt üretiminde yalnızca %1,05 oranında atık döküm kumu kullanıldığında ülke genelinde oluşan tüm atık döküm kumları değerlendirilmiş olacaktır.

Miller ve ark. (2001), yalnızca agrega kullanılarak standartlara uygun olarak üretilmiş asfalt ile atık döküm kumu kullanılarak üretilen asfalt numuneleri test edildiğinde, asfaltın içinde kullanılacak atık döküm kumunun optimum miktarının %5-6,2 aralığında olduğunu belirtmişlerdir.

Bakış ve ark. (2006) asfalt üretim içinde agrega yerine %0, %4, %7, %10, %14, %17 ve %20 oranlarında atık döküm kumu kullanarak yaptıkları deney sonucunda, atık döküm kumlarını alternatif hammadde olarak en fazla %10 olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

#### 4.3. Türkiye’de Çimento Üretimi

Klinker, temel olarak kalsiyum, silisyum, alüminyum ve demir oksitlerden meydana gelmektedir. Klinker, kireçtaşı ve kil gibi hammaddelerin öğütülüp homojenize edilerek döner fırınlarda beslenmesi ile üretilmektedir. Klinkerin oluşması için malzemelerin 1450°C’lik sıcaklıkta pişirilmesi gerekmektedir. Çimento ise alçı ve diğer malzemeler (kalker, tras, uçucu kömür külü, doğal puzolan vb.) klinkere eklenerek çimento öğütme değirmeninde ince ve homojen bir toz olan çimento oluşana kadar öğütülmesi sonucu oluşmaktadır (Apay ve ark. 2011).

Ülkemizde 2010-2017 yılları arasında yapılan klinker ve çimento üretim miktarları Çizelge 4.4’te gösterilmiştir (Anonim 2019c).

**Çizelge 4.4.** Çimento üretiminin yıllara göre değişimi

Yıllar	Klinker Kapasitesi (ton)	Çimento Kapasitesi (ton)
2010	63 858 426	105 449 995
2011	65 128 633	106 485 158
2012	66 929 720	108 398 942

**Çizelge 4.4.** Çimento üretiminin yıllara göre değişimi (devam)

Yıllar	Klinker Kapasitesi (ton)	Çimento Kapasitesi (ton)
2013	68 469 888	107 433 864
2014	69 603 940	113 480 171
2015	76 461 840	126 141 205
2016	80 059 830	132 777 470
2017	83 610 980	135 592 732

2017 yılında ülkemizde 2 155 000 ton metal döküm ürünü üretilmiştir.

Buna bağlı olarak yalnızca 2017 yılında;

$2\ 155\ 000 \times 0,35 = 754\ 250$  ton döküm atığı ve

$754\ 250 \times 0,65 = 490\ 262,5$  ton atık döküm kumu oluştuğu hesaplanmaktadır.

2017 yılında ülkemizde 83 610 980 ton klinker üretimi yapılmıştır.

$490\ 262,5 / 83\ 610\ 980 \times 100 = \%0,59$

Ülkemizdeki klinker üretiminde yalnızca %0,59 oranında atık döküm kumu kullanıldığında, ülke genelinde oluşan tüm atık döküm kumlarını değerlendirilmiş olacaktır.

Apay ve ark. (2011) tarafından, atık döküm kumunun klinker içine katkı olarak çimento fabrikasında kullanıldığı, malzeme içindeki  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ve  $\text{CaO}$  miktarlarının yüksek oranda olması atıklardan aranan özellik olduğu, bu oksitlerin aynı zamanda çimentonun ana bileşenlerini oluşturduğu belirtilmiştir.

#### **4.4. Atık Döküm Kumlarının Alternatif Hammadde Olarak Kullanımının Maliyet Analizi ile Örneklenmesi**

Bursa, bünyesinde bulundurduğu otomotiv ve otomotiv yan sanayi fabrikaları nedeniyle metal döküm konusunda faaliyet gösteren dökümhanelerin yoğun olduğu iller arasında yer almaktadır.

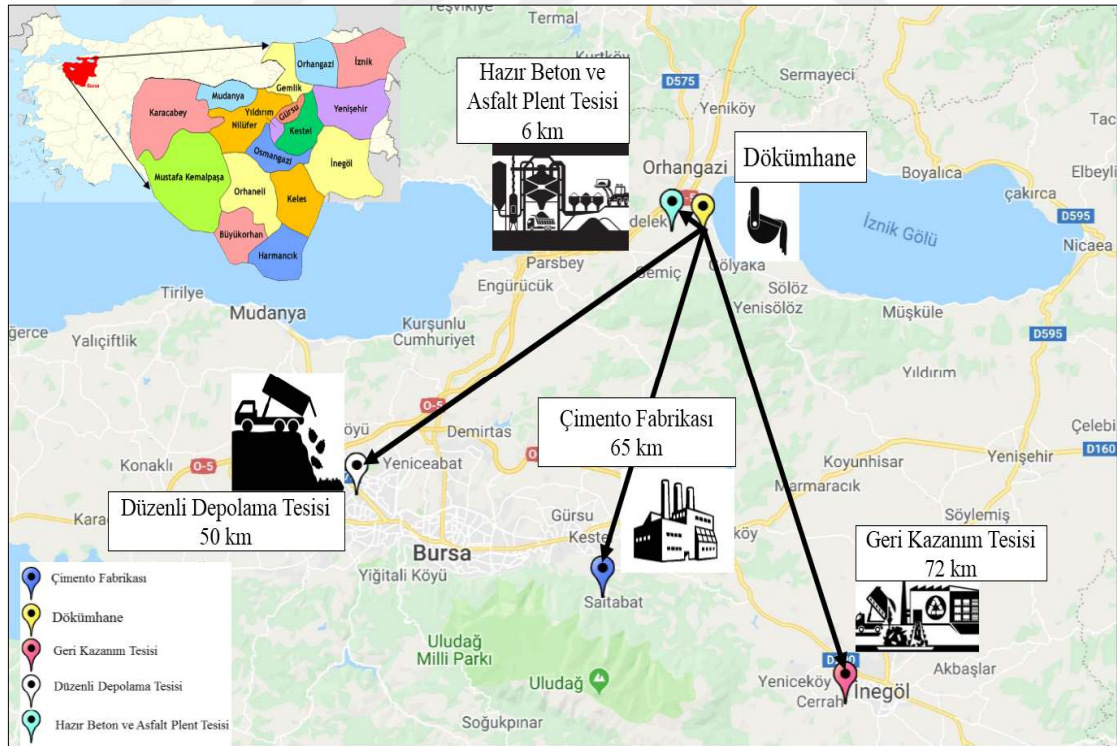
Türkiye’de 2017 yılında 2 155 000 ton (Anonim, 2018a) metal döküm ürünleri üretilirken, Bursa’nın Orhangazi ilçesinde faaliyet gösteren 150 000 ton/yıl kapasitesi ve 1 629 çalışanı ile kendi sektöründe Bursa’nın en büyüğü olan bir dökümhanede 2017 yılında 112 236 ton metal döküm üretimi yapılmıştır (Akova, 2018).

112 236 ton/yıl metal döküm üretim miktarı, aynı yıl ülkemizde yapılan toplam metal döküm üretimine oranlandığında,  $(112\ 236 / 2\ 155\ 000 \times 100 = \%5,21)$  dökümhanenin ülkemizin metal döküm üretimine katkısının  $\%5,21$  olduğu görülmektedir.

Dökümhanede 2017 yılında 112 236 ton metal döküm üretimi yapılmıştır. Buna göre,  $112\ 236 \times 0,35 = 39\ 282,6$  ton döküm atığı ve  $39\ 282,6 \times 0,65 = 25\ 533,69$  ton  $\approx$  **25 500 ton** atık döküm kumu olduğu hesaplanmaktadır.

Döküm sektöründe  $\%5,21$  pay ile önemli bir yere sahip olan bu dökümhanede oluşan atık döküm kumlarının miktarı hesaplanırken, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı Döküm Sektörü Rehber Doküman'dan (Anonim 2012) faydalanılmıştır.

Dökümhanede bir yılda oluşan atık döküm kumlarının izinli olarak gönderilebileceği 1 adet düzenli depolama tesisi, 1 adet çimento fabrikası, 1 adet tehlikesiz atık geri kazanım tesisi bulunmaktadır (Anonim 2019d). Bu tesislerin konumları ve dökümhaneye olan mesafeleri Şekil 4.5'te gösterilmektedir (Anonim 2019g).



**Şekil 4.5.** Atık döküm kumu gönderilebilecek tesislerin konumları



Osmangazi ilçesinde faaliyet gösteren katı atık düzenli depolama sahasının dökümhaneye olan uzaklığı 50 km, Kestel ilçesinde faaliyet gösteren çimento fabrikasının dökümhaneye uzaklığı 65 km, İnegöl ilçesinde faaliyet gösteren atık döküm kumu geri kazanım tesisinin dökümhaneye uzaklığı ise 72 km'dir.

Atık geri kazanım ve bertaraf tesislerinin şehir merkezlerine yakın ilçelerde bulunması ve şehrin sanayisinin doğu-batı kuşağı üzerinde kurulu olması nedeniyle, dökümhanenin bulunduğu Bursa ilinin kuzeyinde atık döküm kumu ile ilgili geri kazanım ve/veya bertaraf tesisi bulunmamaktadır. Dolayısıyla atıkların geri kazanım veya bertarafa gönderilebilmesi için en az 50 km. taşınması gerekmektedir.

Atıkların nakliyesi sırasında 25 ton kapasiteli araçlar kullanılacağı kabulü ile bir yılda oluşan 25 500 ton atık döküm kumunun sevkiyatı için,

$$25\ 500\ \text{ton/yıl} / 25\ \text{ton/sefer} = 1\ 020\ \text{sefer/yıl yapılması gerekmektedir.}$$

Kullanılacak kamyonun 100 km'de 35 litre motorin tüketeceği ve motorinin litre fiyatının 6,29 TL olduğu kabulü ile kilometre başına nakliye bedeli,

$$35\ \text{lt}/100\ \text{km} \times 6,29\ \text{TL}/\text{lt} = 2,20\ \text{TL}/\text{km olarak hesaplanmıştır.}$$

#### Atıkların düzenli depolama tesisine gönderilmesi durumunda:

Bursa Büyükşehir Belediyesi Düzenli Katı Atık Depolama tesisi 1 ton tehlikesiz atık döküm kumunun tesise kabulü ve bertarafı için 90 TL (Anonim, 2019e) ücret talep etmektedir. Bir yılda oluşan 25 500 ton atık döküm kumlarının bertarafı için dökümhane tarafından düzenli depolama tesisine;

$$25\ 500\ \text{ton/yıl} \times 90\ \text{TL}/\text{ton} = 2\ 295\ 000\ \text{TL/yıl ödemesi gerekmektedir.}$$

Dökümhanede oluşan 25 500 ton atık döküm kumunun 50 km uzaklıktaki katı atık düzenli depolama tesisine 25 ton kapasiteli araçlar ile 1 020 seferde taşınması gerekecektir. Araçların gidiş dönüş 100 km yol yapacağı ve 1 km'de 2,20 TL akaryakıt kullanacağı kabul edilerek dökümhanenin nakliye maliyeti,

$$100\ \text{km}/\text{sefer} \times 2,20\ \text{TL}/\text{km} = 220\ \text{TL}/\text{sefer}$$

$$220\ \text{TL}/\text{sefer} \times 1\ 020\ \text{sefer/yıl} = 224\ 400\ \text{TL/yıl olarak hesaplanmaktadır.}$$

Atıkların çimento tesisine gönderilmesi durumunda:

Bursa Çimento Fabrikası 1 ton tehlikesiz atık döküm kumunun tesise kabulü ve bertarafı için 100 TL ücret talep etmektedir (Anonim 2019h). Bir yılda oluşan 25 500 ton atık döküm kumlarının bertarafı için dökümhane tarafından düzenli depolama tesisine;

$$25\ 500\ \text{ton/yıl} \times 100\ \text{TL/ton} = 2\ 550\ 000\ \text{TL/yıl}\ \text{ödemesi\ gerekmektedir.}$$

Dökümhanede oluşan 25 500 ton atık döküm kumunun 65 km uzaklıktaki çimento fabrikasına 25 ton kapasiteli araçlar ile 1 020 seferde taşınması gerekecektir. Araçların gidiş dönüş 100 km yol yapacağı ve 1 km'de 2,20 TL akaryakıt kullanacağı kabul edilerek dökümhanenin nakliye maliyeti,

$$130\ \text{km/sefer} \times 2.20\ \text{TL/km} = 286\ \text{TL/sefer}$$

$$286\ \text{TL/sefer} \times 1\ 020\ \text{sefer/yıl} = 291\ 720\ \text{TL/yıl}\ \text{olarak}\ \text{hesaplanmaktadır.}$$

Atıkların geri kazanım tesisine gönderilmesi durumunda:

Bursa'nın İnegöl ilçesindeki atık döküm kumu geri kazanım tesisi 1 ton tehlikesiz atık döküm kumunun tesise kabulü ve bertarafı için 70 TL ücret talep etmektedir (Anonim, 2019i). Bir yılda oluşan 25 500 ton atık döküm kumlarının bertarafı için dökümhane tarafından düzenli depolama tesisine;

$$25\ 500\ \text{ton/yıl} \times 70\ \text{TL/ton} = 1\ 785\ 000\ \text{TL/yıl}\ \text{ödemesi\ gerekmektedir.}$$

Dökümhanede oluşan 25 500 ton atık döküm kumunun 72 km uzaklıktaki çimento fabrikasına 25 ton kapasiteli araçlar ile 1 020 seferde taşınması gerekecektir. Araçların gidiş dönüş 100 km yol yapacağı ve 1 km'de 2,20 TL akaryakıt kullanacağı kabul edilerek dökümhanenin nakliye maliyeti,

$$144\ \text{km/sefer} \times 2.20\ \text{TL/km} = 316,8\ \text{TL/sefer}$$

$$316,8\ \text{TL/sefer} \times 1\ 020\ \text{sefer/yıl} = 323\ 136\ \text{TL/yıl}\ \text{olarak}\ \text{hesaplanmaktadır.}$$

Atıkların alternatif hammadde olarak hazır beton ve asfalt plant tesisine gönderilmesi durumunda:

Atık döküm kumlarının alternatif hammadde olarak kullanımını açısından değerlendirme yapıldığında, karayollarının yapımı ve bakımı için büyük miktarda agrega gerektirmektedir. Asfalt karışımlarının %90'ı agregadan oluşmaktadır (Huang ve ark. 2007). Atık döküm kumu yapısal olarak mineral bir malzeme olması nedeniyle, asfalt üretiminde kullanılan ince agrega ile fiziksel olarak benzerlik göstermektedir (Dyer ve ark. 2018). Birçok yerde bulunan hazır beton ve asfalt tesislerine bakıldığında, dökümhane ile aynı ilçede bulunan hazır beton ve asfalt plant tesisinin uzaklığı ise yalnızca 6 km'dir.

Hazır beton ve asfalt plant tesisleri üretimlerinde fazlaca agrega kullandıklarından hammadde olarak agregaya ihtiyaçları bulunmaktadır. Atık döküm kumlarının agregaya benzerlik göstermesi ve endüstriyel simbiyoz ile bir veya birden fazla işletmenin prosesinde alternatif hammadde olarak kullanılması atıkların azaltılmasında ve hammadde tasarrufu için önemli rol üstlenecektir.

Orhangazi ilçesinde bulunan hazır beton ve asfalt plant tesisi ile dökümhane arasında kurulacak endüstriyel simbiyoz ilişkisi ile hazır beton ve asfalt plant tesisi atık kabulü için dökümhaneden bedel talep etmeyecek ve hammadde yerine atık döküm kumu kullanacağı için hammaddeden tasarruf ederek kara geçecektir. Dökümhane ise atıkları için bedel talep etmeyecek ya da ödemeyecek olup, yalnızca atıkların taşıma maliyetini karşılayacaktır.

Bir yılda oluşan 25 500 ton atık döküm kumlarının bertarafı için dökümhane tarafından hazır beton ve asfalt plant tesisinde kullanımı için;

$$25\ 500 \text{ ton/yıl} \times 0 \text{ TL/ton} = 0 \text{ TL/yıl ödemesi gerekmektedir.}$$

Dökümhanede oluşan 25 500 ton atık döküm kumunun 6 km uzaklıktaki çimento fabrikasına 25 ton kapasiteli araçlar ile 1 020 seferde taşınması gerekecektir. Araçların gidiş dönüş 100 km yol yapacağı ve 1 km'de 2,20 TL akaryakıt kullanacağı kabul edilerek dökümhanenin nakliye maliyeti,

$$12 \text{ km/sefer} \times 2.20 \text{ TL/km} = 26,4 \text{ TL/sefer}$$

$$26,4 \text{ TL/sefer} \times 1\ 020 \text{ sefer/yıl} = 26\ 928 \text{ TL/yıl olarak hesaplanmaktadır.}$$

### Hazır beton ve asfalt plant tesisin elde edeceği kar miktarı:

Hazır beton ve asfalt plant tesisleri üretimde atık döküm kumunu alternatif hammadde olarak kullanacağı için hammadde olarak agregaya ödeyeceği bedel kadar kara geçecektir.

1 ton agreganın fiyatının 59 TL (Anonim, 2019f) olduğu göz önünde bulundurularak;

$$25\ 500\ \text{ton/yıl} \times 59\ \text{TL/ton} = 1\ 504\ 500\ \text{TL/yıl kar elde edecektir.}$$

### Kapasite Durumları

Bursa ilinde faaliyet gösteren bir hazır beton santraline ait ve Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği tarafından hazırlanan kapasite raporu incelendiğinde, 244 800 m<sup>3</sup>/yıl hazır beton üretimi için 449 208 ton/yıl agregaya gerekli olmaktadır (Anonim, 2015b). Buna göre 1 m<sup>3</sup> hazır beton üretimi için gerekli olan agregaya ihtiyacı;

$$(449\ 208\ \text{ton agregaya} / 244\ 800\ \text{m}^3\ \text{hazır beton}) \times 1\ \text{m}^3\ \text{hazır beton} = 1,835\ \text{ton'dur.}$$

Şekil 4.5'te gösterildiği gibi, Orhangazi ilçesindeki dökümhaneye 6 km uzaklıkta, yıllık hazır beton üretim kapasitesi 360 000 m<sup>3</sup> olan hazır beton tesisi (Anonim, 2018c) için bir yılda gerekli olacak agregaya miktarı;

$$360\ 000\ \text{m}^3 \times 1,835\ \text{ton/m}^3 = 660\ 600\ \text{ton'dur.}$$

Hazır beton santralinin üretim kapasitesine göre yıllık agregaya ihtiyacı 660 600 ton olup, dökümhanede bir yılda oluşan 25 500 ton atık döküm kumunun kabulü ve kullanımı için yeterlidir. Buna göre atık döküm kumunun hazır beton üretimi içinde kullanım yüzdesi;

$$25\ 500\ \text{ton döküm kumu} / 660\ 600\ \text{ton agregaya} \times 100 = \%3,86\ \text{dır.}$$

Asfalt plant tesislerinde üretilen asfaltın yoğunluğu 2,4 ton/m<sup>3</sup> olup, esnek ve rijit kaplamaya sahip yollarda kullanılan malzemelerin %95'ini agregalar oluşturmaktadır. (Akbulut ve Gürer 2006),

Dökümhaneye 6 km uzaklıkta, Şekil 4.5'te gösterilen ve yıllık asfalt üretim kapasitesi 840 000 m<sup>3</sup> olan asfalt plant tesisinin (Anonim, 2018c) yıllık agregaya ihtiyacı;

$$840\ 000\ \text{m}^3 \times 2,4\ \text{ton/m}^3 \times 0,95 = 1\ 915\ 200\ \text{ton'dur.}$$

Asfalt plant tesisinin kapasitesine göre yıllık agrega ihtiyacı 1 915 200 ton olup, dökümhanede bir yılda oluşan 25 500 ton atık döküm kumunun kabulü ve kullanımı için yeterlidir. Buna göre atık döküm kumunun asfalt üretimi içinde kullanım yüzdesi;

$$25\,500 \text{ ton döküm kumu} / 1\,915\,200 \text{ ton agrega} \times 100 = \%1,33\text{'tür.}$$

Çizelge 4.5'ta dökümhanede oluşan atık döküm kumlarının düzenli depolama tesisine, çimento fabrikasına, lisanslı atık döküm kumu geri kazanım tesisine ve alternatif hammadde olarak hazır beton ve asfalt plant tesisine gönderimlerinin taşıma ve bertaraf maliyetleri gösterilmektedir. Buna göre, atık döküm kumlarının olduğu yerden lisanslı düzenli depolama tesisine gönderilmesi sonucu nakliye dahil 2 519 400 TL (437 395 \$), lisanslı çimento fabrikasına gönderilmesi durumunda nakliye dahil 2 841 720 TL (493 354 \$), atık döküm kumu geri kazanım tesisine gönderilmesi durumunda ise nakliye dahil 2 108 136 TL (365 995 \$) ödenmesi gerekmektedir. Dökümhanede oluşan atık döküm kumlarının aynı ilçede bulunan hazır beton ve asfalt plant tesisine alternatif hammadde olarak gönderilmesi durumunda ise dökümhane tarafından yalnızca nakliye bedeli olan 26 928 TL (4 675 \$) ödenmesi gerekecektir.

**Çizelge 4.5. Atık döküm kumu taşıma ve bertaraf maliyeti**

<b>Dökümhanenin</b>	<b>Hazır Beton Santrali</b>	<b>Asfalt Plant Tesisi</b>	<b>Düzenli Depolama Tesisi</b>	<b>Çimento Fabrikası</b>	<b>Atık Döküm Kumu Geri Kazanım Tesisi</b>
<b>Atık Bertaraf Maliyeti</b>	-	-	2 295 000 TL (398 437 \$)	2 550 000 TL (442 708 \$)	1 785 000 TL (309 895 \$)
<b>Atık Taşıma Maliyeti</b>	26 928 TL (4 675 \$)	26 928 TL (4 675 \$)	224 400 TL (38 958 \$)	291 720 TL (50 646 \$)	323 136 TL (56 100 \$)
<b>Toplam Maliyet</b>	<b>26 928 TL (4 675 \$)</b>	<b>26 928 TL (4 675 \$)</b>	<b>2 519 400 TL (437 395 \$)</b>	<b>2 841 720 TL (493 354 \$)</b>	<b>2 108 136 TL (365 995 \$)</b>

1 \$ = 5,76 TL

## 5. SONUÇ

Dökümhaneler otomotiv başta olmak üzere çoğu sektörün hammadde ve yardımcı maddelerinin üretildiği önemli fabrikalardır. Bu fabrikalarda yapılan metal döküm ürünlerinin üretim miktarlarının artmasına bağlı olarak proses sonucu oluşacak atık miktarlarının da doğru orantılı olarak artması kaçınılmazdır. 1 ton metal döküm yapıldığında 0,23 ton atık döküm kumu oluştuğu hesaplanmıştır.

Türkiye, dünyada Çin, Hindistan, ABD ve Almanya gibi döküm metal döküm ürünleri üretimi konusunda önemli paya sahip ülkeler arasında 11. sırada yer alırken, 2017 yılı metal döküm ürünleri üretimi verilerine göre Avrupa ülkeleri arasında Almanya ve İtalya'nın ardından 3. sırada yer almaktadır. Ülkemizde 2017 yılında 2 155 000 ton metal döküm ürünleri üretilmiş ve buna bağlı olarak 490 262,5 ton atık döküm kumu oluştuğu hesaplanmıştır.

Atık bertaraf maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle dökümhanelerde oluşan atıkların başında gelen atık döküm kumlarının genellikle fabrika sahaları içinde kontrolsüz olarak depolanması ya da vahşi depolama sahalarına gönderilmesi tercih edilmektedir. Atık döküm kumları sürekli olarak devam eden bir prosesin sonucu olarak oluşmakta ve büyük hacimlerde yer kaplamaktadır. Çoğu dökümhanenin sahaları atıklarını geçici olarak depolamak için dahi yeterli değildir. Fabrika ve vahşi atık depolama sahalarında önlem alınmadan atık döküm kumlarının depolanması hava, su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Oysaki atık döküm kumları mevzuata uygun ve doğru şekilde yönetildiklerinde çevre için tehlike olmaktan çıkmakta aksine ekonomik olarak değerli bir yan ürüne dönüşmektedir.

Atık döküm kumlarının renginin siyah olması, yeteri kadar tanınmaması ve alternatif hammadde kullanımı ile ilgili olarak yeterli bilgi sahibi olunmaması gibi nedenlerden dolayı ülkemizde atık döküm kumları sıradan bir atık gibi muamele görmektedir. Çevre kirliliğine neden olmamak için, mevzuata uygun olarak hareket ederek atık bertaraf ve nakliye maliyetlerini karşılayan dökümhaneler ise atıklarını düzenli depolama sahalarına ya da çimento fabrikalarına göndermektedir. Atık döküm kumları düzenli depolama sahalarında örtü tabakası olarak, çimento fabrikalarında ise klinker üretiminde kullanılmaktadır. Dökümhaneler ile düzenli depolama sahaları ve çimento fabrikaları arasındaki mesafelerden

dolayı nakliye ücretleri, atık bertaraf maliyetleri ve çimento fabrikalarının sınırlı kapasiteleri nedeniyle atık döküm kumlarının oluştuğu yere yakın yerel çözümler içinde değerlendirilmesi, atıkların daha az taşınmasını ve yakın tesisler arasında endüstriyel simbiyoz ilişkisinin kurulması gerekmektedir.

Atık döküm kumları ile ilgili olarak dünyadaki uygulamalar incelendiğinde, ülkeler arasında kullanım alanlarında farklılıklar olsa da, EPA Avrupa'daki atık döküm kumlarının kullanım alanları için bir veya birden çok ülke tarafından uygulanan yöntemleri tanımlamıştır. Buna göre, atık döküm kumları asfalt, tuğla, çimento, beton blok, dolgu malzemesi, harç ve hafif agrega olarak kullanılabilir. 2016 yılı Temmuz ayında yapımına başlanan ve 30 Haziran 2019 tarihinde tamamlanan Madrid-Bilbao Yüksek Hızlı Tren inşaatının dolgu uygulamalarında ve akışkan harç hazırlanmasında Avrupa'da bulunan bir çelik dökümhanesinin atık döküm kumları %60 oranında kullanılmıştır. Atık döküm kumlarının çimento klinkeri üretimi içinde %13,6, hazır beton üretiminde %10, %15 ve %20 ve asfalt üretiminde %8 ve %10 oranlarında kullanılabilmesine dair ulusal ve uluslararası yayınlar incelenmiştir.

Ülkemizde 2017 yılında yapılan metal döküm ürünleri üretimine karşılık oluşan atık döküm kumu miktarı 490 262,5 ton olarak hesaplanmıştır. Çimento fabrikalarında klinker üretimi içinde %0,59 atık döküm kumu kullanılması sonucu ülkemizde bir yılda oluşan bütün atık döküm kumları kullanılmış ve tüketilmiş olacaktır. Ancak çimento fabrikalarının her ilde bulunmaması, dökümhaneler ile arasındaki mesafenin fazla olması, kapasitelerinin sınırlı olması ya da mevcutta bir dökümhane ile anlaşması bulunduğundan birden fazla dökümhaneye hizmet verememesi gibi nedenlerden dolayı çimentoya alternatif olarak başka sektörlerin de alternatif hammadde konusunda yetkilendirilmesi gerekmektedir.

Dünyadaki uygulamalara incelendiğinde, çimentoya alternatif olarak atık döküm kumları hazır beton ve asfalt üretiminde kullanılabilir. Ülkemizdeki üretim rakamlarına bakıldığında hazır beton üretiminde %0,97 ve asfalt üretimi içinde %1,05 oranında atık döküm kumu agrega yerine kullanılması durumunda ülkemizde bir yılda oluşan bütün atık döküm kumları tüketilmiş olacaktır. Yapılan deneylerin sonuçları ile karşılaştırıldığında atık döküm kumlarının hazır beton için %20 oranında, asfalt üretimi için ise %10 oranında kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada Bursa ilinde faaliyet gösteren bir dökümhane pilot olarak seçilmiş ve 2017 yılındaki metal döküm ürünleri üretimine karşılık olarak oluşan atık döküm kumu miktarı 25 500 ton olarak hesaplanmıştır. Bursa ilinde bu atıkların mevzuata uygun olarak gönderilebileceği bir adet çimento fabrikası, bir adet düzenli depolama tesisi ve bir adet atık döküm kumu geri kazanım tesisi bulunmaktadır. Fabrikanın bu tesislere uzaklığı sırasıyla 65 km, 50 km ve 72 km'dir. Dökümhaneden 6 km uzaklıkta ise hazır beton ve asfalt plant tesisi bulunmaktadır.

Dökümhanede oluşan 25 500 ton atık döküm kumunun bertaraf ve nakliye maliyetleri hesaplanarak en ekonomik bertaraf yöntemi seçilmiştir. Dökümhane tarafından,

- atıkların düzenli depolama tesisine gönderilmesi durumunda 2 295 000 TL/yıl bertaraf ücreti 224 400 TL/yıl nakliye ücreti olmak üzere toplam 2 519 400 TL ödemesi,
- atıkların çimento fabrikasına gönderilmesi durumunda 2 550 000 TL/yıl bertaraf ücreti 291 720 TL/yıl nakliye ücreti olmak üzere toplam 2 841 720 TL ödemesi,
- atıkların geri kazanım tesisine gönderilmesi durumunda 1 785 000 TL/yıl bertaraf ücreti 323 136 TL/yıl nakliye ücreti olmak üzere toplam 2 108 136 TL ödemesi,
- atıkların hazır beton ve asfalt üretim tesisine gönderilmesi durumunda 0 TL/yıl bertaraf ücreti 26 928 TL/yıl nakliye ücreti olmak üzere toplam 26 928 TL ödemesi gerekmektedir.

Hazır beton ve asfalt üretim tesisi hammadde olarak agrega kullanmakta olup, tesislerine atık döküm kumu kabul etmeleri durumunda 25 500 ton agrega almakta tasarruf etmiş olacak ve 1 504 500 TL/yıl kar edecektir.

Dökümhaneye 6 km uzaklıkta olan hazır beton ve asfalt üretim tesislerinin kapasiteleri incelendiğinde ise kapasitelerinin yeterli olduğu görülmüştür. Buna göre 25 500 ton atık döküm kumunun alternatif hammadde olarak kullanılabilmesi için hazır beton üretimi içinde %3,86, asfalt üretimi içinde ise 1,33 oranında kullanılması yeterli olacaktır.

Atık döküm kumlarının düzenli depolama tesisleri, çimento fabrikaları, atık geri kazanım tesisleri ve hazır beton/asfalt plant tesislerine gönderilmesi durumunda avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.



### **Düzenli Depolama Tesislerinin Avantajları:**

- Atık döküm kumu kabulü yapmaları,
- Yeterli atık döküm kumu alım kapasiteleri bulunması.

### **Düzenli Depolama Tesislerinin Dezavantajları:**

- Kurulu oldukları lokasyonların fabrikalara uzak olması,
- Atıkların taşınmasından kaynaklı nakliye ücret ve sürelerinin fazla olması,
- Atık bertaraf bedellerinin yüksek olması,
- Atık hiyerarşisinde en sonda olması,
- Düzenli depolama alanlarının faydalı kullanım ömrünün atık döküm kumları nedeniyle kısılıyor olması.

### **Çimento Fabrikalarının Avantajları:**

- Klinker üretiminde atık döküm kumu kullanımının mümkün olması,
- Yeterli atık alım kapasitelerinin bulunması,
- Mevzuat açısından alternatif hammadde olarak lisans olmadan da atık kabulü yapabilmeleri.

### **Çimento Fabrikalarının Dezavantajları:**

- Kurulu oldukları lokasyonların fabrikalara uzak olması,
- Atıkların taşınmasından kaynaklı nakliye ücret ve sürelerinin fazla olması,
- Atık bertaraf bedellerinin yüksek olması,
- Atık döküm kumu gibi birçok farklı türde atıkları alternatif hammadde olarak kullanabilmesi,
- Diğer dökümhaneler ile anlaşma yapmış olması ve ihtiyacının bulunmaması,
- Atık içinde yabancı madde (demir metal vb.) olması durumunda çimento fırınlarına zarar verdiği için dolayı üretim kaybı ve işletme zararına neden olması.

### **Atık Geri Kazanım Tesislerinin Avantajları:**

- Atık döküm kumu kullanımının mümkün olması,
- Son yıllarda bu tür tesislerinin sayısının artıyor olması.

### **Atık Geri Kazanım Tesislerinin Dezavantajları:**

- Kurulu oldukları lokasyonların fabrikalara uzak olması,
- Atıkların taşınmasından kaynaklı nakliye ücret ve sürelerinin fazla olması,
- Atık bertaraf bedellerinin yüksek olması,
- İlk kurulum maliyetlerinin fazla olması,
- Diğer dökümhaneler ile anlaşma yapmış olması ve ihtiyacının bulunmaması,
- Sayıca yetersiz olmaları.

### **Hazır Beton / Asfalt Plent Tesislerinin Avantajları:**

- Atık döküm kumu kullanımının mümkün olması,
- Kurulu oldukları lokasyonların fabrikalara yakın olması,
- Atıkların taşınmasından kaynaklı nakliye ücret ve sürelerinin az olması,
- Atık bertaraf bedellerinin düşük olması,
- Hammadde olarak % 10 - %20 oranında atık döküm kumu kullanabilme kapasiteleri,
- Hammadde tasarrufu ve kar elde edebilmeleri.

### **Hazır Beton / Asfalt Plent Tesislerinin Dezavantajları:**

- Sınırlı stok sahaları olması,
- Mevzuat açısından alternatif hammadde olarak lisansa tabi olmaları,
- Mevzuat ya da ekonomik açıdan teşvik edilmemeleri,
- Ülkemizde daha önce uygulama yapmış örnek/pilot tesis bulunmaması,
- Kış aylarında üretimin ve siparişlerin azlığı nedeniyle çalışmama,
- Firmaların kendi maden ocaklarından temin edilmesi durumunda hammadde maliyetlerinin az olması, döküm kumu yerine agreganın tercih edilmesi.

Atık döküm kumlarının olduğu yere en yakın hazır beton ve asfalt üretim tesislerinde yeniden alternatif hammadde olarak kullanılması nakliye ücretlerini düşüreceği gibi en ekonomik ve sürdürülebilir seçenek olacaktır.

Yapılacak araştırma ve iyileştirmeler ile optimum kullanım oranı belirlenerek atık döküm kumlarının hazır beton ve asfalt üretimi içinde değerlendirilerek yeniden kullanılması birçok farklı uygulamalar için yol gösterici olacaktır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na da pilot tesislerde yapılacak uygulamalar ve çıkarılacak sektörel kılavuzlar ile atık döküm kumunun alternatif hammadde olarak kullanılmasının önü açılacak ve endüstriyel simbiyoz uygulamaları hayata geçmiş olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Akbulut, H., Gürer, C. 2006.** Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 3943-3960.
- Akkaya, U. 2015.** Use of foundry sand as a landfill cap layer material. *Yüksek Lisans Tezi*, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Akova, O., 2018.** Döktaş dökümcülük ticaret ve sanayi a.ş. 1 Ocak – 30 Haziran 2018 faaliyet raporu, KPMG Bağımsız Denetim ve Serbest Muhasebeci Mali Müşavirlik A.Ş., İstanbul. <https://www.kap.org.tr/tr/ek-indir/4028328c68e7471201696e6e27413972> (Erişim Tarihi: 16.06.2019)
- Aktaş, S. 2011.** Beton atıklarının asfalt beton üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Aktaş, B., Karasahin, M., Akkoç, E., Gürer, C., Uz, V.E. 2011.** Shingle atıklarının asfalt betonu kaplamalar içerisinde kullanımının araştırılması. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 6(4). 1306-3111.
- Anonim, 1991.** Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 20814, Ankara.
- Anonim, 1995.** Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 193, Ankara.
- Anonim, 2002.** Beneficial Reuse of Foundry Sand: A Review of State Practices And Regulations, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Anonim, 2004.** Foundry Sand Facts for Civil Engineers, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Anonim, 2008.** Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 26927, Ankara.
- Anonim, 2009.** Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 27214, Ankara.
- Anonim, 2010a.** Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 27605, Ankara.
- Anonim, 2010b.** Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 27579, Ankara.
- Anonim, 2011.** Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 27967, Ankara.
- Anonim, 2012.** Türkiye’de Sanayiden Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Yönetiminin İyileştirilmesi Döküm Sektörü Rehber Doküman, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, 2013.** Türkiye Döküm Sanayi 2013 Yılına Girenken Mevcut Durum. Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği, İstanbul.
- Anonim, 2014a.** Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 29036, Ankara.
- Anonim, 2014b.** Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 29115, Ankara.
- Anonim, 2015a.** Atık Yönetimi Yönetmeliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yayın no: 29314, Ankara.
- Anonim, 2015b.** Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <http://www.csb.gov.tr/gm/ced/index.php?Sayfa=duyurudetay&Id=48126> (Erişim Tarihi: 28.09.2015)

- Anonim, 2017a.** 2017 Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul. <http://www.thbb.org/sector/istatistikler/> (Erişim Tarihi: 07.10.2018).
- Anonim, 2017b.** Asphalt in Figures 2017, European Asphalt Pavement Association, Belçika. <https://eapa.org/eapa-asphalt-in-figures-2017/> (Erişim Tarihi: 26.05.2019).
- Anonim, 2018a.** Modern Casting, 2018. The American Foundry Society, Illinois. <https://www.moderncasting.com/index.php/issues/december-2018> (Erişim Tarihi: 18.02.2019).
- Anonim, 2018b.** Türkdöküm, Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği, İstanbul. [http://tudoksad.org.tr/upload/files/tu%CC%88rkdo%CC%88ku%CC%88m\\_47\\_web.pdf](http://tudoksad.org.tr/upload/files/tu%CC%88rkdo%CC%88ku%CC%88m_47_web.pdf) (Erişim 11 Kasım 2018)
- Anonim, 2018c.** <https://ced.csb.gov.tr/bursa-ili-orhangazi---ilcesinde--duyuru-362164> (Erişim tarihi: 10.06.2019).
- Anonim, 2019a.** Belge Arama. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <https://eizin.cevre.gov.tr/Rapor/BelgeArama.aspx> (Erişim tarihi: 21.03.2019).
- Anonim, 2019b.** TÜİK, İmalat Sanayi Atık Göstergeleri 2000-2014, Erişim Adresi: [http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=1438](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1438) (Erişim Tarihi: 12.05.2019)
- Anonim, 2019c.** Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, <https://www.tcma.org.tr/tr/istatistikler/kapasite> (Erişim tarihi: 29.05.2019).
- Anonim, 2019d.** Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <https://eizin.cevre.gov.tr/Genel/HataBilgi.aspx?aspxerrorpath=/Rapor/BelgeArama.aspx> (Erişim tarihi: 16.06.2019).
- Anonim, 2019e.** Bursa Büyükşehir Belediyesi, [https://www.bursa.bel.tr/dosyalar/file/ati\\_ucret2019.pdf](https://www.bursa.bel.tr/dosyalar/file/ati_ucret2019.pdf) (Erişim tarihi: 22.06.2019).
- Anonim, 2019f.** <http://www.duruminsaat.com/21-micir> (Erişim tarihi: 22.06.2019).
- Anonim, 2019g.** <https://www.google.com/maps> (Erişim tarihi: 04.07.2019).
- Anonim, 2019h.** <http://www.bursacimento.com.tr/iletisim-bilgileri/> (Erişim tarihi: 04.07.2019).
- Anonim, 2019i.** <http://www.erkacevre.com.tr/tr/iletisim> (Erişim tarihi: 04.07.2019).
- Apay, A.C., Özkan, Ö. Yılmaz, C. 2011.** Alternatif yakıt ürünlerinin klinker üretiminde kullanımına bir örnek: akçansa Büyükçekmece çimento fabrikası. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(4): 1306-3111.
- Aran, A. 2007.** Döküm teknolojisi imal usulleri ders notları. İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul.
- Bakış, R., Koyuncu, H., Demirbaş, A. 2006.** An investigation of waste foundry sand in asphalt concrete mixtures. *Waste Management & Research*, 24: 269-274.
- Başar, H.M. 2012.** Dökümhanelerde kaynaklanan atıkların uygun geri kazanım/tekrar kullanım ve bertaraf yöntemlerinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Başar, H.M., Aksoy, N. D. 2012.** 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*, 35: 508-515. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.078).
- Çetin, A. 1997.** Endüstriyel atıkların asfalt beton kaplama karışımında değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Çoban, Z. 2016.** Endüstriyel simbiyoz ve uygulamaları. *Bitirme Tezi*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Dyer, P. P.O.L., Geimba de Lima, M., Klinsky, L.M.G., Silva, S.A, Coppio, G.J.L. 2018.** Environmental characterization of foundry waste sand (WFS) in hot mix asphalt (HMA) mixtures. *Construction and Building Materials*, 171: 474-484.

- Gedik, A. 2008.** Utilization of waste foundry sand as highway material. *Bitirme Tezi*, Department of Civil Engineering, İstanbul Technical University, İstanbul.
- Gönen, T., Onat, O., Cemalgil, S., Yilmazer, B., Altuncu, Y.T. 2012.** Beton teknolojisi için yeni atık malzemeler üzerine bir inceleme. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1): 36-43.
- Güney, Y., Aydılek, A.H., Demirkan, M.M. 2006.** Geoenvironmental behavior of foundry sand amended mixtures for highway subbases. *Waste Management*, 26: 932-945.
- Güney, Y., Sarı, Y.D., Yalçın, M., Tuncan, A., Dönmez, S. 2010.** Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete. *Waste Management*, 30: 1705-1713.
- Huang, Y., Bird, R.N., Heidrich, O. 2007.** A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, 52: 58-73.
- Karacasu, M., Bilgiç, Ş. 2009.** Atık lastiklerin katkısının sıcak asfalt özelliklerine etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2).
- Khatib, J.M., Herki, B.A., Kenai, S. 2013.** Capillarity of concrete incorporating waste foundry sand. *Construction and Building Materials*. 47: 867-871.
- Matos, P.R., Marcon, M.F., Schankoski, R.A., Prudêncio Jr., L.R. 2019.** Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes. *Journal of Environmental Management*, 244: 294–303.
- Miller, E., Bahia, H.U., Benson, C., Khatri, A., Braham, A. 2001.** Utilization of waste foundry sand in hot mix asphalt mixtures. *American Foundry Society*, 01-15.
- Quijorna, N., Coz, A., Andres, A., Cheeseman, C. 2012.** Recycling of Waelz slag and waste foundry sand in red clay bricks. *Resources, Conservation and Recycling*. 65: 1-10.
- Prabhu, G.G., Hyun, J.H., Kim, Y.Y. 2014.** Effects of foundry sand as a fine aggregate in concrete production. *Construction and Building Materials*, 70: 514-521.
- Siddique, R., Noumowe, A. 2008.** Utilization of spent foundry sand in controlled low-strength materials and concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 53: 27-35.
- Siddique, R., Singh, G. 2011.** Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 55: 885-892.
- Singh, G., Siddique, R. 2012.** Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS). *Construction and Building Materials*, 28: 421-426.
- Tosun, F. 2006.** Çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak katı atıkların kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Uçar, A. 2016.** Döküm esasları ve yöntemleri. Uçar Yayıncılık, İstanbul, 41 s.
- Üstümkol, F.N., Turabi, A. 2009.** Endüstriyel atıkların karayolu üstyapısında değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1): 15-27.
- Yalılı Kılıç, M., Tüylü, M. 2019.** Bursa'daki atık döküm kumlarının endüstriyel simbiyoz ile hazır beton üretiminde ham madde olarak kullanımı. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24 (1): 99-110. DOI: 10.17482/uumfd.463234

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat TÜYLÜ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Karasu – 06/03/1987  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Şehremini YDA Lisesi, 2005  
Lisans : Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 2011

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :  
(2019 – halen) ÇEDFEM Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti.  
(2014 – 2019) Denge-ÇED Çevre İnş. Turz. Teks. San. ve Tic. Ltd. Şti.  
(2011 – 2014) Esçev Müh. Çevre Dan. Mad. İnş. Taah. San. Tic. Ltd. Şti.

İletişim (e-posta) : murattuyulu26@gmail.com

Yayımları :

**Yalılı Kılıç, M. Tüylü, M. 2019.** Atık Döküm Kumları İçin Uygun Bertaraf Yönteminin Maliyet Analizi ile Belirlenmesi: Bursa Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2):281-290, Artvin.

**Yalılı Kılıç, M. Tüylü, M. 2019.** Bursa'daki Atık Döküm Kumlarının Endüstriyel Simbiyoz ile Hazır Beton Üretiminde Ham Madde Olarak Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1):99-110, Bursa.

Başarıları :

Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Birinciliği.  
Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği 2011 yılı Onur Öğrencisi.