

Derleme

Atıktan Türetilmiş Yakıt: Yasal Çerçeve, Avrupa'daki ve Türkiye'deki Durum

Suna Özden Çelik^{1,*} 

¹ Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

Geliş: 01.11.2018

Kabul: 14.12.2018

Özet: Hızla artan endüstrileşmeye paralel olarak, miktar ve hacimce artan katı atıklar, çevresel açıdan problemler meydana getirmekte, atıkların depolanarak bertaraf edilmesi durumunda ise bertaraf tesisleri yetersiz kalmaktadır. Avrupa Birliği üyesi ülkeler, düzenli depolamaya gidecek atık miktarını azaltmak için, kaynağında azaltma, geri kazanım ve yeniden kullanımı artırmak konusunda hedefler belirlemişlerdir. Son zamanlarda enerji kaynaklarının yetersizliği ve fosil yakıtların artan maliyetleri dolayısıyla atıkların bertaraf edildiği, aynı zamanda enerji geri kazanımı sağlanabilen metodlar önem kazanmıştır. Isıl değer taşıyan atıkların çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılarak bertaraf edilmesi gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Bu şekilde hem düzenli depolamaya gönderilecek atık miktarı azaltılmakta, hem enerji potansiyeli olan atıklardan enerji kaynağı olarak kullanılabilen alternatif bir yakıt elde edilmektedir. Bu çalışmada atıktan türetilmiş yakıt (ATY) kavramı açıklanmış, Avrupa'da ve ülkemizde ATY ile ilgili yasal düzenlemeler araştırılarak, ülkemizdeki atık potansiyeli incelenmiş, ATY kullanımının çevreye ve en önemli uygulama alanı olan çimento sektörüne etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır.

Keywords: Atıktan türetilmiş yakıt, Yasal düzenleme, Çevresel etki, Çimento sektörü

Refuse Derived Fuel: Legal Framework, Current Situation in Europe and Türkiye

Abstract: In parallel with the rapidly increasing industrialization, increasing amount and volume of solid wastes cause environmental problems. The disposal facilities are inadequate, when the landfilling is applied as a disposal method. In order to reduce the amount of waste that will go to landfill, the member states of the European Union have set targets to increase reduction, recovery and reuse. Recently, due to the insufficiency of energy resources and increasing costs of fossil fuels, waste disposal methods providing energy recovery have gained importance. Disposal of wastes having thermal value as fuel in cement plants is widely applied in developed countries. In this way, the amount of waste to be sent to the landfill is reduced, and an alternative fuel is obtained which can be used as energy source from the wastes with energy potential. In this study, the concept of waste-derived fuel (ATY) has been explained and the legal regulations related to ATY in Europe and in our country have been investigated, the waste potential of our country has been examined and the effects of ATY on the environment and the most important application area of the cement sector have been tried to be revealed.

Keywords: Refuse derived fuel, Regulations, Environmental impact, Cement industry

Received: 01.11.2018

Accepted: 14.12.2018

* Sorumlu yazar.

E-posta adresi: sunacelik@nku.edu.tr (S. Çelik)

1. Atıktan Türetilmiş Yakıt

Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY), kentsel veya endüstriyel katı atıklardaki geri kazanılabilir kısım ayrıştırıldıktan sonra, geriye kalan kalorifik değeri yüksek ve yanabilir formda bulunan, geri dönüşümü mümkün olmayan malzemeden elde edilen alternatif bir yakıt türüdür. Evsel, ticari, ormancılık, tarım ve endüstriden kaynaklanan belirli kalorifik değere sahip çok çeşitli katı, sıvı ve gaz atık maddeler çeşitli işleme tekniklerinin uygulanması neticesinde atıktan enerji elde edilen tesislerde veya birlikte yakma tesislerinde ATY olarak değerlendirilebilmektedir. Örneğin, plastik, kağıt/karton atıkları, arıtma çamurları, ambalaj atıkları, tekstil atıkları, atık ahşap/odun, evsel ve ticari atıkların yüksek kalorifik fraksiyonu, gıda/bitki atıkları, atık yağlar, kullanılmış solventler v.b. ATY üretiminde kullanılabilir atıklardır [1,2]. Atığın homojen durumda olması yakıtın verimliliğini artıracığından, atıklar eleme, öğütme, boyut küçültme, sınıflandırma, metal, cam v.b. maddelerin ayrıştırılması gibi fiziksel işlemler sonrasında kurutulur, peletlenerek depolanır ve yakıt olarak kullanılır. Peletlemenin amacı, yoğunluğu ve enerji/hacim miktarını arttırmak, yakma esnasında yeterli boşluğu sağlamaktır. Örneğin kompozisyon içerisinde plastik atık çoğunluktaysa, bağlayıcı kullanmadan pelet oluşturmak oldukça zordur. Bu bağlayıcılar, melaz, yağlı organik atık, bitüm, nişasta, kireç taşı, dolomit v.b. malzemeler olabilmektedir [3, 4].

ATY peletlerinin kalorifik değeri atıktaki organik madde yüzdesi, katkılar ve bağlayıcı maddelere bağlı olarak 2500-4500 kcal/kg arasındadır [5-7]. Konu ile ilgili literatür araştırması yapıldığında, oldukça değişik kalorifik değerlere sahip ATY eldesi sağlandığı görülmektedir. Örneğin, kentsel katı atıktan üretilen ATY'nin kalorifik değerinin geniş bir aralıkta olması, kompozisyonu ve ısı değerleri farklı katı atıklardan elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu sebeple, yüksek kalorifik değere sahip ATY üretimi için kullanılacak atık materyalleri anlamında üretimden önce ayrıntılı bir kompozisyon çalışması yapılması yerinde olacaktır. Genel olarak çamurun düşük kalorifik değere sahip olduğu belirlenmiştir. Kalorifik değer artırılması için plastikle karıştırma yapılabilir veya kalorifik değerdeki değişim, yüksek yakıt akış değeri ile sağlanabilir [8].

ASTM E856-83 (2006)'ya göre atıktan türetilmiş yakıt, 7 başlıkta sınıflandırılır. Bu başlıklar Tablo 1'de verilmiştir [9].

ATY, atıktan enerji üretme tesislerinde veya endüstriyel proseslerde yakıt ikamesi olarak kullanılabilir. ATY'nin değerlendirildiği başlıca endüstriyel alan çimento üretiminde ek yakıt olarak kullanılmasıdır. Avusturya, Danimarka, Hollanda, Belçika ve İtalya'da ATY çimento fırınlarında yakıt olarak değerlendirilmektedir [10]. ATY kalitesi, kalorifik değeri, nem yüzdesi, kül yüzdesi, düşük ağır metal ve klor içeriği fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerine göre değerlendirilir. Bu parametreler, proseste uygulanacak ek yakıt/birincil yakıt oranını belirlemede kullanılır. Birçok çimento tesisi, atığı oluşturan bileşenlerin heterojen yapısının kaliteyi ve çevreyi etkilemesinden dolayı ayrıştırılmamış kentsel atığı direkt olarak yakmaz. [10-13]. AB'e göre, ATY üretiminde 13 Mart 2002'de yayınlanmış ve CEN/TC343'e göre geliştirilmiş EN15359 standardı uygulanırsa elde edilen yakıt, "atıktan türetilmiş katı yakıt" (ATKY) olacaktır. ATKY,

standart ve kontrol edilebilir kalitededir [14]. Yapılan çalışmalarda ATY'nin konvansiyonel yakıtı göre daha az sabit karbon ve daha çok uçucu madde içerdiği belirlenmiştir [12, 13]. Kentsel katı atığın ticari atıkla karıştırılması sonucu klor içeriğinin azaltılabileceği belirlenmiştir [15].

Tablo 1. Atıktan Üretilmiş Yakıt Sınıfları

| ATY Sınıfı | Formu |
|------------|---|
| ATY1 | Atık formunda kullanılan atıklar |
| ATY2 | Demirli metal ayrımı yapılarak ya da yapılmadan işlenen kaba partikül büyüklüğüne sahip atıklar (Ağırlıkça %95'i 6 nolu elek aralığından geçen, kaba ATY) |
| ATY3 | Metal, cam ve diğer inorganik maddelerden ayrıştırılmış ufalanmış atıklar (Ağırlıkça %95'i 2 nolu elek aralığından geçen atıklar) |
| ATY4 | Toz formuna dönüştürülmüş yanabilir atıklar (Ağırlıkça %95'i 10 nolu elek aralığından geçen atıklar, toz ATY) |
| ATY5 | Pelet, yumru veya briket formuna yoğunlaştırılmış yanabilir atıklar (Yoğunlaştırılmış ATY) |
| ATY6 | Sıvı yakıt haline dönüştürülmüş yanabilir atıklar (ATY bulamacı) |
| ATY7 | Gaz yakıt haline dönüştürülmüş yanabilir atıklar (ATY singaz) |

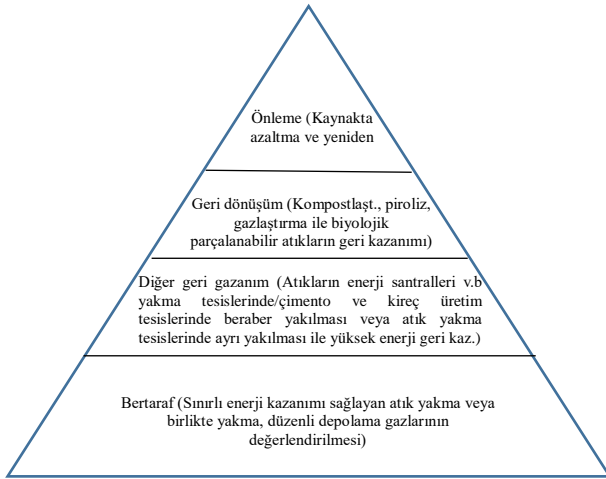
Kentsel katı atıktan ATY üretimi, en yoğun şekilde kaynaktan ayırım ve geri kazanımın etkin olduğu AB üyesi ülkelerde (Avusturya, Almanya, Hollanda) uygulanmaktadır. Bunun sebebi, bu ülkelerde geri dönüşüm aktiviteleri sebebiyle geri dönüştürülemeyen yüksek kalorifik değere sahip kalıntıların ATY üretimine uygun olmasıdır. Bu şekilde sabit ve yüksek kalorifik değer ve homojen fiziksel-kimyasal kompozisyonda, kolaylıkla depolanabilen, taşınabilen ve düşük kirletici emisyonu ve yanma esnasında daha az hava ihtiyacına sahip ATY elde edilmesi sağlanmış olur. Fakat eski ve yeni AB üyeleri arasında geri dönüşüm açısından hala ciddi farklar mevcuttur. [10, 16, 17].

2. Avrupadaki Durum ve Yasal Düzenlemeler

Atık yönetiminin başlıca amacı, çevre ve insan sağlığını korumak, kaynakların verimli kullanılması ve korunmasını sağlamaktır. Bunu sağlamak üzere uygulanan geri dönüşüm ve geri kazanım metodları, düzenli depolamaya gönderilecek atık miktarını azaltacak ve emisyonların çevreye zarar vermeyecek kadar azalmasını sağlayacaktır. Örneğin 2013 yılı için Avrupa Birliği üye ülkelerde toplam atık oluşumu yaklaşık 2.5 milyar ton olup, bunun 1.6 milyar tonu geri kazanım veya geri dönüşüme kazandırılmamıştır. Avrupa Birliği bunu ekonomik bir kayıp olarak görerek, üye ülkelerin düzenli depolamaya göndermeden önce kaynaktan ayırım, atık geri kazanımı sağlayan tekniklerin geliştirilmesini teşvik

etmektedir. Tahminlere göre 1.6 milyar ton geri dönüştürülmemiş kısmın 600 milyon tonu daha geri kazanım ile ekonomiye kazandırılabilir kısmı oluşturmaktadır. Aynı yıl, Avrupa Birliği üyesi ülkeler tarafından üretilen kentsel atıkların %43'ü geri dönüştürülmüş, %31'i düzenli depolanmış ve %26'sı ise yakılmıştır [18].

Avrupa Birliği'ne göre, atıktan enerji elde edilmesi prosesleri, atıkların enerji santralleri gibi yakma tesislerinde ve çimento ve kireç üretim tesislerinde beraber yakılması; atıkların atık yakma tesislerinde ayrı yakılması; biyolojik olarak parçalanabilir atıkların anaerobik parçalanması; atıktan elde edilen katı, sıvı ve gaz yakıtların üretimi, piroliz veya gazlaştırma sonrası indirekt yakmayı içerir. Bunlardan örneğin biyolojik olarak parçalanabilir atıkların anaerobik parçalanması, piroliz, gazlaştırma entegre atık yönetim hiyerarşisinde geri dönüşüm aşamasında ele alınırken, sınırlı enerji geri kazanımı sağlayan atık yakılması, bertaraf aşamasında değerlendirilir. Atıkların enerji santralleri gibi yakma tesislerinde ve çimento ve kireç üretim tesislerinde beraber yakılması veya atıkların atık yakma tesislerinde ayrı yakılması ile yüksek enerji geri kazanımı ise diğer geri kazanım aşamasında değerlendirilir [19]. Entegre atık yönetimi hiyerarşisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. AB'ye göre Atık Yönetim Hiyerarşisi

Diğer yandan küresel ısınmayı önleyebilmek ve sera gazı emisyonlarının azaltılması adına imzalanan Kyoto Protokolü uyarınca fosil yakıt tüketiminin azaltılması ile yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Başlıca sera gazı CO₂'dir ve atmosferdeki konsantrasyonu fosil yakıt kullanımına bağlı olarak hızla artmaktadır [20]. ATY üretiminin yaygınlaştırılması, sera gazı azaltılması hedefleriyle uyumlu olacaktır.

AB Düzenli Depolama Direktifine (1999/31/EC) göre, 2013 yılına kadar üye ülkeler, düzenli depolanan atıkların biyolojik olarak ayrıştırılabilir kısmını 1995'teki değerinin yarısına ve 2020 yılına kadar, 1995'teki değerinin %35'ine indirmekle yükümlüdür.

Avrupa Birliği, 2 Temmuz 2014'de Atıkların Düzenli Depolanması Direktifindeki atık hedefleri ve 2008/98/AT sayılı Atık Direktifi ile 94/62/AT sayılı Ambalaj ve Ambalaj Atığı Direktifindeki geri dönüşüm ve atık ile ilgili diğer hedefleri gözden geçirmek için bir kanun teklifi yayınlamıştır. Buna göre Avrupa Birliği üye ülkelerde plastik, metal, cam,

kağıt, biyolojik olarak parçalanabilir atık gibi geri dönüştürülebilir atıkların tehlikesiz atık düzenli depolama sahalarında düzenli depolanma oranını kademeli olarak azaltarak %25'e indirmeyi hedeflemektedir. Buna göre 2030 itibarıyla belediye atıklarının yeniden kullanım ve geri dönüşüm hedeflerinin %65'e yükseltilmesi, belediye atıklarının düzenli depolanmasının kademeli olarak azaltılarak %10'a indirilmesi ve ambalaj atıklarının geri dönüşümünün artırılması hedeflenmektedir [21]. Bu durum yüksek kalorifik değere sahip kalıntı fraksiyonun ATY'ye dönüştürülmesini, entegre atık yönetiminde stratejik öneme sahip bir alternatif kılmaktadır.

AB direktiflerinden atık yönetimine ilişkin düzenlemeler aşağıda sıralanmıştır:

- Atıkların Sevkiyatına İlişkin Tüzük (EC/1013/2006)
- Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi (94/62/EC),
- Düzenli Depolama Direktifi (99/31/EC),
- Ömrünü Tamamlamış Araçlar Direktifi (2000/53/EC),
- Atık Elektrikli ve Elektronik Eşya Direktifi (WEEE) (2012/19/EU),
- Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlanmasına İlişkin Direktif (RoHS) (2011/65/EU),
- Pil ve Akümülatörlere İlişkin Direktif (2006/66/EC),
- Maden Atıklarının Yönetimine İlişkin Direktif (2006/21/EC),
- Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılmasına İlişkin Direktif (86/278/EEC),
- PCB/PCT'lerin Bertarafına İlişkin Direktif (96/59/EC),
- Kalıcı Organik Kirleticilere İlişkin Tüzük (EC/850/2004),
- Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (2010/75/EU),
- Atık Yakma Direktifi (2000/76/EC).

Avrupa Birliği direktifleri içerisinde ATY ile ilgili düzenlemeler aşağıda verilmiştir:

-Enerji geri kazanımı için birlikte yakmada emisyon limitlerini belirleyen Atık Yakma Direktifi (2000/76/EC).

-İç elektrik pazarında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrikte promosyon ile ilgili direktif (2001/77/EC)

-Kentsel katı atık tesislerinden elde edilen ATY'nin tehlikeli atıkla birlikte yakılması ile ilgili hükümler bulunan Atık Yakma Direktifi (2000/76/EC) (CEC 2000 a)

3. Ülkemizdeki Durum, Yasal Düzenlemeler ve Yapılmış Çalışmalar

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2016 yılında ülkemizde 31.583.553 ton kentsel katı atık toplanmış olup, bunun 19.337.907 tonu düzenli depolama sahalarında depolanmıştır. 146.478 ton atık ise kompostlaştırılmıştır [22]. Ülkemizde katı atıkların depolama sahalarında depolanma yüzdesi Avrupa Birliği ülkelerine göre oldukça yüksek, geri kazanım ise oldukça düşüktür. Ülkemiz gibi enerjide büyük oranda dışa bağımlı bir ülkede düzenli depolanan atık miktarını azaltmak ve enerji ihtiyacının bir kısmını da olsa atıktan sağlayabilmek adına ATY üretimi potansiyelinin artırılması gerektiği yadsınmaz bir gerçek olarak karşımıza

çıkılmaktadır.

2025'e kadar İstanbul için katı atık yönetim stratejileri ve hedefleri, "İstanbul için AB Çevre Düzenlemeleri ile Uyumlu Entegre Atık Yönetimi Stratejik Planı" ile belirlenmiştir. Atıkların toplama ve bertaraf maliyetleri mevcut durumda 205.4 milyar USD iken 2025 yılında bu rakamın 375 milyar USD seviyesine ulaşması beklenmektedir. 2006 yılında, Çevre ve Orman Bakanlığı 2007-2013 yıllarını kapsayan dönem için AB Bütünleştirilmiş Çevresel Uyumlaştırma Stratejisi'ni oluşturmuştur. Çevre Bakanlığı tarafından Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012) 2008 yılı Mayıs ayında kabul edilmiştir [23].

05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik" atık yönetimi alanında çerçeve mevzuatı oluşturmaktadır. Bu yönetmelik, AB'de yürürlükte olan 2008/98/EC sayılı Atık Çerçeve Yönergesi'nin belirli hükümlerini iç hukuka aktarmıştır.

Bunun dışında Türkiye'de atık yönetimi alanını düzenleyen hükümler içeren ve 2008/98/EC sayılı AB Atık Çerçeve Yönergesi'nin belirli yönlerini ilgilendiren ve Çevre Kanunu uyarınca yürürlükte bulunan diğer ulusal mevzuatlar aşağıda verilmiştir:

- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 14.03.1991, No 20814)
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (R.G. 06.06.2008, No. 26898)
- Su kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 13.02.2008, No. 26786)
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 25.01.2017, No. 29959)
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 14.03.2005, No.25755)
- Ambalaj ve ambalaj atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 24.06.2007, No: 26562)
- Atık pil ve akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 23.12.2014, No. 29214)
- Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 30.07.2008, No. 26952)
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (R.G. 08.06.2010, No. 27605)
- Hafriyat Toprağı, İnşaat Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 18.03.2004, No. 25406)
- * Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (R.G. 20.12.2014, No. 29211)
- * Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik R.G. 06.10.2010, No 27721)
- * Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (R.G. 26.03.2010, No 27533)

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik uyarınca, ülkemizde yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren 5 yıl

içerisinde depolanacak olan biyobozunur atık miktarı, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunur atık miktarının ağırlıkça %75' ine, 8 yıl içinde % 50' sine ve 15 yıl içinde ise %35' ine indirilmesi hedeflenmiştir.

Endüstriden çıkan atıklar dışında kentsel atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi belediyelerin görev alanında yer almaktadır. Ancak büyükşehir teşkilatı bulunan şehirlerde çöplerin geçici depolanması, toplanması ve bertaraf etme tesislerine taşınması görevleri ilçe belediyelerine, geri kazanma, düzenli depolama, yakma, kompost vs. metotlardan bir veya birkaçının uygulandığı bertaraf etme tesisinin yapımı ve işletilmesi ise Büyükşehir Belediyesine aittir. Bu bağlamda İstanbul'da kurulan İSTAÇ, geri kazanım, geri dönüşüm konularında da faaliyet göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmada ülkemizde İSTAÇ'a bağlı bir tesiste ATY üretimi yapıldığı belirlenmiştir. Tesise gelen karışık belediye atıkları ayrıştırılarak, organik kısımdan kompost üretimi yapılmakta, organik olmayan kısımdan geri kazanılabilir atıklar ayrıştırılarak geri dönüşümü yapılmakta, geri dönüştürülemeyen plastik türevli atıklardan ise ATY üretilmektedir. Bu tesisin toplam kapasitesi 1000 ton/gündür. ATY tesisi yaklaşık yatırım maliyeti 750000-850000 €dur [23]. Tesiste geri kazanım sonrası plastik türevli malzeme oranı %27'dir. Buna göre ATY tesisine gelen 300 ton atıktan 81 ton plastik bazlı ATY elde edilebilmektedir. Bunun dışında çok sayıda enerji kuruluşu, ATY üretimi yapmaktadır. Bunlardan en büyüğü İstanbul Kömürçüoda Katı Atık Tesisi atıklarını değerlendiren özel tesis olup, 600000 ton/yıl kapasiteye sahiptir. Belediye atıkları çok basamaklı ayrıştırma işleminin ardından biyokurutma uygulanarak kurutulmakta ve ince kırıcı işlemi sonrasında ATY elde edilmektedir.

Bu derlemeyi hazırlarken yapılan araştırmalar sırasında ülkemizde ATY üretimi yapan kuruluş sayısının hızla arttığı görülmüştür. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği verilerine göre, 2017 yılı itibarıyla Beraber Yakma Lisansına sahip 35 tesis bulunmaktadır. Bu tesislerde yakıtın ortalama yaklaşık %6'sı ATY'den karşılanmaktadır. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) verilerine göre, özellikle endüstriyel atık kaynaklarına yakın bazı entegre fabrikalarda enerjinin %25'den büyük oranda ATY'den karşılandığı belirlenmiştir [24].

Türkiye'de 2008 yılında 88000 ton olan alternatif yakıt kullanım oranı söz konusu iken, 2012 yılında çimento fabrikalarında değerlendirilen ATY miktarı büyük bir sıçrama yaparak 157557 tona, 2013 yılında ise 179935 tona kadar çıkmıştır [14, 24]. Fakat hala tüm potansiyel değerlendirilememektedir. Bu oranın daha da artması gerekmektedir.

Ülkemizde ATY ile ilgili düzenlemeler incelendiğinde 2010 yılına kadar ATY üretiminin bir yönetmeliğe bağlı olarak yapılmadığı görülmektedir. 06/10/2010 tarih ve 27721 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren "Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik" ile atıkların yakma tesislerinde bertaraf edilmesi ve beraber yakma tesislerinde ek yakıt olarak kullanılmasına ilişkin esasların düzenlendiği görülmektedir. Asıl amacı atık yakma olmayıp ürün üretmek amacıyla kurulan beraber yakma tesislerinde atıkların verimli bir şekilde değerlendirilebilmesi ve bazı atıkların endüstriyel

üretim proseslerinde kullanılan hammaddelere alternatif olarak kullanılarak, atık yönetiminin en önemli basamaklarından biri olan atık minimizasyonun sağlanması amacıyla "Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammaddede Tebliği" 20.06.2014 tarihinde, 29036 Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelikte ATY hazırlanması ve kullanılması, ATY tesisi teknik özellikleri, ATY üretiminde kullanılacak atık özellikleri ve diğer uyulması gereken kurallar düzenlenmiştir. Tebliğin uygulanması sırasında karşılaşılan sorunların aşılması ve yürürlüğe giren diğer atık mevzuatı ile uyumun artırılması amacıyla Tebliğ metninde düzenlemeler yapılarak 13/04/2017 tarihli ve 30037 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yenilenmiş haliyle yürürlüğe girmiştir. Ayrıca, beraber yakma tesislerinde atıkların yakılmasına yönelik olan %40 şartı 2000/76/EC sayılı Atık Yakma Direktifi ile uyumlu olarak sadece tehlikeli atıklar için olacak şekilde değiştirilmiştir. Bu durumun çimento fabrikalarında atıktan enerji elde edilmesinde kullanımı artıracacağı ve düzenli depolanan atık miktarında azalma sağlayacağı düşünülmektedir.

Türkiye'de kentsel katı atıklardan ATY üretimi ile ilgili yapılmış çalışmalar az sayıda olup, çalışmanın bu bölümünde derlenerek, sunulmuştur. Kara v.d, (2011), yaptıkları çalışmada kentsel katı atıktan ATY üretmiş ve çimento üretim prosesine etkisini incelemiştir. Elde edilen ATY'nin nem içeriğinin %25 olduğu ve çimento fırınına beslenmeden önce kuruyarak %10-15 seviyelerine düştüğü belirlenmiştir. Atık bileşimi genel olarak naylon ambalaj, kağıt ve tetrapaktan oluşmakta olup elde edilen ATY'nin kalorifik değeri 3500kcal/kg olarak belirlenmiştir. Üretilen ATY çeşitli oranlarda birincil yakıt olan petrokok ile karıştırılmış ve kimyasal ve minerolojik analizler yapılarak emisyon değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar limit değerlerle uyumlu olup, çimento endüstrisi için uygun olduğu belirlenmiştir [25].

Bir diğer çalışmada, İstanbul'da yüksek organik içeriğe sahip kentsel katı atıktan ATY üretimi ve çimento üretim prosesine etkileri araştırılmıştır. ATY, LPG ile 0%, 5%, 10%, 15% ve 20% oranlarında karıştırılmıştır. 95% klinker ve 5% kireç taş karışımı ile CEM I 42.5 R çimentosu elde edilmiştir. Kimyasal analizlere göre elde edilen çimento Portland çimentosu aralığındadır. Kalorifik değer, klor içeriği ve nemlilik değerleri değerlendirilmiştir. Klor içeriğinin %0.9 olup, limitlerin altında olduğu, ayrıca %25 gibi literatür değerlerinin üzerinde nemlilik değerinin elde edildiği belirtilmiştir [26].

Bir başka çalışmada, iki ayrı ATY örneğinin termal karakteristikleri ve beraber yanma verimliliği değerlendirilmiştir. ATY örnekleri tek başına ve %3, %5, %10, %20 ve %30 oranında kömür ve petrokok yerine uygulanması ile yakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ATY'nin kalorifik değeri kömüre yakın olup petrokoktan biraz düşüktür. ATY oranı %10'un üzerine çıktığında CO konsantrasyonunun arttığı ve yanma veriminin düştüğü belirlenmiştir. Yakıt karışımına ATY ilave edilmesinin SO₂ emisyonunu azalttığı, NO_x profilini ise değiştirmediği belirlenmiştir [27].

Cepelioğullar v.d. 2016 yılında yaptıkları çalışmada pirolizde ATY bozunumunun nem giderimi, selüloz ve hemiselüloz bozunumu plastiklerin bozunumu aşamalarından oluştuğunu belirtmiştir. Çalışmada model ile tahmin edilen ve deneysel olarak elde edilen değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu

belirlenmiştir [28]

Sever-Akdağ (2014)'te yaptığı çalışmada, iki ayrı katı atık geri kazanım tesisinden alınan numunenlerin termal karakteristikleri ve birlikte yanma verimlerini incelemiştir. ATY, kömür ve petrokokun yanma davranışlarını belirlemek için termogravimetrik analizler yapılmıştır. ATY külünün elemental bileşimini belirlemek için XRF analizi yapılmıştır. ATY örnekleri çeşitli yüzdelerde kömür ve petrokokla birlikte laboratuvar ölçekli reaktörde yakılmış ve birlikte yanma verimi araştırılmıştır. Analizler ATY'nin kalorifik değerinin kömüre yakın olduğunu ve petrokoktan biraz düşük olduğunu göstermiştir. ATY'nin %10'dan fazla eklendiği durumda CO miktarının arttığı ve yanma veriminin düştüğü belirlenmiştir. Fakat ATY eklenmesinin SO₂ emisyonunu azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca ATY'nin ayrı yakılması durumunda külün özelliklerinin limit değerlerin üzerinde olduğu ortaya konmuştur [14].

4. Çimento Sektörüne ve Çevreye Etkileri

Ülkemizde hızlı sanayileşme ve nüfus artışı nedeniyle enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. 2016 yılında ülkemizin birincil enerji tüketimi 2000 yılına göre %71,5 oranında artarak 136,2 Mtep değerine ulaşmış olup, bu miktarın yaklaşık %75'i dış kaynaklardan ithal edilmektedir [29]. Hızla artan enerji ihtiyacını karşılamada, doğal kaynakları verimli şekilde kullanma, enerji verimliliği, alternatif enerji kaynaklarını değerlendirme konuları önem kazanmaktadır.

Türkiye çimento sektöründe dünyada dördüncü, Avrupa'da birinci sıradadır [24]. Türkiye'de 2016 yılı itibarıyla çimento sanayi yılda 76.9 milyon ton çimento üretmiş olup, bunun önemli bir kısmı ihraç edilmiştir [30]. 2018 yılı itibarıyla ülkemizde 69 adet çimento fabrikası bulunmaktadır. 2008 yılında 88000 ton olan alternatif yakıt kullanımı oranı, 2015'te yaklaşık 600000 tona ulaşmıştır. 200000 ton/yıl kentsel atık için hesaplanan mekanik biyolojik işlemler ile ATY üretiminin yatırım maliyeti 12 milyon euro, işletme maliyeti ise 40 milyon eurodur. Atıkların yakma tesisinde ayrı yakılması durumunda ise 100 milyon euro gibi yüksek bir yatırım maliyeti, 60 milyon euro gibi bir işletme maliyeti gerekmektedir. [24]. Ülkemizde çimento üretiminde yakıt olarak ithal taş kömürü, petrol koku ve yerli kömür kullanılmaktadır. Çimento endüstrisinde bu fosil yakıtların, enerji maliyetleri toplam maliyetin %35-45'ini oluşturmaktadır. Bu verilerden çimento sektörü için alternatif yakıtın ne oranda değerli olduğu, atıktan enerji geri kazanımı için de çimento fırınlarında yakmanın ne kadar değerli olduğu anlaşılabilir. Çimento endüstrisi gerekli enerjinin %30'una kadarını ATY'den elde edebilmektedir [10]. AB'de çimento sektörü, enerji ihtiyacının yaklaşık %30'unu atıklardan karşılarlarken, ülkemizde bu oran %3 civarındadır ve artırılması gereklidir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2016 yılında ülkemizde 31583553 ton kentsel katı atık toplanmıştır. Bu örnek üzerinden yola çıkarsak eğer bu miktarın ATY olarak kullanılabilir kısmı ayrılrsa ve değerlendirilse idi, 7895888 ton ek yakıt kazanılabildi. Kurutma sonrası bu rakam, bir miktar düşse de yine oldukça yüksek miktarda ATY elde edilecektir. TÇMB verilerine göre ülkemizde 42 ilimizde çok sayıda çimento fabrikası bulunmaktadır. Ülkemizde 2018 yılı

itibarıyla 52 adet entegre tesis, 17 adet öğütme tesisi olmak üzere TÇMB'e kayıtlı toplam 69 çimento fabrikası mevcuttur. En azından çimento fabrikalarının bulunduğu illerimizde ATY uygulamalarının yaygınlaştırılması yerinde olacaktır. Çimento sektöründe ikincil yakıt olarak ömrünü tamamlamış lastik, atık yağlar, kâğıt ve plastik atıkları, solventler, arıtma çamurları, kompost, prina, ahşap atıkları kullanılabilirlerdir.

Türkiye'de 2008 yılında 88000 ton olan alternatif yakıt kullanım oranı söz konusu iken, 2012 yılında çimento fabrikalarında değerlendirilen ATY miktarı 157557 tona, 2013 yılında ise 179935 tona kadar çıkmıştır [14, 24]. 2009 yılında çimento fabrikalarında yakılan atıkların kompozisyonuna bakıldığında, en önemli kısmını arıtma çamurları ve yağ ve yağlı atıklar oluşturmakta, ardından lastikler ve plastikler gelmektedir [31].

Türkiye'de yılda yaklaşık 200000 ton ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) atığı oluşmaktadır. Yüksek kalorifik değere sahip olan ömrünü tamamlamış lastikler depolama yerine, yüksek sıcaklıklardaki fırınlarda yakılmasıyla enerji elde edilebilir. Türkiye'de ÖTL'lerin yakıt olarak kullanıldığı 32 adet Çimento Fabrikası Çevre ve Şehircilik Bakanlığında Çevre İzin ve Lisans Belgesi almıştır. 2012 yılında 52000 ton ömrünü tamamlamış lastik çimento fabrikalarında yakılmıştır [32].

Bilindiği gibi atıklar, yakma tesislerinde yakıldığında yanlış sıcaklık uygulamaları sonucu dioksin ve furan gibi zararlı gazların oluşma ihtimali söz konusudur. Çimento üretim süreci ise, 1450 °C'nin üzerinde malzeme sıcaklığı, 1800 °C alev sıcaklığı ile atıklar için en uygun yanma koşullarını sağlamaktadır. Malzemeler fırında 12-15 saniye 1200 °C'nin üzerinde sıcaklığa, 5-6 saniye ise 1800 °C'nin üzerinde sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu sıcaklıklarda organik bileşenler tamamiyle parçalanmaktadır. Yine bu sıcaklıklarda dioksin ve furan gibi tehlikeli gazlar oluşmamaktadır. Asidik gazlar, SO₂ ve HCl, kirece bağlanarak etkisiz hale getirilmekte, ağır metaller ise klinker yapısına bağlanmaktadır [24].

Çimento üretimi sırasında en önemli çevresel sorun atmosfere verilen kirlenici gaz emisyonlarıdır. Yüksek miktarlarda oluşan emisyonların başında azot oksitler (NO_x), ve toz gelir. SO₂ proses esnasında hammaddedeki CaO ve CaCO ile reaksiyona girerek ürünün bünyesinde bağlanır; çimento fabrikalarından çevreye yayılan SO₂ emisyonu ile ilgili yönetmeliklerce verilen sınır değerler aşılmaz. Bu durum özellikle çimento üretiminde yüksek kükürt ve kül muhtevalı kömürlerin kullanımına olanak verir. İzlenmesi gereken diğer emisyonlar karbonmonoksit (CO), Toplam Organik Karbon (TOC) Ve Uçucu Organik Bileşikler (VOC), Poliklorlu dibenzo-para-dioksinler (PCDD), poliklorludibenzofuranlar (PCDF), Hidroklorik Asit (HCl), Hisroflorik Asit (HF) ve ağır metallerdir. Toplam Organik Karbon (TOC) ve Uçucu Organik Bileşikler (VOC) çimento hammaddelerinden, yakıttan ve kullanılan ek yakıtlardan kaynaklanabilir. Yanma sürecinde uçucu organik bileşiklerin (VOC) oluşumu genellikle ortamdaki oksijen konsantrasyonu ile ilgilidir. Çimento fırınlarında normal sabit koşullar altında gazların fırında uzun süre kalmasından, yüksek sıcaklıktan ve oksijen fazlalığından dolayı TOC ve VOC emisyonları düşük olacaktır. Konsantrasyonlar fırını ilk çalıştırma anında veya döngünün

bozulması esnasında artabilmektedir [33]. Uçucu organik bileşik emisyonları, hammaddenin kademeli olarak giriş yapması sırasında, sürecin ilk adımlarında (ön ısıtma süreci) ve ön kireçlemede hammadde ısındıkça oluşabilmektedir. Organik maddeler 400 ila 600°C arasında değişen sıcaklıklarda salınabilmektedir. Ancak organik maddelerin bozulması için gerekli 1200°C yüksek sıcaklıktaki proses koşulları ve döner fırın içerisindeki uzun bekleme süresi organik maddelerin tamamen parçalanmasını sağlamaktadır. Çimento fırınlarından çıkan çıkış gazının uçucu organik bileşik içeriği tipik olarak 10 ila 100 mg/Nm³ arasındadır [33, 34].

NO_x emisyonu, alev ve pişirme sıcaklıkları düşürülerek ve yakıt tüketimi düşürülerek azaltılabilmektedir. NO_x kontrolü için oksijen miktarının kontrol edilmesi önemlidir. Genellikle fazla hava ne kadar düşükse, oluşan NO_x o derece düşük olur. Ancak daha düşük oksijen düzeylerinde CO ve SO_x artışı söz konusu olduğu için bunun dengelenmesi gerekir. CO oluşum reaksiyon hızı, CO₂ oluşum reaksiyon hızından 10 kat büyüktür. Bu nedenle yanmada önce CO oluşur, CO'nin yanmasıyla CO₂ meydana gelir. Buna göre ortamda ikinci reaksiyon için gerekli O₂ bulunmazsa, tam yanma olmaz ve CO emisyonu artar. Ortamda bulunan CO₂ yaklaşık 1750°C gibi yüksek sıcaklıklarda, CO ve O₂'ye parçalanmaktadır [33]. Avrupa Birliği kanunlarına göre, çimento tesisleri için toz, NO_x ve SO₂ emisyon limit değerleri ayrıntı olarak daha az sınırlıdır.

Türkiye'de çimento döner fırınlarından çıkan emisyonları sınırlandıran yönetmelikler, 06.10.2010 tarihli 27721 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (Değişiklik tarihi: 07.04.2017, R.G No 30031) ve 03.07.2009 tarihli 27277 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (Değişiklik tarihi: 20.12.2014, R.G. No 29211)' dir. Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik'te toz, HCl, HF, NO_x, Cd+Tl, Hg, Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+Sn, PCDD ve PCDF, SO₂ ve TOK parametreleri yer almaktadır. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde ise parametre sınır değerleri tekil olarak verilmiştir. Çimento fabrikalarında ATY değerlendirilmesi durumunda, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği'nin Kontrolü yönetmeliği hükümleri geçerlidir ve CO, NO, SO_x, HCl, HF, PM, TOC parametreleri açısından değerlendirilir. Yönetmelikte çimento tesisinde bulunması gereken yakma sistemi özelliği açıklanmıştır.

ATY kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri, çimentonun klor içeriği %1 ile sınırlı olduğundan kullanılacak alternatif yakıtın bu yüzdeyi artırmaması gerekmektedir. Klor yüzdesi arttıkça betonun 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları düşer. Klor, beton içerisindeki demiri okside ettiği gibi, klor ve alkali silika reaksiyonu tuzları oluşturur. Oluşan bu tuzlar ise mikro ölçekte kırıklar meydana getirerek basınç dayanımını düşürür [10]. Kentsel katı atığın ticari atıkla karıştırılması sonucu klor içeriğinin azaltılabileceği belirlenmiştir [15].

ATY tek başına yakıldığında, poliklorlanmış dibenzoparadioksin (PCDD) ve poliklorlanmış dibenzofuran (PCDF) oluşma ihtimali vardır ve bu emisyonların çevreye ve sağlığa ciddi etkileri vardır. Fakat ATY'nin kömürle birlikte yakılması durumunda bu emisyonların büyük oranda

önlendiği belirlenmiştir [24, 35, 36]. Dioksin ve furan, kentsel katı atığın içerisinde bulunan beyazlatılmış kağıt ürünleri (kahve filtreleri, hijyenik mendil, ped, süt kutuları) dolayısıyla eser oranda bulunabilir veya yanma sırasında oluşabilir.

Bunlara ek olarak atıkların metal içermesi durumunda metallerin çimento yapısına bağlanması ve bu çimento beton üretiminde kullanıldığında sızması ile ilgili çevresel endişeler söz konusudur. Çimentoda ağır metal, başlıca çimentoyu oluşturan hammaddelerden, ikinci sırada ise yakıt ve ek yakıttan etkilenir. Yapılan çalışmalarda uygun atık kompozisyonu seçilmesi durumunda çimentoda yüksek metal konsantrasyonuna rastlanmadığı belirlenmiştir [31]. “Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği” ne göre, ATY üretiminde kullanılacak atıkların içerebileceği maksimum kabul edilebilir metal sınır değerleri Tablo 2’de, diğer kısıtlamalar Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. ATY üretiminde kullanılan atıklar için maksimum kabul edilebilir ağır metal sınır değerleri

| Element | | Sınır değer [mg/kg] |
|---------|----|---------------------|
| Kurşun | Pb | <600 |
| Kadmium | Cd | <10 |
| Krom | Cr | <400 |
| Bakır | Cu | <500 |
| Nikel | Ni | <300 |
| Çinko | Zn | <4000 |

Tablo 3. ATY üretimi için kullanılan atıklar içindeki maddeler için genel kısıtlamalar

| Parametre | Sınır Değer |
|--|----------------------|
| Halojenli Organik bileşikler | Kilo başına maks % 1 |
| Yetersiz parçalanabilir Halojenli organik bileşikler (PCB gibi). | Maks 50 mg/kg |
| Solvent içeriği (PAH veya VOC’ler) | %15 altında |
| Parlama noktası | 55°C üzerinde |

Çimentoda istenmeyen metal içeriği, çimento ile üretilen betonun dayanım basıncında düşmeye sebep olabileceğinden çimento üreticileri tarafından da tercih edilmeyen bir durumdur. Baca gazındaki CO, HCl, HF, HBr, HI, NOx, SOx, VOC, PCDD, PCDF, PCB ve ağır metaller materyal kompozisyonu ve işletme şartlarından oldukça etkilenir. Yüksek yanma sıcaklığı, uçucu metalleri kısmen veya tamamen buharlaştırır ve bu bileşenler baca gazı ve küle aktarılır [37].

Bir diğer dikkat edilmesi gereken nokta ATY yakılması ile oluşan kül içeriğidir. ATY yakıldığında, ATY yakıldığında

oluşan kadar küle metal içeriğine rastlanmaz [38]. Küldeki materyaller ve kirlilik potansiyeli, baz/asit oranı, sülfür oranı, toplam alkaliler, Na₂O oranı, kirlenme oranı gibi çeşitli indislerle ölçülür [39].

5. Sonuçlar ve Öneriler

Türkiye’de Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2016 yılında 31583553 ton kentsel katı atık toplanmıştır. 2006 yılında yapılan Katı Atık Ana Planı (KAAP) Projesi kapsamında kompozisyon belirleme çalışması sonuçlarına göre, toplam atık kompozisyonu %1 metal, %6 cam, %2 plastik, %4 hacimli karton, %1 karton, %11 kağıt, %34 mutfak artıkları, %19 diğer yanabilen kısım, %22 diğer yanmayan kısımdan oluşmaktadır. Görüldüğü gibi mutfak artıkları yüksek nem ve düşük kalorifik değer anlamına geldiğinden ATY üretiminde istenmediği gibi, biyobozunur atıkların azaltılması yaklaşımları ile geri dönüşüm ve geri kazanım oranlarının artırılması gerekmektedir. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik uyarınca, ülkemizde yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren 5 yıl içerisinde depolanacak olan biyobozunur atık miktarı, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunur atık miktarının ağırlıkça %75’ine, 8 yıl içinde % 50’ sine ve 15 yıl içinde ise %35’ine indirilmesi hedeflenmiştir. Biyobozunur atık miktarı azaltıldığında depolanacak atık miktarları da önemli ölçüde azalacaktır. Ülkemizde geri dönüşüm ve geri kazanım konusunda ne yazık ki düzenli bir uygulama bulunmamaktadır. Uygun geri kazanım/geri dönüşüm metodlarının uygulanması ile yüksek kalorifik değere sahip ATY elde edilmesi sağlanabilecektir. Halkın kaynağında ayırma ve geri dönüşüm konularında dikkatini çekmek ve sorumluluğunu artırmak için eğitim planlaması yapılması gerekmektedir.

Henüz ATY uygulamaları ülkemizde yeni başlandığından, konu ile ilgili az sayıda çalışma söz konusudur. Uygun ATY kompozisyonu çalışmalarının yoğunlaştırılması ile yüksek kalorifik değere sahip ATY eldesi açısından gelişmeler sağlanabilecektir.

ATY’nin yakıt olarak değerlendirildiği başlıca endüstri çimento sektörüdür ve bu sektörde ATY kullanılmasının enerji ihtiyacına önemli ölçüde katkıda bulunma potansiyeli söz konusudur. AB’de çimento sektörü, enerji ihtiyacının yaklaşık %30’unu atıklardan karşılarken, ülkemizde bu oran %3 gibi oldukça düşük bir oranda kalmaktadır. ATY üretimini artırmak için kamu tarafından yap-işlet-devret tarzı işletmeler desteklenebilir veya vergi teşviği uygulanabilir. Çok sayıda ilimize dağılmış durumda bulunan çimento fabrikaları oldukça çok sayıdadır ve başka tesis kurulumuna gerek kalmadan bile ATY’yi yakıt olarak kullanabilme potansiyeli vardır. Bununla ilgili ülke bazında ayrıntılı bir fizibilite çalışması yapılması yerinde olacaktır.

Türkiye’de yılda yaklaşık 200000 ton ömrünü tamamlamış lastik atığı oluşmaktadır. Ömrünü tamamlamış lastiklerin kalorifik değeri oldukça yüksektir. 2012 yılında 52000 ton ömrünü tamamlamış lastik çimento fabrikalarında yakılmıştır. Bu sayının artırılması, bertaraf ve enerji geri kazanımına katkıda bulunacaktır. Ülkemiz gibi enerjide büyük oranda dışa bağımlı bir ülkede, düzenli depolanacak atık miktarını azaltmak ve enerji ihtiyacının bir kısmını da olsa atıktan sağlayabilmek

adına, bir yandan emisyonlar açısından çevre kontrolü de sağlayarak, ATY üretimi potansiyelinin artırılması gerekliliği göze çarpmaktadır.

Kaynaklar

[1] Sarc, R., Lorber, K.E. (2013) Production, quality and quality assurance of Refuse Derived Fuels (RDFs). *Waste Management*, 33, 1825-1834.

[2] Hwang, I.H., Kobayashi, J., Kawamoto, K. (2014) Characterization of products obtained from pyrolysis and steam gasification of wood waste, RDF, and RPF, *Waste Management*, 34 (2), 402-410.

[3] Hasan, M. H., Development of the Refuse-Derived Fuel (RDF) Production Methodology & Analysis of Different Characteristics (2015), Department of Chemical Engineering, Thesis, Bangladesh University of Engineering & Technology Dhaka-1000, Bangladesh.

[4] Zakari, I. Y, Ismaila, A, Sadiq, U., Nasiru, R. (2013). Investigation on the Effects of Addition of Binder and Particle Size on the High Calorific Value of Solid Biofuel Briquettes, *Journal of Natural Sciences Research*, Vol.3, No.12, 30-34.

[5] Standard Handbook of Environmental Engineering, 2nd Edition, Robert A, Chapter 8, Solid Waste, Eugene A. Glysson, Corbitt, Bukupedia, The McGraw-Hill Companies, 2004.

[6] Tambone, F., Scotti, S., Scagli, B., Adani, F. (2011) Effects of biodrying process on municipal solid waste properties, *Bioresources Technology*, 102 (16) 7443-7450.

[7] Caputo, A. C., Pelagagge, P. M. (2002). RDF production plants: I Design and costs, *Applied Thermal Engineering* 22(4), 423-437.

[8] Genon, G., Brizio, E. (2008). Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF, *Waste Management* 28(11), 2375-2385.

[9] American Society for Testing and Materials (ASTM). (2006). Standard definitions of terms and abbreviations relating to physical and chemical characteristics of refuse derived fuel, Volume 11.04 Waste Management. Annual Book of ASTM Standards 2006. West Conshohocken: ASTM International.

[10] Gendebien, A., Leavens, A., Blackmore, K., Godley, A., Lewin, K., Whiting, K.J. (2003). Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives Final Report, European Commission.

[11] Kara, M., Günay, E., Tabak, Y., Durgut, U., Yıldız, Ş. & Enç, V. (2011). Development of Refuse Derived Fuel for Cement Factories in Turkey, *Combustion Science and Technology*, 183, 203-219.

[12] Ahn, S.Y., Eom, S.Y., Rhie, Y.H., Sung, Y.M., Moon, C.E., Choi, G.M., Kim, D.J. (2013). Application of refuse fuels in a direct carbon fuel cell system. *Energy* 51, 447-456.

[13] Wang, G., Silva, R.B., Azevedo, J.L.T., Martins-Dias, S., Costa, M. (2014). Evaluation of the combustion behaviour and ash characteristics of biomass waste derived fuels, pine and coal in a drop tube furnace. *Energy Fuels* 117, 809-824.

[14] Akdağ, A. S., Investigation of Fuel Values And Combustion Characteristics Of Rdf Samples, (2014), Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara.

[15] Hilber, T., Thorwarth, H., Stack-Lara, V., Schneider, M., Maier, J., Scheffknecht, G. (2007). Fate of mercury and chlorine during SRF co-combustion. *Fuel* 86, 1935-1946.

[16] Chang, Y.H., Chen, W.C., Chang, N.B. (1998). Comparative evaluation of RDF and MSW incineration, *Journal of Hazardous Materials*, 58 (1-3) 33-45.

[17] Bosmans, A., Vanderreydt, I., Geysen, D., & Helsen, L. (2013). The crucial role of Waste-to-Energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review. *Journal of Cleaner Production*, 55, 10-23.

[18]. Proposal for A Directive of The European Parliament and of the Council Amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste, European Commission, Brussels, 2.12.2015

[19] Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions,

The role of waste-to-energy in the circular economy, European Commission, Brussels, 26.1.2017, COM (2017) 34 final.

[20] Nithikul, J., Potential of Refuse Derived Fuel Production from Bangkok Municipal Solid Waste, (2007), Master Thesis, Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development, Thailand.

[21] Avrupa Birliği Mevzuatına göre Düzenli Atık Depolama Sahalarının Denetimi için Rehber Kitap, Çevre Kanununun Uygulanması ve Yaptırımını için Avrupa Birliği Ağı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Ankara, 2016.

[22] TÜİK 2018, Bertaraf yöntemlerine göre belediye atıkmiktarları, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=119&local e=tr>, Erişim tarihi: 28.10.2018

[23] İSTAC Stratejik Planı (2013-2017), İstanbul Çevre Yönetimi San. Ve Tic. A.Ş., [http://istac.splab.com/contents /15/%C4%B0stac_Str_Plan%20\(2\).pdf](http://istac.splab.com/contents /15/%C4%B0stac_Str_Plan%20(2).pdf). Erişim Tarihi: 28. 10.2018.

[24] Bulut, İ., (2017), Belediye Atıklarının Çimento Sektöründe evsel Atıy Olarak Kullanılması, Atık Yönetimi Sempozyumu, 26 Şubat-02 Mart 2017, Antalya.

[25] Kara, M., Günay, E., Tabak, Y., Durgut, U., Yıldız, Ş. & Enç, V. (2011). Development of Refuse Derived Fuel for Cement Factories in Turkey, *Combustion Science and Technology*, 183, 203-219.

[26] Kara, M., Günay, E., Tabak, Y., Yıldız, Ş. (2009). Perspectives for pilot scale study of RDF in Istanbul, Turkey, *Waste Management* 29, 2976-2982.

[27] Sever Akdag, A., Atımtay, F., Sanin D. (2016). Comparison of fuel value and combustion characteristics of two different RDF samples, *Waste Management*, 47, 217-224.

[28] Cepeliogullar, Ö., Mutlu, I., Yaman, S., Haykiri-Acma, H. (2016). A Study to predict pyrolytic behaviors of refuse-derived fuel (RDF): Artificial neural network application,

Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 122, 84-94.

[29] 2000-2016 Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu, http://www.yegm.gov.tr/document/enver_gelisim_rapor_2018.pdf. Erişim tarihi: 29.10.2018.

[30] The European Cement Assosiacion Activity Report, <https://cembureau.eu/media/1635/activity-report-2016.pdf>, Erişim tarihi: 29.10.2018.

[31] Özel, A., Çimento Üretiminde Aty Kullanimi Ve Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

[32]<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141230M1-12-1.pdf> Erişim Tarihi: 25.10.2018

[33] Cembreau, “Best Available Techniques For The Cement Industry”, A contribution from the European Cement Industry to the exchange of information and preparation of the IPPC BAT Reference Document for the cement industry, Rue d’Arlon 55 - B-1040 Brussels, 1999:

[34] Kuleli, Ö., Çimento Mühendisliği El Kitabı, TÇMB/AR-GE Enstitüsü, Ankara, 2010:

[35] Ferrer, E., Aho, M., Silvennoinen, J., Nurminen, R.V.

(2005). Fluidized bed combustion of refuse-derived fuel in presence of protective coal ash. *Fuel Processing Technology* 87, 33–44.

[36] Sanchez-Hervas, J.M., Armesto, L., Ruiz-Martinez, E., Otero-Ruiz, J., Pandelova, M., Schramm, K.W. (2005). PCDD/PCDF emissions from co-combustion of coal and PVC in a bubbling fluidized bed boiler. *Fuel* 84, 2149–2157.

[37] Pretz, T., Khoury, A., Uepping, R., & Glorius, T., Tubergen, J.V. (2003). BREF waste treatment-solid recovered fuels. IAR RWTH and European Recovered Fuel Organisation (Erfo). Aachen; 2003.

[38] Wagland, S. T., Kilgallon, P., Coveney, R., Garg, A., Smith, R., Longhurst, P. J., Simms, N. (2011). Comparison of coal/solid recovered fuel (SRF) with coal/refuse derived fuel (RDF) in a fluidized bed reactor. *Waste Management*, 31(6), 1176–1183.

[39] Park, S.W., & Jang, C.H. (2011). Characteristics of carbonized sludge for cocombustion in pulverized coal power plants. *Waste Management*, 31(3), 523–529.

