

İMALAT SANAYİNDE ATIKLARIN ALTERNATİF YAKIT VE HAMMADDE OLARAK KULLANIMI: DİĞER METALİK OLMAYAN MİNERAL ÜRÜNLERİN İMALATI SEKTÖRÜ

Kumru RENDE¹, Ece Gizem ÇAKMAK¹, Tuğba DOĞAN¹, Şeyma KARAHAN¹

¹ TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü

P.K.1, 41470, Gebze/KOCAELİ

kumru.rende@tubitak.gov.tr

Özet: Günümüzde oldukça önemli bir konu haline gelen kaynak verimliliği, daha yüksek karlılık sağlamanın yanı sıra, yeni teknolojilerin gelişmesini teşvik ederken istihdamı da artırarak üretimde yenilik ve büyüme potansiyelini açığa çıkarmaktadır. Çeşitli sanayi sektörlerinde yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması ile ekoverimli ürünlerin tasarımı, atıkların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı sağlanarak ekonomik ve çevresel kazanımlar elde edilmekte ve sektörlerin rekabetçi konumu korunmaktadır. İmalat sanayi ana sektörlerinden biri olan “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektörü hayatımızın birçok alanında kullanılan cam, çimento, beton, seramik gibi ürünleri üretmekte olup, imalat sanayi katma değeri içindeki %8'e yakın payı ile Türkiye ekonomisinde değerli bir konumda bulunmaktadır. Sektör, artan çevre sorunlarına çeşitli çözümler üretme konusunda da lider sektörlerdendir. Bu çalışma kapsamında “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektörünün mevcut durumu ve sürdürülebilir üretim göstergeleri hakkında bilgiler verilerek, çeşitli alt sektörlerde atıkların alternatif yakıt veya ham madde olarak değerlendirilme durumları irdelenmiş, örnekler verilerek ülkemizdeki mevcut durum ortaya konulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Atık, Cam, Çimento, Seramik, Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı

USE OF WASTES AS ALTERNATIVE FUEL AND RAW MATERIALS IN MANUFACTURING INDUSTRY: MANUFACTURE OF OTHER NON-METALLIC MINERAL PRODUCTS

Abstract: Resource efficiency, which has become a very important topic today, not only provides higher profitability, but also promotes the development of new technologies, increases employment and contributes to the growth of industrial production. Through the development and applications of new technologies in various industrial sectors, economic and environmental gains are obtained by designing ecological products, waste recycling and reuse, and the competitive position of the sectors is preserved. "Manufacture of other non-metallic mineral products" sector, which is one of the main sectors of manufacturing industry, produces some products such as glass, cement, concrete and ceramics which are used in many areas of our life and has a valuable position in the Turkish economy with a share of 8% value added in manufacturing industry. The sector is also one of the leaders in generating solutions for increasing environmental problems. In the scope of this study, information about the current state of the production of non-metallic mineral products and sustainable production indicators are given, the evaluation of wastes as alternative fuels or raw materials in various sub-sectors are examined and the current situation of Turkey is presented.

Keywords: Waste, Glass, Cement, Ceramic, Manufacture of other non-metallic mineral products

KISALTMA VE SEMBOLLER

Ar-Ge	: Araştırım-Geliştirme
ATY	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
BEBKA	: Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı
BSTB	: Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
EUROSTAT	: European Statistics Office
FEVE	: Avrupa Cam Ambalaj Federasyonu
NACE	: Nomenclature of Economic Activities
TÇMB	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TTGV	: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
WHR	: Waste Heat Recovery

1. GİRİş

Kaynak verimliliği, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından doğal kaynakların sürdürülebilir olarak üretilmesi, işlenmesi ve tüketilmesinin yanı sıra, ürünlerin üretimleri ve tüketimleri esnasında oluşan olumsuz çevresel etkilerinin tüm yaşam döngüleri boyunca azaltılması olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda, geleneksel kirlilik kontrolü yöntemlerinin aksine atık oluşumunu kaynağında önleyerek veya azaltarak üretimden kaynaklanan çevresel etkileri en aza indirmeyi de amaçlamaktadır.

Benzer şekilde, kaynak verimliliği; “aynı miktarda girdi ile daha fazla çıktı (sabit girdi ile çıktı maksimizasyonu)”, “daha az miktarda girdi ile aynı miktarda çıktı (sabit çıktı ile girdi

minimizasyonu)” veya “üretim sürecinde kayıp ve atıkların azaltılması (atık optimizasyonu)” şeklinde de ifade edilmektedir. Kaynak verimliliği, daha yüksek karlılığın yanı sıra, yeni teknolojilerin gelişmesini de teşvik etmektedir. Kaynak verimliliği ile üretimde yeni proseslerin geliştirilmesi ve uygulanması ile ekoverimli ürünlerin tasarımı, atıkların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı sağlanmaktadır (Europe EEIG, 2012).

Ülkemizde AB Çevre Mevzuatına uyum programı çerçevesinde yapılan çalışmalar ile daha etkili olarak gelişen çevre koruma bilinci ve yasal yaptırımlar, temiz teknolojilerin kullanılmasına, atık oluşumunu önleme veya azaltmaya, atıkların tekrar kullanımı, geri dönüşümü ve geri kazanımına yönelik Ar-Ge

araştırmalarını kaçınılmaz hale getirmiştir. Bu kapsamda, önemli bir araç olan ve tüm dünyada yaygınlaşmakta olan endüstriyel simbiyoz kavramı, “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 kurmaları ve dayanışma içinde çalışmaları” olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım, işletmeler arasında madde (atık, yan ürün, vb.) ve enerji değişimi başta olmak üzere olası her türlü kaynağın (hammadde, enerji, su, atık, altyapı, üretim araçları, insan kaynakları, arazi, vb.) ortak kullanımı ile kaynak kullanımının optimize edilmesine yönelik her türlü yönetsel ve ticari işbirliğinin hayata geçirilmesini içermektedir. Endüstriyel simbiyozun en temel uygulama şekli bir işletmenin atığının, yan ürün ya da atık ısısının başka bir işletme tarafından girdi olarak kullanılmasıdır. Bu şekilde oluşturulan “simbiyotik ilişki” ile ekonomik ve çevresel kazanımlar elde edilmektedir. Bu yaklaşımın uygulanması ile atık bertaraf maliyetlerinde azalma sağlanırken, atığın depolanma ihtiyacı ortadan

kalkmakta, hammadde ve enerji ikamesi sağlanırken, katma değerli ürünlerin üretilmesi mümkün olmaktadır (Cementurk, 2013).

Türkiye, bu kapsamda sürdürülebilirlik ilkelerinin büyük ölçüde ulusal kalkınma politikalarına yansıtıldığı bir ülkedir. 10. Kalkınma Planı’nda sanayide çevre dostu tekniklerin kullanılması vurgulanmış, üretimin daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi ve atıkların azaltılması hedeflenmiştir. Ülkemizin kaynaklarının verimli kullanılması, imalat sanayinin rekabet gücünün artırılması ve buna bağlı olarak çevresel etkilerin azaltılması amacıyla üretim süreçlerinde minimum kaynak tüketimi ve minimum atık oluşumu prensibine dayalı temiz üretim çalışmalarının yaygınlaştırılması öncelikli hedefler olarak ele alınmaktadır.

İmalat sanayinde her sektör kaynak kullanımı açısından farklılıklar gösterdiğinden ve ülkemiz kaynakları sınırlı olduğundan Türkiye gibi endüstrileşmekte olan ülkelerde kaynak verimliliği çalışmalarının sektörel bazda yapılması önem arz etmektedir (Böğürcü, 2012).

Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü, atıkların değerlendirilmesi alanında öncü bir

sektör olup, sektörde hali hazırda uygulanmakta olan birçok çalışma mevcuttur.

2. DİĞER METALİK OLMAYAN MİNERAL ÜRÜNLERİN İMALATI SEKTÖRÜ

Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü, birçok alanda kullandığımız cam, çimento, beton, seramik, granit, tuğla ve taş kaynaklı ürünleri, araç ve gereçleri üreten önemli bir imalat sanayi dalıdır. Bu ürünler, ağırlıklı olarak inşaat ve yapı malzemeleri sektörüne girdi olduğundan, mineral ürünlerin önemli bir kısmı inşaat veya yapı malzemeleri olarak da nitelendirilmektedir. Özellikle inşaat sektöründeki çeşitli yatırımlar sektöre yönelik talebin belirleyicisi olmaktadır. Sektör, 3 bin civarındaki işletme sayısı 200 bine yaklaşan istihdamı ve Türkiye imalat sanayi katma değeri içindeki %8'e yakın payı ile Türkiye ekonomisinde önemli bir rol oynamaktadır. Mineral ürünler genellikle ağır tonajlı olduğu için ve buna bağlı olarak bu ürünlerin uzak pazarlara sevkiyatları maliyetli olduğundan, sektörde ihracat daha çok Irak, Rusya, Azerbaycan ve Bulgaristan gibi sınır komşularımıza ve Almanya, İngiltere, Fransa ve İtalya ile

S. Arabistan ve Libya gibi diğer yakın ülkelere yapılmaktadır. NACE Rev.2 sınıflandırmasına göre, 23 numaralı *Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı* sektörü sekiz alt sektörden oluşmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü NACE Rev.2 kodları (İSO, 2014).

23	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı
23.1	Cam ve cam ürünleri imalatı
23.2	Ateşe dayanıklı (refrakter) ürünlerin imalatı
23.3	Kilden inşaat malzemeleri imalatı
23.4	Diğer porselen ve seramik ürünlerin imalatı
23.5	Çimento, kireç ve alçı imalatı
23.6	Beton, çimento ve alçıdan yapılmış eşyaların imalatı
23.7	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi
23.9	Aşındırıcı ürünlerin ve başka yerde sınıflandırılmamış metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı

Türkiye, dünyada en fazla çimento ve klinker ihracatı yapan ülke olup çimento üretiminde oldukça güçlü bir konumdadır. Bununla birlikte,

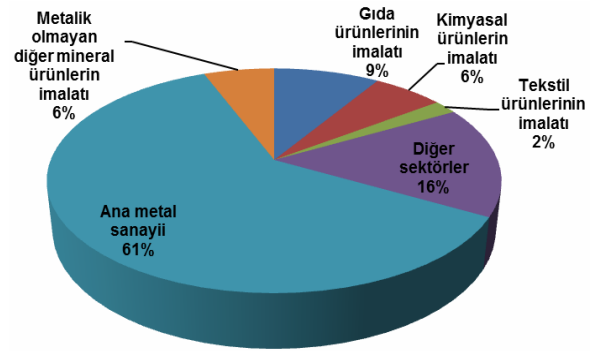
gelişmekte olan ülkelerde artmakta olan cam talebi sektör için önemli bir pazar potansiyeli yaratmaktadır. Seramik karo ve kaldırım taşları imalatı alt sektöründe de Türkiye çok hızlı gelişen bir ihracat potansiyeline sahiptir (İSO, 2014). *Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü*, 2012 yılında dünya mineral ürünleri ihracatında %2,3'lük pay ile dokuzuncu sırada yer almıştır.

2.1. Atık Miktarı

Üretim sürecinde oluşan atıkların çevresel etkilerinin azaltılması, doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması ve ekonomik fayda elde edilmesi gibi sebeplerle diğer sanayi kollarında olduğu gibi *Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektöründe* de atık yönetimi konusu büyük önem arz etmektedir. TÜİK verilerine göre 2014 yılında imalat sanayi kaynaklı, 1 milyon ton tehlikeli ve 14,7 milyon ton tehlikesiz olmak üzere toplam 15,7 milyon ton atık üretilmiş olup, toplam atığın %6'sı *Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı* sektörüne aittir. (TÜİK, 2016a; TÜİK, 2016b). İmalat sanayi

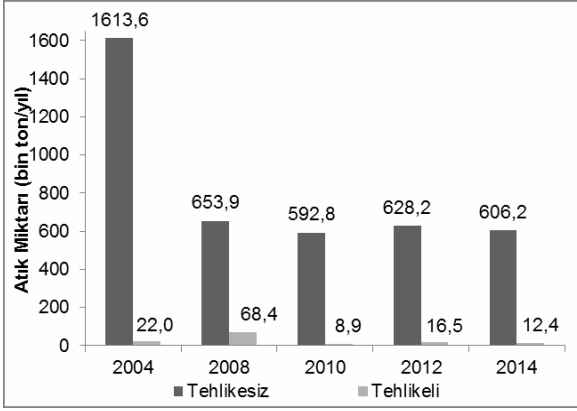
Türkiye, mineral kaynaklar açısından zengin ve kaliteli rezervlere sahip bir ülkedir. Rezervlerin varlığı sayesinde sektör hammadde ihtiyacının önemli bir bölümünü yurt içinden temin etmekte ve rekabet gücünü artırmaktadır. Sektörün rekabet gücünü olumsuz yönde etkileyen en önemli faktör ise enerji fiyatlarının (elektrik, doğalgaz ve akaryakıt gibi) rakip ülkelere göre yüksek olmasıdır (İSO, 2014).

kaynaklı atık oluşumunun sektörel bazda dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. 2014 Yılı İmalat Sanayi Atık Miktarlarının Dağılımı (TÜİK; 2016b).

Öte yandan Avrupa İstatistik Ofisi verilerine göre, sektörde 2014 yılında oluşan tehlikeli ve tehlikesiz atık miktarları sırasıyla 12,4 bin ton ve 606,2 bin ton olup, üretilen atık miktarının yıllar itibariyle değişimi Şekil 2'de verilmiştir (EUROSTAT, 2017).

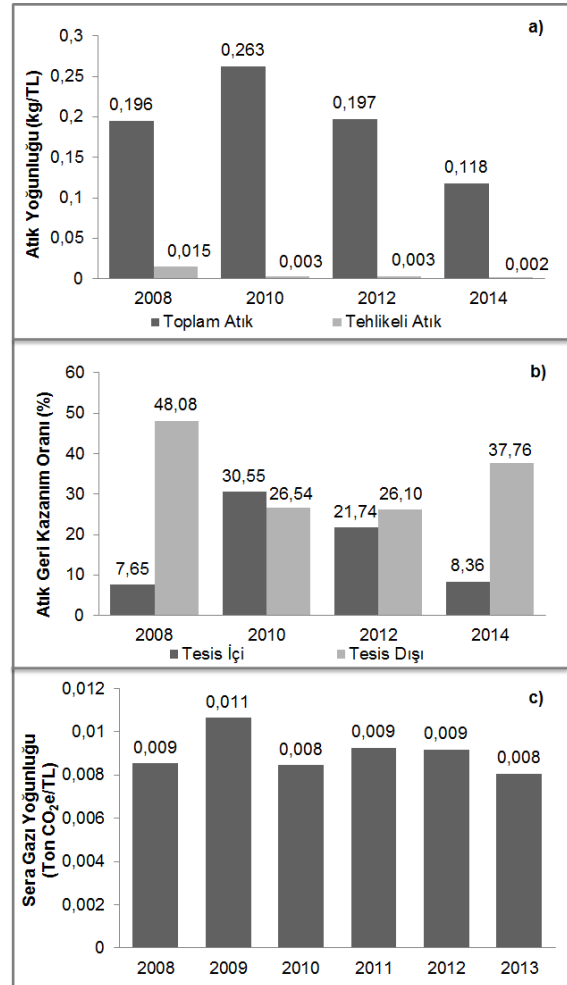


Şekil 2. Sektörün yıllara sari atık oluşumu (EUROSTAT, 2017).

2.2. Sürdürülebilir Üretim Göstergeleri

İmalat sanayi ve alt sektörleri için hesaplanan Sürdürülebilir Üretim Göstergeleri, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanmaktadır. Bu kapsamda, *Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı* sektörüne ilişkin yıllara göre atık yoğunluğu, atık geri kazanım oranları ve sera gazı yoğunluğunu içeren sürdürülebilir üretim göstergeleri Şekil 3'te verilmiştir. Atık yoğunluğu verilerine göre üretilen bir lira katma değer başına oluşan tehlikeli atık ve toplam atık miktarı 2014 yılı için sırasıyla 2 ve 118 gram olarak gerçekleşmiş, 2012 yılına göre tehlikeli atık yoğunluğu %43, toplam atık yoğunluğu ise %40 oranında azalmıştır (Şekil 3a) (BSTB, 2017).

Özellikle son yıllara ait veriler incelendiğinde, toplam atık miktarının %1,5-2,5 arasında tehlikeli atık içerdiği görülmektedir.



Şekil 3. Sürdürülebilir Üretim Göstergeleri (BSTB, 2017).

2014 yılında sektörde üretilen toplam atığın %8'i tesis içinde, %38'i tesis dışında olmak üzere toplam %46'sı geri kazanılmıştır (Şekil 3b). Tesis içi ve tesis dışı geri kazanım oranları 2010 ve 2012 yıllarında birbirine yakın oranlarda gerçekleşmiş olup, 2014 yılında ise 2008 yılına benzer şekilde tesis dışı geri kazanım oranının tesis içi geri kazanım oranından oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 2014 yılında gerçekleşen toplam atık geri

kazanımı 2012 yılına göre yaklaşık %2 oranında azalmıştır (BSTB, 2017).

Üretilen bir lira katma değer başına atmosfere salınan sera gazı miktarı verilerine göre, 2013 yılında 8,1 kg CO_{2e}/TL olan sera gazı yoğunluğunun bir önceki yıla göre %12 azaldığı görülmüştür (Şekil 3c). Sektör 2013 yılında, katma değer başına en fazla sera gazı üreten sektör olmuştur (BSTB, 2017).

3 DİĞER METALİK OLMAYAN MİNERAL ÜRÜNLERİN İMALATI'NDA ATIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Çimento İmalatı Alt Sektörü

23.51 NACE kodlu “Çimento imalatı” alt sektörü; yarattığı katma değer ve sağladığı istihdam açısından sanayimizin en önemli yapıtaşlarından biri olarak nitelendirilmektedir. Uluslararası standartlara uyum açısından kendisini sürekli yenilemekte olan sektör, hammadde konusunda tamamen kendi kaynaklarını kullanmakta olup, üretimiyle ülke ihtiyacını karşılayabilmekte, sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübe sayesinde küresel ölçekte de önemli bir konumda bulunmaktadır.

Türkiye çimento sektörü, 1911 yılında 20.000 ton/yıl kapasiteli bir fırınla Darıca'da üretime başlamış olup, 2016 yılı itibariyle 80 milyon ton klinker ve yaklaşık 133 milyon ton çimento üretim kapasitesine ulaşmıştır. 2017 yılı itibariyle ülkemizde 54'ü entegre, 18'i öğütme olmak üzere toplam 72 adet tesis bulunmaktadır (TÇMB, 2017a). Dünya çimento üretimi 2015 yılında 4,6 milyar tona ulaşmış olup, Çin 2,35 milyar ton üretim ile dünya çimento üretimindeki lider konumunu sürdürmektedir. Türkiye ise 72,8 milyon ton çimento üretimi ile

Avrupa'nın en büyük, dünyanın ise Çin, Hindistan, AB ülkeleri, ABD ve Brezilya'dan sonra en büyük altıncı üreticisi konumundadır (CEMBUREAU, 2016).

Sektör, ihracattaki payını her geçen gün artırmakta ve dünyanın yaklaşık 90 ülkesine satış yapmaktadır. 2016 yılında yaklaşık 7,5 milyon ton çimento ve 3,7 milyon ton klinker ihracatı gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda, yurtiçi talebi karşılamakta sıkıntı çekmeyen, bunun yanı sıra ihracat

miktarını sürekli artıran sektör Avrupa'nın en büyük çimento ihracatçısı konumundadır.

Çimento sektörü endüstriyel simbiyoz uygulamaları için en önemli sektörlerden biridir. Uzun yıllardan beri çeşitli atıklar çimento üretiminde hammadde ve enerji kaynağı olarak kullanılmakta, buna paralel olarak çimento fırınları, sorun teşkil eden pek çok atığın bertarafı için çözüm olanağı sunmaktadır (Cementurk, 2013).

3.1.1. Çimento Sektöründe Alternatif Yakıt Kullanımı

Gelişmekte olan ülkelerde atık miktarı hızla artmakta olduğundan atıkların arıtılması, depolanması veya işlenmesi çevre açısından giderek daha önemli hale gelmektedir. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 2014 yılında yayınladığı Çimento Sektörü Raporuna göre, önümüzdeki 10 yıl içinde, sektörün iç pazar ve ihracatta daha da büyümesi beklenirken 100 milyon ton üretim hacmine ulaşacağı öngörülmektedir. Bu nedenle sektörde kullanılacak yakıt miktarı da bağlantılı olarak artacaktır.

Yeterli kalorifik değere ve uygun özelliklere sahip olan farklı türdeki atıkların, fosil yakıtlar ve/veya ham maddelerin yerine çimento fırınlarında kullanılması ile doğal kaynak tasarrufu sağlanmaktadır. Bununla birlikte sürekli artmakta olan fosil yakıt fiyatları çimento fabrikalarını alternatif yakıt kullanmaya teşvik etmektedir. Yakıt tüketimi tipik olarak çimento üretim maliyetlerinin yaklaşık %30'unu oluşturduğundan, fiyat, yakıt seçiminde önemli bir parametre olmaktadır. Yerel koşullarına ve türlerine göre değişmelerine rağmen atık yakıtlar

konvansiyonel yakıtlardan genellikle daha ucuz olmaktadır. Ancak, atık yakıtların homojen hale getirilmesi için ön işlemlere tabi tutulması ilave masraflara yol açabilmektedir.

Küresel çimento üretim hacmi göz önünde bulundurulduğunda, konvansiyonel yakıtların alternatif yakıtlarla değiştirilmesi, doğal kaynaklarda yüksek miktarlarda tasarrufun yanında CO₂ emisyonlarında da belirgin bir azaltım sağlamaktadır. Birçok tesiste, enerjinin %50'ye kadarı alternatif yakıtlardan sağlanmaktadır (WWF, 2008).

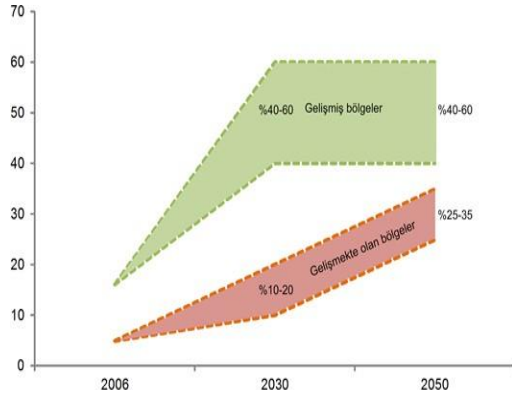
Çimento fırınlarının doğası gereği fırın içi sıcaklık 2000°C'nin üzerine çıktığından atıktan türetilmiş yakıt (ATY) veya diğer alternatif yakıtlar atık kül veya zararlı emisyonlar üretmeksizin tamamen yok edilebilmektedir.

Çizelge 2'de bazı AB ülkelerinde yakıt olarak kullanılan farklı türde atıkların kalorifik değerleri verilmektedir.

Çizelge 2. Bazı AB ülkelerinde yakıt olarak kullanılan farklı atıkların kalorifik değerleri (IPPC, 2013).

Atık yakıt türleri	Kalorifik değer (MJ/kg)
Odun	~16
Kağıt/karton	3-16
Tekstil	<40
Plastik	17-40
İşlenmiş atıklar (Örneğin; atıktan türetilmiş yakıt)	14-25
Kauçuk/lastik	~26
Endüstriyel çamur	8-14
Kentsel kanalizasyon çamuru	12-16
Katı yağlar	27-32
Kömür/karbon atığı	20-30
Zirai atıklar	12-16
Katı atıklar	14-28
Solventler ve ilgili atıklar	20-36
Sıvı yağlar ve yağlı atıklar	25-36
Kanalizasyon çamuru nem oranı >%10	3-8
Kanalizasyon çamuru nem oranı <%0-10	8-13

Çimento fırınlarında klasik fosil yakıtların yerini alabilecek alternatif yakıtların kullanım potansiyeli dünya genelinde ortalama %12 olarak hesaplanmıştır (WWF, 2008). 2006-2050 yılları arasında tahmini alternatif yakıt kullanımı Şekil 4'te verilmektedir (IEA/WBCSD, 2009).



Şekil 4. Tahmini alternatif yakıt kullanımı 2006-2050 (IEA/WBCSD, 2009).

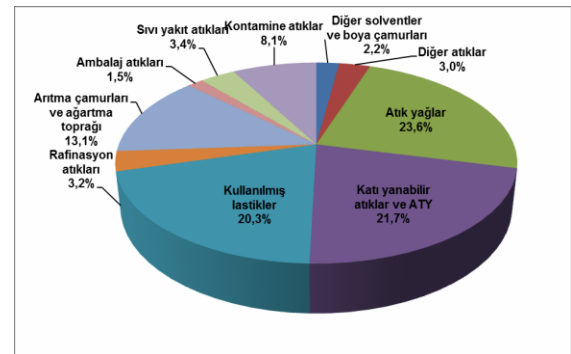
Avrupa çimento sanayinde önemli miktarda atık geri kazanımı sağlanmaktadır. Örneğin, 2007 yılında Hollanda'da bulunan bir çimento tesisinde yakıt içerisinde %44 civarında biyokütle kullanılarak CO₂ emisyonlarında 1990 yılına göre %28 azaltım sağlanmıştır (Zhu, 2011). Avrupa'da bazı fabrikalarda %80'i aşan oranlarda fosil yakıt ikamesi yapılmaktadır (IPPC, 2013).

Türkiye'de ise atık geri kazanımı çalışmaları 2004 yılında başlamıştır. 2017 yılı itibariyle "Beraber Yakma Lisansı"na sahip 35 tesis bulunmaktadır.

Alt sektörde 2012 yılı için ortalama ısıl enerji yer değiştirme oranı yaklaşık %2,4 iken bu değer 2015 yılında %3,8'e ulaşmıştır. Lisanslı fabrikalarda ise ısıl enerji yer değiştirme oranı

yaklaşık %6'dır. Özellikle endüstriyel atık kaynaklarına yakın sınırlı sayıda entegre fabrikada ısıl enerji yer değiştirme oranı %25 civarındadır (TÇMB, 2017b).

Türkiye'de, atık lastikler, atık yağ ve çözücüler, plastik, tekstil kalıntıları ve ATY yaygın olarak kullanılmaktadır. 2005 yılında çimento sektöründe alternatif yakıt kullanımı yaklaşık 9000 ton iken 2011 yılında 330 bin tona ulaşmıştır (Şenyurt, 2012). Atıkların ortalama kalorifik değerinin 3500 kcal/kg olduğu kabul edildiğinde, kalorifik değeri 7000 kcal/kg olan fosil yakıttan 165.000 ton tasarruf edildiği ifade edilebilir (Şenyurt, 2012). 2011 yılı alternatif yakıt kullanımı oranları Şekil 5'te verilmiştir (Şenyurt, 2012).



Şekil 5. Alternatif yakıt kullanım oranları %Gjoule, 2011 (Şenyurt, 2012).

Avrupa Birliği ülkeleri ise (AB28) 2010 yılında yaklaşık %30,5 oranında alternatif yakıt tüketmişlerdir (GNR,

2013). Bu oranlar değerlendirildiğinde alternatif yakıt kullanımında Avrupa'nın çok gerisinde olduğumuz görülmektedir. Türkiye bu değere ulaştığında, ciddi miktarda fosil yakıt tasarrufu ve sera gazı emisyonu azaltımı sağlanmış olacaktır. Sektör bu konuyu önemsemekte ve çeşitli yatırımlar gerçekleştirmektedir. Fakat bu konuda sosyal kabullenebilirlik açısından toplumun da bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Çimento fabrikaları bünyelerinde ATY tesislerinin kurulması fabrikaların ATY kullanımını ciddi oranda arttırmakta, termal enerji tüketiminin ise azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

3.1.2. Çimento Sektöründe Alternatif Hammadde Kullanımı

Çimento üretiminde gerekli olan hammaddeler kalker, kil ve demir cevheri ile alçıtaşı, tras gibi katkılardır. Tüm bu maddelerin üretimleri ve nakliyeleri esnasında enerji ve yakıt tüketilmektedir. Aynı zamanda, bu doğal kaynaklar hızla yok olmaktadır.

Son yıllarda çimento sektöründe alternatif hammadde kullanımı giderek artmaktadır. En çok kullanılan alternatif hammaddeler; tersanelerde raspalama

Türkiye çimento sektörü 2025 yılına kadar, sektörün ısı enerjisinin %40'ının evsel atıklardan karşılanmasını hedeflemektedir. Bu sayede; yaklaşık 7 milyon ton evsel ATY geri kazanımı, 3 milyon tona yakın kömür veya benzeri fosil yakıt tasarrufu, bununla birlikte yaklaşık 1,7 milyon ton CO₂ tasarrufu sağlanması hedeflenmektedir. Ayrıca, düzenli depolama alanlarındaki çöp miktarı azalacağından CO₂'ten 25 kat daha etkili bir sera gazı olan CH₄ gazında da azaltım sağlanmış olacaktır (TÇMB, 2017b).

sonucu açığa çıkan grit malzemesi, döküm kumu, kazan dibi çamuru, kalsiyum karbit cürufu, cüruf atıkları, mermer tozu, beton atıkları, fosfojips, sentetik alçı, çimento fırın tozu, kömür külü, kalsit bitümlü şist ve benzeri Si, Ca, Fe ve Al kaynağı malzemelerdir.

Klinker üretiminde alternatif malzemelerin kullanılmasına yönelik örneklerin başında, çeşitli atıkların yakılması sonucu açığa çıkan uçucu

kül ve taban külünün kullanımı gelmektedir. Yurt dışında özellikle belediye çöplerinin ya da evsel atık su arıtma çamurlarının yakılması sonucu oluşan küller bu amaçla kullanılmaktadır. Düşük oranlarda demir oksit ve silika ilavesi ile bu tür küllerin klinker üretiminde kullanımı mümkün olmaktadır. Diğer taraftan, ürün geliştirme kapsamında klinker ile birlikte farklı malzemelerin kullanıldığı çimento türlerine yönelik çalışmalar da yapılmaktadır. Tamamlayıcı nitelikte çimentomsu malzemeler olarak tanımlanabilecek bu tür malzemeler klinkere belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Bu şekilde daha mukavemetli çimentoların üretimi de söz konusu olabilmektedir. Klinker ile karıştırılarak kullanılacak alternatif malzemeler arasında granüle edilmiş yüksek fırın cürufu ve kömür yakma sonucu oluşan uçucu kül örnek olarak verilebilir (Cementurk, 2013).

Ayrıca, endüstriyel simbiyoz çalışmaları kapsamında, Seramik Araştırma Merkezi (SAM)'nin, yürüttüğü ve bu alanda örnek teşkil eden bir proje tamamlanmıştır. Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı (BEBKA) desteği ile yürütülen projede Bilecik ve Eskişehir illeri civarında

yoğunlaşmış durumdaki seramik tesislerinin arıtma keklerinin çimento sektöründe alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi için mevcut durum analizi, firmalardan temin edilen atıkların karakterizasyonu ve çimento sektöründe kullanıma uygunluklarının tespiti, uygun kurutma tipinin belirlenmesi ve belirlenen kurutma sistemine ait fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Projede, Eskişehir'de faaliyet gösteren bir çimento fabrikası da aktif olarak yer almıştır.

Türkiye'de bir çimento üreticisi tarafından inşaat kazılarından ortaya çıkan hafriyat kayaçları da artık alternatif hammadde olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulama dünya çapında bir "iyi uygulama örneği" olarak gösterilebilir. Aynı zamanda, Türkiye'de deprem açısından riskli görülen yapıların yenilenmesi amacıyla kentsel dönüşüm süreci devam etmektedir. Kentsel dönüşümle birlikte hem hafriyat kayaçları hem de inşaat atıklarının uygun fraksiyonları (tuğla vb.) çimento üretiminde önemli bir hammadde kaynağı olabilecektir. Özellikle inşaat atıklarının geri dönüşümden geçirilmesi sonucu demir, agrega ve kum tasnif edilerek uygun fiziksel ve kimyasal

özelliklere sahip olmaları halinde beton ve çimento sektöründe kullanılabilir (Engin vd., 2013).

Türkiye’de çimento sektöründe alternatif hammadde kullanımı AB’deki

uygulamalara kıyasla arzu edilen seviyenin oldukça altındadır. Bunun en önemli nedenleri nakliye mesafesi, atıkların nem içeriği ve henüz “kirlenen öder” prensibinin oturmuş olmaması olarak ifade edilebilir.

3.1.3. Çimento Sektöründe Atık Isının Geri Kazanımı

Çimento üretiminde kuru proses fırınlarında, sisteme giren toplam ısının yaklaşık %40’ı atık ısı olarak egzoz gazları ile birlikte atmosfere atılmaktadır (EMT, 2006). Atık ısı, hammadde ve yakıtın kurutulması, fırında yakıt tüketimi için gerekli havanın ön ısıtılması ve atık ısı geri kazanım buhar jeneratörleri vasıtasıyla elektrik enerjisi üretimi gibi çeşitli uygulamalar için tekrar

kullanılabilmektedir. Atık ısı geri kazanımı, günümüzde çimento sektörü için, enerji verimliliği ve çevre bilincinin artması açısından oldukça ilgi duyulan bir alandır. Geri kazanılan atık ısı miktarını etkileyen faktörler; tesis kapasitesi, termal tüketim, ön ısıtıcısının kademe sayısı ve klinker soğutucusunun türü ve verimidir. Isı geri kazanım sistemine ve fırın teknolojisine bağlı olarak, klinker soğutucudan 7-8 kWh/ton çimento,

fırın egzoz gazlarından 8-10 kWh/ton çimento elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir (EPA, 2010). Toplam üretim 7-20 kWh/ton çimento arasında değişim göstermektedir (EPA, 2010). Çizelge 3’te 2500-4500 ton klinker/gün kapasiteli bir çimento fırın sisteminden çıkan egzoz gazları sıcaklıkları ve geri kazanılabilecek enerji potansiyeli sunulmuştur (Zhu, 2011).

Çizelge 3. 2500-4500 ton klinker/gün kapasiteli bir döner fırından geri kazanılabilecek enerji potansiyeli.

Atık Isının Kaynağı	Sıcaklık, °C	Potansiyel Elektrik Üretimi, MW
Ön Isıtıcılar	280-415	3,0-5,5
Klinker Soğutucuları	220-290	

Türkiye’de ilk WHR sistemi 2010 yılında devreye alınmıştır. 2014 yılı itibariyle WHR sistemi kullanan tesis sayısı 9’a ulaşmıştır. Çimento sektörü,

rekabetin yoğun olarak yaşandığı bir sektör olduğundan bu tip iyi uygulamalara ve ilgili yatırımlara önem verilmektedir. Bu kapsamda yatırımların artacağı ve yeni tesislerin kurulacağı öngörülmektedir.

2014 yılı itibariyle sektörde atık ısıdan elektrik üretim kapasitesi 84 MW olup, toplam potansiyel 270 MW olarak hesaplanmıştır (Alpan, 2013).

2012 yılı verileri ışığında, çimento üretiminde kullanılan elektrik enerjisi miktarı 6.982.682 MWh/yıl olmuştur.

Bu miktarın 3.733.845 MWh/yıl'lık kısmı klinker üretim sürecinde tüketilmiştir. Yine aynı yıl için, WHR sistemlerinden üretilen elektrik enerjisi miktarı ise 141.402 MWh/yıl olmuştur. WHR sistemlerinden üretilen elektrik enerjisinin çimento üretiminde kullanılan toplam elektrik enerjisi içerisindeki payı %2, klinker üretim sürecinde kullanılan elektrik enerjisi içerisindeki payı ise %4 olarak gerçekleşmiştir. Devam etmekte olan yatırımların da devreye girmesiyle önümüzdeki yıllarda bu payların artması beklenmektedir (Alpan, 2013)

3.2. Kireç İmalatı Alt Sektörü

Kireç; inşaat sektörü başta olmak üzere, kağıt, demir çelik, şeker, metal, cam, tarım, boya, plastik ve kimya sektörü gibi çeşitli sektörlerde kullanılan önemli bir mineraldir. Gelişen üretim teknolojileri ve kireç fiyatının diğer kimyasallara oranla ucuz olmasından dolayı kireç üretimi son yıllarda artmaktadır.

Kireç üretimi, büyük şirketlerin yanı sıra küçük ölçekli birçok yerel şirket

tarafından da yapılabilmektedir. Ülkemizde kireç tüketiminin büyük miktarlarda olduğu demir-çelik, şeker, soda ve kağıt sektörlerinin büyük kısmı üretim prosesleri içinde, kendi kireç üretimlerini gerçekleştirmektedir. Bununla birlikte küçük ölçekli kireç üretim tesisleri de ülkemizde faaliyet göstermektedir.

3.2.1. Kireç Sektöründe Alternatif Yakıt Kullanımı

Kireç fırınlarında da çeşitli atıklar yakıt olarak kullanılabilir. Bu atıklar sıvı ve katı atıklar olarak 2 grupta toplanabilir.

Sıvı Atıklar: I ve II. sınıf atık yağlar kireç fırınlarında kullanılabilir. Atık yağlar (yağlı boya, tiner, sintine yağlar, atık yağlar vb.), uygun şekilde stoklanıp filtreleme yapılarak fırın içerisine dozajlı bir şekilde pulvarize olarak verilmektedir.

Katı Atıklar: Uygun şekilde stoklanan ömrünü tamamlamış lastikler (ÖTL), talaş, mobilya atıkları, plastik atıklar, kontamine atıklar, zeytin çekirdeği, ağaç kabuğu, pamuk çekirdeği, tekstil atıkları, tarımsal atıklar, orman atıkları vb. katı atıklar yakıt hazırlama tesisinde kurutulup, belirli boyutlara kadar (0-5 mm) öğütüldükten sonra yakıt silolarına alınarak ve belirli oranlarda karışımlar yapılarak fırın içerisine dozajlı bir şekilde pulvarize olarak beslenmektedir.

Paralel akışlı çift şaftlı kireç fırınlarında beraber yanma sonucu oluşan gazların en az 2 saniye süre ile 850°C sıcaklıkta kaldığı yapılan ölçümlerle doğrulanmıştır. Bu kapsamda gerekli

izin ve lisansların alınması ile ÖTL'ler kireç fırınlarında ek yakıt olarak kullanılarak hem doğal kaynak tasarrufu hem de CO₂ salımlarında azaltım sağlanmaktadır.

Özet olarak; ekonomik değeri olmayan fakat kalorifik değeri uygun ve külü az olan atıkların hepsi yakıt olarak kullanılabilir (Nur Kireç, 2014).

2011–2014 yılları arasında TTGV tarafından yürütülen *İskenderun Körfezi'nde Endüstriyel Simbiyoz Projesi* (Uygulama Aşaması) kapsamında atık alış verişi ve atıkların sanayide kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri, çeşitli atıkların kireç fırınlarında yakıt olarak değerlendirilmesidir. Söz konusu uygulama kapsamındaki simbiyotik ilişki; bir kireç fabrikasında kireç üretim prosesinde enerji kaynağı olarak kullanılan petrokokun bir kısmının çevredeki firmalar tarafından sağlanacak çeşitli atıklarla ikame edilmesi olarak ifade edilebilir.

Proje kapsamında bölgede bulunan atık potansiyeli dikkate alınarak; fabrikanın enerji ihtiyacının yaklaşık %20'sinin yılda 2.250 tona ulaşan, kalorifik değeri yüksek ve kül içeriği

düşük olan ağaç/orman atıkları, tekstil atıkları, atık yağlar, zeytin çekirdeği vb. atıklardan karşılanarak yaklaşık 1.700

ton petrokok tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir (TTGV, 2014).

3.3. Cam Ürünleri İmalatı Alt Sektörü

23.1 NACE kodlu “Cam ve cam ürünleri imalatı” sektörü altında;

- 23.11 Düz cam imalatı
- 23.12 Düz camın şekillendirilmesi ve işlenmesi
- 23.13 Çukur cam imalatı
- 23.14 Cam elyaf imalatı
- 23.19 Diğer camların imalatı ve işlenmesi (teknik amaçlı cam eşyalar dahil) alt sektörleri faaliyet göstermektedir.

Türkiye cam ve cam ürünleri imalatı sektörü, öz kaynak kullanımı ve ekonomiye sağladığı katma değer ile önemli bir sektördür. Ülkemiz, sektörün kurulduğu dönemden bugüne kadar yaptığı çalışmalar ve yeni yatırımları sebebiyle dünyada önde gelen cam üreticisi ülkeler arasına girmiş olup, her geçen yıl rekabet gücünü artırmaktadır. Söz konusu sektör, ülkemizde özellikle otomotiv, inşaat, gıda, içecek, elektrik ve elektronik, ilaç, mobilya vb. gibi

birçok sektöre girdi sağlamaktadır. Son yüzyıl içerisinde cam ve cam ürünleri imalatı sektöründe bilimsel çalışmalar ve bunların teknolojiye uygulanması büyük gelişim göstermiştir (TOBB,2012).

Türkiye cam sektörü 1935 yılında 3 Kton kapasite ile üretime başlarken bu değer 2014 yılında 3,12 Mton ve 2015 yılında 3,08 Mton seviyelerine ulaşmıştır (TÜİK, 2015). Sektördeki en büyük üretici olan Şişecam’ın yurtiçi ve yurtdışı toplam üretim kapasitesi 4,7 Mton civarında olup 150 ülkeye ihracat yapmaktadır. Yurtiçi üretim kapasitesinin %50’si düzcam, %32’si cam ambalaj, %16’sı cam ev eşyası, kalan yaklaşık %2’lik kesim de cam elyafı kapasitesinden oluşmaktadır. (BSTB, 2014).

Şişecam kurulu 6 üretim tesisi ile Türkiye'deki en büyük cam ev eşyası üreten işletme durumundadır. Şişecam, cam ev eşyasında Avrupa’da ikinci, dünyada üçüncü; düz camda

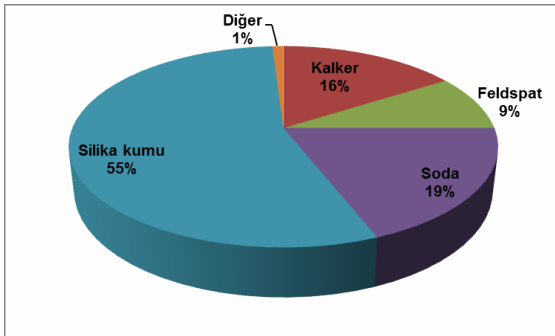
Avrupa’da ikinci dünyada beşinci (5 üretim tesisi); cam ambalaj alanında ise dünyada ve Avrupa’da dördüncü durumdadır (4 üretim tesisi). Şişecam yurtdışında yaptığı girişimler ile de bölgede önemli bir güç haline gelmiş (Şişecam, 2015). Ayrıca, ülkemizde

sektörde farklı ölçeklerde birçok işletme de faaliyet göstermektedir.

2016 yılı cam ve cam ürünleri ihracatı 954 milyon ABD Doları, ithalatı ise yaklaşık 1 milyar ABD Doları olarak gerçekleşmiştir (ITC, 2016).

3.3.1. Cam Sektöründe Alternatif Hammadde Kullanımı

Cam üretim prosesinde harman hazırlanmasında temelde silika kumu, soda, kalsit, dolomit (kalsiyum karbonat, magnezyum karbonat) ve feldspat kullanılmaktadır. Alüminyum trihidrat, sodium sülfat, krom, kömür vb. ise yardımcı maddeler olarak kullanılmaktadır. Cam ambalaj üretiminde kullanılan ham madde oranları Şekil 6’da sunulmuştur.



Şekil 6. Cam ambalaj üretiminde kullanılan ham maddeler (Kovacec vd., 2011).

Ancak cam üretiminde ham madde olarak hurda cam da kullanılabilir. Avrupa Cam

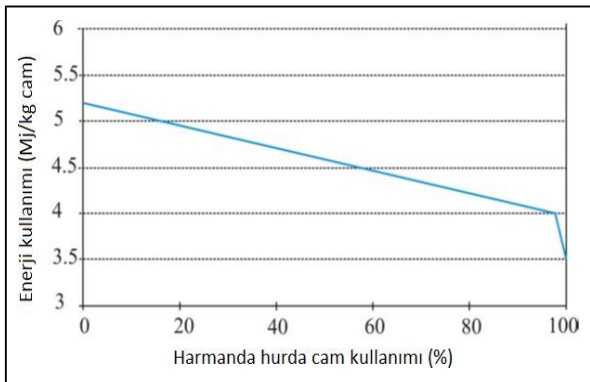
Ambalaj Federasyonu (FEVE) 2014 yılı verilerine göre AB28 ülkelerinde atık camların geri dönüşüm oranı %74 civarındadır. 2014 yılında Avrupa Birliği’nde 11,6 milyon ton üzerinde atık camın geri dönüşümü sağlanmış olup, toplanan atık camların büyük bir bölümü proseste geri kullanılmıştır. Böylece 12 milyon ton ham madde tasarrufu sağlanmış olup CO₂ emisyonlarında 7 milyon ton azaltım gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde ise 2014 yılında atık camların geri dönüşüm oranı %14 civarındadır (FEVE, 2017).

24.08.2011 tarih ve 2805 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği”nde ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanması konusunda; tüm kurumların yükümlülükleri açıkça ifade edilmektedir. Atık camların yıllık geri dönüşüm oranı her yıl artış göstermekte olup 2016 yılında %52

olan bu oran 2017 yılında %54, 2020 yılında ise %60 olarak hedeflenmiştir (AAKY, 2011).

Camın %100 olarak geri dönüşümü sağlanabildiğinden teorik olarak üretim prosesinde %100 hurda cam kullanımı mümkündür. Ancak pratikte; bu değerler üretilmesi istenilen ambalajın rengine, kalitesine ve fırın tasarımına göre daha düşük olmaktadır (Kovacec vd., 2011). Harmana eklenen hurda cam, fabrika içi döngüden veya fabrika dışındaki geri dönüşüm proseslerinden temin edilebilmektedir.

Harmanda hurda cam kullanımı ile, çevre kirliliğinin engellenmesinin yanı sıra, ergitme fırınında yakıt kullanım oranı düşürülerek enerji tasarrufu da sağlanmaktadır. Genel olarak fırın beslemesinde kullanılan her %10'luk ilave hurda cam, fırın enerji tüketimini %2,5-3,3 oranında düşürmektedir (Şekil 7) (Kovacec vd., 2011).



Şekil 7. Harmanda hurda cam kullanımında enerji tüketimi (Kovacec vd., 2011).

Hurda camın ergitilmesi için gerekli enerji miktarı; hurda camın kimyasal reaksiyonlarının tamamlanmış olması ve eşdeğer hammaddelere oranla daha düşük kütleye (%20) sahip olması sebepleriyle daha azdır (GLS, 2013; BGMC, 2004; Kovacec vd., 2011 FEVE, 2017). Çizelge 4'te 1 kg cam üretimi için gerekli enerji değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4. Cam ambalaj üretiminde atık cam kullanımında gerekli enerji değerleri (kJ/kg cam) (Kovacec vd; 2011).

Normal harmanda soda-kireç-silika camının ergitilmesi için gerekli teorik ergitme enerjisi	2.550
Harman ayrışma gazlarının enerji içeriği	176
Termal duvar ve baca gazı kayıpları	2.074
Cam ambalaj fırınında normal harman kullanımında toplam enerji tüketimi	4.800
%100 atık cam kullanımında soda-kireç-silika camının ergitilmesi için gerekli teorik ergitme enerjisi	1.750
Termal duvar ve baca gazı kayıpları	1.850
Cam ambalaj fırınında atık cam kullanımında toplam enerji tüketimi	3.600
%100 atık cam kullanımda sağlanan tasarruf miktarı	1.200

Çevresel etkiler açısından değerlendirildiğinde; yakıt kullanım oranının düşmesi ile birlikte, CO₂, SO_x ve NO_x ve PM emisyonlarında da azaltım

sağ lanmaktadır. Bununla birlikte karbonat ve sülfat içeren ham maddelerin tüketimi de azaldığından cam oluşum reaksiyonu sırasında

açığa çıkan CO₂ ve SO_x emisyonları da azaltılmış olur (BGM, 2004; GLS, 2013).

3.3.2. Cam Sektöründe Atık Isının Geri Kazanımı

Atık ısının geri kazanımı tüm sektörlerde olduğu gibi cam sektöründe de önemli miktarda yakıt tasarrufu ve emisyon azaltımı sağlamaktadır.

Rejeneratif Fırınlar

Ülkemizde sektörde atık gazlardaki ısı enerjisinin, tutuşma öncesi havayı ön ısıtmak için rejeneratif fırınlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Rejeneratif fırınlar 2 farklı odaya sahiptir. Bir oda tutuşturma işleminden çıkan atık gazlarla ısıtılırken diğerinde gelen tutuşturma havasına ön ısıtma yapılır. Genellikle hava ön ısıtma sıcaklığı (port sayısına bağlıdır) 1200°C-1350°C aralığında olup bazen 1400°C'ye kadar çıkabilmektedir (GLS, 2013).

Rekuperatif Fırın

Ülkemizde cam elyaf üretiminde rekuperatif fırınlar kullanılmaktadır.

Rekuperatif fırınlar daha çok düşük kapasiteli üretimler için uygun olmasına rağmen 400 ton/gün'e kadar büyük kapasiteli fırınlar da kullanılmaktadır.

Rekuperatörler benzer şekilde genellikle daha küçük kapasiteli fırınlarda ısı geri kazanımı için kullanılır (GLS, 2013).

Kojenerasyon Sistemi

Atık ısıdan kojenerasyon sistemi ile elektrik veya sıcak su elde edilebilmektedir. Ülkemizde 1997-1998 yıllarında Şişecam A.Ş tarafından 55 MW kurulu gücünde 3 adet santral devreye alınmıştır. Söz konusu santraller ile yılda 400 milyon kWh elektrik ve 80 bin ton buhar üretimi sağlanmaktadır. Ayrıca 2009 yılı sonuna kadar 244 MW gücünde 2 adet kojenerasyon tesisi de devreye alınmıştır (Şişecam, 2017).

3.4. Seramik Ürünlerin İmalatı Alt Sektörü

Seramik ürünlerin imalatı alt sektörü genel olarak; “23.2 Ateşe dayanıklı (refrakter) ürünlerin imalatı”, “23.3 Kilden inşaat malzemeleri imalatı” ve “23.4 Diğer porselen ve seramik ürünlerin imalatı” sektörlerinin bir bütünü oluşturmakta olup, bu sınıflandırmaların ötesinde seramik ürünlerin üretiminin;

- Seramik kaplama malzemeleri (duvar karosu, yer karosu vb.)
- Seramik sağlık gereçleri (eviye, lavabo vb.)
- Seramik sofa ve süs eşyaları

- Tuğla, kiremit ve refrakter malzemeler
- Teknik seramikler

olmak üzere 5 gruba ayrılması mümkündür. 2015 yılı sanayi ürünleri üretim ve satış istatistiklerine göre seramik ürünlerin imalatı toplam 8,52 milyar TL üretim değeri ve 8,22 milyar TL satış değeri ile Türkiye sanayi ürünleri toplam üretim ve satış değerinin yaklaşık olarak %1’ini oluşturmaktadır (Çizelge 5) (TÜİK, 2016c).

Çizelge 5. Seramik ürünlerin imalatı alt sektörleri bazında 2015 yılı istatistikleri (TÜİK, 2016c).

Alt Sektör	Girişim Sayısı	Üretim Değeri (bin TL)	Satış Değeri (bin TL)
Seramik kaplama malzemeleri	53	4.464.961	4.337.477
Seramik sağlık gereçleri	43	1.199.475	1.166.923
Seramik sofa ve süs eşyaları	54	576.306	572.901
Tuğla, kiremit ve refrakter malzemeler	409	2.204.247	2.068.727
Teknik seramikler	48	81.949	78.278
Türkiye Toplamı	31.346	1.067.577.986	956.496.601

Türkiye, 400 milyon m²’nin üzerinde kurulu kapasiteye sahip olduğumuz ve seramik sektörümüzün üretim ve satış değerleri açısından yarısından

fazlasını temsil eden seramik kaplama malzemeleri alt sektörü ile dünya sıralamasında %2,6 oranında pay ile sekizinci sırada yer almaktadır.

Büyükölük açısından bu sektörü takip eden seramik sağlık gereçleri sektörü ise 345 bin ton'un üzerinde kurulu kapasite ile dünya genelinde üretim açısından dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye seramik üretimi açısından üçüncü sırada yer alan tuğla, kiremit, refrakter malzemeleri alt sektöründe ise üretim genellikle küçük

kapasiteli tesislerde yapılmaktadır. Özellikle son yıllarda beton blok, gaz beton gibi alternatif ürünlerin piyasaya çıkması ile tuğla üretiminde, toplu konut yatırımları ve yüksek katlı binaların yapılması nedeniyle ise kiremit üretiminde düşüşler meydana gelmiştir (CWR, 2016; CWR, 2015; YEM, 2016).

3.3.1. Seramik Sektöründe Alternatif Hammadde Kullanımı

Seramik üretiminin çeşitli aşamalarında ortaya çıkan atıklar; kalite dışı pişmiş ve pişmemiş seramik yarı ürünler, kullanılmış alçı ve plastik kalıplar, ambalaj atıkları (kağıt, karton, plastik, ahşap), ekipman değişimi kaynaklı atıklar (tuğla kırıkları, metal atıklar), toz toplama vb. sistemlerde biriken tozlar, atıksu arıtma tesisi kaynaklı arıtma çamurları, tehlikeli atıklar, atık yağlar ve evsel atıklar olarak sıralanmaktadır. Bu atıklar arasında özellikle üretim esnasında oluşan seramik çamuru ve pişmemiş yarı ürünler hammadde reçetesinde kolaylıkla tekrar kullanılabilir. Pişmiş ürünlerin tekrar kullanımı önünde; ürün özelliklerini ve kalitesini etkileme, öğütme, depolama, tesisler arası

transfer, renkli bünyeye sahip ürünlerin tekrar kullanımındaki estetik kaygılar gibi çeşitli konulara bağlı olarak bazı kısıtlar bulunmakla birlikte bu yönde ulusal ve uluslararası bazda çalışmalar da gerçekleştirilmektedir. Sektör atıklarının yine seramik sektöründe kullanılmasının yanı sıra çimento, beton, asfalt gibi çeşitli ürünlerin üretiminde de kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamda yapılan bazı çalışmalar Çizelge 6'da özetlenmiş olup, ülkemizde de gerek tuğla-kiremit sektöründe pişmiş ürünlerin öğütölerek, gerekse pişmiş karo ve seramik sağlık gereçleri atıklarının yine öğütölerek hammadde reçetesinde belirli oranda kullanıldığı uygulamalar mevcuttur.

Çizelge 6. Seramik atıklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar.

Uygulama örneği	Kaynak
%30'a varan oranda seramik karo atığı kullanımı ile asfalt üretiminde kullanılan doğal agrega hammaddelerinin ikamesi ve standartlara uygun asfalt eldesi	Kara ve Karacasu, 2017
Sağlık gereçleri atıklarının pegmatit ve feldspat yerine kullanılması ile uygun özellikte porselen karoların üretilmesi	Tarhan vd., 2017
Parlatma ve ebatlama esnasında oluşan seramik atıklarının uygun mekanik, fiziksel ve estetik özelliklerde eko-tuğla üretimi	Coletti vd., 2016
Sağlık gereçleri atıklarının reçetede kaolin yerine %15'e varan oranda kullanılması ile uygun özellikte duvar karolarının üretilmesi	Tarhan vd., 2016
Beton üretiminde doğal kaynak olarak kullanılan granitin, teknik seramik atıkları ile ikame edilmesi	Sentmarai, R.M., 2011

Demir-çelik ve cam üretimi gibi çeşitli sanayi dallarında oluşan cüruf ve atık cam gibi çeşitli atıkların, kömür madenciliği atıklarının, şeker kamışı küspesi, zeytin çekirdeği unu, buğday samanı, odun kerestesi gibi çeşitli tarımsal atıkların kullanılması ile seramik ürünlerin üretildiği çalışmalar da mevcuttur (Sani ve Nzihou, 2017; Kizinievic ve Kizinievic, 2016; Stolboushkin vd., 2016; Teo vd., 2016; Kim vd., 2016; Schettino ve Holanda, 2015). Bu uygulamalar ile bir yandan atıkların ekonomik olarak değer kazanması ve doğal hammaddelerin ikamesi ile kaynak verimliliği sağlanırken, bir yandan da seramik üretimi esnasında enerji verimliliği sağlanması, ürün kalitesinin ve özelliklerinin iyileştirilmesi gibi faydalar da sağlanabilmektedir.

Buna ilaveten tesislerde kurulu bulunan atıksu arıtma ve/veya toz toplama ünitelerinde biriken katı atıkların (arıtma çamuru, filtre tozu vb.) da ham madde reçetesinde kullanılması ile önemli oranda katı atığın değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir. Ülkemizde de tesislerin içinde bulunan atıksu arıtma tesislerinden temin edilen arıtma çamurlarının kullanıldığı uygulama örnekleri görülmekte olup, uluslararası çalışmalarda kentsel atıksu arıtma tesisinden elde edilen çamurların da kullanıldığı uygulamalar mevcuttur. Bu kapsamda örnek bir uygulamada hammadde reçetesinde %10'a kadar arıtma çamuru kullanılarak elde edilen karoların ilgili ISO standartlarına uygun olduğu tespit edilirken, tuğla üretimine yönelik bir başka çalışmada %1,25'e varan oranda arıtma çamuru ile uygun

su absorplama özelliğine sahip tuğlaların üretilebildiği belirtilmiştir (Amin vd., 2017; Rodrigues ve Holanda, 2015). Bir yandan hem kil ve toprak gibi doğal hammaddelerin ikame edilmesi ile önemli oranda kaynak verimliliği sağlanması ile hem

de tehlikeli bir atığın bertaraf edilmesi ile önemli çevresel ve ekonomik faydalar sağlayan bu uygulamalar, bir yandan da arıtma çamurunun kurutulması ve depolanmasına bağlı teknik kısıtlar içermektedir.

3.3.1. Seramik Sektöründe Atık Isının Geri Kazanımı

Enerji yoğun sektörler arasında sınıflandırılan seramik sektöründe, fırın ve kurutucu bacalarında oluşan atık ısının geri kazanılarak tesisin çeşitli noktalarında kullanılması oldukça yaygın bir enerji verimliliği uygulaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Seramik kaplama malzemeleri üretiminde sürekli fırınlarda kullanılan enerjinin %50'sinden fazlası kirli ve temiz hava bacaları vasıtasıyla atmosfere salınmaktadır. Bu atık ısının doğrudan kullanılması ya da ısı değiştiriciler vasıtasıyla ikincil akışkanlara aktarılması ile tesis genelinde %5 ile %35 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Atık ısı geri kazanımından elde edilecek fayda atık ısının geri kazanıldığı fırın/kurutucu bölümü, iletildiği mesafe, iletildiği birim, iletimde kullanılan boru hattının yalıtımı gibi pek çok faktöre bağlıdır (Mezquita vd., 2014; Türevmak, 2015). Sektörde

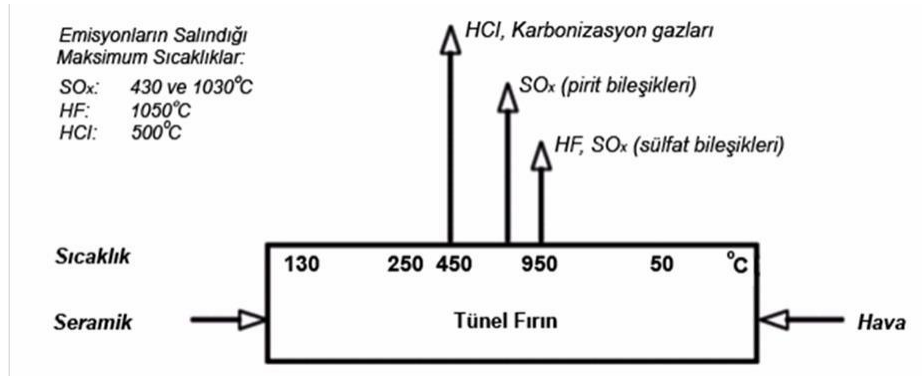
faaliyet gösteren bir firmada dört fırından atılan sıcak hava iki spreylendiriciye bağlanarak yıllık doğal gaz tüketiminde 1.484.000 m³ (%14 daha az) ve karbon salımında 3.000 ton azaltım sağlanmıştır (SK, 2012).

Öte yandan seramik sağlık gereçleri ve sofa ve süs eşyaları üretiminde kullanılan tünel fırınların orta bölümünde bulunan deşarj bacalarından atık ısı geri kazanımı yapılabilmektedir. Özellikle bu sektörlerde geri kazanılan atık ısının tesisin dökümhane bölümünde ortam ısının artırılması veya kalıp kurutma işlemlerinde kullanılması ile bu kısımlarda yakıt tüketiminin tamamen terk edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu kapsamda ülkemizde gerçekleştirilen bir çalışmada tesiste bulunan 3 adet tünel fırının bacalarından 300°C'de toplanan atık

ısının tesis içinde sıcak su üretiminde kullanılması ile tesis genelinde yıllık %5,1 oranında enerji tasarrufu ve buna bağlı olarak 2,7 bin karbon emisyonu azaltımı sağlanabilmiştir (Eczacıbaşı, 2012). Yine seramik üretiminde kullanılan kesikli üretim yapısına sahip bir fırın tipi olan kamara fırınlarda da, fırının soğutulması esnasında oluşan atık ısının tesisin çeşitli bölümlerinde kullanılması mümkün olmaktadır.

Tüm bunlarla birlikte seramik üretiminde kullanılan hammaddelere

ve yakıtlara bağlı olarak fırın bacalarından atılan atık gazların içerisinde bulunan kirleticiler asidik yapıları nedeniyle, atık ısı geri kazanımı sürecinde kullanılan ekipmanlarda aşınmaya sebep olabilmektedir. Bu bacalardaki atık gazların çeşitli baca gazı temizleme ünitelerinden geçirilerek (örn; kireçli temizleme üniteleri) ya da ısı değıştirciler vasıtasıyla kullanılması mümkün olabilmektedir (Şekil 8) (Sindram vd., 2008).



Şekil 8. Fırında pişirim esnasında gaz kirleticilerin oluşumu (Sindram vd.,2008).

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Avrupa’da ve dünyanın pek çok bölgesinde klasik çevre politikalarından bütüncül kaynak verimliliği politikalarına geçiş başlamıştır. Ülkemizde daha önceki yıllarda sanayileşme öncelikli hedefler arasındayken günümüzde “rekabet gücünü” artırıcı politikalar izlenir hale gelmiştir. Çin ve Hindistan gibi ucuz

işgücü maliyetlerine sahip olan ülkelerin yarattığı rekabet baskısıyla karşı karşıya kalan Türkiye imalat sanayinin küresel sanayiye entegrasyonu ancak; kaynakların verimli kullanımı ile maliyetlerin düşürülmesi, ulaştırma altyapısının geliştirilmesi, Ar-Ge faaliyetlerinin geliştirilmesi, nitelikli işgücünün

sağlanması, işletme kapasitelerinin artırılması ve çevre dostu üretim politikalarının geliştirilmesi gibi stratejilerin benimsenmesiyle gerçekleştirilebilir.

Ülkemizde AB Çevre Mevzuatına uyum programı çerçevesinde gelişen çevre koruma bilinci, yasal yaptırımlar, atık bertarafında karşılaşılan güçlükler ve temiz teknolojilerin yaygınlaşması; atık oluşumunun önlenmesi veya azaltımı, atığın tekrar kullanımı, geri dönüşümü ve geri kazanıma yönelik çalışmaları teşvik etmektedir. Bu çerçevede tüm atıkların yönetiminin etkin şekilde sağlanması için, çevresel öncelikler, AB mevzuatı ve mevcut yönetmelikler ile ekonomik koşullar dikkate alındığında nihai bertaraf yöntemlerinin yerini geri kazanım/geri dönüşüm yöntemlerinin alması gerektiği açıktır.

İşletmeler arasındaki işbirliği kültürünün gelişmesinin yolunu açan, özellikle de işletmeler arasındaki atık, atık ısı, yan ürün ve diğer kaynakların değişimini ya da ortak kullanımını öngören endüstriyel simbiyoz yaklaşımının yaygınlaşması da oldukça önemlidir. Bu çerçevede, şimdiye dek yapılan çalışmalar bu açıdan gelişme sağlanabilecek önemli bir potansiyelin

olduğunun da altını çizmek gerekmektedir.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin kaynak verimliliği ve sürdürülebilir üretim stratejilerinde başarıya ulaşmak için imalat sanayinde sektörel odaklı yaklaşımları benimsemesi gerekmektedir. İmalat sanayinde her sektör kaynak kullanımı ve atık oluşumu açısından farklılıklar göstereceğinden kaynak verimliliği uygulamaları için sektörel bazda çalışma yapılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte sektörler arasındaki simbiyotik ilişkiler de ortaya konularak atıkların daha etkin şekilde değerlendirilmesi sağlanmalıdır.

Türkiye'de *Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı* sektörü uzun yıllardır gerçekleştirdiği üretim faaliyetleri sayesinde önemli bilgi ve tecrübe birikimine sahiptir. Bu çalışma kapsamında da görüldüğü gibi atıkların değerlendirilmesi kapsamında hali hazırda yapılan birçok uygulama mevcuttur. Ancak sektör geneli için araştırma-geliştirme ve ürün geliştirme harcamaları halen yeterli seviyede değildir. Ülkemizde bahsi geçen uygulamaların oranını yükseltmek ve henüz var olmayan yöntemleri

uygulanabilir kılmak için çeşitli yatırım teşvikleri (vergi ve/veya KDV indirimi vb.), kredi faiz desteği imkanları, ithalat kolaylıkları ile ruhsat, izin, lisans, temdit kolaylıkları sağlanmasının imalat sanayine önemli ölçüde destek sağlayacağı düşünülmektedir.

Sektörler bazında gerçekleştirilen uygulamalar incelendiğinde pek çok farklı atık tipinin halihazırda kullanılan hammaddeler ile ikame edilebildiği görülmektedir. Ar-Ge faaliyetlerine ayrılan desteklerin artırılması ile birlikte

sektörlerdeki atık kullanım yelpazesinin de genişleyeceği öngörülmekle birlikte gelecekte önemli bir meta olması beklenen atığın sektörel ve sektörler arası kullanımı konusunda daha fazla çalışma gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede önümüzdeki dönemde çeşitli sektörlerde kullanılacak atıkların yarattığı tüm çevresel ve ekonomik etkilerin bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi ile atık yönetiminin etkin bir şekilde gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- AAKY, 2011, Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete Tarihi: 24.08.2011 Resmi Gazete Sayısı: 28035.
- Alpan, M.E., 2013, Çimento sektöründe atık ısı geri kazanımı sistemleri kullanımı, TÇMB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Daimi Komitesi, Ankara
- Amin, Sh.K., Abdel Hamid, E.M., El-Sherbiny, S.A., Sibak, H.A., Abadir, M.F., 2017, The use of sewage sludge in the production of ceramic floor tiles. Housing and Building National Research Center Journal, Article in Press.
- BGMC, 2004, Glass Recyling-Life Cycle Carbon Dioxide Emissions, British Glass Manufacturers Confederation-Enviros Consulting Ltd
- Böğürcü M., 2012, Investigation of Sectoral Priorities for Cleaner (Sustainable) Production at Regional and National Level, Environmental Engineering Department, Middle, East Technical University.
- BSTB., 2014, Cam Sektörü Raporu (2014/1), T.C., Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Genel Müdürlüğü
- BSTB, 2017, İmalat Sanayi Sürdürülebilir Üretim Göstergeleri, <http://vi.sanayi.gov.tr/sug/>, Erişim Tarihi: 02.08.2017.
- CEMBUREAU, 2016, *The European Cement Association, Activity Report 2015*, The European Cement Association, Brussels.
- Cementurk, 2013, Çimento Sektöründe Endüstriyel Simbiyoz ve Enerji Verimliliği, Kasım/Aralık sayısı.
- CWR, 2015, World Sanitaryware Production and Export, Ceramic World Review, 114.
- CWR, 2016, World Production and Consumption of Ceramic Tiles, Ceramic World Review, 118.
- Coletti, C., Maritan, L., Cultrone, G., Mazzoli, C., 2016, Use of industrial ceramic sludge in brick production: Effect on aesthetic quality and physical properties. Construction and Building Materials, 124, 219-227.
- Eczacıbaşı, 2012, Eczacıbaşı Group Sustainability Report.
- EMT, Energy Manager Training, 2006, Cogeneration of power utilising waste heat in cement manufacture: technological perspectives, Hindistan.
- Engin, Y., Tarlan M., Kumbaracıbaşı S., 2013, Çimento endüstrisinde sürdürülebilir Üretim, Hazır Beton Kongresi, İstanbul.
- EPA, 2010, Environmental Protection Agency, Available and emerging technologies for reducing greenhouse gas emissions from the portland cement industry, ABD, 2010.
- Europe EEIG, 2012, European Economic Interest Grouping, Guide to Resource Efficiency in Manufacturing.
- EUROSTAT, 2017, Manufacture of other non-metallic mineral products, <http://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/waste/database>, Erişim Tarihi: 12.07.2017.
- FEVE, 2017, The European Container Glass Federation, <http://feve.org/about-glass/statistics/>, Erişim tarihi: 01.09.2017.
- GLS, 2013, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (European Integrated Pollution Prevention

- and Control Bureau (EIPPCB) at the European Commission's Joint Research Centre – Institute for Prospective Technological Studies).
- GNR, 2013, Getting The Numbers Right Data,
<http://www.wbcdcement.org/GNR-2011/index.html>, Erişim tarihi: 10.07.2016.
- IEA/WBCS, 2009, Cement technology roadmap 2009-carbon emissions reductions up to 2050, International Energy Agency.
- IPPC, 2013, Best Available Techniques (BAT) Reference Document For The Production Of Cement, Lime And Magnesium Oxide, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU, JRC Reference Reports 83006, European Commission.
- İSO, 2014, İstanbul Sanayi Odası, Mineral Ürünler imalatı Sanayi, İSO Yayın No:2014/2.
- ITC, 2016, International Trade Center.
<http://www.intracen.org/itc/mark-et-info-tools/trade-statistics/>, Erişim tarihi: 01.09.2017.
- Kim, K., Kim, K., Hwang, J., 2016, Characterization of ceramic tiles containing LCD waste glass. *Ceramics International*, 42, 7626-7631.
- Kizinievic, O., Kizinievic, V., 2016, Utilisation of wood ash from biomass for the production of ceramic products. *Construction and Building Materials*, 127, 264-273.
- Kovacec, M., Pilipovic, A., Stefanic, N., 2011, Impact of Glass Cullet on the Consumption of Energy and Environment in the Production of Glass Packaging Material. *Recent Researches in Chemistry, Biology, Environment and Culture*, 187-192.
- Mezquita, A., Boix, J., Monfort, E., & Mallol, G., 2014, Energy saving in ceramic tile kilns: Cooling gas heat recovery, *Applied Thermal Engineering*, 102-110.
- Nur Kireç, 2014, Çeşitli Atıkların Kireç Fırınlarında Yakıt Olarak Değerlendirilmesi, Adana.
- Rodrigues, L.P., Holanda, J.N.F., 2015, Recycling of Water Treatment Plant Waste for Production of Soil-Cement Bricks. *Procedia Materials Science*, 8, 197-202.
- Sani, R., Nzihou, A., 2017, Production of clay ceramics using agricultural wastes: Study of properties, energy savings and environmental indicators. *Applied Clay Science*, 146, 106-114.
- Schettiono, M.A.S., Holanda, J.N.F, 2015, Characterization of sugarcane bagasse ash waste for Its Use in Ceramic Floor Tile. *Procedia Materials Science*, 8, 190-196.
- Senthmarai, R.M., Manoharan, P.D., Gobinath, D., 2011, Concrete made from ceramic industry waste: Durability properties. *Construction and Building Materials*, 25, 2413-2419.
- Sindram M., Pettiau X., Barthe O. 2008, Flue Gas Treatment in the Ceramic Industry.
- Stolboushkin, A.Y., Ivanov, A.I., Fomina, O.A., 2016, Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning. *Procedia Engineering*, 150, 1496-1502.
- SK, Sürdürülebilir Kalkınma, 2012, Türkiye'de Sürdürülebilir Kalkınma Raporu: Geleceği Sahiplenmek Sürdürülebilir Kalkınma En İyi Uygulamaları, Kalkınma Bakanlığı, Haziran 2012, Ankara.

- Şenyurt B., 2012, Çimento Sektöründe Alternatif Yakıt Kullanımı-Sorunlar, Ankara, <http://www.tcma.org.tr/images/files/Beril%20Senyurt%20TCMB%20sunum.pdf>, Erişim tarihi: 09.09.2017.
- Şişecam, 2015, 2015 Şişecam Faaliyet Raporu, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.
- Şişecam., 2017, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş., <http://www.sisecam.com.tr/tr/faaliyet-alanlarimiz/diger/enerji>, Erişim tarihi: 08.09.2017
- Tarhan, B., Tarhan, M., Aydın, T., 2017, Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production. Ceramics International, 3107-3112.
- Tarhan, B., Tarhan, M., Aydın, T., 2016, The effects of fine fire clay sanitaryware wastes on ceramic wall tiles. Ceramics International, 42, 17110-17115.
- Teo, P.T., Seman, A.A., Basu, P., Sharif, N.M., 2016, Characterization of EAF Steel Slag Waste: The Potential Green Resource for Ceramic Tile Production. Procedia Chemistry, 19, 842-846.
- TÇMB, 2017a, Çimento istatistikleri, <http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&cntID=27>, Erişim tarihi: 09.09.2017.
- TÇMB, 2017b, Belediye Atıklarının Çimento Sektöründe Evsel ATY Olarak Kullanılması, 2017 Atık Yönetimi Sempozyumu, Atıktan Enerji Üretimi Oturumu.
- TOBB, 2012, Türkiye Cam ve Cam Ürünleri Sanayi Meclisi Sektör Raporu, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
- TTGV, 2014, İskenderun Körfezi'nde Endüstriyel Simbiyoz Projesi Uygulama Aşaması 2011-2014: Sonuçlar ve Kazanımlar.
- TÜİK, 2015, National Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2015 Annual Report for submission under the "United Nations Framework Convention on Climate Change" TÜİK Teknik Rapor
- TÜİK, 2016a, İmalat Sanayi Atık Göstergeleri, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019, Erişim Tarihi: 11.07.2017.
- TÜİK, 2016b, İmalat Sanayi Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri Basın Odası Haberleri, http://tuik.gov.tr/basinOdasi/haberler/2016_13_20160203.pdf, Erişim Tarihi: 11.07.2017.
- TÜİK, 2016c, Sanayi Ürünleri Yıllık Üretim ve Satış İstatistikleri (2005-2015).
- Türevmak, 2015, Atık ısı geri kazanım grubu çalışmaları, http://turevmak.com.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=69, Erişim tarihi: 09.09.2017.
- WWF, World Wildlife Fund, 2008, A blueprint for a climate friendly cement industry, İsviçre, 2008, http://assets.panda.org/downloads/english_report_lr_pdf.pdf, Erişim tarihi: 09.09.2017.
- YEM, 2016, Türk Yapı Sektörü Raporu, 2016. Yapı Endüstri Merkezi.
- Zhu, Q., 2011, CO₂ Abatement in the Cement Industry, IEA Clean Coal Center.