



**Research Article / Araştırma Makalesi**

**RESEARCHING FOR THE UTILIZATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE AS AN  
ALTERNATIVE FUEL IN CEMENT KILNS**

**Şenol YILDIZ<sup>1</sup>, Volkan ENÇ<sup>\*1</sup>, Fatih SALTABAŞ<sup>1</sup>, Mustafa KARA<sup>2</sup>, Esin GÜNAY<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>İSTAÇ A.Ş., İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerle. San. ve Tic. A.Ş, İSTANBUL

<sup>2</sup>TÜBİTAK MAM, Çevre Enstitüsü, Gebze-KOCAELİ

**Received/Geliş: 31.08.2009 Revised/Düzeltilme: 22.06.2010 Accepted/Kabul: 09.07.2010**

**ABSTRACT**

Solid Municipal Waste (MSW) is one of the important environmental problems arising from rapid urbanization and industrialization. On the average, 14000 tons of solid waste is generated in İstanbul every day, which adds up to approximately 5 million tons per year and 15% of this MSW is recyclable. Packing material is the most rapidly increasing portion of the MSW. In case of depositing such material in the landfill, the disposing costs and risks for the underwater reserves, soil and air pollution are increasing.

Cement industry has an important potential for supplying preferable solutions to the waste management. Utilization of wastes having calorific value as alternative fuels is a widespread application in the developed countries. Some of the cement plants in EU countries have increased their alternative fuel utilization rate up to 60-70%. This application is accepted as an environmental friendly solution.

İSTAÇ A.Ş – AKÇANSA and TÜBİTAK-MAM has decided to cooperate for a project in order to investigate the applicability of the technology of utilization of MSW in cement industry in Turkey. There are a variety of examples for such applications in Europe. However, the characteristics of Turkish MSW may differ from the European countries and standard solutions may fail. Representative sampling of MSW, testing the samples, determination of correct equipment, burning tests in pilot cement kilns and real cement kilns and determination of the effects of the Refuse Derived Fuel (RDF) on product quality is in the scope of this project.

**Keywords:** Cement kilns, municipal solid waste, recovery, RDF.

**EVSEL KATI ATIKLARIN ÇİMENTO FIRINLARINDA EK YAKIT OLARAK KULLANIMININ  
ARAŞTIRILMASI**

**ÖZET**

Dünyamızda hızla artan şehirleşme ve endüstrileşme ile birlikte ortaya çıkan en önemli çevre problemlerinden biri de katı atıklardır. İstanbul'da günlük ortalama 14 bin ton evsel katı atık üretilmektedir. Yıllık üretilen 5 milyon ton evsel katı atığın yüzde 12-15'ini geri kazanılabilir atıklar oluşturmaktadır. Geri kazanılabilir atıkların büyük bir çoğunluğunu oluşturan ambalaj atıkları, katı atık miktarını sürekli artırırken, bu maddelerin bertarafı için oluşan maliyetler giderek yükselmektedir. Bu tür atıkların depo alanlarına gömülmesi durumunda yer altı ve yerüstü suları, toprak ve hava için önemli olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır.

Çimento Endüstrisi atık yönetimine uygun çözümler getirme yönünde önemli bir potansiyele sahiptir. Isıl değer taşıyan atıkların çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak kullanılarak bertaraf edilmesi(RDF Teknolojileri) gelişmiş ülkelerde yaygın bir kullanıma sahiptir. AB ülkelerindeki bazı fabrikalarda alternatif yakıt kullanım oranı % 60-70 seviyelerine ulaşmıştır. Bu yöntem çevre açısından en uygun yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Bu teknolojinin Türkiye'de uygulanabilirliğinin araştırılması için İSTAÇ A.Ş – AKÇANSA ve TÜBİTAK MAM işbirliği ile bir proje gerçekleştirilmiştir. Avrupa'nın çeşitli şehirlerinde evsel katı atıkların alternatif yakıtla dönüştürülmesi amacıyla yönelik tesisler mevcuttur. Ancak, Türkiye evsel katı atık karakterizasyonu Avrupa ülkelerinden farklı olduğu için bu tesislerin aynen kurulması halinde olumlu sonuç alınamayabileceği düşünülmektedir. Bu proje kapsamında atıklardan temsil edici örneklerin alınması ve analizi, makine ve teçhizatın seçimi, fırında yakılacak fraksiyonun kimyasal analizinin yapılması ve pilot döner fırın prosesine etkilerinin değerlendirilmesi, döner fırından alınan sonuçlara göre bire bir ölçekte çimento fırınında denemelerin yapılması ve bu hesaplardan hareketle kullanılabilecek miktarın belirlenmesi öngörülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Çimento fırınları, evsel katı atık, geri kazanım, RDF.

\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: [venc@istac.com.tr](mailto:venc@istac.com.tr), tel: (212) 230 60 41 / 219

## 1. GİRİŞ

Yaşamın doğal ve kaçınılmaz sonucu olan atıklar ve atıkların yönetimi, toplumların yıllardır gözden uzak olsun anlayışıyla davrandıkları konuların başında gelmiş; insanlık, uzun süre, yaptıklarıyla doğal dengeyi bozabileceğini düşünememiştir. Nüfus artışı, teknolojik gelişme, sanayileşme, kentleşme, hızla artan ve farklılaşan tüketim ile ortaya çıkan katı atıklar, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileriyle günümüzde önemli çevre sorunlarından biri olmaktadır. Katı atıkların çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri ile birlikte yönetim sorunu olarak ele alınması atıkların toplanması, taşınması ve uzaklaştırılması hizmetlerinin yaşanan hızlı kentleşme ve endüstrileşme ile birlikte geliştirilmesine, kurum ve kuruluşların bilinçlendirilerek güçlendirilmesine yeni yönetsel yaklaşım ve modellerin uygulanmasına bağlıdır [1]. Türkiye'de bir kişi 1 ayda yaklaşık 45 kg çöp çıkarmaktadır. Bu rakam AB ülkelerindeyse 25 kg'ye kadar düşmektedir. Hem de 25 kg atığın yaklaşık yarısı geri dönüşümlü olarak tekrar tekrar kullanılmaktadır. İstanbul'da günlük toplanan 14 bin ton çöpün depolama alanlarına yönlendirilmesinin ve bertaraf edilmesinin çok ciddi bir maliyet oluşturmaktadır. Çöpü geri dönüştürebildiğimiz ölçekte ekonomiye katkısının büyük olması söz konusudur.

Türkiye'nin KYOTO protokolüne katıldığı şu günlerde emisyon sorunu ve alternatif yakıt kullanımı daha da önem kazanmaktadır. Kyoto Protokolü gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını 2008–2012 yılları arasında, 1990 yılına göre % 5,2 oranında düşürmelerini hedeflenmektedir. Kyoto Protokolü'nün temel amacı, atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun, iklimi tehdit etmeyecek seviyelerde dengede kalmasını sağlamaktır. Kyoto Protokolü'ne göre gelişmiş ülkeler, 2008 ile 2012 yılları arasında sera gazı emisyonlarını 1990 yılına göre % 5,2 düşürebilmek için demir-çelik, çimento, kâğıt, enerji santralleri gibi belirli endüstri kuruluşlarına sınırlamalar koymuştur. Bu sınırlamalar, Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanmaya başlanmış olup, sera gazı emisyonları yüksek olan ülkelerde de devreye alınmaya çalışılmaktadır. Alternatif yakıtların çimento fırınlarında ek yakıt olarak kullanılması durumunda hem fosil yakıtların daha az tüketilmesi hem de CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması hedeflenmektedir [2].

İstanbul'da İlçe belediyeleri tarafından toplanan evsel katı atıklar aktarma istasyonlarına getirilmekte, sıkıştırılmakta, sonrasında bir kısmı depolama alanlarına, bir kısmı ise kompost ve geri kazanım tesislerine gönderilmektedir. Tesise getirilen atıkların organik kısmı belirli işlemlerden geçirildikten sonra kompost haline getirilmekte, geri dönüşümü mümkün olmayan atıklar ise depolama alanlarına gönderilmektedir. Bu da ilave nakliye ve depolama masrafları oluşturmaktadır. Bu sorunlara çözüm getirebilecek bir alternatif; geri kazanımı uygun olmayan atıkların alternatif yakıt olarak kullanılmasıdır.

RDF (refuse-derived fuel) evsel yada endüstriyel katı atıklar, geri kazanılabilen malzemeler (plastik, cam, metal vb.) ayrıştırıldıktan sonra geriye kalan yanabilir malzemeden elde edilen alternatif bir tür katı yakıttır. Yüksek kalorifik değere sahip bu yakıt çimento fabrikalarında, enerji üretim tesislerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. RDF'nin kalorifik değeri 17MJ/kg dir.[3] Kalorifik değerinin yüksek olması yakıt karakteristiğinde bulunan plastik, kâğıt gibi bileşenlerden kaynaklanır.

## 2. İSTANBUL'DA RDF UYGULAMALARI

İBB Kompost ve Geri Kazanım Tesisi ayırma ünitesinde ayrılan geri dönüştürülemeyen atıklardan RDF üretilmesi ve bu malzemenin çimento fırınlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğinin araştırılması ve kompost tesislerinde maliyet oluşturan etkenlerin AR-GE desteğiyle ürün haline dönüştürülmesi amacıyla yürütülen proje kapsamında, Kemerburgaz Kompost Tesisi'ne RDF tesisi kurulmuştur.

## 2.1. Mevcut Durum

İBB iktisadi teşebbüsü olan İSTAÇ A.Ş. tarafından işletilen Kemberburgaz Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nde günde 700 ton katı atık işlenerek, bir taraftan üretilen katı atıklar bertaraf edilirken, diğer taraftan bu atıklardan yeni bir ekonomik değer üretilmektedir. Tesise gelen katı atıklar, eleklerle verilerek 80 mm altı organik kabul edilen malzeme, fermantasyon ünitesine kompostlaştırma amacıyla gönderilmekte, 80 mm üzeri kalan malzeme ise geri kazanım ünitesine gönderilmektedir. Bu atıklar geri kazanım bantlarına alınarak içerisindeki geri dönüştürülebilir plastik, metal, kağıt vb. malzemeler ayıklanmakta ve preslenerek ekonomiye kazandırılmaktadır. Ayırma ünitesinde ayrılan bu atıkların dışında kalan atıklar biriktirilmekte, düzenli depolama alanlarına gönderilmekte ve yoğun işletme ve hacim yükü oluşturmaktaydı.

## 2.2. RDF(Atıktan Türetilmiş Yakıt) Tesisi

Geri kazanım bandından çıkan plastik poşetler, tekstil atıkları, çocuk bezleri, kâğıt atıkları, tahta parçaları, plastik vb. atıklar 3100 m<sup>2</sup>'lik kapalı alana sahip olan RDF Tesisinde ürüne dönüştürülmekte ve çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılabilir. [4]



Şekil 1. RDF tesisi genel görünüm

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Proje kapsamında öncelikle ortaya çıkacak ürün olan RDF malzemenin içeriğini belirlemek amacıyla ayıklama ünitesinden çıkan atıklardan belirli oranlarda temsil edici numuneler alınarak karakterizasyon, nem, kalorifik değer analizleri yapılmıştır. İlk analizlerde elle ayıklama ünitesinden çıkan atıkların %25-33 oranında organik madde muhtevası olduğu belirlenmişti. Bu atıkların büyük bir kısmının kaynağının ise döner tambur eleklerde parçalanmadan geçen açılmamış poşetler olduğu tespit edilmiştir. Döner tambur eleklerde tasarım çalışması ile bıçak sayısı artırılarak tekrar karakterizasyon çalışmaları yapılmış ve Çizelge 1'de özetlenmiştir. Alınan önlemler ile organik atık miktarı %33 seviyelerinden %24'lük seviyeye düşürülmüştür.

**Çizelge 1.** İSTAÇ A.Ş. kompost tesisine gelen atık karakterizasyonu

| Atık Tipi      | ANALİZ-1 | ANALİZ-2 | ANALİZ-3 | ANALİZ-4 | ORTALAMA |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tekstil        | 24,9     | 11,4     | 9,2      | 17,1     | 16       |
| Kağıt          | 24,4     | 29,1     | 14,0     | 25,4     | 23       |
| Organik Madde  | 17,1     | 24,3     | 33,7     | 22       | 24       |
| Poşet          | 14,8     | 14,8     | 10,9     | 15,2     | 14       |
| Çocuk Bezi     | 6,20     | 8,8      | 6,7      | 7        | 7,2      |
| Diğer Yanabil. | 3,13     | 3,0      | 9,4      | 3,7      | 4,8      |
| PET-Plastik    | 2,05     | 1,9      | 2,4      | 3,2      | 2,4      |
| Tahta          | 1,88     | 1,5      | 1,7      | 1,9      | 1,8      |
| Kemik          | 1,14     | 0,0      | 0,9      | 0,3      | 0,6      |
| Tetrapak       | 0,74     | 1,3      | 1,2      | 1,2      | 1,1      |
| Çuval          | 0,31     | 0,0      | 0,1      | 0,5      | 0,2      |
| Teneke         | 0,28     | 0,7      | 3,2      | 0,6      | 1,2      |
| Cam            | 0,20     | 0,6      | 0,5      | 0,7      | 0,5      |
| Alüminyum      | 0,14     | 0,0      | 0,2      | 0,4      | 0,2      |
| Taş            | 2,74     | 2,7      | 5,9      | 0,8      | 3        |

Alternatif yakıtların proste kullanılan yakıtlarla hangi oranlarda karıştırılacağıının tespitinde nem ve kalorifik değer parametreleri kullanılmaktadır. Bu kapsamda geri kazanım bandından çıkan atıklarda ölçülen kalorifik değer tayinleri Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Kalorifik değer analiz sonuçları

| Tarih      | Kalorifik Değer(Üst) (kcal/kg) |
|------------|--------------------------------|
| 31.01.2007 | 4307                           |
| 01.03.2007 | 4567                           |
| 03.04.2007 | 4904                           |
| 02.05.2007 | 5457                           |
| 07.06.2007 | 4369                           |
| ORTALAMA   | 4721                           |

### 3.1. Üretilen RDF’in Özellikleri

Tesiste organik kısım ile geri kazanılabilen atıklar ayrıldıktan sonra RDF tesisine gelen ve çıkan atık kompozisyonu Çizelge 3’de verilmiştir. Ürün nem değeri %41 olarak ölçülmüştür. Çizelge 4 ve 5’de ise RDF’nin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Ülkemizde RDF ürünün fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından herhangi bir sınır bulunmamaktadır. Almanya’da bu konuda önemli aşamalar kaydedildiği için, RDF’nin özellikleri açısından sınır değerler getirilmiştir ve örnek olması açısından üretilen RDF’nin özellikleri, Almanya’daki MVW Lechtenberg tesisinde üretilen RDF’nin sınır değerler ile kıyaslanmıştır.

Çizelge 3. Tesise gelen atık ve RDF'yi oluşturan atığın karakterizasyonu

| Atık Tipi          | RDF Tesisi Gelen Atık Dağılımı(%) | Oluşan RDF'in Dağılımı (%) |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Tekstil            | 17,1                              | 66                         |
| Kağıt              | 25,4                              | 17,1                       |
| Organik madde      | 22                                | 0                          |
| Poşet              | 15,22                             | 13,3                       |
| Çocuk bezi         | 7                                 | 0                          |
| Diğer yanabilirler | 3,7                               | 0                          |
| PET-Plastik        | 3,2                               | 3,6                        |
| Tahta              | 1,9                               | 0                          |
| Kemik              | 0,3                               | 0                          |
| Tetrapak           | 1,2                               | 0                          |
| Çuval              | 0,5                               | 0                          |
| Teneke             | 0,6                               | 0                          |
| Cam                | 0,7                               | 0                          |
| Alüminyum          | 0,4                               | 0                          |
| Taş                | 0,8                               | 0                          |

Çizelge 4. RDF'nin fiziksel özellikleri

| Parametreler                 | RDF Analizi | Standartlar[5] |
|------------------------------|-------------|----------------|
| Total Carbon, %              | 58          |                |
| İnorganik Karbon, %          | 0,5         |                |
| Organik Karbon, %            | 57,5        |                |
| Kül, %                       | 7,7         | % 8-12         |
| Uçucu bileşikler, %          | 92,3        | % 50-80        |
| pH                           | 6,7         |                |
| Nem, %                       | 41          | % < 20         |
| Alt kalorifik değer, kcal/kg | 3000        |                |
| Kükürt, %                    | 0,46        | % <0,5         |
| Klor, %                      | 0,9519      | % <1           |

Çizelge 5. RDF eser element analizi

| Element  | İSTAC'da Yapılan RDF Analizi (ppm) | Kuru Madde Ağırlıkça Sınır Değerler [5] (ppm) |
|----------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Arsenik  | 0,9                                | 10                                            |
| Kadmiyum | 1,6                                | 5                                             |
| Bakır    | 18,4                               | 150                                           |
| Civa     | 0,3                                | 1                                             |
| Nikel    | 54,6                               | 50                                            |
| Kurşun   | 26,5                               | 100                                           |
| Antimon  | 2,9                                | 20                                            |

### 3.2. Pilot Bazlı Deneme Çalışmaları

Proje kapsamında pilot bazlı denemeler için pilot çimento döner fırını imal edilmiştir.



Şekil 2. Pilot çimento döner fırını

Döner fırının tavlama çalışması tamamlandıktan sonra farin beslenerek klinker üretim çalışmasına başlanmıştır. Klinker üretimi esnasında ön ısıtma ve pişirim fırınların çeşitli parametreleri sabitlenmiş ve Çizelge 6'da verilmiştir. Klinkerin oluşumu için dansite deneyi yapılmıştır.

Çizelge 6. Pilot döner fırında deney için kullanılan parametreler

|                                            |                                               |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Numune silosu hacmi                        | 250 litre                                     |
| Farin besleme miktarı ve klinker üretimi   | 200 kg/h – 125 kg/h                           |
| Ön ısıtma ve pişirim fırının dönüş hızları | 4 d/d - 3,2 d/d                               |
| Ön ısıtma fırının ölçüleri                 | Boy: 4000 mm, İç çap: 275 mm, Dış çap: 325 mm |
| Pişirim ısıtma fırının ölçüleri            | Boy: 6000 mm, İç çap: 380 mm, Dış çap: 700 mm |

### 3.2.1. Deney Sonuçları

İSTAÇ A.Ş. tesislerinde bulunan pilot döner fırın kullanılarak değişik RDF oranlarında klinker üretilmiş ve klinkerin kimyasal, mineralojik analizi yapılmış sonuçlar Çizelge 7 ve 8'de verilmiştir. Klinker üretimi esnasında yapılan dansite sonucuna göre tam olarak klinker üretildiği görülmüştür. Yapılan kimyasal analiz ile bulunan değerlerin Portland çimentosundaki sınır değerlerde olduğu görülmüş ve yapılan deneysel çalışma sonrasında Portland çimentosu klinkerinin üretildiği anlaşılmıştır. Çizelge 8'de görüldüğü gibi, mineralojik açıdan dört ana bileşen değerlerinin de Portland çimentosundaki belirtilen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 3. %20 RDF + %80 LPG kullanılarak üretilen klinker numunesi

Farine değişik oranlarda RDF ilavesi ile klinkerin kimyasal ve mineralojik analizleri açısından herhangi bir sorun teşkil edecek durum gözlemlenmemiştir. RDF'nin bileşiminden kaynaklanan klor artışının beklenen düzeyde olduğu ve sınır değerinin altında olduğu görülmüştür.

**Çizelge 7.** Pilot döner fırında üretilen klinkerin kimyasal analiz özet sonuçları

| Bileşenler ve Modüller         | MİKTAR (%)          |                    |                     |                     |                     |                  |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
|                                | % 0 RDF + % 100 LPG | % 5 RDF + % 95 LPG | % 10 RDF + % 90 LPG | % 15 RDF + % 85 LPG | % 20 RDF + % 80 LPG | Sınır Değerler * |
| CaO                            | 66,28               | 66,24              | 65,92               | 66,08               | 66,37               | 60 – 67          |
| SiO <sub>2</sub>               | 21,04               | 20,90              | 21,31               | 21,26               | 21,13               | 17 – 25          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,68                | 5,66               | 5,38                | 5,67                | 5,83                | 3 – 8            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,96                | 3,94               | 3,91                | 3,92                | 3,98                | 0,5 – 6          |
| MgO                            | 1,23                | 1,22               | 1,19                | 1,22                | 1,24                | 0,1 – 4          |
| K <sub>2</sub> O               | 0,27                | 0,28               | 0,26                | 0,27                | 0,27                | 0,2 – 1,3        |
| Cl                             | 0,0102              | 0,0125             | 0,0256              | 0,0242              | 0,0228              | Maks. 0,1        |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,22                | 0,23               | 0,24                | 0,24                | 0,25                | 0,2 – 1,3        |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,28                | 0,28               | 0,28                | 0,28                | 0,28                |                  |
| SO <sub>3</sub>                | 0,14                | 0,13               | 0,13                | 0,13                | 0,13                | 1–3              |
| MnO                            | 0,05                | 0,05               | 0,05                | 0,05                | 0,05                |                  |
| Kireç Stand.                   | 97,19               | 97,75              | 95,84               | 96,09               | 96,70               | % 92–96          |
| Kir. Doyg. F.                  | 0,97                | 0,98               | 0,96                | 0,96                | 0,97                |                  |
| Silis Modülü                   | 2,18                | 2,18               | 2,25                | 2,21                | 2,15                | 2,3–2,7          |
| Alüm. Mod.                     | 1,43                | 1,43               | 1,43                | 1,45                | 1,46                | 1,3–1,6          |
| Hidr.Modül                     | 2,16                | 2,17               | 2,14                | 2,14                | 2,15                |                  |
| Serb. Kireç                    | 2,82                | 3,82               | 2,76                | 3,06                | 3,60                | Maks. 2          |
| Dansite (g/l)                  | 1280                | 1250               | 1350                | 1210                | 1190                | 1200–1300        |
| Likit Faz (%)                  | 27,81               | 27,70              | 27,34               | 27,71               | 28,37               | 25–27            |

(\*)Prof. Dr. Turhan Y. Erdoğan, Betonlu Oluşturan Malzemeler, Çimentolar, TÇMB adlı kitap Portland Çimentosunu Oluşturan Oksit ve Miktarları Çizelgesi[6]

**Çizelge 8.** Pilot döner fırında üretilen klinkerin ana bileşenlerinin özet sonuçları

| Modüller | MİKTAR (%)          |                    |                     |                     |                     |                               |
|----------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
|          | % 0 RDF + % 100 LPG | % 5 RDF + % 95 LPG | % 10 RDF + % 90 LPG | % 15 RDF + % 85 LPG | % 20 RDF + % 80 LPG | AKÇANSAA.Ş. Değerleri (*) (%) |
| C3S      | 54,20               | 51,23              | 51,73               | 50,88               | 49,71               | 51,33                         |
| C2S      | 19,44               | 21,28              | 22,06               | 22,56               | 23,08               | 20,60                         |
| C3A      | 8,35                | 8,31               | 8,18                | 8,40                | 8,71                | 6,36                          |
| C4AF     | 12,06               | 12,00              | 11,89               | 11,94               | 12,11               | 11,25                         |

(\*)AKÇANSAA.Ş.'nin ticari olarak ürettiği CEM I 42,5 R Portland çimentosu değerleri (Haziran 2008 ortalaması)

### 3.3. Endüstriyel Bazlı Deneme Çalışmaları

AKÇANSA A.Ş. Büyükçekmece çimento fabrikası 1 numaralı döner fırınında farklı oranlarda RDF kullanılarak klinker üretimi yapılmış ve kullanılan RDF'nin klinker üzerine etkisi araştırılmıştır. Klinkerden çimento üretilmiş, bu çimentonun fiziksel özellikleri belirlenerek TS 197/1 de belirtilen CEM I standart değerlerle kıyaslanmıştır. Her bir RDF oranındaki deneysel çalışmalar 2 gün sürdüğünden, klinker üretimi için gerekli olan girdilerden (farin, RDF, petrokok) periyodik olarak numune alınmış ve girdilerin özellikleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar ve elde edilen kimyasal, fiziksel, mineralojik ölçüm sonuçları Çizelge 9 ve 10'da özet olarak verilmiştir. Burada RDF oranı esas alınmış, her bir RDF oranı kullanılarak üretilen klinkere ait sonuçlar verilmiştir. Her bir deney 2 gün sürmüş ve günde 24 saat çalışılmıştır. Bu süre zarfında farin numunesi her 2 saatte bir otomatik numune alıcısından, klinker numunesi her 2 saatte bir spot olarak, RDF numunesi her 2 saatte bir spot olarak ve petrokok numunesi her vardiyada bir kez numune alıcısından alınmıştır. Alınan numuneler paçal hale getirilmiş ve konileme dörtleme usulü ile azaltılarak gerekli testlere tabi tutulmuştur.

**Çizelge 9.** AKÇANSA A.Ş. Döner Fırınında Üretilen Klinkerin Kimyasal Analiz Özet Sonuçları

| Bileşenler ve Modüller         | MİKTAR(%)                                    |                                             |                                              |                                              |                          |
|--------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|
|                                | % 0 RDF +<br>% 100<br>Petrokok<br>02.06.2008 | % 8 RDF +<br>% 92<br>Petrokok<br>04.06.2008 | % 12 RDF +<br>% 88<br>Petrokok<br>17.06.2008 | % 15 RDF +<br>% 85<br>Petrokok<br>07.06.2008 | Sınır<br>Değerler<br>(*) |
| CaO                            | 66,24                                        | 66,29                                       | 66,41                                        | 66,61                                        | 60 – 67                  |
| SiO <sub>2</sub>               | 21,27                                        | 20,95                                       | 20,88                                        | 21,09                                        | 17 – 25                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,83                                         | 4,81                                        | 4,89                                         | 4,84                                         | 3 – 8                    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,57                                         | 3,62                                        | 3,64                                         | 3,53                                         | 0,5 – 6                  |
| MgO                            | 1,19                                         | 1,17                                        | 1,38                                         | 1,15                                         | 0,1 – 4                  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,81                                         | 0,80                                        | 0,77                                         | 0,82                                         | 0,2 – 1,3                |
| Cl                             | 0,0268                                       | 0,0275                                      | 0,0366                                       | 0,0314                                       | 0,1                      |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,3576                                       | 0,3500                                      | 0,4233                                       | 0,3642                                       | 0,2 – 1,3                |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,29                                         | 0,29                                        | 0,30                                         | 0,29                                         |                          |
| SO <sub>3</sub>                | 1,14                                         | 1,18                                        | 1,07                                         | 1,09                                         | 1–3                      |
| MnO                            | 0,05                                         | 0,05                                        | 0,05                                         | 0,05                                         |                          |
| Kireç Standardı<br>(K.S.T.)    | 98,10                                        | 99,41                                       | 99,72                                        | 99,36                                        | % 92–96                  |
| Kireç Doyg.<br>Faktörü(L.S.F.) | 0,97                                         | 0,98                                        | 0,96                                         | 0,98                                         |                          |
| Silis Mod (S.M)                | 2,53                                         | 2,49                                        | 2,45                                         | 2,52                                         | 2,3–2,7                  |
| Al Mod.(T.M)                   | 1,35                                         | 1,33                                        | 1,34                                         | 1,37                                         | 1,3–1,6                  |
| Hidr. Mod. (H.M.)              | 2,23                                         | 2,26                                        | 2,26                                         | 2,26                                         |                          |
| Serbest Kireç                  | 1,86                                         | 1,60                                        | 1,76                                         | 1,78                                         | Maks. 2                  |
| Dansite (g/l)                  | 1284                                         | 1244                                        | 1249                                         | 1290                                         | 1200–1300                |
| Likit Faz (%)                  | 26,00                                        | 26,06                                       | 26,49                                        | 25,90                                        | 25–27                    |

(\*) Prof. Dr. Turhan Y. Erdoğan, Betonlu Oluşturan Malzemeler, Çimentolar, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, TÇMB adlı kitaptaki Portland Çimentosunu Oluşturan Oksit ve Miktarları Çizelgesi

**Çizelge 10.** AKÇANSA A.Ş. Döner Fırınında Üretilen Klinkerin Ana Bileşenlerinin Özet Sonuçları

| Ana Modüller      | MİKTAR(%)                                    |                                             |                                              |                                              |
|-------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                   | % 0 RDF +<br>% 100<br>Petrokok<br>02.06.2008 | % 8 RDF +<br>% 92<br>Petrokok<br>04.06.2008 | % 12 RDF +<br>% 88<br>Petrokok<br>17.06.2008 | % 15 RDF +<br>% 85<br>Petrokok<br>07.06.2008 |
| C <sub>3</sub> S  | 59,70                                        | 63,32                                       | 63,40                                        | 62,97                                        |
| C <sub>2</sub> S  | 15,94                                        | 12,29                                       | 12,03                                        | 12,95                                        |
| C <sub>3</sub> A  | 6,75                                         | 6,61                                        | 6,80                                         | 6,85                                         |
| C <sub>4</sub> AF | 10,85                                        | 11,02                                       | 11,07                                        | 10,75                                        |

Klinker üretimi esnasında yapılan dansite sonucuna göre klinker üretilmiş olduğu görülmüştür. Daha sonra yapılan kimyasal analiz ile bulunan değerlerin Portland çimentosundaki sınır değerlerde olduğu görülmüş ve yapılan deneysel çalışma sonrasında Portland çimentosu klinkerinin üretildiği anlaşılmıştır. Çizelge 10'da görüldüğü gibi, mineralojik açıdan dört ana bileşen değerlerinin normal Portland çimentosundaki belirtilen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür. RDF'nin bileşiminden kaynaklanan klor artışının beklenen düzeyde olduğu, buna rağmen sınır değerinin altında bulunduğu görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada evsel atıklardan üretilen RDF malzemenin çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yürütülen çalışmalar sonucunda RDF malzeme beslemesi yapıldığında klinker kalitesinin standartlara uygun olduğu besleme yüzdelерinin tesis teknolojisi ile de yakından alakalı olmak kaydıyla %20 seviyelerine kadar problemsiz ve çimento fabrikalarına benzer olduğu tespit edilmiştir.

Çimento fabrikalarında kullanılan ek yakıtlarda kalorifik değer, Cl içeriği, nem en önemli parametrelerdir. Bu parametreler dikkate alındığında ürün üst kalorifik değerinin(5300 kcal/kg) literatürde belirtilen değerlerin üzerinde olduğu, Cl içeriğinin %0,9 ile literatür değerinin altında kaldığı, Nem değerinin %38 ile literatür değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda Türkiye'deki karışık atıktan RDF üretiminin gerçekleştirilebileceği, üretilen RDF'nin rahatlıkla çimento fabrikalarında %20 oranına kadar kullanılabileceği tespit edilmiş ancak söz konusu atığın yüksek nem içeriğinin prosese bağlı olarak sürekli kontrol altında tutulması gerektiği sonucuna varılmıştır.

#### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Kara, M., Günay, E., Tabak, Y., Yıldız, Ş., Enç, V., Pekin, A.V., Durgut, U., "Kentsel Katı Atıktan Türetilmiş Alternatif Yakıtın Çimento Fabrikalarında İkincil Yakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması", 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu, s. 417-423, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ekim 2008.
- [2] Kara, M., Günay, E., Tabak, Y., Yıldız, Ş., "İstanbul'un Çöpleri Çimento Fırınlarında Ek Yakıtı Dönüşüyor", Bilim ve Teknik Dergisi, 68-71, Haziran 2009
- [3] Pekin A. V., "Çimento Sanayinde Alternatif Yakıt Kullanımı"
- [4] Yıldız Ş., Enç V., Kara M., Günay E., Evsel Atıklardan Çimento Fabrikaları İçin Alternatif Yakıt Elde Edilmesi Olanaklarının Araştırılması, TÜRKAY 2007 AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, İstanbul, 28 – 31 Mayıs 2007

- [5] Lechtenberg D., MVW Lechtenberg, [www.lechtenberg-partner.de](http://www.lechtenberg-partner.de).
- [6] Prof. Dr. Turhan Y. Erdoğan, Betonun Oluşturan Malzemeler, Çimentolar, TÇMB adlı kitap Portland Çimentosunu Oluşturan Oksit ve Miktarları Çizelgesi.

Pdf Source: [Sigma](#)