



Evsel Katı Atık Termal Bertaraf Yöntemleri ve İstanbul'a Uygulanabilirliği

Fatih Saltabaş, Yavuz Soysal, Şenol Yıldız, Vahit Balahorli

İSTAÇ A.Ş. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye

Öze

Tüketim alışkanlıklarının değişmesi neticesinde kişi başına üretilen katı atık miktarı her geçen gün artmaktadır. Evsel atık yakma Avrupa'da katı atık bertarafında 50 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Depolama alanları için arazi bulma imkânlarının sınırlı olduğu ülkelerde tercih edilmekte olan termal yöntemlerin temel faydası, atıkların kütleli ve hacimsel olarak azaltılmasıdır. Avrupa Birliği ülkelerinde 400'e yakın katı atık yakma tesisinde her yıl 59 milyon ton evsel katı atık termal yollarla bertaraf edilmektedir. ABD de ise evsel atıkların yakılarak bertaraf edildiği 87 adet atık yakma tesisi bulunmaktadır.

Ülkemizin AB'ye uyum süreci çerçevesinde katı atıkların depolanarak bertaraf edilmesi yerine, çevreye verilecek olan zararların minimize edilmesi ve atık bertarafına ekonomik bir anlam kazandırılması maksadıyla yeni çözümlerin bulunması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, özellikle gelişmiş ülkelerde evsel katı atık bertaraf yöntemi olarak yaygın bir şekilde kullanılan atık yakma teknolojisinin dünyadaki genel durumu ve İstanbul'a uygulanabilirliği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık Yakma, Termal Atık Bertaraf Yöntemleri

Municipal Solid Waste Thermal Disposal Methods and Its Applicability in Istanbul

Abstract

Solid waste generation per capita is increasing daily as a result of changes in the consumption habits. Solid waste incineration is being used across Europe for 50 years. The basic advantage of thermal methods which is being preferred in the countries that have a land problem, is the reduction of the weight and the volume of the waste. In EU countries, 59 million tones of solid waste is being disposed every year by thermal methods in nearly 400 plants. In the USA there are 87 incineration plants in which the household waste is disposed.

The new solutions should be detected instead of landfilling in order to minimize the environmental damages and to develop economical aspect for the waste disposal. In this study, it is being evaluated the applicability in Istanbul and the general situation of solid waste incineration technology which is being used widespread as a municipal solid waste disposal method especially in the developed countries.

Keywords: Waste Incineration, Thermal Waste Disposal Methods

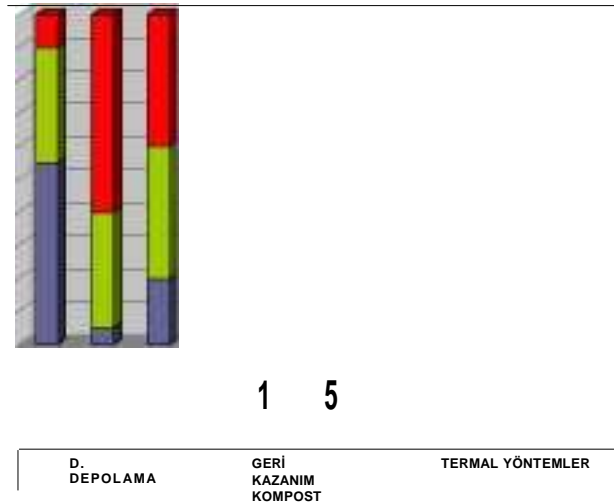
1. Giriş

Sanayileşme neticesinde elde edilen ilerlemeye bağlı olarak yaşam kalitesi yükselirken, önlenemeyen nüfus artışı da doğal kaynakların tükenmesine ve çevrenin artan bir hızla kirlenmesine sebep olmaktadır. Tüketim alışkanlıklarının değişmesi neticesinde kişi başına üretilen katı atık miktarı her geçen gün artmaktadır. Tüm dünyada sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı kapsamında; atıkların çevre ve insan sağlığı açısından bir tehdit olmaktan çıkıp, ekonomi için bir girdiye dönüştürülmesini amaçlayan atık yönetim stratejileri benimsenmektedir. Entegre katı atık yönetimi, kaynakta atık azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım uygulamaları ile başlayıp, oluşan atığın toplanması ve nihai bertarafı ile son bulan bir süreçtir. Yakma, piroliz ve gazifikasyon tekniklerini içeren termal bertaraf yöntemleri, gelişmiş ülkelerde uzunca bir süredir katı atıkların bertarafı amacıyla kullanılmakta olup; atık yönetim sistemi bileşenlerinden biri haline almış durumdadır. Evsel atık yakma; atık bertarafı hiyerarşisinde en son kademede bulunmakla beraber, Avrupa'da 50 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır.

2. Termal Bertaraf Yöntemleri

2.1. Termal Bertaraf Yöntemlerinin Kullanım Durumu

Yaşanabilir alanların sınırlı olması sebebiyle Dünya'da katı atık bertarafında termal yöntemleri en çok kullanan ülke Japonya'dır. Üretilen yaklaşık 50 milyon ton atığın %77 si sayısı 1300'ü aşan tesiste yakılmaktadır. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde ise durum biraz daha farklıdır. Katı atık bertarafında mevcut durumda en çok tercih edilen yöntem düzenli depolama ise de; Atık Yakma Direktifi'nde (Waste Incineration Directive, 2000/76/EC) belirlenen şartların sağlanması amacıyla depolamaya dışındaki bertaraf yöntemlerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Katı atık bertaraf yöntemlerinin günümüzdeki kullanım oranları Şekil 1. de verilmiştir.



Şekil 1. Katı Atık Bertaraf Yöntemlerinin Bazı Ülkelerdeki Kullanım Oranları [1]

Günümüzde Avrupa Birliği üyesi ülkelerde 400'e yakın katı atık yakma tesisinde her yıl 59 milyon ton evsel katı atık termal yollarla bertaraf edilmektedir. Bu tesislerde yılda 7 milyon evin ihtiyacı olan 23 milyon GW-saat elektrik enerjisi üretilmektedir. Bunun yanında, üretilen 58 milyon GW-saatlik ısı enerjisi ile 13 milyon konutun ısı ihtiyacı karşılanmaktadır. ABD de ise evsel atıkların yakılarak bertaraf edildiği 87 adet atık yakma tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerde yılda 30

milyon tona yakın atık bertaraf edilirken 15 milyon GW-saat enerji üretimi gerçekleştirilmektedir.

2.2. Termal Bertaraf Teknikleri

Atıklara uygulanan termal bertaraf yöntemleri atıkların yüksek sıcaklıkta enerji ve diğer yan ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Burada temel amaç, atığın hacminin ve miktarının azaltılmasıdır. Yöntem sayesinde, katı atıkların depolanması için ihtiyaç duyulan alan azaltılırken, atık içerisinde bulunan ve işlem sonucu ortaya çıkan ısı kullanılarak enerji geri kazanımı sağlanmaktadır.

Katı atıkların bertarafı amacıyla kullanılmakta olan termal yöntemleri üç ana başlık altında gruplandırmak mümkündür. En yaygın olarak kullanılan yöntem, atığın stokiyometrik oksijen ihtiyacından fazla oksijen varlığında işlenmesi prensibine dayanan **yakma** yöntemidir. Evsel katı atık yakma amacıyla kurulmuş olan tesislerde **ızgaralı sistemler ve akışkan yataklı fırınlar** kullanılmaktadır. Izgaralı sistemlerde atıklar bir ön işlemde geçirilmezken, akışkan yataklı sistemlerde belli tane boyutuna getirilmiş atıklar ve özellikle literatürde RDF olarak geçen atıktan türetilmiş yakıtlar bertaraf edilmektedir. Bir diğer yöntem, atığı tamamen oksijensiz ortamda termal bozunması prensibine dayanan **piroliz** yöntemidir. Piroliz yöntemiyle atıkların bertarafı sonucunda kok, katran, uçucu yağlar, yoğunlaşabilir hidrokarbonlar, su ve piroliz gazları (H₂, CO, Hidrokarbonlar, H₂O, N₂) açığa çıkar. Temelde aynı prensibe dayanan **gazifikasyon** yönteminde ise, ortama bir miktar hava verilmekte; ancak ortamdaki oksijen miktarını stokiyometrik oranın altında olması sağlanmaktadır. [2] Atık bertarafı amacıyla yaygın olarak kullanılan bu üç tekniğin yanında, özellikle Japonya ve Avrupa'da üzerinde çalışılan plazma gazifikasyon gibi yeni teknikler de kullanılmaya başlanmıştır. Yakma, piroliz ve gazifikasyon yöntemlerinin temel nitelikleri Çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Termal Bertaraf Yöntemleri Tipik Reaksiyon Koşulları ve Ürünler [3]

	Yakma	Piroliz	Gazifikasyon
Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	800 - 1450	250 - 700	500 - 1600
Yanma Odası Basıncı (bar)	1	1	1-45
Ortam	Hava	İnert - Azot	O ₂ , H ₂ O
Stokiyometrik Hava Oranı	> 1	0	< 1
Gaz Halindeki Ürünler	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
Katı Haldeki Ürünler	Kül, Cüruf	Kül, Kömür	Cüruf, Kül
Sıvı Haldeki Ürünler		Piroliz Yağı, Su	

Başlıca amacı depolama ile uzaklaştırılacak atık miktarının azaltılması olan yakma yöntemi ile katı atıklar hacimce % 80-90 ağırlık bakımından % 75-80 oranında azaltılabilmektedir. Proses sonucunda ısı enerjisi, inert gaz ve kül oluşur. Net enerji üretimi atığın bileşimine, yoğunluğuna, nem oranına ve atık içerisindeki inert maddelere bağlıdır. Yakma yöntemi ile organik maddenin ısıl içeriği % 65-80 oranında sıcak hava, buhar ve sıcak suya dönüştürülebilir. Tipik bir evsel katı atık yakma tesisinde yürütülen faaliyetler sırasıyla şöyledir:

- Atık kabul ve geçici depolama,
- Atıkların -gerekliyse ön işlemde geçirilmesi ve- yakılması,
- Yanma sonucu ortaya çıkan ısının faydalı kullanımı,
- Yanma sonucu ortaya çıkan kirletici gazların arıtımı,
- Yanma sonucu ortaya çıkan katı artıkların bertarafı.

Avrupa'da son 20 yılda bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde atık yakma sistemlerinde büyük ilerleme sağlanmıştır. Evsel katı atıkların bertarafı için kullanılan sistemlerin büyük bir çoğunluğu izgaralı sistemlerdir. Bu sistemler uzun süreli kullanım tecrübesi ve proses güvencesi sağlamaları açısından evsel katı atık bertarafında diğer sistemlere nazaran daha çok tercih edilmektedirler. Sistemin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Izgaralı Yakma Sistemleri Avantaj ve Dezavantajlar [4]

Avantajlar	Dezavantajlar
<ul style="list-style-type: none">• Ön işleme ihtiyaç yoktur. (Kaba atık haricinde)• Uzun süreli kullanım tecrübesinden ötürü güvenli işletme sağlar.• Kalorifik değer ve atık kompozisyonundaki değişimlere karşı dirençlidir.• % 85'e varan termal verim değerleri elde edilebilir.• Günlük 1200 ton atık bertaraf edebilen fırınlar tasarlanabilmektedir.	<ul style="list-style-type: none">• Yüksek ilk yatırım ve işletme maliyeti vardır.• Dökülebilir, akabilir nitelikteki sıvı atıklar için kullanılamaz.

Atık yakma tesislerinde yer alan birimlerin her biri yukarıda sıralanan farklı görevlerin yerine getirildiği üniteler olup; bu ünitelerin faaliyetleri sonucunda farklı türde atıklar ortaya çıkmaktadır. Tesiste oluşan en yüksek miktardaki artık; yakma ünitesinde oluşan **taban külüdür**. Giren atığın yaklaşık ağırlıkça %15-20 si oranında taban külü oluşmaktadır. Isı geri kazanma ve baca gazı arıtma sisteminde taban külüne oranla daha az miktarda, giren atığın yaklaşık %5 i kadar, **uçucu kül** oluşmaktadır. Atıkların depolandığı bölümde, küllerin soğutulması işlemi sonucunda ve baca gazı arıtma sisteminden **atık su** çıkışı söz konusudur. Tesiste oluşan tüm bu atık ve artıklar, Avrupa Birliği tarafından yayımlanan Atık Yakma Direktifi'nde (*Waste Incineration Directive, 2000/76/EC*) belirlenen limitlerin altında olacak şekilde işlem görmektedir.

Atık yakma sistemlerinin kurulum aşamasında ve işletilmesi esnasında dikkate alınması gereken en önemli husus atığın yanma özellikleridir. Yanma özelliklerinin tespitinde kullanılan temel parametre, atığın yakılması sonucu ortaya çıkacak enerji miktarını ifade eden **kalorifik değer**dir. Bu değer **üst ısı değer** (brüt kalorifik değer) ve **alt ısı değer** (net kalorifik değer) şeklinde ifade edilir. Üst ısı değer atığın kuru maddesinin vereceği enerji miktarıdır. Analiz kolaylığı açısından üst ısı değer ile çalışılır ve daha sonra atığın su içeriğinden yararlanılarak hesaplama yolu ile alt ısı değer bulunur. Atık alt ısı değerini hesaplamak için kullanılan deneye dayalı formül şu şekildedir:

$$H_{alt} = \frac{H_{üst} \times J}{100} - [5,85 \times w]$$

Formülde H_{alt} alt kalorifik değeri; $H_{üst}$ üst kalorifik değeri, w ise atığın içerisindeki su muhtevasının ağırlıkça oranını göstermektedir.

Yakma sistemlerinin işletim maliyeti açısından akılcı olabilmesi için atığı yakılması neticesinde ortaya çıkan ısının, tüm sistemin enerji ihtiyacından daha fazla olması gerekmektedir. Bu da atık içerisindeki yanabilir kısmın kalorifik değerinin belirli bir değerin üzerinde olması ile sağlanmaktadır. Avrupa'da ortaya çıkan bazı artık türlerinin net kalorifik değerleri Çizelge 3' te verilmiştir.

Atık Türü	Nitelik ve Örnek	Net Kalorifik Değer (kcal/kg)	
		Aralık	Ortalama
Karışık Evsel Katı Atık	Evlerden toplanan karışık tehlikesiz atık	1500 - 2500	2150
Kaba Atık	Mobilya vb. atık	2500 - 4000	3100
Endüstriyel Atık	İşyerlerinden toplanan karışık tehlikesiz atık	1810 - 3000	2620
Geri Kazanım Sonrası Evsel Katı Atık	Kompost ve geri kazanım prosesi öncesi elenmiş atık	1500 - 2740	2380
Ticari Atık	Dükkânlardan ve ofislerden ayrı olarak toplanan atık	2380 - 3570	2975
Ambalaj Atığı	Ayrı toplanmış ambalaj atıkları	4050 - 5950	4760
RDF	Evsel nitelikli tehlikesiz atıktan üretilmiş yakıt	2620 - 6190	4290
Ürün Bazlı Endüstriyel	Plastik veya kağıt end. atıkları	4290 - 5470	4760
Tehlikeli Atık Tehlik	Tehlikeli nitelikli atık	120 - 4790	2320
Aritma Çamurları	Ham çamur (%25 KM) Çürütülmüş çamur (%25 KM)	400 - 595 120 - 285	500 190

Yakma sistemlerinde atık kütlelerinde bulunan suyun buharlaşarak uzaklaşabilmesi için öncelikle tüm atığın suyun buharlaşma sıcaklığına getirilmesi gerekir. Kalan kuru maddeye verilen ısı enerjisi ile tutuşma temin edildikten sonra kuru maddenin organik fraksiyonu yanarak enerji açığa çıkartır.

3. İstanbul Katı Atık Karakterizasyonu ve Kalorifik Değer Tespiti Çalışması

Ülkemizin AB'ye uyum süreci çerçevesinde katı atıkların depolanarak bertaraf edilmesi yerine, çevreye verilecek olan zararların minimize edilmesi ve atık bertarafına ekonomik bir anlam kazandırılması maksadıyla yeni çözümlerin bulunması gerekmektedir. İstanbul' da oluşan katı atıkların özelliklerinin belirlenmesi ve atıkların değerlendirme ve bertaraf imkânlarının araştırılması için İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSTAÇ A.Ş. tarafından İstanbul için 2005, 2006 ve 2007 yıllarında evsel katı atık karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. 2009 yılı kış dönemi atık özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da, 2009 yılı Mart ayı içerisinde karakterizasyon çalışması yapılmıştır.

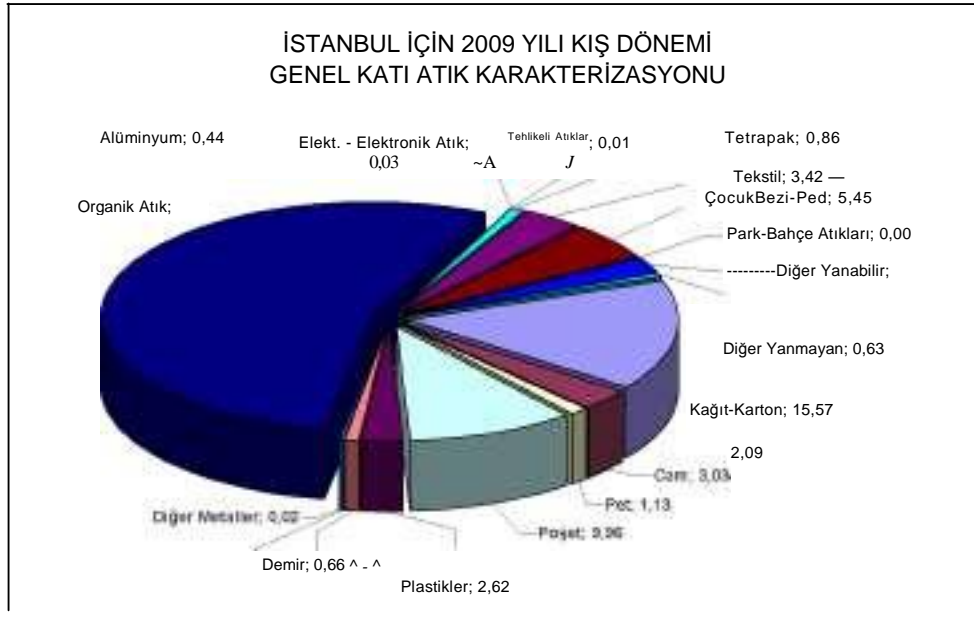
Karakterizasyon çalışması kapsamında yürütülen faaliyetler aşağıda verilmiştir:

- İlçe belediyelerinden aktarma istasyonlarına getirilen atıklardan rasgele seçim metodu ile karışık kentsel katı atık numunesi alınması
- Alınan numunelerin, madde grup analiz çalışmasının yapılacağı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompostlaştırma Tesisine nakledilmesi
- Tesise getirilen karışık kentsel katı atığın belirlenen madde gruplarına göre ayrılarak tartımının yapılması
- Madde gruplarına göre ayrılan atıklardan laboratuvar analizi yapmak amacıyla belli miktarda numune alınması
- Laboratuvarında nem muhtevası ve kalorifik değer atıkların analizlerinin tayini yapılması.

Çalışma kapsamında Asya yakasındaki 3, Avrupa yakasındaki 3 aktarma istasyonundan 7 günde toplam **42 atık numunesi** alınmıştır. Aktarma istasyonlarının fiili kapasiteleri ve hangi belediyeden ne kadar atık getirildiği göz önünde bulundurulurken, numune alınacak bölgeye ve bu bölgelerden ne sıklıkta numune alınacağına karar verilmiştir. Numune alınan aracın hangi ilçe ve mahalleden geldiği de kayıt altına alınmıştır. Araç içerisindeki atığı temsil edici nitelikteki atık, 770 lt kapasiteli HDPE çöp konteynırına doldurularak Kemerburgaz'da bulunan **ATY Tesisi'** ne getirilmiştir. Tesise getirilen atıklar sabit hacim kabına sıkıştırma yapılarak doldurulmuştur. Madde grup analiz çalışmasında, atıklar 17 ana bileşene ayrılarak tartılmış ve her bir madde grubunun atık içerisindeki ağırlıkça yüzdesi tespit edilmiştir. Tespit edilen değerlere göre atıklardan toplamda 3 kg olacak şekilde numune alınmıştır. Numune alınırken organik malzeme ile bunun dışında kalan malzeme ayrı poşetlere konarak atıkların karışması ve nem kaybı önlenmiştir. Laboratuvar analizleri için alınan 3 kg lık numuneler üzerinde, TS 10459/1992 Katı Atıklarda Rutubet Tayini standart yöntemine göre nem tayini yapılmıştır. Kalorifik değer tespiti için, Alman Standardizasyon Kurumu'nun bomba kalorimetre ile katı yakıtların kalorifik değerinin ölçülmesi esasına dayanan DIN 51900 standardına göre analiz yapılmıştır. Ayrı olarak alınan organik malzeme ve ambalaj malzemelerinin kalorifik değerleri ayrı ayrı tespit edilmiştir. Bu sayede ileriki dönemlerde bu malzemelerin oranlarında yaşanacak değişimlere göre kalorifik değer tahmini yapılabilecektir.

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Atık yönetim sisteminde yakma yöntemine yer verilmesinin uygun olup olmadığını belirlemek için öncelikle atığın kompozisyonunun ve kalorifik değerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışma neticesinde İstanbul'da oluşan katı atıkların kompozisyonu tespit edilmiş ve atık içerisindeki bileşenlerin ağırlıkça yüzdeleri hesaplanmıştır. Madde grup analizi çalışması sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. İstanbul İçin 2009 Yılı Kış Dönemi Katı Atık Karakterizasyonu

Madde grup analizi çalışmasına göre, İstanbul'da oluşan katı atıklar içerisindeki kağıt-karton, pet, poşet, plastik, tetrapak, tekstil, çocuk bezi-ped ve diğer yanabilir malzemelerin toplamının % 41,10 olduğu görülmektedir. Bunun yanında, organik kısım içerisinde de yanabilir malzeme bulunmaktadır.

Laboratuvar analizleri için alınan numuneler üzerinde nem tayini yapılarak atık içerisindeki su muhtevası tespit edilmiş daha sonra kurutulmuş ve ayrı ayrı hazırlanmış olan organik kısım ve bunun haricinde kalan ambalaj atıkların kalorifik değerleri tespit edilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Aktarma İstasyonları Bazında Atık Kalorifik Değerleri

Aktarma İstasyonu	Organik Kısım Alt Kalorifik Değeri	Ambalaj Atıkları Alt Kalorifik Değeri	Karışık Atık Alt Kalorifik Değeri
Aydınlı	917	2167	1425
Küçükbakkalköy	462	3584	1644
Hekimbaşı	400	3327	1637
Baru thane	326	2508	1160
Halkal	657	2736	1780
Yenibosna	243	3750	1669

Laboratuvarda yapılan kalorifik değeri tespit çalışması sonuçlarına göre atık kalorifik değerinin, yakma yönteminin yaygın bir şekilde kullanıldığı Avrupa ülkelerinde oluşan atıklara göre daha düşük olduğu görülmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 1992 yılında Amerikan CH2M-Hill International Ltd. firması tarafından hazırlanan İstanbul Katı Atık Yönetimi Fizibilite Raporu'na göre, atık kalorifik değerinin, enerji elde etmek için en az 2000-2500 kcal/kg, ilave yakıt olmaksızın yanması için ise 1500-1600 kcal/kg olması gerekmektedir. [5]

Yapılan çalışmalar ışığında, İstanbul'da oluşan atıkların termal yöntemlerle bertaraf edilmesi ve bu işlem sonucunda ortaya çıkan ısının enerji üretimi amaçlı kullanılabilmesi için atıkların nem muhtevasının azaltılması ve kalorifik değerinin artırılması gerektiği görülmüştür. Bu amaçla yakma tesisi öncesinde atıkların ön işlemden geçirilmesi amacıyla bir mekanik biyolojik işleme tesisi (MBT) yapılması düşünülebilir. Bir diğer alternatif, nispeten daha yüksek kalorifik değere sahip olan atıkların ön işleme tâbi tutulmadan direkt yakma tesisine iletilmesidir. Bu amaçla aktarma istasyonlarına getirilen atıkların aktarılması ve sevkiyatı için sağlam bir organizasyon yapısının kurulması gerekecektir.

Kaynaklar

- [1]. Chilton M., "WTE Worldwide", Waste Management World, Nov-Dec 2008, 47-49, 2008
- [2]. "Katı Atık Yakma Tesisleri İçin Teknolojiler ve Yer Seçimi", T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2000
- [3]. "Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration", European Commission Integrated Pollution Prevention and Control, Brüksel, 2006
- [4]. "Municipal Solid Waste Incineration - World Bank Technical Guidance Report", The World Bank, Washington, 1999
- [5]. Öztürk İ., Demir İ., Akgül O., Yıldız Ş., et. al., "İstanbul İçin AB İle Uyumlu Entegre Katı Atık Yönetimi Stratejik Planı", TÜRKAY 2007 AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, İstanbul, 2007