

# MODERN TERMAL ATIK ARITIM YÖNTEMLERİ

Araş. Gör. Hülya YAVUZ\*  
Doç. Dr. Adil DENİZLİ\*\*

**S**on zamanlarda katı atıkların, özellikle organik atıkların bertarafı konusundaki araştırma ve uygulamalarda büyük artışlar gözlenmektedir. Organik atıkların doğrudan arazide depolanması yerine çeşitli arıtım yöntemlerinin uygulanması tercih edilmektedir. Tehlikeli atık yönetiminde de bugüne kadar kullanılmakta olan döner öğütücülerin yanısıra organik atıkların ısı ile işlemlerle parçalandığı termal atık arıtımı gibi yöntemler daha fazla ilgi görmektedir. Bu yeni yöntemlerin farklı tasarımları, atıkların daha etkin bir şekilde parçalanmaları ve pratik olmaları gibi avantajları bulunmaktadır.

## Modern Atık Yönetiminin Temeli: Termal Atık Arıtımı

Termal atık arıtımı, evsel atık bertarafı yönetmeliklerinin getirdiği tüm şartları karşılayabilecek ideal bir yöntemdir. Bu yöntem tek başına, atık yönetiminde gerekli olan;

- atık miktarının azaltılması,
- enerji tasarrufu, ve
- çevre koruma

şartlarını yerine getirebilmektedir.

Arıtım öncesinde uygulanan mekanik ön ayırma işlemi ve organik atıkların

kompost olarak değerlendirilmesiyle kaynaklar yeniden kullanılabilir. Ayrıca optimum döngü prosesi sayesinde sağlanan yüksek enerji dönüşümü verimi çevresel etkileri en aza indirmektedir.

Modern termal atık arıtım yöntemleri ile aşağıdaki teknik özelliklere sahip modern tesis alternatifleri oluşturulabilmektedir;

- karşılıklı hareket eden ızgaralarda havayla yakma veya suyla soğutulmuş ızgara çubuklarında yakma,
- dışarıdan ısıtmalı döner fırında yakma (piroliz),
- akışkan yatakta yakma.

**Organik atıkların doğrudan arazide depolanması yerine, çeşitli arıtım yöntemlerinin uygulanması tercih edilmektedir. Tehlikeli atık yönteminde de bugüne kadar kullanılmakta olan döner öğütücülerin yanısıra, organik atıkların ısı ile işlemlerle parçalandığı termal atık arıtımı gibi yöntemler daha fazla ilgi görmektedir.**

mm) kompost yapılabilir özellikteki organik kısımdır.

Organik kısmı ayrılan atıklar eleme işlemine tabii tutulur. Burada kağıt, kartonu plastik ve tekstil gibi hafif malzemeler (RDF) hareketli pompayla emilerek hava yardımıyla hortuma aktarılır. Hortumda hafif malzemeler havadan ayrılır Yüksek kapasiteli döner hava kilidi sayesinde düzenli bir akış sağlanmaktadır. 8-9 MJ/kg kalorifik değere sahip olan hafif kısım taşıyıcı bantlar sayesinde RDF tankına aktarılır.

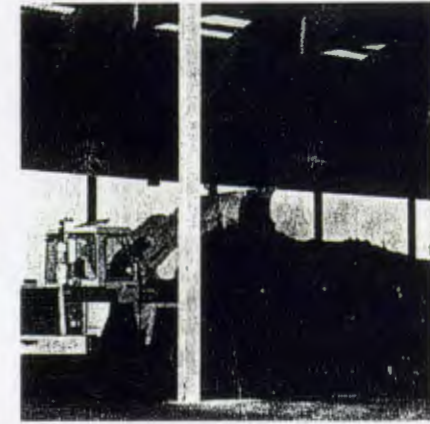
İzgara üzerinde kalan kısım KA'dan taşıyıcı banta aktarılır. Demir ihtiva eden maddelerin ayrılmasından sonra yanıcı ve yeniden değerlendirilebilir malzemeler de ayrılır ve kalanlar ayırma işlemi artıkları olarak arazide depolanır.

## Toprak Rehabilitasyon Malzemesi Üretimi: Kompostlama

Amaç kırsal bölgelerde veya tarımda kullanılacak kompost gübre üretimidir. Gerekli malzeme istenen boyutlarda elde edilmiş olduğundan kompostlama aşamasında herhangi bir ön işleme gerek duyulmamaktadır. Geleneksel kompostlama yöntemlerinden olan ayırık sıralarda kompostlama yöntemi uygulanabilir. Bu amaçla, düzgün bantlar üzerindeki sıralara yığılan atıkların düzenli aralıklarla döndürülmesi yeterlidir. Bu yolla dört ay içerisinde kullanılmaya hazır ürün elde edilebilmektedir.

Yığınların yüzeyinin çok fazla kurumasına neden olacak güneş ışığından ve ıslanmasına neden olacak yağmurdan korunması için üzeri kapalı bir mekanda bulunması önerilmektedir. Kompost olgunlaştıktan sonra elenmekte, nihai arıtıma tabii tutulmakta ve kullanım amacına göre şekillendirilmektedir. Eleğin üzerinde kalan kısım RDF'ye verilmektedir (Şekil 2).

Kompostlamanın ilk aşamalarında çevreye rahatsızlık verebilecek bir koku



Şekil 2: Kompostlama

problemi oluşturmaktadır. Böyle bir sorun istenmiyorsa, fermentasyon aşaması havalandırılmalı bir mekanda yapılmalı ve atılan hava biyofiltrelerden geçirilmelidir.

**Kompostlama sistemini ilk defa uygulayacaklar için, ilk yatırım maliyeti düşük olan üzeri çatı ile kapalı, ayrı sıralı kompostlama sistemi önerilmektedir. Bahçe atıklarının kompostlanmasında tecrübe kazanıldıkça ve gerek duyulduğu takdirde, kapalı sistem kompostlama aşamasında çatı ile örtülü kompostlama alanı için yapılan yatırımın sonradan boşa gitmeyeceğinin, bu alanın son fermentasyon ve nihai olgunlaşma için kullanılacağına belirtilmesi gerekmektedir.**

\* Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü

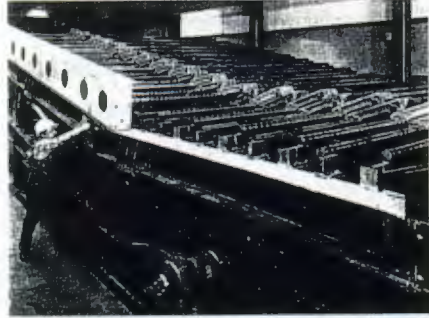
\*\* Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü

Kompostlama sistemini ilk defa uygulayacaklar için ilk yatırım maliyeti düşük olan üzeri çatı ile kapalı ayırık sıralı kompostlama sistemi önerilmektedir. Bahçe atıklarının kompostlanmasında tecrübe kazanıldıkça ve gerek duyulduğu takdirde, kapalı sistem kompostlama yöntemi önerilebilir. Bu noktada, başlangıç aşamasında kullanılan çatı ile örtülü kompostlama alanı için yapılan yatırım sonradan boşa gitmeyeceğinin, bu alanın son fermentasyon ve nihai olgunlaşma için kullanılacağı belirtilmesi gerekmektedir.

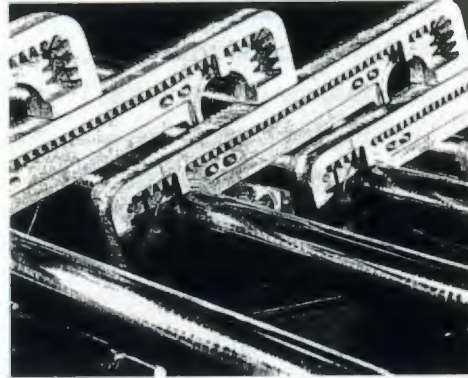
#### Ön Arıtım Sonrası Yakma

RDF yakma sisteminin optimizasyonu için gerekli parametreler şunlardır;

- cüruf ve baca gazındaki yanmamış madde oranının en aza indirilmesi,



Şekil 3: Izgara Sistemi



Şekil 4: Tersine çevrilebilir izgara çubukları

- baca gazındaki yanabilir maddelerin tamamen yanması ve böylece oluşacak CO miktarının en aza indirilmesi,
- kolay elde edilebilir ve uzun süre kullanılabilir bir sistemin garantilenmesi.

RDF yakma sisteminde yukarıdaki kriterlerin elde edilebilmesi için aşağıdaki parametrelerin tasarım ve teknolojik olarak ilişkilendirilmeleri çok önemlidir;

- RDF besleme tankı
- yakma bacası geometrisi
- yakma havasının dağıtılması
- kontrol sistemi

Şekil 3'de modern bir ızgara sistemi, Şekil 4'de ise tersine çevrilebilir ızgara çubukları görülmektedir.

Ön arıtımda ayrılan hafif malzeme yüksek bir kalorifik değere sahip ise (ısı değeri 9-14 MJ/kg) bu malzemenin yakılması için su ile soğutulmuş ızgara çubukları önerilmektedir. Alternatif olarak akışkan yatak fırında yakma da önerilebilir.

#### Suyla Soğutulmuş Izgara Çubuklarında Yakma

Geri kazanılamayan ve yüksek kalorifik değere sahip olan atıkların yakma problemini çözmektedir.

Modern termal arıtım tesislerinde suyla soğutmalı yakma ızgaraları da kullanılmaktadır. Bunlar geleneksel havayla soğutmalı ve karşılıklı yer değiştiren ızgaralara büyük yenilik getirmektedir. Bu sistem ızgara tasarımı ve üretiminde en son ulaşılan noktadır. Yanma veriminin yüksek olması ve uzun ömürlü olması gibi avantajları vardır.

Modern yakma ızgaraları teknolojisine uygun olarak fırınlar, en yüksek yanma verimini sağlayacak olan paralel akış prensibine uygun olarak dizayn edilmektedir. Buhar ve gaz halindeki

#### Etkin Bir Proses için Ön Şart: Evsel Atıklarda Ön Arıtım

Arıtım aşamasına geçmeden önce, toplanan atıkların, amaca uygun şekilde tanzim edilmesi gerekmektedir. Evsel organik atıkların bertarafında en yaygın yöntemler olan kompostlama ve yakma işlemleri de ön arıtım gerektirmektedir.

Katı atıkların kompostlanmasında plastikler, yakma işleminde ise yüksek nem içeriği problem yaratacağından, bertaraf işlemi öncesinde uygulanacak mekanik bir ön arıtım ile ağır kompostlanabilir ve yakılabilir kısımları (RDF) birbirinden ayrılmalıdır. Böylece hem daha kullanışlı bir kompost hem de düzenli ve temiz bir yanma sonucunda enerji elde edilebilecektir.

Evsel atıkların ön arıtımında uygulanan ızgara ve parçalama sistemleri ile atık aşağıdaki gruplara ayrılmaktadır;

- yakılabilir kısım
- kompostlanabilir organik kısım
- kalanlar

Kollektörle toplanan atıklar ilk önce tartılır (Şekil 1). Tesis girişindeki konteynırda toplanan atıklar hareketli bantlar üzerine alınır. Burada mobilya, buzdolabı ve tekerlek gibi ağır olan kısımlar kendileri için ayrılmış olan bölmeye alınır. İstenmeyen kısımlardan ayrılmış olan atıklar, malzeme yükleme bandına oradan da toplama bandına alınır. Atığın kaba kısmı bir veya iki toplayıcı tarafından ayıklanır. Böylece, ilk baştaki hareketli bantlardaki elle ayıklama aşamasında fark edilmemiş olan büyük parçalar ayıklanarak biriktirilir veya parçalama ünitesine gönderilir. Taşıyıcı bantlar sayesinde atıklar, ayırma işleminin temelini oluşturan kütle akışı ayırma ünitesine (KA) gönderilmiş olur. Kütle ayırma ünitesi, mekanik ön ayırma işlemlerini tek tek bir ekipmanla yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu kompakt tasarım, aradaki taşıyıcı bant-



Şekil 1: Mekanik-atık ön işleme tesisi

ları ortadan kaldırmakta ve daha az alan gerektirmektedir.

İlk aşamada uygulanan parçalama işlemi, ızgaralarda organik maddelerin (özellikle < 60 mm) iyi elenmelerinin önemini vurgulamaktadır. Izgaralardan geçen kısım, aşağıdaki taşıyıcı banta geçer ve burada demir ihtiza eden kısmı ayrıldıktan sonra inert maddelerce zengin olan ince taneçiklerin (< 10 mm) ayrıldığı ızgara bölümüne alınır. İlk başta ızgaranın üzerinde kalan kısım (100-60

**Termal atık arıtımı; evsel atık bertarafı yönetmeliklerinin getirdiği tüm şartları karşılayabilecek ideal bir yöntemdir. Bu yöntem tek başına, atık yönteminde gerekli olan; atık miktarının azaltılması, enerji tasarrufu ve çevre koruma şartlarını yerine getirebilmektedir.**

zeylerdeki klor kaynaklı korozyon ve enerji üretiminden kaynaklanan problemler açısından uygun olduğu kanıtlanmıştır.

#### Baca Gazı Arıtımı

Baca gazı temizleme sisteminde emisyon standartlarının elde edilebilmesi ve oluşacak ürün miktarının en aza indirilebilmesi için ilk önlemlerin yakma kazanlarında alınması gerekmektedir.

Aşağıda her bir basamak için ayrı ayrı verilen önlemlerin tamamının uygulanmasıyla emisyon yönetmeliğinin gerektirdiği standartlar elde edilebilmektedir.

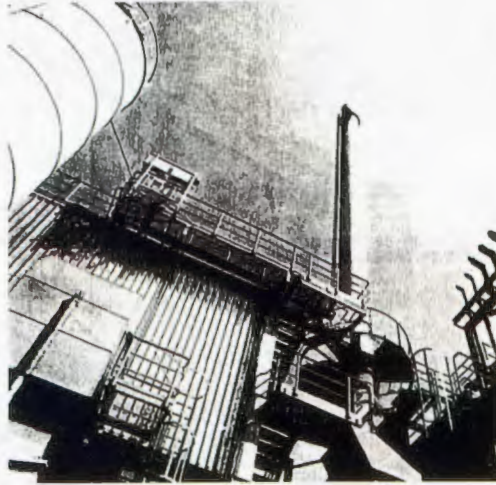
Parçacıkların uzaklaştırılması, parçalayıcı sıvının buharlaştırılması ve tuzun kristalleşmesi, tuz ve artık parçacıkların birbirinden ayrılması, halojen, kükürt oksit, dioksin ve azot oksitlerin uzaklaştırılması.

Modern termal atık artıma sistemi birincil ve ikincil önlemleri birleştirerek yakma yoluyla kirliliği yok etmeyi başarmıştır. Örneğin, yapılan bilimsel bir çalışma sonucunda dioksin-furan karışımı içeren bir atığın arıtılmasıyla % 98 oranında dioksin ve furan arıtımı gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Şekil 6'da baca gazı temizleme sisteminin fotoğrafı verilmiştir.

#### En İyi Yanma Performansı: Optimizasyon

Tesisin ilk taslağı hazırlanırken aşağıdaki parametreler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır;

- atığın kompozisyonu,
- yakma yöntemi ve enerji dönüşümü,
- oluşan ısının elektrik üretiminde veya işlemede kullanılması,
- emisyon standartları,
- kullanılabilir arazi miktarı ve binanın yüksekliği,



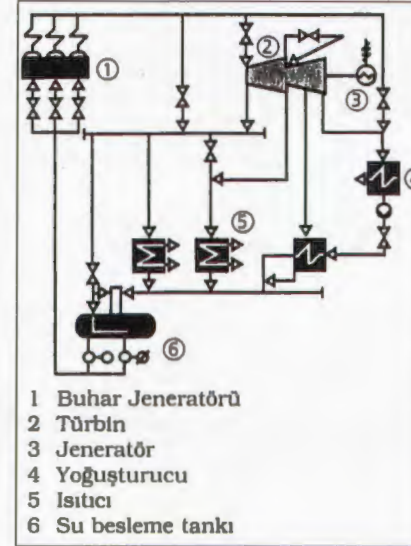
Şekil 6: Baca gazı temizleme sistemi

- verimlilik.

İşleme alınacak atığın miktarı ve kompozisyonu ızgara sistemini ve yakma fırınının geometrisini belirlemektedir; oluşacak atık madde miktarı ve kalitesi ilk başta mekanik ayırma sistemine bağlıdır. Buhar jeneratörü seçimi, kullanılabilir alanın büyüklüğüne, baca gazının içeriğine ve buhar parametrelerine bağlıdır. Buhar parametreleri ise, baca gazının aşındırıcı ve paslandırıcı madde içeriğine ve kullanılacak enerji miktarına göre belirlenmektedir. Baca gazı temizleme sisteminin seçiminde temel parametreler; yakma ünitesindeki kontrol önlemleri, buhar jeneratörünün tasarımı ve emisyon standartlarıdır. Baca gazı temizleme sisteminin boyutlandırılması ise yakmada kullanılan fazla hava miktarına veya bazen baca gazının miktarına ve içeriğine bağlıdır. Tüm bunların ötesinde müşteri, alt sistemlerin ve tesisin tamamının verimli bir şekilde çalışmasını ve kolay bulunabilir olmasını istemektedir.

#### Kaynak

- UTA, Technology & Environment, Kasım 1997.



Şekil 5

ürünlerden oluşan baca gazının girişteki düşük sıcaklık ünitesinden yüksek sıcaklık ünitesine kadar uygun bir şekilde taşınmasıyla bunlar arasındaki tepkimeler tamamlanmaktadır. Yüksek sıcaklık, düşük kaynama noktasına sahip olan civa v.b gibi ağır metallerin buharlaşmasını sağlamakta ve böylece bu metaller temizleme aşamasında gazdan kolaylıkla ayrılmaktadır.

İzgaranın en sonunda bulunan sinter ünitesi cüruf içerisindeki karbonun tamamının yanması için gereklidir.

Katı atık yakma ünitesinde oluşan atıkların bertarafında nemli veya daldırılmalı kül uzaklaştırma sistemleri uygulanmaktadır. Bunlardan birini seçmekle kullanılan kriterler; cüruf oluşma hızı, su rejimi ve hava yalıtım ihtiyacıdır.

Paralel-akış yakma ünitesinin geometrisinden ve son yakma bacasının dizaynından dolayı iki saniyelik bir alıkonma süresinde gazın sıcaklığı 850 °C'ye çıkmaktadır.

Yakma ve son yakma bacasının ikincil hava kaynağı ile birlikte tasarlanmış ol-

ması yüksek karbon yakma verimi elde edilmesini sağlamaktadır (birincil CO oluşumu önlenmektedir). Gazın son yakma için gerekli sıcaklıkta yeterince tutulmasıyla akkor parçacıkların yarım yanması ve böylece de ikincil CO oluşumu engellenmektedir.

Baca tasarımının yanısıra, döndürme ortamında ikincil havanın yerine tozsuz baca gazının kullanılması kirlilik oluşumunu önlemektedir. Böylece oluşan fazla havanın azaltılması ile baca gazında dioksin, furan ve NOx oluşumu da engellenmektedir.

#### Temiz Bir Yakma Yöntemi: Akışkan Yatak

Akışkan yatak yöntemiyle düşük miktardaki artık gazda bile tam yanma elde edilebilmektedir. Ancak bu yöntem belli bir miktarda ön arıtım gerektirmektedir. Örneğin, elekten geçen kısmın, kimyasal-biyolojik arıtımda oluşan kuru maddelerin parçacık boyutu < 50 mm olmalıdır.

Modern termal atık artıma tesisindeki akışkan yatak sisteminde yanma ardışık bölgelerde gerçekleşmektedir. Ön arıtmadan gelen atık, hava basıncı yardımıyla yan duvarlardaki bölmeden akışkan yatak fırına beslenir. Besleme hızı, gazın geri dönme hızından daha yüksektir. Bu yüksek besleme hızı gazın geri dönme hızından daha yüksektir. Bu yüksek besleme hızı sayesinde yakma işleminin ilk aşaması olan beslemenin yapıldığı bölümde iyi bir gaz dağılımı sağlanmaktadır.

Beslemenin yapıldığı bölüm seramik kapaklar yardımıyla buharlaşma ile ısı aktarımının gerçekleştiği büyük dağıtıcı levhalar üzerine yerleştirilmiştir. Altta dağıtıcı levha yabancı cisimlerin kolayca uzaklaştırılabilmesini sağlayacak ekipmanla donatılmıştır. Dağıtıcı levhadan geçen havanın miktarı istenilen şekilde ayarlanabilmektedir.

Bu ilk bölümdeki yanmayı takiben gaz seramiklerdeki deliklerden etraftaki sıvıyı karıştırmaya yetecek bir hızda çıkmaktadır. Sonra bu bölgede 850 C'nin üzerinde bir sıcaklıkta son yanma gerçekleşmektedir. Geri döngü gazının enjekte edilmesiyle sıcaklık pikleri önlenmektedir.

Tecrübeler, sisteme eklenen kireçtaşının SO<sub>2</sub> ve HCl'i akışkan yatakta tuttuğunu göstermiştir. Bunun sonucunda 350 C olan baca gazı sıcaklığında dioksin ve furanların sentezi önlenmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta oluşacak klor bazlı korozyon da önlenmekte sadece hafif toz halinde kalıntılar oluşmakta, bunlar da kolaylıkla temizlenebilmektedir.

Modern termal atık arıtım sistemindeki lokal hava beslemesi ile, optimum karbon yanma verimi elde edilirken NOx içeriğinin düşük olmasını sağlamaktadır. 80 °C'lik düşük yanma sıcaklığı termal NOx oluşumunu da engellemektedir.

#### **Enerji Kullanımı**

Modern termal atık-enerji tesisleri için artık ısının optimum kullanımını sağlayacak buhar jeneratörleri tasarlanmaktadır.

**Modern termal atık arıtma sistemi, birincil ve ikincil önlemleri birleştirerek yakma yoluyla kirliliği yok etmeyi başarmıştır. Yapılan bilimsel bir araştırmada dioksin-Furan karışımı içeren bir atığın arıtılmasıyla %98 oranında dioksin ve Furan arıtımı gerçekleştirildiği belirtilmiştir.**

tadır (Şekil 4). Buhar jeneratörlerinin tasarımında baca gazı içeriği ve buhar parametreleri belirleyici rol oynamaktadır. Kullanılabilir arazi ve izln verilen yükseklik gibi bölgesel koşullar buhar jeneratörünün şeklini belirlemektedir.

Genellikle, buhar jeneratörü ve fırın tek bir birimdir. Ancak, Rankine Prosesinin (su/buhar döngüsü) bağımsız olması, mühendislerin bu sistemi ateşleme sisteminde ayrı olarak optimize etmeye çalışmalarına imkan vermektedir. Her ne kadar baca gazında bulunan aşındırıcı ve paslandırıcı maddeler de etkili olsalar, burada en önemli parametre enerjinin ısı ve elektrik olarak sağlanması seçenekleridir.

Baca gazı, ısı transfer birimine geçmeden önce, yakalanan ve bir kısmı erimiş olabilecek partiküllerin katı hale geçebilmeleri için, yakma ünitesinin üzerinde bir veya daha fazla girişi olan bölümde 650-750 °C'ye kadar soğutulur. Buhar jeneratörü mevcut koşullara uygun olarak aşağıdaki şekillerde tasarlanır:

Geniş bir alan kaplayan yatay-geçiş buhar jeneratörü, herhangi bir yer ve şekil kısıtlamasının olmadığı şartlarda tercih edilir.

Düşey-geçiş buhar jeneratörü ise arazinin kısıtlı olduğu ancak çatı yüksekliğinin fazla olabileceği durumlarda tercih edilir.

Buharlaştırıcı ve süper ısıtıcının kontak ısı transferi yüzeylerinin iç tasarımı termal döngü gereksinimine göre yapılmaktadır. Buhar jeneratörünün çalışma şartları aşağıdaki parametrelere göre belirlenmektedir;

- baca gazının hızı,
- ısı transferi yüzeylerinin pozisyonu,
- ısı transfer yüzeyinin geometrisi,
- temizleme ekipmanı

Süper ısıtılmış buhar sıcaklığı olan 400-450 °C ve 40-60 bar basıncın, ısınan yü-