

E-Atık Hem Hazine Hem Tehlike

Kullanılmayan ve atık durumundaki elektrikli ve elektronik cihazlar dikkatli bir şekilde bertaraf edilmediklerinde insan sağlığı ve çevre için büyük tehlike oluşturuyor. Dünyada 2009 yılında 50 milyon tondan fazla e-atık üretilmiş. Bu rakamın bu yıl yani 2014'te 72 milyon tona ulaşacağı düşünülüyor. Avrupa'da üretilen e-atıklar arasında kullanım süreleri dolmuş büyük ev aletleri, soğutucular, dondurucular ve tıbbi cihazlar göze çarparken ABD'deki e-atıkları bilgi teknolojileri ve telekomünikasyon gereçleri, ekranlar ve televizyonlar oluşturuyor. Türkiye'de ise yılda -aralarında en çok televizyon ve CRT (katot ışınlu tüp) ekranların yer aldığı- 539 bin ton e-atık oluşuyor.



Dünyada 2009 yılında üretilen e-atıkların sadece %13'ünün geri dönüşümü sağlanmış. 2014 yılında ise geri dönüşüm oranının %18,4 olması bekleniyor. Gelişmiş bazı ülkelerde biriken e-atıkların %50-80'i de gelişmekte olan ülkelere ihraç ediliyor. Gelişmekte olan ülkelere e-atıkların geri dönüşümü yasal olmayan işletmeler tarafından

yapılıyor ve kullanılan yöntemler işçilere ve çevreye zarar veriyor. Örneğin baskılı devre kartlarındaki değerli metaller asidik ya da alkali çözeltilere daldırılarak, ısıtılarak ya da yakılarak özütleniyor. Gelişmiş ülkelerde ise e-atık geri dönüşümü minimum insan gücü içeren otomatik sistemler ile yüksek oranda değerli metal kazanımıyla gerçekleştiriliyor.

E-atıkların Bileşimi

Elektronik aletlerde bulunan 60 ayrı malzeme, değerli metaller (altın, gümüş, paladyum), temel ve özel metaller (bakır, alüminyum, nikel, çinko, demir vb.), toksik/tehlikeli metaller (cıva, berilyum, kadmiyum), halojenler (bromür, klor vb.), plastik gibi organik bileşenler, cam ve seramik olarak sınıflandırılıyor.

Bir elektronik aletin ağırlığının %80'den fazlasını demir, alüminyum, plastik ve cam oluşturuyor.

Değerli ve toksik malzemeler ise çok az miktarlarda bulunmalarına rağmen çok büyük öneme sahipler. Altın, gümüş, bakır, platin, paladyum e-atıkların geri dönüşümünü kazançlı bir iş haline getiren değerli maddeler. Bunlara ek olarak indiyum ve galyum gibi nadir bulunan elementler de yeni teknolojik uygulamalarda kullanılıyor olmaları nedeniyle önem kazanıyor.



Dört ayrı e-atık grubunun bileşimi (%)

Malzeme	Büyük Ev Aletleri	Küçük Ev Aletleri	Bilgi ve İletişim Teknolojisi ve Tüketici Elektronik	Lamba
Demir içeren metal	43	29	36	-
Alüminyum	14	9,3	5	14
Bakır	12	17	4	0,22
Kurşun	1,6	0,57	0,29	-
Kadmiyum	0,0014	0,0068	0,018	-
Cıva	0,000038	0,000018	0,00007	0,02
Altın	0,00000067	0,00000061	0,00024	-
Gümüş	0,0000077	0,000007	0,0012	-
Paladyum	0,0000003	0,00000024	0,00006	-
İndiyum	0	0	0,0005	0,0005
Bromlu plastikler	0,29	0,75	18	3,7
Plastikler	19	37	12	0
Kurşunlu cam	0	0	19	0
Cam	0,017	0,16	0,3	77
Diğer	10	6,9	5,7	5
Toplam	100	100	100	100

Dünya'da E-Atık

Avrupa Birliği'nin elektrikli ve elektronik cihazların üretiminde tehlikeli maddelerin kullanımını kısıtlayan "Restriction of the Use of certain Hazardous Substances" (RoHS, 2002/95/EC) ve bu tür cihazların geri dönüşümünü zorunlu hale getiren "Waste Electrical

and Electronic Equipment" (WEEE, 2002/96/EC) yönergesi Avrupa Birliğinde 2003 yılının Şubat ayında yürürlüğe girmiştir. Bu programların amacı elektrikli ve elektronik cihazların geri dönüşümünü yaygınlaştırmak ve e-atık geri dönüşüm faaliyetlerine daha geniş toplumsal katılımı sağlamak olarak belirtiliyor. ABD'de toplanan e-atıkların %50-80'i ucuz

iş gücü ve sıkı çevresel düzenlemelerin daha az uygulandığı Çin, Hindistan ve Pakistan gibi gelişmekte olan ülkelere ihraç ediliyor. Özellikle Çin'in Guiyu'da kentinde e-atık geri dönüşümünde çalışanlar genellikle maske ve eldiven kullanmadan havalandırma olmayan odalarda zehirli kimyasallara maruz kalarak çalışıyor. Televizyon tüplerinin çekiciler-

le parçalanarak kurşun tozunun açığa çıkarması ve havaya karışması, bilgisayar kablolarının yakılarak bakır açığa çıkarılması, bilgisayar ana kartlarının değerli maden elde etmek için asit kullanılarak eritilmesi insan ve çevre sağlığı için çok büyük bir tehdit oluşturuyor. Geri kalan e-atıklar ise Batı Avrupa'daki ve Kanada'daki tesislere gönderiliyor.



Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından tehlikeli ve diğer atıkların sınır aşırı taşınması, bertaraf edilmesi ve geri dönüşümünden doğabilecek tehlikeleri ortadan kaldırmayı amaçlayan Basel Sözleşmesi 1989 yılında imzaya açılmış, 05.05.1992 tarihinde yürürlüğe girmiş. Türkiye sözleşmeyi 1989 yılında imzalamış, 28 Aralık 1993 tarihli ve 3957 sayılı Kanun ile onaylanması uygun bulunmuş. 7 Mart 1994 tarihli ve 94/5419 sayılı Bakanlar Kurulu Kararıyla onaylanarak, 15 Mayıs 1994 tarih ve 21935 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır.

Değerli metaller yüksek kimyasal kararlılık ve iletkenlik özellikleri nedeniyle elektronik cihazların yapımında yaygın olarak kullanılıyor. Yüksek değerdeki metaller işlemci devre kartlarında, cep telefonlarında, kapasitörlerde, orta değerdeki metaller kişisel bilgisayarların devre kartlarında, dizüstü bilgisayarlarda ve el bilgisayarlarının devre kartlarında, düşük değerdeki metaller ise televizyon kartlarında, ekran kartlarında, yazıcı kartlarında, kablolu telefonlarda ve hesap makinelerinde bulunuyor.

Nasıl Geri Dönüştürülüyor?

E-atık geri dönüşüm süreci toplama, ön işlem [ayırma/sökme, mekanik işlemler (parçalama, manyetik ayırma)] ve son işlem olmak üzere 3 aşamada gerçekleşiyor. Toplama işlemi genellikle bölgesel ve yerel düzeyde yapılıyor. Bu işlem elektronik üreticilerinin ve perakende satış yapan firmaların ve belediyelerin oluşturdukları toplama merkezlerine “geri getir” programlarıyla gerçekleştiriliyor. Bu süreçte yerel belediyelerden büyük atık yönetimi şirketlerine kadar pek çok oluşum yer alıyor. Yeni bir iş kolu olması ve toplanan bileşenlerin geri kazanımının ekonomik, çevresel ve sağlık açısından yararları nedeniyle de son zamanlarda büyük ilgi görüyor.

Hangi mekanik ön işleminin yapıldığı e-atığın son işlemde nasıl bir uygulamaya tabi tutulacağını ve geri kazanılan metallerin yoğunluklarını belirliyor. Bu işlemler de bölgesel ya da ulusal düzeyde gerçekleşiyor ve son işlem için öncelikle metaller, camlar ve plastikler ayrılıyor. Bu aşamanın asıl amacı değerli malzemeleri bir araya toplamak ve tehlikeli olan malzemeleri güvenli bir şekilde bertaraf etmek. Geri kazanımın son aşamasına mümkün olduğunca yüksek kalitede malzeme temin edebilmek için bu ön işlemlerin en uygun şekilde gerçekleştirilmeleri gerekiyor. Çünkü atıkların gereğinden fazla ön işleme tabi tutulması hem maliyeti artırıyor hem de önemli metallerin ciddi anlamda kaybına neden oluyor. Bu nedenle yüksek değerli metal içeren devre kartlarının, cep telefonlarının parçaları ön işlemde önce ayrılıyor. Eğer örneğin devre kartı elle ayrılmazsa ve parçalanırsa, değerli metaller cam ya da alüminyum gibi diğer bileşenlerle karışabiliyor. Üstün kaliteli e-atıkların parçalanması ya da ezilmesi değerli metallerin yaklaşık %40'ının kaybına neden oluyor. Ayrıca tehlikeli tozlar ve dioksinler oluşuyor. Bileşenler bu aşamada ayrıştırıldıktan sonra demir içerenler demirin ayrıştırılması için çelik tesislere, alüminyum içerenler alüminyum eritme tesisine ve bakır alaşımlar da entegre eritme tesisine gönderiliyor.

Son işlemde değerli metallerin geri kazanımı ve kirlilik oluşturan yabancı maddelerin uzaklaştırılması amaçlanıyor. Bu aşamada e-atıktaki değerli metallerin oranını ve içeriğini belirlemek için atıktan örnek alınıyor ve bu örnekler incelenerek değerlendirme yapılıyor. Böylece değerli metallerin geri dönüşü için en uygun işlemler belirleniyor. Bakır yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle elektronik endüstrisinde en yaygın olan metal olarak biliniyor. Diğer metaller daha dayanıklı, daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olmaları için bakıra ekleniyor ve elektronik cihazlardaki bakır alaşımlar elde ediliyor.

E-atıkların geri dönüşümünün son aşamasında üç ana işlem kullanılıyor. Bunlar pirometalurjik (yüksek ısı metalbilim), hidrometalurjik (sıvısal metalbilim) ve biyometalurjik işlem. Pirometalurjik işlemde metalleri içeren bakırı eritmek için yüksek sıcaklık kullanılıyor. Hidrometalurjikte ise metaller düşük sıcaklıkta sulu ortamda çözülerek geri dönüştürülüyor. Biyometalurjik işlemde ise metallerin geri dönüşümü için çeşitli mikroorganizmalar devreye giriyor.

Pirometalurjik İşlem: Bu işlemde elektronik atıklar yüksek sıcaklıktaki fırınlarda eritiliyor. “İzabe” (madenleri ergitme, sıvı durumuna getirme) olarak adlandırılan bu aşama elektronik çöplerdeki bakır içeriğini ve erimiş bakır içindeki değerli metalleri geri dönüştürmek için kullanılıyor. Bu süreçte demirin ve alüminyumun geri dönüşümü sağlanmıyor, bunlar erime durumundaki metallerin yüzeyinde toplanıyor yani cüruf haline geliyor. Değerli metallerin e-atıklardan eritme ve arıtma yoluyla geri dönüşümünü yapan dünya çapında 4 şirket var: Boliden (İsveç), Xstrata Copper (Kanada), Aurubis (Almanya) ve Umicore (Belçika). Orta ölçekli e-çöp eriticiler Japonya'da ve Güney Kore'de de yer alıyor.

Pirometalurjik işlem yaygın olarak kullanılması na rağmen bazı dezavantajlara sahip. Örneğin eritme sırasında e-atık içeriğinde bulunan alev geciktirici ve polivinil klorür (PVC) özel emisyon kontrolü gerektiren dioksinlerin oluşmasına neden oluyor. Ayrıca pirometalurjik işlem sırasında tüm metaller tamamen ayrılmıyor. Bu yüzden bazı durumlarda ardından hidrometalurjik işlemin uygulanması da gerekebiliyor.

Hidrometalurjik İşlem: Hidrometalurjik işlem son 20 yıldır pirometalurjik işleme göre daha kontrol edilebilir olması, daha kesin sonuç vermesi ve daha öngörülebilir bir işlem olması gibi nedenlerle daha popüler olmuş durumda. Yıkayarak uzaklaştırma (özütleme), yoğunlaştırma ve saflaştırma, metal geri kazanımı aşamalarından oluşan bu işlemde e-atıklardaki metallerin su ya da organik çözücüler

içinde oluşan tepkimelerle çözülerek geri dönüşümü sağlanıyor. Çoğu zaman yıkayarak uzaklaştırma basamağından önce atık malzemeleri küçük parçalara ayırmak için mekanik işlem gerekebiliyor. Ardından yıkayarak uzaklaştırmada e-atık asit ya da aşındırıcı kimyasallarla yıkıyor. Bu işlemde çözünabilir bir bileşik katı bir maddeden çözücü aracılığıyla özütleniyor yani çözücüye geçiyor. Değerli metalleri yüksek oranda özütleme kapasiteleri en etkin yıkayarak uzaklaştırma ajanı asitlerdir. Yoğunlaştırma ve saflaştırma aşamasında bir önceki adımda çözücüye geçen değerli metaller yoğunlaştırılıyor ve kirlilik oluşturan maddelerden ayrıştırılıyor. Son aşamada ise elektroliz ilkesine dayanan elektrolitik arıtım, kimyasal indirgeme ya da kristalleştirme yöntemleriyle değerli metallerin geri dönüşümü sağlanıyor.

ri dönüşümünde biyometalurjik işlemin kullanılmasının diğer geleneksel yöntemlere göre düşük maliyet, az miktarda kimyasal kullanımı gibi avantajları bulunuyor.

E-atıkların Geri Dönüşümünde Kullanılan İşlemler	Avantajları	Dezavantajları
Fiziksel	Tüm e-atıklarda kullanılabilecek basit işlemler	Değerli metal kaybı yüksek
Pirometalurjik	Pek çok e-atık türü için uygun	Pahalı ve fazla enerji gerektiren bir işlem
Hidrometalurjik	Metal kazanma verimi yüksek, esnek, küçük ölçekte uygulanabilir, zararlı gaz çıkışı yok	Ön hazırlık işlemi gerektiriyor, atık çözeltinin arıtılması gerekiyor
Biyometalurjik	Çevresel etkisi düşük, küçük ölçekli firmaların uygulayabileceği nitelikte	Uzun zaman gerekiyor

Türkiye'de E-Atık

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre Türkiye'de yılda 539 bin ton e-atık oluşuyor ve bu atıkların sadece 20 bin tonu doğru ve sağlıklı yöntemlerle geri dönüştürülüyor. E-atıklar arasında en çok televizyon ve CRT (katot ışınlı tüp) ekranlar yer alıyor. İstanbul, Kocaeli ve Ankara ise en çok e-atık üreten şehirler olarak sıralanıyor.

Ülkemizde "Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü" Yönetmeliği (AEEE) 22 Mayıs 2012 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanmış ve Mayıs 2013 tarihinde de yürürlüğe girmiş. Bu yönetmelik ile "elektrikli ve elektronik eşyaların üretiminden nihai bertarafına kadar çevre ve insan sağlığının korunması amacıyla elektrikli ve elektronik eşyalarda bazı zararlı maddelerin kullanımının sınırlandırılması, bu sınırlandırmalardan muaf tutulacak uygula-

maların belirlenmesi, elektrikli ve elektronik eşyaların ithalatının kontrol altına alınması, elektrikli ve elektronik atıkların oluşumunun ve bertaraf edilecek atık miktarının azaltılması için yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım yöntem ve hedeflerine ilişkin hukuki ve teknik esasların düzenlenmesi" amaçlanıyor. Yönetmelik hükümleri e-atıkların 2013'ten itibaren belediyeler tarafından toplanmasını ve uygun şekilde bertaraf edilmesi-

ni zorunlu kılıyor. Yönetmeliğin amacına ulaşmasında ise belediyelere, elektrikli ve elektronik alet üreticilerine ve tüketicilere büyük sorumluluklar düşüyor. Türkiye'de 2011 yılı sonu itibarıyla lisanslı e-atık işleme tesis sayısı ise 21.

Biyometalurjik İşlem: Bu işlem sırasında mikroorganizmalar metallerle etkileşime giriyor ve metallerle bağlanıyor. Biyometalurjik işlemde biyolojik soğurulma (biyosorpsiyon- biyokütle tarafından metal iyonlarının birleştirilmesi ve/veya pasif emilimi) olmak üzere iki ana yöntem kullanılıyor. Biyolojik yöntemi endüstriyel uygulamalarda özellikle altın ve bakırdan metalleri ayırtmak amacıyla kullanılıyor. Biyosorpsiyonda ağır ve değerli metalleri toplamak için alg, bakteri, maya ve küf kullanılıyor. Metaller bu mikroorganizmaların hücre duvarlarına fiziksel ve kimyasal tutunuyor. Yani mikroorganizmalar absorbent (yüzeyle tutucu) olarak göre yapıyor.

Biyosorpsiyon için uygun mikroorganizmaların geniş yüzey alanı, yüksek çekim gücü ve farklı metalleri bağlayabilme gibi özelliklere sahip olması gerekir. Soğurma (absorpsiyon) kapasitesi biyokütlenin (mikroorganizmanın) tipine göre değişir ve yüksek absorpsiyon verimi için kitosan gibi metal absorpsiyonunu artıran ajanlar da kullanılabilir. Günümüzde bu konuda en etkin mikroorganizmayı bulmaya yönelik araştırmalar hızla devam diyor. E-atıkların ge-



Kaynaklar

- Aslı, O. T., Elif, H. H., Taha E., Zekai Ö., "Elektrikli ve Elektronik Atıkların Geri Dönüşümünde Tüketici Davranışları: İstanbul Örneği", International Conference on Eurasian Economics, 2013.
- Chatterjee S., Kumar K., "Effective electronic waste management and recycling process involving formal and non-formal sectors", *International Journal of Physical Sciences*, Cilt 4, s. 893-905, 2009.
- Jennifer N., The Future of Electronic in The United States: Obstacles and Domestic Solutions, Yüksek Lisans Tezi, Columbia Üniversitesi, 2013.
- <http://ewasteguide.info/node/4061>
- <http://www.livescience.com/41967-world-e-waste-to-grow-33-percent-2017.html>
- <http://www.cevko.org.tr/cevko/lc-Sayfa/Haberler/AEEE.aspx>
- <http://www.mfa.gov.tr/tehlilikli-atiklarin-sinir-asiri-tasinmasi-ve-bertaraf-edilmesinin-kontrolune-iliskin-basel-sozlesmesi.tr.mfa>