

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRONİK ATIKLARDAN DEĞERLİ METAL
GERİ KAZANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çev.Müh. Banu ÇEVİKEL

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr.Saim ÖZDEMİR

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

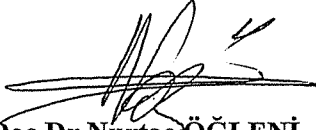
**ELEKTRONİK ATIKLARDAN DEĞERLİ METAL
GERİ KAZANIMI**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

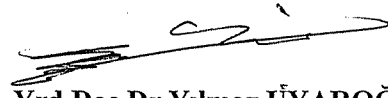
Çev.Müh. Banu ÇEVİKEL

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 15/06/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr.Nurtaç ÖĞLENİ
Jüri Başkanı


Prof.Dr.Saim ÖZDEMİR
Üye


Yrd.Doç.Dr.Yılmaz ÜYAROĞLU
Üye

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Elektronik atık geri kazanım tesislerinde çalıştığım dönemde eksikliğini gördüğüm tüm konuları anlatma fırsatını yakaladığım bu tez ile Türkiye’de e-atık ile ilgili ihtiyaç duyulan çevresel yatırımlara parmak basmaya çalıştım. Ülkemizde pek bilinmeyen bu konuya farklı bir bakış açısı kazandırmada bir katkıml olmasını umut ederim.

Bu tezi hazırlamamda yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR’e teşekkür ederim.

Tez hazırlama sürecinin tamamında en az benim kadar emek harcayan meslektaşım ve arkadaşım Pınar ŞİMŞEK’e, makale çevirilerindeki yardımlarından dolayı arkadaşlarım Çağlar ÖZBEY, İbrahim YILDIZ, Muharrem SAMANLI, Mustafa KURT, Nalan Oya SAN, Nuray ŞEN, Nurten DOĞAN, Selçuk CİHANGİR, Selin YAMAN ve ağabeyim İbrahim ÇEVİKEL’e emeklerinden dolayı teşekkür ederim.

Son olarak tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini bir an olsun benden esirgemedikleri için aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ELEKTRONİK ATIK TANIMI, KAPSAMI VE ZARARLARI.....	4
2.1. Elektronik Atık Tanımları.....	4
2.3. Elektronik Atıkların Zararları.....	5
BÖLÜM 3.	
ELEKTRONİK ATIK DEĞERLENDİRME TEKNİKLERİ.....	9
3.1. Tekrar Kullanım.....	9
3.2. Geri Dönüşüm.....	11
3.3. Geri Kazanım.....	11
3.4. Bertaraf.....	14
BÖLÜM 4.	
ELEKTRONİK ATIKLARDAN DEĞERLİ METALGERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ VE UYGULAMALARI.....	15

4.1. Elektronik Atıklarda Bulunan Değerli Metaller.....	15
4.1.1. Altın.....	15
4.1.2. Gümüş.....	15
4.1.3. Paladyum.....	16
4.1.4. Bakır.....	16
4.2. Değerli Metal Geri Kazanım Yöntemleri.....	17
4.2.1. Çin'deki geri kazanım uygulamaları.....	18
4.2.2. Hindistan ve Pakistanda e-atık geri kazanım uygulamaları.....	2220
4.3. Modern Teknolojiler ile Geri Kazanım Yöntemleri.....	24
4.3.1. Materyal geri kazanımı prosesi.....	25
4.3.2. Materyallerin geri kazanımı.....	26
4.3.3. Metallerin geri kazanımı.....	26
4.3.3.1. Manyetik ayrıştırıcı.....	27
4.3.3.2. Döner akım seperatörü.....	27
4.3.4. Kurşun (Pb) geri kazanımı.....	28
4.3.5. Bakır (Cu) geri kazanımı.....	30
4.3.6. Değerli metallerin geri kazanımı.....	32
4.4. Türkiye'deki Elektronik Atık Geri Kazanım Faaliyetleri.....	36
4.4.1. Toplama.....	36
4.4.2. Biriktirme.....	36
4.4.3. Taşıma Sistemi.....	37
4.4.4. Depolama.....	37
4.4.5. Geri Dönüşüm.....	37

BÖLÜM 5.

ELEKTRONİK ATIK YÖNETİMİNDE YASAL DÜZENLEMELER.....	39
5.1. Uluslar Arası Yasal Düzenlemeler.....	39
5.1.1. Basel sözleşmesi.....	39
5.1.2. ROHS direktifleri.....	41
5.1.3. WEEE direktifleri.....	43
5.2. Türkiye'deki Yasal Durum.....	45

BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AEEE	: Atık elektrikli ve elektronik ekipman
WEEE	: Atık elektrikli ve elektronik ekipman
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
BFR	: Bromlu Alev Geciktirici
C	: Karbon
CD	: Sıkıştırılmış Disk
Cl	: Klor
CRT	: Katot Işınlı tüp
Cu	: Bakır
e-atık	: Elektronik atık
EEE	: Elektrik Elektronik Eşya
ELV	: Ömrünü Tamamlamış Araç
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
Fe	: Demir
H	: Hidrojen
IT	: Bilgi Teknolojileri
MATRA	: Muğla Elektrikli ve Elektronik Atık Toplama Projesi
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
PAH	: Poliaromatik Hidrokarbon
Pb	: Kurşun
PBB	: Polibromlu bifenil
PBDE	: Polybrominated diphenyl ether
PC	: Masaüstü bilgisayar
PCB	: Baskı Devre Kartı

Pd	: Paladyum
PVC	: Poli vinil Klorür
PWB	: Baskılı Elektrik Panosu
RFID	: Radyo Frekansı ile Tanımlama
ROSH	: Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanılmasının Sınırlandırılması
SAED	: Seçilen alanı (elektron) kırımını
Sb	: Antimon
Sn	: Kalay
TV	: Televizyon
V	: Volt
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
Zn	: Çinko

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Yeniden kullanılabilir elektronik atık ekipman ve parçaları.....	11
Şekil 3.2.	Toplanan evsel elektronik atık içerisindeki materyallerin dağılımı.....	12
Şekil 4.1.	Asit banyolarında metal çıkarma.....	20
Şekil 4.2	Elektronik atıklarda ayrıştırılan metaller plastikler ve çipler....	21
Şekil 4.3.	Çin’de nehir kenarında depolanan elektronik atıklar.....	22
Şekil 4.4.	Pakistan’da elektronik atıkların açık alanda yakılması.....	22
Şekil 4.5.	Hindistan’da elektronik atık geri kazanımı.....	24
Şekil 4.6.	Materyal geri kazanım prosesinin basitleştirilmiş şeması.....	25
Şekil 4.7.	İkincil kurşun geri kazanımı – proses akım şeması.....	29
Şekil 4.8.	İkincil bakır geri kazanımı proses akım şeması.....	31
Şekil 4.9.	Değerli metallerin geri kazanımı prosesi.....	33
Şekil 4.10.	PCB metallerinin geri kazanım prosesi.....	34
Şekil 4.11.	E-atık geri kazanımı için Türkiye manzaraları.....	38

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Elektronik atıklarda yer alan zararlı materyaller.....	6
Tablo 2.2.	Elektronik atıklarda yer alan zararlı bileşikler.....	7
Tablo 4.1.	Elektronik atıklarda bulunan değerli metal oranları.....	17
Tablo 4.2.	TV ve bilgisayar demontajı sonucu çıkan malzeme oranları.....	26
Tablo 4.3.	Döner akım seperatörü ile ayrıştırılabilen materyaller ve özellikleri.....	28
Tablo 4.4.	PCB metallerinin içerikleri ve değerleri.....	35
Tablo 5.1.	EEEA toplama oranları.....	48

ÖZET

Anahtar Kelimeler: E-atık, Geri Kazanım, Değerli Metal,

Bu çalışmada elektronik atıklardan değerli metallerin geri kazanımı araştırılmış, günümüzde kullanılan geri dönüşüm yöntemleri incelenmiştir. Bilgisayar, televizyon, çamaşır makinesi, cep telefonu ve bunun gibi ev, ofis ve endüstride kullanım alanı bulan, yararlı ömrünü tamamlamış veya arıza nedeniyle daha fazla kullanılmayan, tamiri mümkün olmayan aletlerin tümü elektronik atık kategorisi altında değerlendirilmiştir.

Teknolojinin hızla gelişmesi nedeniyle hızlı bir şekilde atık haline gelen elektronik malzemelerin temel sorunu civa, kurşun, kadmiyum gibi zehirli maddeleri yapılarında bulundurmalarıdır. Bunun yanında altın, gümüş, bakır, paladyum gibi ekonomik değeri bünyesinde barındıran elektronik ekipmanlar geri kazanım sistemine dahil edilmediklerinde, içerdikleri değerli metaller de zayi olmaktadır.

Bu çalışmanın ilk kısmında, e-atık tanımı, kapsamı, mevcut geri dönüşüm programları ve e-atık toplama yöntemleri anlatılmıştır. İkinci kısmında ise, elektronik atıkların geri kazanımıyla ilgili mevcut yöntemler tanımlanmıştır. Ayrıca e-atık içerisinde bulunan cam, plastik çeşitleri ve metallerin geri dönüşümüyle ilgili çeşitli teknolojilere yer verilmiştir. Kimyasal geri dönüşüm, mekanik geri dönüşüm yöntemleri analiz edilmiş, bakır ve kurşun metalleri ile gümüş, altın, platin ve paladyum gibi değerli metallerin geri kazanım prosesleri değerlendirilmiştir.

Gelişmiş ülkelerde uygulanan değerli metal geri kazanım yöntemlerine karşın ülkemizde uygulanmakta olan elektronik atık geri kazanım sistemi ve bu sistemin değerli metal geri kazanımı noktasındaki eksiklikleri anlatılmıştır.

THE RECYCLING OF PRECIOUS METALS FROM ELECTRONIC WASTE

SUMMARY

Keywords: E-waste, Recycling, Precious Metal,

This study investigated the recovery of precious metals from electronic waste, and recycling methods used today, was examined. Computer, television, washing machines, mobile phones and similar homes, offices and industrial areas found useful life is completed or is not used more because of failure, repair is not possible, all of the instruments under the category of electronic waste was evaluated.

Development of technology in human life is becoming even more easy and comfortable. However, rapidly improving technology in the hands of consumers quickly be consumed and the electronic devices is changing too often. This mountain of electronic waste as old equipment is accumulated. Fundamental problem of electronic waste mercury, lead, cadmium, such as toxic substances, besides their gold, silver, copper, palladium, such as economic value to the precious metal in the structure. Uncontrolled electronic waste are left to nature as a structure because of harmful substances in the environment and harm to human health. Besides, a great economic value has been included in an electronic equipment recycling system, to include loss of the precious metal.

In this paper, the first half describes trends in the amount of e-waste, existing recycling programs and collection methods. The second half describes various methods available to recover materials from e-waste. In particular various recycling technologies metals found in e-waste are discussed. Recovery processes for copper, lead, and precious metals such as silver , gold, platinum, and palladium are reviewed.

In this study, recovery of precious metals from electronic waste is applied to correct and incorrect methods are put in place. In Turkey implemented an electronic waste recycling system and recycling of precious metal point of this system should be established with the shortcomings of the system are specified for the proposal.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1980'li yıllardan bu yana, tüketici odaklı elektrik ve elektronik teknolojilerin gelişimiyle birlikte çok sayıda elektronik ekipman satışı gerçekleşmiştir. Tüketicilere satılan bu elektronik cihazlarının kullanım ömrü, ekipmanların özellik ve kapasitelerindeki hızlı değişimler sebebiyle oldukça kısadır. Bu durum, önemli miktarlarda kullanılmayan elektronik cihaz birikimine neden olmaktadır [10].

Elektrikli ve elektronik ekipman atıkları kentsel atıklardan farklıdır. Elektrikli ve elektronik ekipman atıkları kentsel atıklar içinde en hızlı büyüyen katı atık cinsidir ve artış oranları kentsel atıklardan 3 kat daha büyüktür .

Dünyada ise elektronik atık sorunu ve bu sorunun çözümüne yönelik çalışmalar ülkemize oranla çok daha gelişmiş durumdadır. Bu konuda önde gelenler arasında Amerika ve Avrupa Topluluğu ülkeleri yer almaktadır.

Bu tip atıkların bertarafı için uygulanmakta olan birincil ve en yaygın yöntemler, düzenli depolama ve yakmadır[13]. Düzenli depolama alanlarına duyulan ihtiyacın giderek artması çevresel açıdan ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Bununla birlikte, düzenli depolama alanlarının kapasitelerinin kısıtlandırılması ve çevresel niteliğe verilen önemin artmasıyla alternatif atık arıtma yöntemlerine duyulan ihtiyaç da artmıştır. Düzenli depolama ve yakma yoluyla bertaraf edilecek olan elektronik atık niteliğindeki malzemelerin farklı şekilde değerlendirilebilmesi için yeni atık yönetim sistemlerine gereksinim duyulmaktadır[14]. Fakat efektif bir yönlendirme stratejisinin geliştirilmesi için bazı etkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu strateji, bütünüyle, ekonomik sürdürülebilirlik, teknik fizibilite ve programa verilecek olan rasyonel seviyedeki sosyal destek temelleri üzerine oturtulmalıdır. Bu bağlamda, yukarıda bahsedilen strateji, elektronik atık niteliğindeki malzemelerin geri dönüşümünü ve tekrar kullanımını kapsayacak şekilde geliştirilmelidir.

Elektrikli ve elektronik atıkların geri dönüşümü sadece atıkların bertarafı açısından değil aynı zamanda değerli materyallerin geri kazanımı açısından da önemlidir[9]. Saf metaller yerine geri dönüştürülmüş materyallerin kullanılması öncelikle kayda değer enerji tasarrufu sağlamaktadır. Elektrikli ve elektronik atıklar içerdikleri tehlikeli materyaller nedeniyle eğer atık değerlendirilmesi safhasında doğru olarak işlenmez ise çevre sorunlarına sebep olabilirler.

Birçok ülke bu gibi atıkların miktarının azaltılması ve yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve diğer yeniden değerlendirme şekillerinin kontrolü için kanun tasarısı düzenlemiştir. Ülkemizde uygulanmakta olan e-atık geri dönüşümü ise kısa bir geçmişe sahiptir ve bu konuda henüz yaygın ve sağlam bir altyapı oluşturulmamıştır. Elektrikli ve elektronik ekipman atıkları homojen olmamakla beraber aynı zamanda materyaller ve bileşenler bakımından da karmaşıktırlar. Ayrıca elektrikli ve elektronik ekipman atıkları ayrıştırma işlemleriyle uzaklaştırılması gerekli olan farklı büyüklük ve şekilde çok miktarda zararlı bileşen içerirler. Uygun maliyetli ve çevre dostu bir geri dönüşüm sistemi geliştirmek için bu atıkların içerdiği değerli materyallerin ve zararlı maddelerin tanımlanması, saptaması ve dahası bu atıkların fiziksel özelliklerinin anlaşılması önemlidir.

Mevcut proseslerin ve elektronik geri dönüşüm için oluşturulan altyapının daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle elektronik cihazların atık olarak sınıflandırıldığı başlangıç noktasında bu atıkların toplanması, ayrıştırılması ve geri kazanımını kapsayan sürecin tanımlanması gerekmektedir. Bu sürecin her basamağında kilit rol oynayan bazı faktörler vardır ve bu faktörler kapsamlı bir e-atık geri dönüşümü altyapısının oluşturulmasında önem teşkil etmektedir[14].

Bu altyapı, uygun proses yöntemleri ve bu proseslerle işlenecek atık miktarlarıyla birlikte atıkların taşınması, toplanması, geri kazanımı, yeniden satılması gibi faaliyetleri tanımlamaktadır. Geri dönüşüm altyapısını etkileyen faktörler, atık akışındaki atık miktarı, uygun geri dönüşüm teknolojileri, elektronik atık niteliğindeki malzemelerin içinde bulunan değerli metallerin ekonomisidir[7].

Avrupa Birliği'ne giriş sürecinde yapılması gereken uyum çalışmaları arasında katı atık yönetimi büyük rol oynamaktadır. Yakın gelecekte artacak elektrik elektronik atık miktarı nedeniyle de bu konunun önemi artacaktır. Bu doğrultuda yapılan bu çalışmada uygun maliyetli ve evre dostu bir geri dönüşüm sistemi geliştirmek için bu atıkların içerdiği değerli materyallerin ve zararlı maddelerin tanımlanması, saptaması ve dahası bu atıkların ayrıştırılarak değerlendirilmesi önemlidir. Bu materyallerin efektif bir şekilde ayrıştırılması için ülkemizde de bir sistem kurulması gerekmektedir.

BÖLÜM 2. ELEKTRONİK ATIK TANIMI, KAPSAMI VE ZARARLARI

2.1. Elektronik Atık Tanımları

Atık : Bertaraf edilen, bertaraf edilmesi tasarlanan veya bertaraf edilmesi gerekli olan maddeler ve materyallerdir [1,2]. AB 75/442/ECC Waste direktifi ve T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı 25755 sayılı Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre atıkların sınıflandırılması EK A.1'de verilmiştir [1,2].

Elektrikli ve Elektronik Ekipman : Asıl işlevini yerine getirmek için elektrik akımına veya elektromanyetik alana ihtiyaç duyan ve bu gibi akımı ve alanı üreten, ileten ve ölçen ve de 1000 Volt alternatif akım veya 1500 Volt doğru akım kullanımını geçmeyecek şekilde tasarlanmış ekipmanlardır [16]. AB 2002/96/EC WEEE direktifine göre elektrikli ve elektronik ekipmanların sınıflandırılması EK A.2'de verilmiştir [13].

Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atığı : Tüm bileşenleri, alt montajları ve atıldığında mamulün bir parçası olan sarf malzemeleri dâhil olmak üzere atık olarak tanımlanan elektrikli veya elektronik ekipmandır [3].

2.2. Elektronik Atıkların Zararları

Elektronik atıklar çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Bunlardan en önemlileri de birbirine monte edilmiş halde bulunan metaller ve plastiklerdir. Kullanılmış elektrik elektronik cihazlar çeşitli değerli maddeler içerdiği gibi yapılarında zararlı bileşenler de barındırmaktadırlar. Elektronik atıklarda yüksek miktarlarda bulunan zararlı maddelerin ayrılması geri dönüşüm sistemleri için önemli bir basamaktır. Aşağıda bu zararlı bileşenler sıralanmıştır.

- Ağır metaller (cıva, baryum, kadmiyum, kurşun, kalay)
- Poliklorit Biphenil
- Yanmaya dayanıklı malzemeler
- Florkarbon

Büyük problem teşkileden bileşenler özellikle bilgisayar, televizyon, monitör, video, cd, radyo gibi aletlerde bulunmaktadır. Örneğin bir bilgisayar monitörü veya bir televizyon 25 grama kadar kurşun, 3 gram çinkosülfid, 1,8 gram doğada nadir bulunan elementler, 0,1 gram kadmiyumsülfid ve 0,8 gram baryum içermektedir. Bu bileşenleri içeren elektronik atıklar çeşitli cevher hazırlama yöntemleriyle zenginleştirilebilir [10].

Elektrikli ve elektronik ekipman atıkları ayrıştırma işlemleriyle uzaklaştırılması gerekli olan farklı büyüklük ve şekilde çok miktarda zararlı bileşen içerirler. Elektrikli ve elektronik ekipman atıklarında yer alan ve özellikle ele alınması gerekli olan başlıca zararlı materyaller Tablo 2.1'de [3]ve zararlı bileşenler ise Tablo 2.2'de [9] verilmiştir. Bu zararlı bileşenlerin çevre ve insan sağlığı açısından taşıdıkları riskler aşağıda sıralanmıştır .

Tablo 2.1 : Elektronik atıklarda yer alan zararlı materyaller

Materyaller	Uygulama
Ağır Metaller	
Cd, Ni, Zn, Pb, Hg	Cd, Ni, Zn, Pb, Hg
Sn, Pb, Cd	Lehim
Ba, Sr, Pb	Katot ışını tüpü camları
Cd, Y, Eu, Se, Zn	Floüresan tozları
Hg	Röleler
Yarı İletkenler	
B, Ga, In, As	Bileşik devreler
Ga, As LED,	fotovoltaik hücreler
Se, Ge	Diyotlar
Se	Fotokopi tamburları
Organik Bileşenler	
PCB	Kondansatörler
PBDE	Alev geciktiriciler
Mineral	Yağlar Yağlayıcılar
Plastik Katkıları	
Cl	PVC
Cd, Pb, Ni, Ti, Sb	Pigmentler
Pb, Ba, Cd, Sn	Stabilizatörler

Kurşun (Pb): Pb'nin sağlık üzerine olumsuz etkileri iyi bilinmektedir. Çocuklarda beyin hasarı ve üreme bozuklukları Pb'ye maruziyetten bir çok üründen yasaklanmıştır. CRT tüpleri, eski lehimler ve entegre devreler kurşun içermektedir.

Cıva (Hg): Düşük dozlarda bile zehirlidir ve beyin ve böbreklere zarar vermektedir. Vücutta birikir ve anne sütüyle geçebilmektedir. Bir çay kaşığının 70'te biri bile 80.000 m² alana sahip bir göldeki suyu kirleterek yaşayan organizmalar tarafından biriktirilmesine sebep olur.

Tablo 2.2: Elektronik atıklarda yer alan zararlı bileşenler

Bileşenler	Açıklama
Piller	Pillerde kurşun, cıva, kadmiyum gibi ağır metaller mevcuttur
CRT	Konik cam içerisinde kurşun mevcuttur ve panel camının iç taraf astarı floüresan kaplıdır
Anahtarlar gibi cıva içeren Bileşenler	Cıva termostatlarda (ısı ayarlayıcıları), algılayıcılarda, rölelerde ve anahtarlarda kullanılır(baskılı devre levhaları, ölçüm elemanları ve gaz akışlı lambalarda olduğu gibi);ve ayrıca tıbbi ekipmanlarda, veri iletiminde, haberleşmede ve taşınabilir telefonlarda da kullanılır
Asbest atıkları	Asbest atıkları da özel olarak ele alınmalıdır
Toner kartuşları ve sıvı, macun ve renkli tonerler	Toner ve toner kartuşları elektrikli ve elektronik ekipman atıklarından sökülerek ayrı olarak toplanmak zorundadır
Baskılı devre levhaları	Baskılı devre levhalarında SMD yonga dirençleri, kızıl ötesi algılayıcıları ve semi kondüktörler gibi kadmiyum içeren birçok parça mevcuttur
PCB içeren kondansatörler	PCB içeren kondansatörler güvenli ayrıştırma için sökülme zorundadır
LCD	Alanı 100cm ² den büyük olan sıvı kristalli görüntüleyiciler elektrikli ve elektronik ekipman atıklarından sökülme zorundadır
Plastik ihtiva eden halojenli yanma geciktiriciler	Plastik halojenli yanma geciktiricilerin yanması ve/veya tutuşması sırasında zehirli bileşenler oluşabilir
CFC, HCFC veya HFC ihtiva eden ekipmanlar	Soğutma çevriminde ve köpükte bulunan CFC uygun şekilde çekilmeli ve imha edilmelidir; soğutma çevriminde ve köpükte yer alan HCFC veya CFC uygun şekilde çekilmeli ve imha edilmeli yada geri dönüştürülmelidir
Gaz akışkanlı lambalar	Cıva taşınmak zorundadır

Kadmiyum (Cd): Cd insan vücudunda böbrekte birikir ve insanı zehirlemektedir. Yüze bindirilmiş aletler, yonga resistörleri, infrared dedektörleri, yarı iletkenler ve eski tip CTR tüpleri Cd içermektedir. Ayrıca plastiklerde stabilizatör olarak kullanılmaktadır.

Bromlu Alev Geciktiriciler (BFR): Normal gelişme için hormonal fonksiyonları önemli derecede etkilemektedir. BFR işyeri ve ofislerdeki bilgisayarlar üzerindeki tozlarda bulunmaktadır ve ABD ve İsveç'te anne sütünde çok fazla miktarda rastlanmaktadır.

Fosfor (P): CTR tüpün iç yüzünü kaplamak için kullanılmaktadır. Kırılan tüplerden oluşan tozların teneffüsü çok risklidir. Fosforun zararı pek fazla bilinmemektedir.

Baryum (Ba): CRT tüpünden radyasyonu azaltmak için kullanılmaktadır. Kısa süre Ba maruziyeti beyin ŐiŐmesine, kas zayıflığına, kalp ve karaciğer hastalığına neden olabilmektedir.

Altı Değerlikli Krom (Cr^{+6}): Korozyon koruması ve iŐlenmemiŐ galvaniz elik levhalar ve serleŐtirilmiŐ elik için kullanılmaktadır. DNA hasarı ve astimik bronŐite sebep olabilmektedir.

Berilyum (Be): Ana kart ve bağlantılarda bulunmaktadır. Son zamanlarda Be kanserojen olarak sınıflanmaktadır.

Plastikler: Bir bilgisayarda ortalama 7 kg civarında PVC de içeren plastik bulunmaktadır. Belli sıcaklıkta yandığında dioksin oluşmaktadır. Plastik kombinasyonları basılı devrelerde, PVC en tehlikeli plastiktir.

BÖLÜM 3. ELEKTRONİK ATIK DEĞERLENDİRME TEKNİKLERİ

Elektrik ve elektronik atıklara uygulanan geri dönüşüm işlemlerindeki ana amaç; bu cihazların tekrar kullanımının söz konusu olmadığı durumda, çeşitli yöntemlerle mümkün olduğunca fazla miktarda metal ve plastik geri kazanımıdır. Bunun yanında, zararlı maddeler de sistemden uzaklaştırılmalıdır.

3.1. Tekrar Kullanım

Elektronik cihazların kullanım ömrü, ekipmanların özellik ve kapasitelerindeki hızlı değişimler sebebiyle oldukça kısa olmaktadır. Bu durum, önemli miktarlarda elektronik atık oluşumuna neden olmaktadır.

Elektronik atıkların bertarafı için uygulanan bazı konvansiyonel yöntemler olmasına rağmen, bu yöntemler ekonomik ve çevresel açılarından elverişli olmamaktadır. Bunun nedeni bir ürünün, hayat çevrimi boyunca (tasarım, üretim, kullanım ve elden çıkarma) çevreye verdiği zararın, ekonomik ömrünü tamamladığında doruk noktaya çıkmasıdır. Belli bir grup için ömrünü tamamlamış olarak görülen elektronik malzemeler farklı kişilerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek nitelikte olmaktadır. Son kullanıcılarından alınan elektronik atıklar herhangi bir müdahaleye gerek duyulmadan veya basit onarımlarla kullanılabilir durumda ise bütün olarak farklı kullanıcılar tarafından kullanılabilir (monitör, cep telefonu, faks..). Bütün olarak kullanılmayan elektronik atıkların içindeki kullanılabilir parçalar (CD sürücüler, tv kartları..) farklı ihtiyaçlar için değerlendirilebilmektedir [9].

Bir kullanıcının ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalan elektronik ürünlerin, ikincil kullanıcı tarafından aynı veya farklı amaçlı kullanılmasına “tekrar kullanım – reuse” denilmektedir.

Kullanılmış cihazlar geri dönüşüm tesisine aktarıldıktan sonra ikincil piyasada kullanılmak üzere farklı ekonomik değerlere sahip olacak şekilde üç kategoriye ayrılır.

İlk kategori; yenilendikten sonra ikinci el kullanıcılara satılacak veya hibe edilecek elektronik malzemelerdir. İkinci kategori; geri kazanılmış, yeniden satılabilir veya yeniden kullanılabilir parçalardan oluşmaktadır. Üçüncü kategori ise; değerlendirilmiş veya geri dönüştürülmüş materyallerden oluşmaktadır. Yeniden kullanım için yapılan kontrol ve testler komplike olmamalarına rağmen zaman alan ve yoğun iş gücü gerektiren faaliyetlerdir. Tak ve çalıştır testinde başarısız sonuç veren cihazların parçaları yeniden satılmak ve yeniden kullanılmak üzere demonte edilmektedir. Cihazı oluşturan her bir parçanın elektronik atıktan geri kazanımının, cihazın bütünü için kolaylıkla uygulanabilen tak-ve-çalıştır testinden daha karmaşık bir süreç olduğu bilinmektedir. Bu parçaların geri kazanım prosesinden sorumlu olan personelin, hangi parçaların değer taşıdığı, sistem demontajının nasıl yapılacağı ve hangi parçaların demontajının hassasiyetle yapılacağı (hard disk, vb.) konularında bilgi ve deneyim sahibi olması gerekmektedir.

Kısaca tekrar kullanım atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılmasındır [2]. Elektrikli elektronik ekipmanların bir takım bileşenlerinin aynı amaç doğrultusunda tekrar kullanılmasındır [20].Yeniden kullanılabilir malzemelere örnekler Şekil 3.1 de verilmiştir.

Çalışan Komple Cihaz					
Çalışan Yedek Parça					
Çalışan Komponent					

Şekil 3.1. Yeniden kullanılabilir elektronik atık ekipman ve parçaları

3.2. Geri Dönüşüm

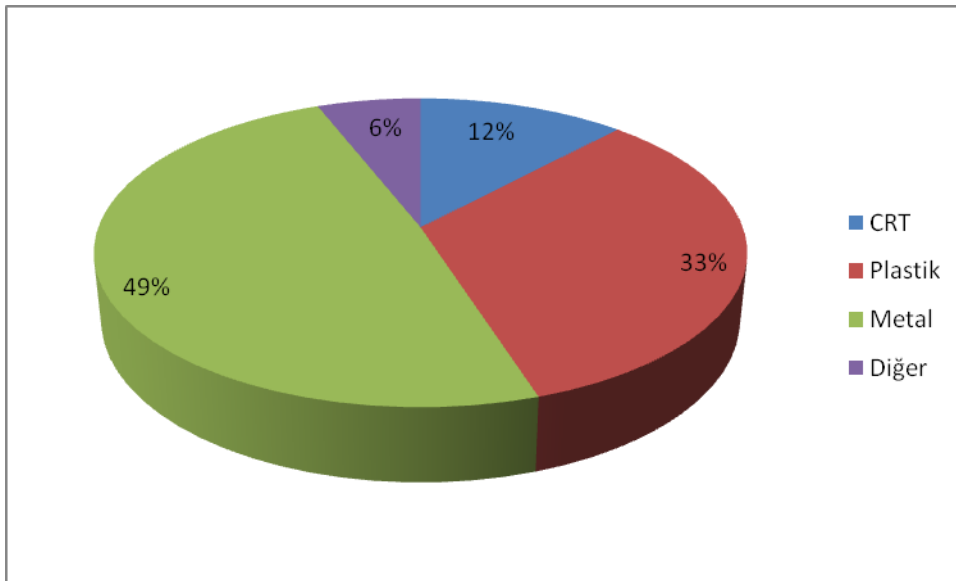
Atıkların bir üretim prosedürüne tabi tutularak, orijinal amaçlı ya da enerji geri kazanımı hariç olmak üzere, organik geri dönüşüm dahil diğer amaçlar için yeniden işlenmesidir [2]. Parçanın ömrü tamamlandığında malzemelerinin tekrar hammadde olarak üretim sürecine kazandırılabilmesi işlemleridir [20].

3.3. Geri Kazanım

Tekrar kullanım ve geri dönüşümü de kapsayan; atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir [2-21]. Tekrar kullanım ve geri dönüşüm

işlemlerinin yanı sıra enerji elde edilmesi amacıyla yapılan yakma operasyonunu da kapsayan tüm işlemlerdir [20].

Konutsal alanlarda yürütülen e-atık toplama programları, toplanan atıkların büyük çoğunluğunun TV'ler, bilgisayarlar ve monitörlerden oluştuğunu göstermektedir. Toplanan elektronik atıkların ağırlık olarak % 90'dan fazlasını, şekil 3.2'de belirtildiği gibi, metaller (%49), plastikler (%33) ve katot ışınlı tüpler (%12) oluşturmaktadır. Yalnızca bilgisayarların toplanması durumunda bu dağılım değişmektedir; cam (%25), metaller (%48), ve plastikler (%23). Yalnızca TV'lerin toplanması durumunda ise dağılım; cam (%48), plastik (%15) ve metal (%32) olarak değişmektedir [6]. Evsel elektronik atıkların içindeki metallere ait dağılım Şekil 3.2 de gösterilmektedir. Herhangi bir geri kazanım tesisindeki materyal geri kazanım oranı tesisin büyüklüğü ve hedeflenen elektronik cihazlar gibi çeşitli parametrelere bağlı olmaktadır.



Şekil 3.2. Toplanan evsel elektronik atık içerisindeki materyallerin dağılımı [6].

Atık İşleme :Elektrikli ve elektronik ekipman atıklarının tesise taşınmasından sonraki her türlü temizleme, demontaj, parçalama, geri kazanım veya bertaraf faaliyetleri ve elektrikli ve elektronik ekipman atıklarının diğer her tür geri kazanım ve/veya bertaraf işlerinin yapılmasıdır [3].

Tersine Tedarik veya Kazanım : Geri kazanım sürecinin ilk adımı olan bu aşamada tersine imalat için mamul tipleri seçilir ve mamuller saptanır, toplanır ve tesislere taşınır [21].

Keşif: Geri kazanım sürecinin ikinci adımı olan bu aşamada giren mamullerin değerleri tahmin edilir ve süreç (proses) çıktıları belirlenir [21].

Demontaj : Geri kazanım sürecinin üçüncü adımı olan bu aşamada mamullerin onarım, yenileme, ıslah edilme veya geri dönüşüm için fiziksel olarak parçalara ayrılmasıdır [21].

Hasarsız Demontaj : Mamulün ve mamulün tüm bileşenlerinin tasarım değerlerini koruyacak şekilde mamulün hassas olarak demontaj edilmesidir [21].

Hasarlı Demontaj : Mamulün bazı bileşenlerinin tasarım değerlerinin korunarak ve geri kalan bileşenlerinin tahrip edilerek demontaj edilmesidir [21].

Tam Demontaj : Mamulün tüm bileşenlerinin demontaj yöntemleri kullanılarak %100 geri dönüşüm oranının sağlanmasıdır [20].

Kısmi Demontaj : Mamulün birtakım bileşenlerinin demontaj yöntemleri kullanılarak %100'ün altında bir geri dönüşüm oranı sağlanacak şekilde yapılan demontaj işlemleridir [20].

Alt Demontaj : Bir mamulün belli sayıda bileşenlerinin oluşturduğu ve kendi içinde demontaj gerektiren parça grubudur [20].

Parçalama : Tüm tasarım değerlerinin tahrip edilerek mamulün demontaj edilmesidir [21].

3.4. Bertaraf

Katı atıkların, konut, işyeri gibi üretildikleri yerlerde geçici olarak biriktirilmesi, bu yerlerden toplanması, taşınması, geri kazanılması gibi işlemlerden sonra, çevre ve insan sağlığı açısından zararsız hale getirilmesi ve ekonomiye katkı sağlanması amacıyla kompostlaştırma, enerji kazanmak üzere yakma ve/veya düzenli depolama işlemlerinin tümüdür [2].

Gömme : En son tercih edilen ve geri kazanım operasyonlarının hiçbirinin uygulanamaması durumunda kullanılan atık yok etme işlemidir [20].

BÖLÜM 4. ELEKTRONİK ATIKLARDAN DEĞERLİ METAL GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ VE UYGULAMALARI

4.1. Elektronik Atıklarda Bulunan Değerli Metaller

4.1.1. Altın

Elektrik iletkenliği yüksek (bakırdan daha çok gümüşten biraz az) olan ve kolayca kimyasal tepkimelere girmeyen altın en çok elektrik ve elektronik sanayilerde bağlantıların, terminallerin, baskı devrelerinin, transistörlerin ve yarı iletken sistemlerin kaplanmasında kullanılır. Üzerine düşen kızılötesi ışınların yaklaşık %98'ini yansıtarak geri çevirebilen ince altın levhalar, uzay elbiselerinin başlığındaki göz deliklerinde zararlı ışıklardan korunmayı ve suni uyduların yüzeylerinde sıcaklığın denetlenebilmesini sağlar. Büyük büro binalarının pencerelerinde de yine ince levhalar halinde altın kullanılması, yalnız estetik açısından değil, bu yansıtıcı yüzeyin çevreyle ısı alış-verişini büyük ölçüde azaltmasından kaynaklanır.

Altın, bakır ve gümüşe göre mükemmel elektriksel iletkenliği, üstün termal iletkenliği (hızlı ısı dağılımı) ve korozyon direnci daha iyi olduğundan dolayı, elektronik malzemelerin üretiminde tercih edilmektedir, fakat pahalıdır. Üstelik kolay kolay tepkimeye girmeyen çok kararlı bir element olduğu için havadan ve sudan etkilenmez. Bu yüzden paslanmaz, kararmaz ve donuklaşmaz. Bir başka özelliği de saf haldeyken çok yumuşak olmasıdır; bu nedenle kolayca dövülerek biçimlendirilir [14].

4.1.2. Gümüş

Gümüş, ışığı çok iyi yansıtan, dövülebilen, sünek bir metaldir. Bir gram gümüşten 2 km uzunluğunda ince tel çekilebilir. Elektrik sistemde küp ve altıgen olarak

kristallenir. Koordinasyon sayısı altı olduğu hallerde, yaklaşık atom çapı 1,444 angström değerini alır[22].

Atmosferde oksitlenmeye karşı büyük bir mukavemet gösterir. Bakırdan daha zor, altından ise daha kolay oksitlenir. Standart elektrot potansiyeli 0,7978 V'dur. Asitlere ve birkaç organik maddeye karşı dayanıklıdır. Fakat nitrik asit ve derişik sıcak sülfürik asitte kolayca eritilir. Ayrıca kükürt ve birçok kükürt bileşikleri ile hemen birleşir. Gümüş eşya üzerindeki kararmanın sebebi, havadaki hidrojen sülfür ve kükürttür.

Periyodik tabloda ağır metaller grubu içinde yer alan gümüşün, çoğu özellikleri bakırın özelliklerine benzemekle beraber bakır, çoğu bileşiklerinde iki değerlikli olması ile gümüşten farklıdır .

4.1.3. Paladyum

Kıymetli metallere sayılır. Beyaz altın elde edilmesinde kullanılır. Bugün toz halinde satılan 1 gramlık şişesi yaklaşık 300 dolardır. Gümüş gibi parlaktır. Gayet ince dağılmış bir halde iken, periyodik tabloda kendisinin üstünde bulunan Nikelden daha fazla Hidrojen gazını çözer. Paladyumda çözülmüş bulunan Hidrojen Nikelde olduğu gibi çok aktif bir haldedir ve doymamış organik bileşikleri hidrojenlendirebilmektedir. Hiçbir gazı geçirmeyen levha halindeki Paladyum, Hidrojen gazını geçirir. Paladyum, tuzlarında ekseriyetle +2 değerliktedir, bunlar kahverengidirler. Kahverengi ve nem kapıcı billurlardan oluşan karbon monoksit tarafından koloidal şekilde bulunan ve siyah renkte olan Paladyum metaline indirgenir. Çok katmanlı seramik kapasitörler, karma entegre devrelerin kaplamasında kullanılır [22].

4.1.4. Bakır

Bakır, çeşitli Bakır, çeşitli piro, hidro ve elektrometalurjik metotların kullanılmasıyla cevherlerinden saf olarak üretilmektedir. Dünya bakır üretiminin %80'i sülfürlü cevherlerden yapılmaktadır.

Elektriği diğer bütün metaller içinde gümüşten sonra en iyi ileten metal olması ve endüstriyel önemi yüksek, pirinç, bronz gibi alaşımlar yapması nedeniyle tercih edilmektedir.

Kolayca şekil alabilmesi ve bükülebilmesi nedeniyle bozuk paraların, elektrik tellerinin ve su borularının yapımında kullanılmaktadır [22].

Elektronik atıklarda bulunan değerli metal oranları tablo 4.2.' de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Elektronik atıklarda bulunan değerli metal oranları [3].

Elektronik Atık	Ağırlık(%)			Ağırlık (ppm)				
	Fe	Cu	Al	Pb	Ni	Ag	Au	Pd
TV kart hurdası	28	10	10	1	0,3	280	20	10
PC kart hurdası	7	20	5	1,5	1	1000	250	110
Cep telefonu hurdası	5	13	1	0,3	0,1	1380	350	210
	23	21	1	0,14	0,03	150	10	4
DVD çalar hurdası	62	5	2	0,3	0,05	115	15	4
Hesap makinesi hurdası	4	3	5	0,1	0,5	260	50	5
TV anakart hurdası	4,5	14,3	2,8	2,2	1,1	639	566	124
Baskı devre kartı hurdası	12	10	7	1,2	0,85	280	110	
TV hurdası (CRT'si ayrılmış)		3,4	1,2	0,2	0,038	20	<10	<10
Elektronik hurdası	8,3	8,5	0,71	3,15	2	29	12	
PC hurdası	20	7	14	6	0,085	189	16	3
Genel elektronik hurdası	8	20	2	2	2	2000	1000	50
E-atık örnek 1	37,4	18,2	19	1,6		6	12	
E-atık örnek 2	27,3	16,4	11	1,4		210	150	20
Baskı devre kartı	5,3	26,8	1,9		0,47	3300	80	
E-hurda (1972 örneği)	26,2	18,6				1800	220	30
Karışık e-atık	36	4,1	4,9	0,29	1			

4.2. Değerli Metal Geri Kazanım Yöntemleri

Gelişmiş ülkeler ülkede bulunan e-atığın % 20'sini atık gönderiminin yasal olduğu Afrika ve Asya'da bulunan ülkelere göndererek bu sıkıntılarını kurtulmaya çalışmaktadır [13].

4.2.1. Çin 'de ki geri kazanım uygulamaları

Toner Süpürme ; Çin'de Guiyu kasabasının belirli alanları yazıcı ayrıştırmak için tahsis edilmiştir. Bu alanlarda tonerler, kartuşlar, renkli fotokopi ve yazıcıların siyah kartuşları ile birlikte kırmızı, sarı ve mavi tonerler de ayrıştırılmaktadır. Herhangi bir koruyucu maske veya özel kıyafeti olmayan işçiler bu toner ve kartuşları çıplak elleriyle, tornavida gibi aletler yardımıyla açıp, kullanılmış boya fırçaları ile kovaların içine süpürmektedirler. Ayrılmış tonerin sonunun ne olduğu da belli değildir. Bu süpürme yöntemi, çalışanların etrafında sabitleşen bir toz bulutu oluşturur ve bu toz bulutu çalışanlar tarafından solunur. Gün içinde çalışanların kıyafetleri ve derileri kararmaktadır [5].

Açık Yakma; Bilgisayar parçalama sürecinde yüksek miktardaki materyaller, en tehlikeli işlemlerin yapıldığı Guiyu kasabası dışındaki nehir boyunca depolanmaktadır. Kablolar, içerisindeki bakırın ayrıştırılması amacıyla yakılmaktadır. Bu sebepten şehirdeki evler ve toprak siyah bir kül tabakası ile kaplanmıştır. Yerel yönetimin olaya tepkili bakışından dolayı bu tip işlemler gece yarısı yapılmaktadır.

Kabloların dışında izolasyon amaçlı kullanılan maddelerde bulunan PVC ve diğer maddelerin içeriğindeki kimyasallar, çevre kirliliği açısından en tehlikeli maddelerdendir ve bu maddeler yakılması sırasında açığa çıkan dumanı ve külleri ile çevreye salınmaktadır. Aynı zamanda kanserojen madde olan PAH'ın, emisyonlarda ve küllerde olma ihtimali çok yüksektir. Kasabada yaklaşık 100 kişi yaşamakta ve bunların içinde hamile kadınlar da bulunmaktadır. Kasabada evsel amaçlı kullanılan, aynı zamanda içilen ve yıkama yapılan sular külle kontamine olmuş yüzey sularıdır. Kasaba, sakinlerinin gıda ve protein ihtiyacını karşılayan 2 adet balık göletinin hemen yanındadır ve bu göletler tehlikeli maddelerle kontamine olmuş durumdadır .

CRT'lerin Kırılması ve Dökülmesi ; Bilgisayar monitörlerinden ve TV'lerden çıkan CRT'lerin Çin'e, yeni TV veya bilgisayar üretiminde yeniden kullanılmak üzere satıldığı bilinmektedir. Ancak Guiyu'da durum bundan farklıdır. Sadece CRT'lerdeki tüplerden çıkarılan kabloların bakır çıkarma işlemleri için satıldığı belirlenmiştir. Bu

köydeki antik yıkama kanalları, kırık monitör camları ve geri dönüştürülmemiş plastik atıklarla doludur [13].

Boardların Geri Dönüşümü; Parçalama ile yapılan geri dönüşümler içinde en mantıklısı elektronik boardlardaki çeşitli komponent maddelerinin toplanmasıdır. Bunun için, çoğu kadın ve kız çocuklardan oluşan yüzlerce işçi çalışmaktadır. Çalışanlar boardları, kömürle dolu, tutuşturulmuş tenekelerin üzerine yerleştirirler, bu şekilde ısıtılan boardlardaki lehimler erir ve çipler çıkartılabilir hale gelir. Bunlar çekilerek yerinden çıkarılıp hızlıca kovalara yerleştirilir. Lehimler de daha sonra eritilip satılmak için kaya gibi sert maddelere vurulup silkelenerek toplanır. Daha sonra sökülmüş çipler, içindeki altın gibi değerli metallerin ayrıştırılması için birbirlerinden ayrılır. Lehimlerin sökülme işlemlerinden sonra silkelenmiş boardlar, daha az değerli komponentlerin ayrılması için başka kişiler tarafından toplanır. Boardlar son olarak, üzerlerinde kalmış metallerin ayrıştırılması için nehir boyundaki asit veya yakma bölgelerinde toplanır. En fazla kontamine olmuş alanlar bu boardların yakıldığı bölgelere yakın olan yerlerdir [5].

Çiplerin Asitle Soyulması ; Boardlardaki değerli metalleri ayrıştırmak için çipler sökülmemektedir. Metalleri açığa çıkarma işlemi çoğunlukla asit banyoları kullanılarak yapılmaktadır. Bu asit banyoları çoğunlukla %25 saf Nitrik asit ve %75 saf Hidroklorik asit karışımından ibarettir. Asit banyolarına ait görüntüler Şekil 4.1 de verilmiştir. Bu karışım önce hafif ısıtıldıktan sonra da bilgisayar çiplerinin dolu olduğu varillere boşaltılmaktadır. Bunlar çipteki küçük oranlardaki Altın'ın çözülmesi için karıştırılmakta ve birkaç saat sonra varilin dibinde altın tabakası oluşabilmesi için yoğunlaştırıcı bir kimyasal madde ilave edilmektedir.



Şekil 4.1. Asit banyolarında metal çıkarma [13].

Bu proses uzaklardan görülebilen büyük asit gazı bulutlarının oluşmasına sebep olur. Bu asit karışımı, nehir kenarlarının kuvvetli asit çözeltilerine maruz kalarak kirlenmesine sebep olmaktadır. Bu proseste gece gündüz çalışan insanlar sadece lastik eldiven ve botlarla korunmakta fakat asit gazlarını solumalarını engelleyecek hiçbir koruyucu ekipmanları bulunmamaktadır.

Plastik Parçalar ve Eritme; Elektronik atıkların plastik parçaları ve bilgisayar kasaları, plastik klavye parçaları işlenmek üzere farklı yerlere gönderilmektedir. Burada zamanın çoğu, plastik parçalarını ufalamak için kullanılmaktadır. Çeşitli renklerdeki plastik parçalar, düzgün renkli bir eriyik oluşturmaları için belli bir düzene göre ayrılmaktadır (Şekil 4.1). Çoğunlukla bu iş için çocuklar kullanılmaktadır. Bu plastiklerin eritilme işlemleri küçük havalandırılmalı ve solunum koruması olmayan odalarda yapılmaktadır.



Şekil 4.2. Elektronik atıklardan ayrıştırılan plastikler , metaller ve çipler [5].

Materyal Çöplükleri ; Söz konusu olan elektronik atıkların ve proses atıklarının büyük miktarı geri dönüştürülememektedir ve açık alanlara, nehir yataklarına, kıyılara, göletlere ve sulama kanallarına yığılmaktadırlar. Bu maddeler, kurşunlu CRT'ler, yakılmış veya asitle muamele edilmiş boardlardan oluşmaktadır. Aynı zamanda çöplükler, açık yakma operasyonlarının külleri, asit banyolarının artıkları ve çamurlarından oluşmaktadır .

Çökelti ve Su Örneği Sonuçları; Guiyu yakınlarındaki nehirden alınan su örneği üzerinde yapılan araştırmalara göre, ağır metallerin üst seviyelere ulaştığı gözlemlenmiştir. Alınan su örneğindeki Kurşun oranının WHO'nun belirlediği üst sınırın 2500 katı kadar olduğu saptanmıştır. Aynı zamanda boardlarda ve CRT'lerde bulunan ağır metallerin oranları da bu numunelerde çok yüksek oranlardadır. Bir örnekte ise; Baryum oranının EPA eşik değerinin 10 katı kadar fazla, Kalay oranının EPA eşik değerinin 152 katı kadar fazla ve Krom oranının 1338 katı kadar fazla olduğu belirlenmiştir. Bu örnekler Guiyu'nun kirlenme oranını tam olarak yansıtmamaktadır, sadece, o bölgedeki tehlikenin ne kadar büyük olduğunun öncül bir göstergesidir [13].



Şekil 4.3. Çin’de nehir kenarında depolanan elektronik atıklar

4.2.2. Hindistan ve Pakistan ‘da e - atık geri kazanım uygulamaları

Hindistan ve Pakistan’da da elektronik atıklar Çin’deki yöntemler kullanılarak işlenmektedir. Ancak Hindistan ve Pakistan’daki şartların Çin’den çok daha kötü olduğu bilinmektedir. Pakistan’da boardların yakılması (Şekil 4.4) ve asitle muamele edilme işlemleri herhangi bir havalandırma sistemi bulunmayan odalarda yapılmakta ve bu işlemler Yenidelhi’nin ortasında çocuk işçilere yaptırılmaktadır .



Şekil 4.4. Pakistan’da elektronik atıkların açık alanda yakılması [5].

Pakistan Karachi’de elektronik atık geri dönüşümü; Shen Shah, Pakistan’da ikinci el ve hurda bilgisayar malzemesi, her türlü elektronik eşya satışı yapan bir firmadır. Bilgisayar atıklarının ve hurdalarının geldiği ülkeler Avusturya, Japonya, İngiltere, Kuveyt, Suudi Arabistan, Dubai gibi ülkelerdir. Elektronik atıkları Dubai’den alıp deniz konteynırları vasıtasıyla Karachi’ye taşımaktadır. Dubai’deki hurda fiyatı tüm vergiler dahil 65 sent, 35-40 Pakistan Rupisi’dir. Bu hurdalar limana geldiğinde görevliler tarafından değerleri ve kullanım alanlarına göre ayrıştırılarak büyük depolara alınmaktadır. Bu depolar, alıcıların tekrar kullanım için veya hurda işlemek amacıyla alışveriş yapabilecekleri açık marketler gibi çalıştırılmaktadır. Bu malzemelerin sadece %2’lik bir kısmı tekrar kullanılabilir. Geri kalan kısmından plastik ve metaller ayrıştırılmaktadır.

Atık bir bilgisayarlardan çıkarılan maddeler, bakır, altın, platin, plastik ve camdır. Ayrıştırma işlemi sırasında hiçbir koruyucu ekipman kullanılmamaktadır ve tüm işlemler çıplak elle yapılmaktadır. Öncelikle bilgisayarların ana parçaları ayrılır. Bunlar monitörler, klavyeler, ana kartlar, CD yazıcılar ve boardlardır[15].

Monitörler ; Monitörün parçalarına ayrıştırılmasındaki asıl amaç monitör tüplerinin çevresindeki Bakır’ın elde edilmesidir. Cam ve plastik parçalar da çöp olarak depolanmaktadır. Plastik parçalar yakılmakta veya kg’ı 10 Pakistan Rupisi’ne satılmaktadır.

CD ve CD Sürücüler ;CD sürücüler tamir edilebilir veya kullanılabilir durumdaysa marketlerde satışa sunulmaktadır. Eğer tamir edilemeyecek durumda ise parçalanarak diğer geri dönüşüm işlemlerine tabi tutulmaktadır.

Ana kart, kart, çipler ve işlemcileri içeren devre tablaları ;Metal içeren parçalardan metallerin ayrıştırılması amacıyla uygulanan yakma ve eritme işlemleri sırasında ortaya çıkan alev, işgücü üzerinde olumsuz etkileri vardır. Devre tablaları önce alev tabancaları ile ısıtılmaktadır. Çipler, metallerin çıkarılması için tabladan ayrılır. Tablanın üzerinde kalan lehim parçalarının erimesi ve ayrıştırılarak satılabilmesi için alev direkt olarak tablaya tutulmaktadır (Şekil 4.5).

Tablalardan Altın'ın çıkarılması için kullanılan yöntem yere dilde 'Adda' denilmektedir. Bu işlem, işçilerin odun ve kömürle dolu olan ve ateşi, fanlar ve körüklerle güçlendirilen küçük ateş çukurlarında yapılan bir eritme yöntemidir. Burada materyal yerel dilde 'Sikka' denilen parçalara eritilerek dönüştürülmektedir. Bu eritme işleminden sonra bu top şekilli parçacıklar asit banyolarına yerleştirilmekte, asit etkisiyle de birbirinden ayrılmaktadır. Daha sonra Bakır ve Altın'ı ayırtmak için kimyasal bir toz uygulanmaktadır. Platin de ayrıştırılır ancak bu pek sık kullanılan bir uygulama değildir. Daha sonra kuyumcular bu parçaları küçük toplar haline getirmektedir [13].



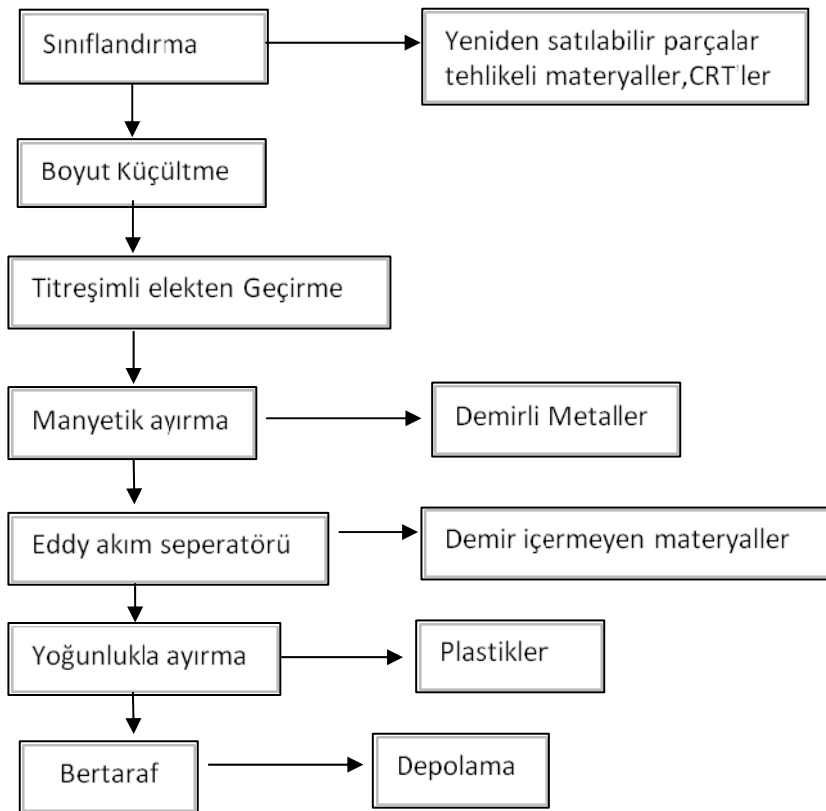
Şekil 4.5. Hindistan'da elektronik atık geri kazanımı [5].

4.3. Modern Teknolojiler ile Geri Kazanım Yöntemleri (Rafineriler)

Asya ve Afrika ülkelerinde e-atık geri kazanımı için uygulanan ilkel yöntemlere rağmen dünyanın çeşitli ülkelerinde bu amaçla kurulmuş, gelişmiş teknolojilere sahip e-atık geri kazanım tesisleri bulunmaktadır.

4.3.1. Materyal geri kazanım prosesi

Elektronik atık, geri dönüşüm veya materyal geri kazanım tesislerine aktarıldıktan sonra, test edilmekte ve sınıflandırılmaktadır. Materyal geri kazanım prosesi, elektronik atık geri dönüşümünde en önemli adımdır. Toplanan ekipmanın nasıl değerlendirileceğiyle ilgili kararın verildiği birim materyal geri kazanım prosesidir. Materyal geri kazanım prosesi için toplanan ekipman, ‘yeniden kullanılabilir’ veya ‘geri dönüştürülebilir’ olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Yeniden kullanılabilir ekipman ve parçalar sınıflandırıldıktan sonra geriye kalan tüm materyaller uygunsa geri dönüşümde, değilse hurda olarak kullanılmaktadır. Bu aşamadaki önemli faktörler, toplanan cihazların ekonomik değerinin en yüksek düzeye çıkarılabilmesi açısından, ekipmanın yaşı ve ekonomik durumu olarak belirlenmiştir [6]. Bir materyal geri kazanım prosesinin aşamaları şematik diyagram olarak Şekil 4.6.’da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Materyal geri kazanım prosesinin basitleştirilmiş şeması [6].

4.3.2. Materyallerin geri kazanımı

Demontajı yapılmış olan TV ve bilgisayarlardan elde edilen materyaller Tablo 4.3.'de gösterilmektedir. Bu sonuçlar, elektronik cihazlardan çıkarılan parçaların büyük çoğunluğunun metal, plastik ve camdan oluştuğunu göstermektedir.

Tablo 4.2. TV ve bilgisayar demontajı sonucu çıkan malzeme oranları [6].

Madde	Televizyon	Bilgisayar
Cam	47,6	24,8
Plastik	14,7	23
Baskılı elektrik panosu	5,6	–
Değerli Metal	27,1	0,02
Demir	0	20,47
Kurşun	0	6,3
Alüminyum	0	14,17
Bakır	4,8	6,93
Diğer	0	4,3
Toplam	100	100

Herhangi bir metal geri kazanım prosesindeki materyal geri kazanım oranı, tesisin büyüklüğü ve hedeflenen elektronik cihazlar gibi çeşitli parametrelere bağlıdır.

4.3.3. Metallerin geri kazanımı

1998 yılında, geri dönüştürülmüş elektronik cihazlardan 29.000 tonun üzerinde metal geri kazanılmıştır. Alüminyum 4500 ton, çelik 19.900 ton, bakır 4600 ton ve değerli metaller (altın, paladyum, platin, gümüş) 1 ton civarında geri dönüştürülmüştür [9].

Metalik parçalar metal geri kazanım prosesinde sınıflandırıldıktan sonra genellikle metal geri kazanım tesislerine gönderilmektedir. Metal geri kazanım prosesinin çok büyük olduğu durumlarda, bakır ve değerli metaller proses için doğrudan rafineriye gönderilmektedir. Bazı durumlarda bakır ve diğer değerli metallerin ayrışımı için

devre levhaları tavsiye fırınlarına gönderilmektedir. Fakat, küçük ve/veya orta ölçekli metal geri kazanım prosesleri söz konusu olduğunda, bu materyaller öncelikle hurdacıya gönderilmekte, daha sonra hurdacı tarafından deniz aşırı pazarlara veya proses için herhangi bir tasfiye fırınına yeniden satılmaktadır. Değerli metaller haricinde elektronik atıktan geri kazanılan metal türlerinin büyük bir çoğunluğu genellikle kilogram başına 1 ABD dolarından daha az bir fiyattan satılmaktadır [9].

4.3.3.1 Manyetik ayırıştırıcı

Bir manyetik ayırıştırıcı, demir içeren parçaları normal veya elektro-mıknatis vasıtasıyla ayırabilmektedir. Kullanılan en yaygın manyetik ayırıştırma sistemi konveyör banttır. Kırma işleminden sonra, parçacıklar bir konveyör bandı ile mıknatisin üzerine taşınmaktadır. İçerisinde demir bulunan metalik parçacıklar manyetik çekim gücü sayesinde banda yapışır ve içerisinde demir bulunmayan metal parçacıklar yerçekimi etkisiyle bir toplama havuzunda toplanmaktadır. Halen banda yapışık olarak hareket eden demirli metalik parçacıklar bantta kalan diğer materyallerden uzaklaştırılarak manyetik alandan daha fazla etkilenmeyecekleri ayrı bir toplama havuzunda toplanmaktadır [8].

4.3.3.2. Döner akım seperatörü

Döner akım seperatörleri, alüminyum ve bakır gibi demir içermeyen metalleri metalik olmayan diğer materyallerden ayırmak için kullanılmaktadır. Al ve Cu gibi demir içermeyen metalik parçacıklar seperatörün üzerinden geçirilirken seperatörün içerisindeki mıknatisler yüksek hızla döner ve bu rotasyon sonucunda alüminyum içerisinde döner akımlar oluşturmaktadır. Bu akım, alüminyum içeren parçacıkların etrafında manyetik alan oluşturmaktadır. Oluşan manyetik alanın polaritesi döner mıknatislerinkiyle aynıdır ve böylece alüminyum ve mıknatisler arasında bir itme gücü oluşmaktadır.

Oluşan bu itme gücü alüminyum içeren ve metalik olmayan materyal akışını birbirinden ayırmaktadır. Döner akım seperatörü ile ayrıştırılabilen materyaller Tablo

4.4.'de gösterilmektedir. Döner akım seperatörü için temel ayrıştırma kriteri σ/ρ oranıdır.

Tablo 4.3. Döner akım seperatörü ile ayrıştırılabilen materyaller ve özellikleri [10].

Maddeler	σ ($10^{-8}/\Omega\text{m}$)	ρ (10^3 kg/m^3)	σ/ρ ($10^3 \text{ m}^2/\Omega\text{kg}$)
Al	0,35	2,7	13,1
Zn	0,17	7,1	2,4
Ag	0,63	10,5	6
Cu	0,59	8,9	6,6
Pirinç	0,14	8,5	1,7
Pb	0,05	11,3	0,4

Burada, ρ : materyalin yoğunluğunu ve σ : elektriksel iletkenliğini temsil etmektedir. Bu oranın yüksek olduğu materyaller düşük olanlara kıyasla daha kolay ayrıştırılabilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere, alüminyum en kolay ayrıştırılan materyaldir.

Paslanmaz çelik, plastik, ve cam için bu oran sıfırdır ve bu yüzden bu materyaller döner akım seperatörü ile ayrıştırılamamaktadır. Bununla birlikte, metalik olmayan materyallerle kaplanmış demir içermeyen metalik materyallerin ayrıştırılması mümkün olmayabilmektedir. Örneğin üzeri kaplanarak izole edilmiş olan bakır bir telin ayrıştırılması mümkün değildir [10].

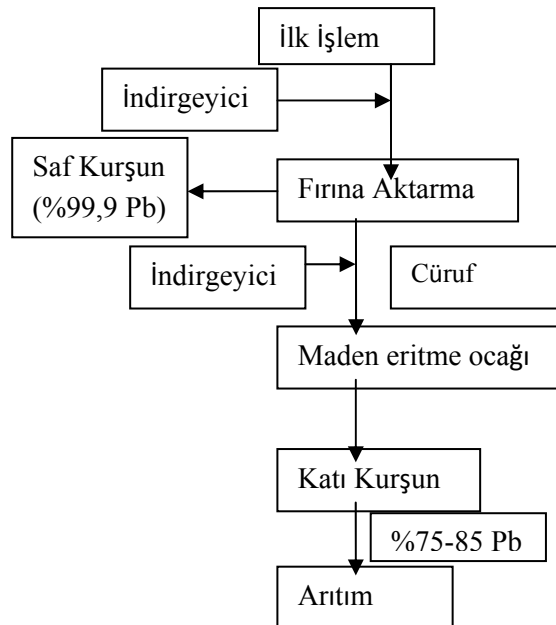
4.3.4. Kurşun (Pb) geri kazanımı

Kurşun'un geri kazanımı için, bir reflektör fırın, Kurşun içeren materyallerle doldurulur. Bu fırının içinde kurşun bileşikleri metalik kurşun külçelerine indirgenir ve cüruf gibi yabancı materyaller yükseltgenir. Kurşun külçesinin saflık derecesi ağırlık yüzdesi olarak % 99,9 'dan yüksektir.

Reflektör fırında meydana gelen tepkimeler şunlardır;



Daha sonra yüksek fırın (maden eritme ocağı), reflektör fırında oluşan cürüfla ve diğer Kurşun içeren materyallerle beslenmektedir. Demir ve kireç taşı, yanma verimini arttırmak için kullanılan eritici maddelerdir. Yukarıda belirtilen ilk tepkime, kurşun geri kazanımı ve ilgili tepkimeler için başlangıç noktasıdır. 2., 3. ve 4. tepkimeler yansımali fırında cüruf oluşumu ve kurşunun indirgenmesi sırasında meydana gelir. Yüksek fırında oluşan sert Kurşun (cüruf içerisinde bulunan %1-3 Kurşun'un yanı sıra) ağırlık yüzdesi olarak %75-85 Kurşun ve % 15-25 Antimon içermektedir. Yüksek fırın, kurşun geri kazanımı için kesintisiz olarak ve cürufun uzaklaştırılması için aralıklı olarak beslenmektedir. Cüruf ayrıca, CaO (kalsiyum oksit), SiO₂ (silika), ve FeO (demir oksit) içermektedir. Temel olarak silika ve demir oksitlerini içeren yüksek fırın cürufu, depolama alanlarında bertaraf edilmektedir [5]. İkincil kurşun geri kazanımı proses akım şeması Şekil 4.7.'de gösterilmektedir.



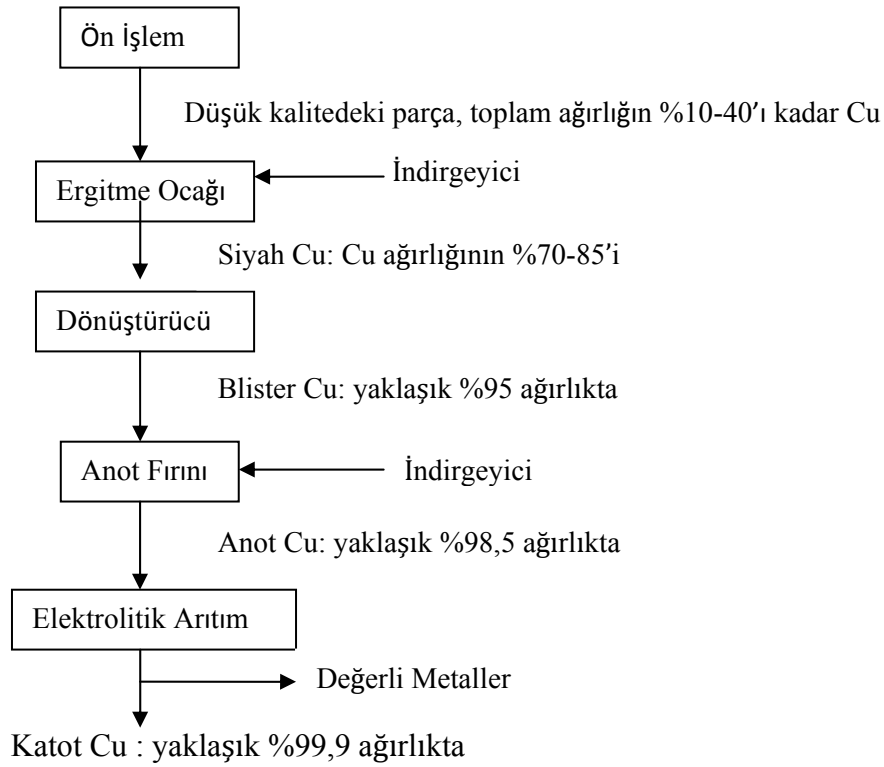
Şekil 4.7. İkincil kurşun geri kazanımı proses akım şeması [10].

4.3.5. Bakır (Cu) geri kazanımı

Ağırlık yüzdesi olarak %5-40 oranında bakır içeren elektronik atıklar yüksek fırına gönderilmektedir. Bakır bileşikleri, plastik türleri ve hurda demir gibi indirgeyici maddelerle indirgenmek zorundadır (Çünkü bakırın soy metal olma özelliği demirden daha fazladır). Ayrıca, Kalay, Kurşun ve Çinko gibi saflık derecesini düşüren materyaller gaz buharına indirgenmektedir. Yüksek fırında meydana gelen tepkimeler şunlardır;



Yüksek fırında meydana gelen tepkimeler sonrasında oluşan ürün bakır geri dönüşümünde kullanıldığında siyah bakır olarak adlandırılır ve ağırlık yüzdesi olarak %70-85 oranında bakır içermektedir. Siyah bakır, yükseltgenmek üzere konvertöre aktarılmaktadır. Bir konvertörde oksit bileşiklerinin elde edilmesi için hava veya oksijenle zenginleştirilmiş hava kullanılmaktadır. Saflık derecesini düşüren materyaller (Sn, Pb, Zn) yakılır ve Demir cüruf olarak uzaklaştırılmaktadır. Blister bakırın saflık derecesi %95'tir. Bir anot fırınında, blister bakır ve hurda bakır eritilmektedir. Bakırdan daha az soy metal özelliği taşıyan metaller seçime göre yükseltgenmektedir. Bakır eriyiği bir indirgeyici madde vasıtasıyla indirgenmektedir [5]. Bakır geri kazanım prosesi Şekil 4.8.'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.8. İkincil bakır geri kazanımı proses akım şeması [10].

Anot fırınında meydana gelen indirgenme tepkimesi aşağıda gösterilmektedir:



İndirgenme tepkimesinin hızlandırılması için indirgeyici madde olarak kok kömürü ve tahta kullanılabileceği gibi atık plastiklerde kullanılabilmektedir. İndirgeme tepkimesi esnasında sülfür giderimi de gerçekleşmektedir. İndirgenmiş Bakır, daha yüksek seviyede bakır geri kazanımı için bir anotun içine boşaltılmaktadır.

Geri kazanılan anot bakırı saflık derecesi, H_2SO_4 (sülfirik asit) elektroliti içerisinde Ni, Zn, ve Fe gibi diğer elementlerle birlikte çözündürülerek yükseltilebilmektedir. Saf bakır (ağırlık yüzdesi olarak %99,99) katotların üzerinde biriktirmektedir. Oluşan bakırın toplanmasından sonra ikincil Bakır dökümünden elde edilen yan ürünler ve cüruf, demiryollarında çakıl, kum raspası ve balast olarak kullanılabilmektedir. İkincil Bakır dökümü maden filizi kullanımına dayalı olmadığı için, birincil dökümü meydana getiren metal filizinin indirgenmesi ve yükseltgenmesi tepkimeleri gibi

maliyetli işlemlerden kaçınılmaktadır. Fakat bununla birlikte, yüksek verimli atık toplama sisteminin oluşturulması gerekmektedir.

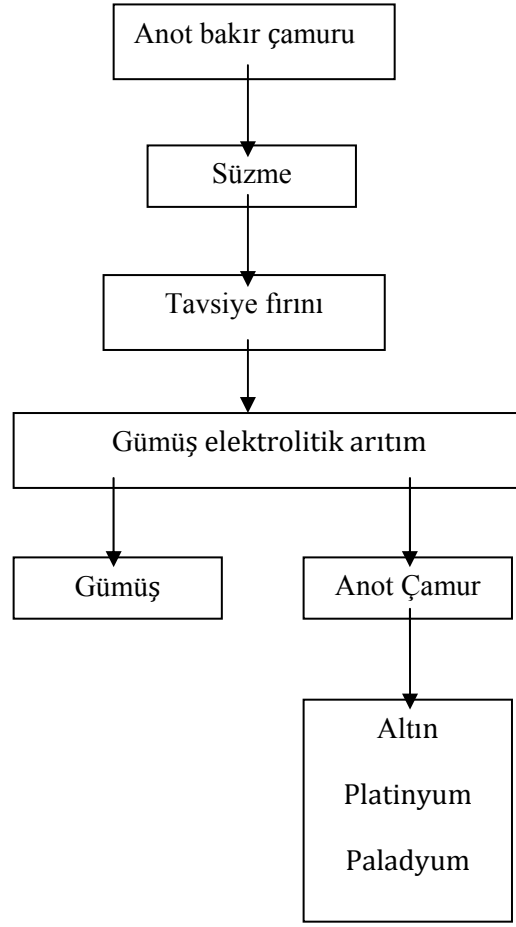
Yapılan yakma prosesine göre katı haldeki madde miktarının diğer numunelere göre inorganik içeriğinin daha yüksek olduğu görülür. Uzun süreli tepkimelerden sonra da bu içerikte azalma görülmemiştir [11].

Avrupa Plastik Üreticileri Birliği'nin yürüttüğü çalışmalar sonucunda, PC'ler ve PWB'ler gibi kullanım ömrünü tamamlamış elektronik atıklardan bakırın geri kazanılması için gerekli olan enerji miktarının, maden cevherinden bakır üretmek için gerekli olan enerji miktarının yalnızca $\frac{1}{3}$ ' sı olduğu belirlenmiştir [8].

4.3.6. Değerli metallerin geri kazanımı

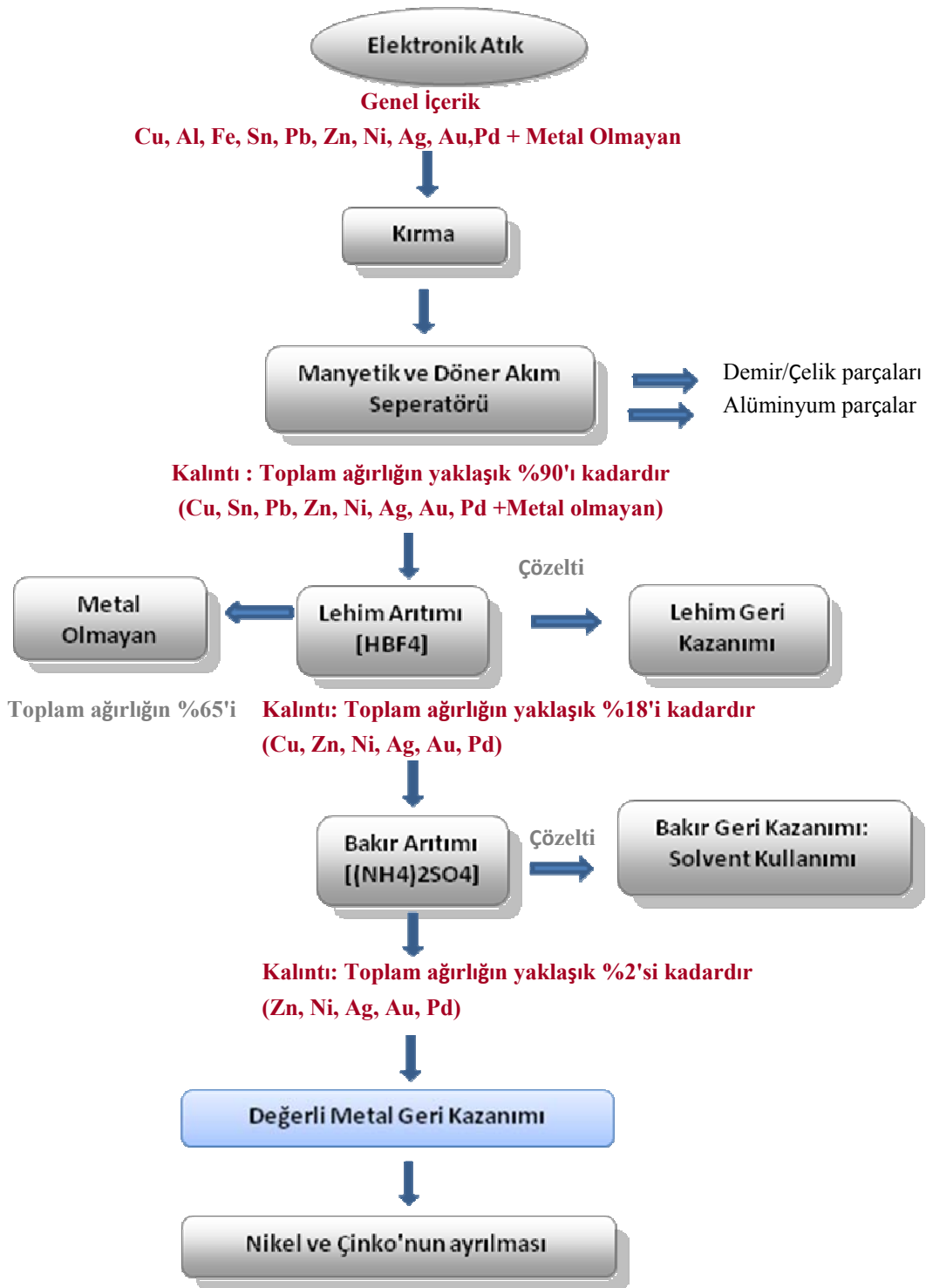
Bir değerli metal rafinerisinde, Altın, Gümüş, Paladyum ve Platin geri kazanımı sağlanmaktadır.

Bakır elektrolizinde oluşan anot çamuru basınçla süzülmeindedir. Bu süzme işleminden sonra geride kalan materyaller kurutularak eritici maddelerin ilavesinden sonra bir değerli metal fırınında eritilmektedir. Eritme işlemi esnasında Selenyum'un geri kazanımı gerçekleştirilmektedir. Bu işlemden sonra öncelikle Gümüş olmak üzere elektronik atıktan geriye kalan materyaller bir Gümüş anota boşaltılmaktadır. Bundan sonraki yüksek yoğunluklu elektrolitik rafinasyon prosesinde yüksek saflıkta Gümüş katodu ve Altın anot çamuru oluşmaktadır. Oluşan Altın çamuru daha sonra süzülür ve elde edilen yüksek saflıktaki Altın, Paladyum ve Platin çamurlarıyla birlikte çöktürülmektedir [6]. Değerli metal geri kazanım prosesi Şekil 4.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Değerli metallerin geri kazanımı prosesi [10].

Elektronik atıklardan değerli metallerin geri kazanılması, geri dönüşüm endüstrisinde en yüksek ekonomik karlılığın sağlandığı proseslerdir. Elektronik atıklardan geri kazanılan değerli metallerin yaklaşık olarak 1/3' ünü Altın oluşturmaktadır ve bu atıkların içerdiği altın miktarı, ABD'de bulunan altın filizlerindeki altın konsantrasyonunun 40 katından daha fazladır [4]. Değerli metallerin geri kazanımı ile ilgili ayrıntılı bilgi Şekil 4.10.'da verilmektedir.



Şekil 4.10. PCB metallerinin geri kazanım prosesi [10].

PCB içindeki metallerin değerleri tablo 4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. PCB metallerinin içerikleri ve değerleri [12].

Parça	Ağırlık%	Değer (/kg)	PCB içindeki değerli metaller	
Altın	0,025	14200	3,55	65,4
Paladyum	0,01	6200	0,62	11,4
Gümüş	0,1	250	0,25	4,6
Bakır	16	3,3	0,53	0,7
Alüminyum	5	1,2	0,06	1,1
Demir	5	0,1	0,01	0,1
Teneke	3	8,1	0,24	4,5
Kurşun	2	1,3	0,03	0,5
Nikel	1	13,2	0,13	2,4
Çinko	1	1,2	0,01	0,2

Sıvıların İçinde PCB Metallerinin Çözünmesi ; Metallerin çözünmesi üzerine majör faktörlerden biri metal ve asidik çözeltilerdir. Her şeyden önce çözünme eğilimi metal/asidik çözelti oranına bağlıdır.

Çinko hemen güçlü bir şekilde reaksiyona girer ve saniye mertebesinde çözünür. Metalleri çözmeye 1/10 oranında asidik çözelti miktarı yeterli değildir. Bu yüzden çökelekler farklı renklerde ve büyüklüktedir. Eğer oran 1/20 ve 1/40 ise reaksiyona girmeyen gümüş kabloları çevresinde küçük kırmızı tozlar çökmektedir. Nikel 1/20 ve 1/40 oranında çözünmektedir. Altın %97 ve %100 arasında ve 1/20 ve 1/40 oranında gösterilmektedir. Oran 1/10'a düşünce çözünme %80'e düşmektedir Oran 1/10'dan 1/40'a değişirse Gümüş'ün çözünmesi %0,8'den %7,2'ye çıkmaktadır. Paladyum su ile zincir reaksiyonlar gerçekleştirmektedir. Fakat su içindeki paladyumun belirlenen miktarı %5,4 ve %7,8 arasındadır [12].

Paladyum kompleksinin çöktürülmesi ; Paladyum kabloları Çinko veya Nikel ile sıvı form içine konulursa kırmızı toz partikülleri çökmektedir. Çökelti formasyonu metaller ile bağıntılıdır çünkü metal olmadığı zaman çökeltme görülmemektedir. Paladyumun çöktürülmesinde çinko anahtar bir yol oynar. Olay kısaca aşağıdaki gibi özetlenir.

- 1-) Paladyum çökeltileri için çinko saniye mertebesinde su içinde çözünür.
- 2-) Su içinde Paladyum PdCl_6^{2-} 'ye dönüşür.
- 3-) Aynı zamanda Paladyum NOCl 'ye indirgenir veya HNO_3 NH_4^+ kabloları üzerine toplanır.
- 4-) PdCl_6^{2-} ve NH_4^+ arasında reaksiyon sonucu $\text{Pd}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_2$ oluşur [10].

Altın'ın ayrıştırılması ; Toluen ile Altın ayrıştırılması yapılabilir. Altın ayrıştırılması klor konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Yüksek konsantrasyondaki klorürün Altın'ın ayrışmasını engellediği gösterilmiştir. Bu nedenle Altın suyu ayrıştırılırken 2,5 kere deiyonize su ile seyreltilmektedir [5].

4.4. Türkiye'deki Elektronik Atık Geri Kazanım Faaliyetleri

Türkiye'de elektronik atık geri kazanımıyla ilgili yasal bir zorunluluk bulunmaması nedeniyle bu malzemeler hurdacılar, teknik servisler, tamirciler tarafından toplanmaktadır. Ülkemizde e-atık geri kazanımı konusunda faaliyet gösteren az sayıda e-atık geri kazanım tesisi de bulunmaktadır.

AEEE yönetimine uygun geri kazanım uygulamaları; toplamadan taşımaya, depolamadan işlemeye, nihai bertaraftan raporlamaya kadar bir dolaşım sisteminin oluşturulmasını ve yönetilmesini gerektirmektedir.

4.4.1. Toplama

Elektronik atıkların toplama izninin sadece yetkili (lisanslı) geri dönüşüm kuruluşlarına verilmesi gerekmektedir. Gelişmiş ülkelerde bu tür atıkların geri kazanımı diğer atıklarda olduğu gibi sadece lisanslı kuruluşlar tarafından gerçekleştirilmektedir[15].

4.4.2. Biriktirme

Avrupa Birliği direktifinde de belirtildiği üzere AEEE'lerin evsel ve diğer atıklarla karıştırılmaması gerekmektedir. Atığı toplayan kuruluş, atığı üreten kurum/kuruluş ve belediyeler ile protokol oluşturarak atık biriktirilmesine uygun, standart konteynır

sistemiyle, biriktirilen atıkların teslimi ve nakli için Çevre ve Orman Bakanlığı standardı olan Ulusal Atık Taşıma Formu (UATF) kullanmaktadır.

4.4.3. Taşıma sistemi

AEEE taşımacılığı geri kazanım sisteminin önemli bir parçasıdır. “Boş bırak dolu al” konteynır sistemi uygulamasında; biriktirme noktasından işlenmesine kadar sistem oluşturulmalı ve AEEE’ler tehlikeli atık taşıma lisanslı araçlarla taşınmalıdır[15].

4.4.4. Depolama

Elektronik atıklar tehlikeli atık kategorisinde değerlendirilmektedir. Bu sebeple görüntü ve çevre kirliliği oluşturmayacak şekilde uygun konteynır ve depolama sahalarında kontrollü alanlarda depolanmaktadır.

4.4.5. Geri dönüşüm

Ülkemizde ki e-atık geri kazanım tesislerindeki geri kazanım uygulamasında toplanmış olan elektronik atıklar tesiste niteliklerine göre gruplandırılmaktadır. Çalışır nitelikte olan malzemeler teste tabi tutularak yeniden kullanılabilirliği kontrol edilmektedir. Kullanımı mümkün olan atıklar 2. el satışa gönderilmek üzere ayrılmakta, kullanımı mümkün olmayan atıklar geri dönüşüm sürecine dahil edilmektedir.

Atıklar öncelikle manuel demontaja tabi tutulmaktadır. Öncelikle içlerinde bulunan tehlikeli ve geri dönüşümü mümkün olmayan malzemeler ayrıştırılmaktadır. Ayrıştırılan tehlikeli maddeler bertaraf edilmek üzere lisanslı bertaraf tesislerine gönderilmektedir.

Geri dönüşümü mümkün olan ve manuel demontajla elektronik atıktan ayrıştırılan demir, bakır, alüminyum ve plastikler yurt içindeki işleme tesislerine gönderilmektedir. Manuel demontajla elektronik atıklardan ayrıştırılan ve asıl ekonomik değeri bünyesinde bulunduran PCB’ler yurt dışındaki değerli metal geri

kazanım rafinerilerine gönderilmek üzere, kalitelerine göre ayrıştırılarak depolanmaktadır .

Ülkemizde değerli metal geri kazanımı için yapılan çalışmalar uygunsuz koşullarda ve merdiven altı tabir edilen işletmelerde hurdacılar tarafından gerçekleştirilmektedir. Uygulanan e-atık tan değerli metal elde etme yöntemleri Çin ve Hindistan'daki kadar ilkel olmamakla birlikte kullanılan teknikler birbirine benzemektedir.



Şekil 4.11. E-atık geri kazanımı için Türkiye manzaraları.

Ülkemizdeki e-atık geri kazanımı sadece yurtiçi piyasada satışa sunulabilecek olan demir, metal ve plastiklerin geri kazanımından ibaret olup, e-atık içindeki değerli metallerin geri kazanımını sağlayabilecek teknolojik bir yatırım henüz bulunmamaktadır.

E-atıkların değerli metal geri kazanımı amacıyla yurt dışına ihracat maliyetleri geri kazanım tesisleri için en büyük gider kalemlerinden birini oluşturmaktadır.

BÖLÜM 5. ELEKTRONİK ATIK YÖNETİMİNDEKİ YASAL DÜZENLEMELER

5.1. Uluslar Arası Yasal Düzenlemeler

5.1.1. Basel sözleşmesi

Tehlikeli atıklar konusunda tek küresel bakış açısına sahip Basel Sözleşmesi elektronik atıkları da etkileyen uluslar arası geçerli bir anlaşmadır. Basel Sözleşmesinin hedefi “tehlikeli atıklar ve diğer atıkların yönetilmesini ve bunların insan sağlığının ve çevrenin korumasına uygun olarak sınır ötesi hareketlerinin ve her tür bertaraf tesisinde bertaraf edilmesinin düzenlemesini sağlamak” olarak tarif edilmiştir. Basel Sözleşmesi tehlikeli atıkların sınır ötesi hareketlerinin yanında bu atıkların oluşumunu da azaltmayı amaçlamaktadır [19]. Çalışmalar, Birleşmiş Milletler ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP - United Nations Environment Programme) altında Basel Sözleşmesi Sekreterliği tarafından yürütülmektedir [19].

Basel Sözleşmesinin ana hedefi çevre dostu güvenilir yönetimlerle zararlı atık üretimini en aza indirerek insan sağlığının ve çevrenin korunmasıdır. Sözleşme imalattan depolama, taşıma, işleme, tekrar kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve bertaraf edilmesine kadarki tüm aşamalarda sıkı kontroller içeren bütünlük bir mamul ömür çevrimi yaklaşımının kullanılması göz önünde bulundurularak zararlı atıkların elde edilmesini talep etmektedir [21].

22 Mart 1989 tarihli Tehlikeli Atıkların Sınırlar Ötesi Taşınmasının ve Bertarafının Kontrolüne ilişkin Basel Sözleşmesi, bu sözleşmeyi imzalayan devletleri bağlayıcı bir uluslararası hukuk belgesidir. 1989 tarihli sözleşme, 5 Mayıs 1992 tarihinde

yürürlüğe girmiştir. Tehlikeli atıkların üretiminin azaltılması, taşınmasının sınırlandırılması, bertaraf edilmesinin üretildikleri kaynağa en kısa mesafede ve çevreye zarar vermeyecek şekilde yapılması, ithal edecek tarafın önceden yazılı izni alınmadan yapılan yasadışı trafiğin cezalandırılması amaçlanmıştır. Paketleme, etiketleme ve taşıma düzenlemeleri getirmiştir. Türkiye, 28.12.1993 tarih ve 3957 sayılı Yasa ile Sözleşmeye katılmayı uygun bulmuş ve Bakanlar Kurulu'nca onaylanarak, 15.5.1994 tarih ve 21935 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmıştır [18].

Türkiye, Basel Sözleşmesinin getirdiği, atıkların çevreyle uyumlu yönetimi koşullarını sağlamakla yükümlü olduğundan sözleşmede belirtilen atık türlerinin söz konusu olduğu tüm sanayi dallarının bu sözleşmeden etkilenmeleri beklenmektedir [18].

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Türkiye Cumhuriyeti AB Çevre Uyum Stratejisi raporunda [40] Basel Sözleşmesi ile ilgili olarak, Türkiye Basel Sözleşmesine taraf olduğundan bu sözleşme kapsamındaki konular söz konusu sözleşme çerçevesinde yürütülmekle birlikte ilgili mevzuatın tamamlanmasının 2006 yılı sonunda ve uygulamanın 2010 yılında olması öngörülmektedir.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 14.03.2005 tarihli Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği 2872 sayılı Çevre Kanununa ve Tehlikeli Atıkların Sınırlar Ötesi Taşınımının ve Bertarafının Kontrolüne İlişkin Basel Sözleşmesine dayanılarak hazırlanmıştır [2]. Yönetmelikte tehlikeli atık sınıfına giren elektrikli ve elektronik ekipman atıkları aşağıda sıralanmıştır.

- PCB içeren transformatörler ve kapasitörler
- Yukarıda bahsedilenlerin dışındaki PCB içeren yada üzerlerine PCB bulaşmış ıskartaya ayrılmış ekipmanlar
- Kloroflorokarbon, HCFC, HFC içeren ıskarta ekipmanlar
- Serbest asbest içeren ıskarta ekipmanlar
- Yukarıda bahsedilenlerin dışında tehlikeli bileşenler içeren ıskarta ekipmanlar (elektrikli ve elektronik ekipmanların arasındaki tehlikeli bileşenler içerisinde

akümülatör ve piller ile tehlikeli olarak işaretlenmiş olan cıvalı anahtarlar, katot ışın tüpleri camları ve diğer aktifleştirilmiş camlar ve benzerleri bulunabilir)

- Iskartaya çıkan parçalardan çıkartılmış tehlikeli maddeler içeren parçalar ABD, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD – Organization for Economic Cooperation and Development) üyesi olmasına rağmen, hem orijinal Basel Sözleşmesini ve hem de 1995 yılında adapte edilen ve tüm AB ve OECD (Liechtenstein dâhil) üyesi ülkelerin taraf olduğu yasaklarla ilgili düzenlemeleri onaylamayan tek ülkedir. Fransız Guyana, Surinam, Gine, Liberya, Sudan, Somali, Orta Afrika Cumhuriyeti, Gabon, Kongo, Angola, Zimbabve, Sırbistan Karadağ, Irak, Afganistan, Myanmar, Laos, Tayvan ve Kuzey Kore Basel Sözleşmesini onaylamayan diğer bazı ülkelerdir. Ayrıca Çin, Hindistan ve Pakistan Basel Sözleşmesini ihlal eden ülkelerdir [6].

5.1.2. RoHS direktifleri

RoHS’da Elektrikli ve elektronik ekipman, “alternatif akım için 1000 Voltu, doğru akım için ise 1500 Voltu geçmeyen voltaj ile çalışan tasarımlar” olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca elektrik, cereyan veya elektromanyetik alanlara bağlı olarak çalışan aletler olarak da tanımlanmaktadır. Bu direktif Topluluğun sağlık, emniyet ve spesifik atık yönetimi ile ilgili mevzuat ön koşulları olmaksızın uygulanmaktadır.

Elektrikli ve elektronik ekipmanların tamiri ve veya yeniden kullanılması için 1 Temmuz 2006’dan önce piyasada yer alan yedek parçalar kapsam dışında tutulmaktadır. Direktif ekipmanın fonksiyonlarını güncelleyerek ve kapasitesini artırarak ömrünü uzatan ve 1 Temmuz 2006’ dan önce piyasaya girmiş parçalara uygulanmamaktadır.

Bu direktifin kapsamında olmayan diğer ekipman tiplerinin parçaları, komisyonun görüşüne göre RoHS Direktifinin kapsamı dışında tutulmaktadır. Böylece; uçaklar, gemiler ve diğer ulaşım araçlarına yerleştirilmek üzere özel tasarım ekipmanlar bu direktif kapsamı dışındadır. RoHS Direktifi evsel ve profesyonel elektrikli ve

elektronik atıklar için değişiklik göstermediğinden, profesyonel kullanım amaçlı ürünler kapsam dahilindedir. RoHS Direktifi elektrikli ve elektronik ekipmanlarda; ağır metal kullanımını sınırlarken pillere uygulanmamaktadır.

RoHS Direktifi 1 Temmuz 2006 tarihinden itibaren piyasada yer alacak elektrikli ve elektronik ekipmanların kurşun, civa, kadmiyum, heksavalent kromyum, PBB ile PBDE maddelerini içermemesini şartını getirmektedir. RoHS Direktifi'nde Komisyon tarafından önerilen taslak kararda; kurşun, civa, heksavalent kromyum, PBB ile PBDE maddeleri için homojen materyallerde ağırlıklarının %0.1' i kadar, kadmiyum için homojen materyallerde ağırlıklarının %0.01' i kadar maksimum konsantrasyona izin verilebilir olması önerilmektedir. Homojen materyalden kast materyalin mekanik olarak farklı materyallere ayrılabilmesidir.

RoHS Direktifinde, 1 Temmuz 2006' dan önce piyasada yer alan eski ekipmanların tamirinde kullanılan ve tehlikeli maddeler içeren yedek parçalara izin verilirken, 1 Temmuz 2006'dan sonra piyasada yer alan yeni ekipmanların tamirinde kullanılmasına izin verilmemektedir. Aslında, yeni ekipmanların tamirinde kullanılmak üzere yasaklı maddeleri içeren yedek parçaların pazarlanması atık alanlarında tehlikeli maddelerin varlığını sürdürmeye ve geri dönüşüm çabalarını engellemeye devam etmektedir.

RoHS Direktifi'ne göre üye ülkelerin 1 Temmuz 2006 tarihinden itibaren elektrikli ve elektronik ekipmanlarda bulunan kurşun, civa, kadmiyum, heksavalent kromyum, PBB ile PBDE maddeleri içermemesini garanti etmeleri gerekmektedir. 1 Temmuz 2006' ya kadar, bu direktifin uyumlaştırılmasından önce elektrikli ve elektronik ekipmanlarda söz konusu maddelerin kullanımına ilişkin sınırlamalara ve yasaklamalara ilişkin ulusal önlemlerin sürdürülmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, önlem başlıklı bu maddede yasaklı maddelerden son ürün için söz edilmekte olup üretim prosesine uygulanmayacağı anlaşılmaktadır.

Anten ve kablolar WEEE ve RoHS Direktifleri tarafından tanımlanan elektrikli ve elektronik ekipman tanımını karşılamaktadır. Tüm kablolar atık olan ekipmanın

içinde ve / veya ekipmanın parçası olarak uzantıları veya bağlantıları olarak WEEE kapsamında düşünülmektedir .

5.1.3. WEEE direktifleri

WEEE Direktifi'nde elektrikli ve elektronik ekipmanlar “elektrik, cereyan veya elektromanyetik alanlara bağlı olarak çalışan, bu cereyanların ve alanların oluşturulması, nakli ve ölçümü için gerekli olan ve alternatif akım için 1000 Voltu, doğru akım için ise 1500 Voltu geçmeyen voltaj ile çalışan ekipmanlar” olarak tanımlanmaktadır. WEEE Direktifi' ne göre atık elektrikli ve elektronik ekipmanlar “ürünün atıldığı anda bulunan bütün bileşenleri, unsurları ve ihtiva ettiği sarf malzemeleri dahil olmak üzere, atık kapsamına giren ekipmanlar”dır. Eğer elektrik ekipmanın destek ve kontrol işlevleri için kullanılıyorsa bu ekipman WEEE direktifi kapsamı dışında tutulmaktadır.

Ancak büyük ölçekli sabit endüstriyel aletler kapsam dışı tutulmaktadır. Büyük ölçekli sabit endüstriyel aletler, ekipman gruplarını, sistemleri, son ürünler ve / veya parçaları, spesifik amaçları yerine getirmek üzere profesyoneller tarafından endüstriyel bir alete veya endüstri binasına yerleştirilmiş, sadece endüstride kullanılan, sürekli sabit ekipmanların her birini içeren aletlerdir. Ticari amaçlı olarak piyasada yer almak üzere tasarlanmamışlardır.

Bu direktifin kapsamında olmayan diğer ekipman tiplerinin parçaları, kapsam dışındadır. WEEE Direktifi'nin Resmi Uygulama Kılavuzu referans alındığında, kriter “son ürün” veya “Sabit Donanım”dır. Son ürün, direkt işleve sahip alet veya ekipman parçaları olarak tanımlanmaktadır.

Direkt işlev, son kullanıcı veya kullanıcı için üretici tarafından talimatta belirtilen kullanım amacını yerine getirecek bileşen veya son ürünün işlevi olarak tanımlanmaktadır. Bu işlev bir kişinin yerine getireceği basit işlemlere ilave ayarlama veya bağlantı gerektirmeksizin geçerli olabilmektedir. Eğer ekipman diğer tipte sabit donanım ise, WEEE kapsamına girmemektedir. Sabit donanım çok geniş

anlamda, belirli bir görevi yerine getirmek üzere, fakat tek bir fonksiyon ya da ticari bir ünite olarak piyasaya sürülmek üzere tasarlanmamış, bir araya getirilmiş veya o görevi yerine getirmek üzere belirli bir yere kurulmuş çeşitli ekipman sistem, son ürün ve/veya bileşenlerin (parça) bileşimi olarak tanımlanmaktadır [16].

Bunların dışında, piezoelektrik tutuşma, yanmalı motor, çim biçme makinesi (petrol yakıtlı), havalı (pnömatik) aletler, elektrik saatli gazlı pişirme fırınları, pil ile çalışan oyuncaklar, yüksek gerilim anahtarları, petrol platformları, ticari catering ekipmanları için, genel bir muafiyet söz konusu değildir. Kriter ekipmanın büyüklüğüne değil sabit olup olmamasına bağlıdır. Açıkça belirtilen muafiyetler ise şunlardır; evlerde kullanılan floresanlar, telli ampuller, ısınma ve endüstri tesisleri gibi sabit tesisler, asansörler, frekans dönüştürücüler. Bileşenler sadece bir ürüne ait oldukları zaman kapsam dahilinde tutulmaktadır. Kapsama ya da muaf tutma bu bileşenlerin kullanımına bağlıdır [17].

Kullanım Ömrünü Tamamlamış Araçlar Direktifi (ELV) kapsamındaki ürünlerde kullanılmak üzere tasarlanan araba radyoları veya diğer ekipmanlar, RFID (Radyo Frekanslarıyla Tanımlama) silah, cephane ve diğer savaş malzemeleri elektronik atık kapsamında değerlendirilmeyen ekipmanlardır.

WEEE Direktifi evsel ve diğer amaçlı kullanımları kapsayan yükümlülükleri içermektedir. Ayrıca, üreticiler 13 Ağustos 2005 tarihinden sonra piyasada yer alacak ürünlerini Direktifte gösterilen sembol (çöpe atılmamasını gösterir) ile işaretlemektedir. Bir çok durumda evsel ve profesyonel elektrikli ve elektronik atıklar arasında ayırım yapmak zor olduğundan, evsel elektrik ve elektronik ekipman için işaretleme açısından spesifik limitler getirilmemiştir. Dolayısıyla, işaretleme yükümlülüğü profesyonel elektrikli ve elektronik atıklar için geçerli olmaktadır.

WEEE Direktifi elektrikli ve elektronik ekipmanlar atık olana kadar ekipman içindeki pillere uygulanmaktadır. Bu durumda, WEEE Direktifi kapsamında ekipmanla birlikte toplanacaklardır. Konu üretici sorumluluğundadır. Elektrikli ve elektronik ekipman içindeki piller için, pil üreticileri elektrikli ve elektronik atıkların toplanması sonrasında ekipmandan ayrılarak açığa çıkan pillerin bertarafından

sorumlu olmaktadır. Böylece, elektrikli ve elektronik ekipman atıklarının içerdiği piller WEEE Direktifi hedeflerine göre toplanırken ayırım sonucu pil direktifi toplama oranlarına göre işlem görmektedirler [7].

Elektrikli ve elektronik ekipman tanımına göre yazıcının kendisi elektronik ve elektrikli ekipmandır. Yazıcı kullanılamaz hale geldiğinde, atık elektrikli ve elektronik ekipman olmaktadır. Bunun anlamı eğer kartuş, atık hale gelen yazıcı içerisinde ise yazıcının atıldığı anda kartuş onun sarf malzemesi olduğundan dolayı kartuş atık elektronik ve elektronik ekipman atığının bir parçası olmaktadır. WEEE Direktifi'ne göre üye ülkeler elektrikli ve elektronik ekipmanların, özellikle bileşen ve materyal atıklarının parçalanabilirlik olanaklarını, geri kazanımını, özellikle yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü göz önüne alarak dizayn edilmesini ve üretilmesini teşvik etmelidir. Ancak kartuşun kendisi elektronik ve elektrikli ekipman tanımına girmemektedir, fakat sarf malzemesi olarak düşünülebilmektedir.

WEEE Direktifi'nde verilen hedefler, ekipman bileşenlerinin, materyallerinin ve maddelerinin geri kazanımı, yeniden kullanımı ve geri dönüşümünü içermektedir ve işleme giden elektrikli ve elektronik ekipman atıklarıyla ilişkili bulunmaktadır. Bu hedefler, tüm ekipmanın yeniden kullanımını kapsamamaktadır [14].

Elektrik direkleri elektrikli ve elektronik ekipman tanımına girmemektedir. Sabit donanımlara entegre edilen ürünler WEEE kapsamına girmemektedir. Ses, veri ve video kullanımları için modüler kablo sistemleri WEEE Direktifi'nde "Bilişim (IT) ve telekomünikasyon ekipmanları" tanımı altında yer almaktadır ve ayrıca RoHS Direktifi kapsamındadır.

5.2. Türkiye'deki Yasal Durum

Türkiye'de atık yönetimi konusundaki mevzuat üç yönetmelik ve bir uluslar arası sözleşmeden oluşmaktadır. Bunlar Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.3.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete), Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (20.5.1993 tarih ve 21586 sayılı Resmi Gazete), Tehlikeli Atıkların Kontrolü

Yönetmeliği (27.8.1995 tarih ve 22387 sayılı Resmi Gazete) ve Tehlikeli Atıkların Sınır Ötesi Taşınım ve İmhasının Kontrolü Sözleşmesi – Basel (15.5.1994 tarih ve 21935 sayılı Resmi Gazete) olarak sıralanabilir.

AB katılım öncesi programları kapsamında Hollanda'nın teknik desteği ile yürütülen, Türkiye'de Elektrik Elektronik Ekipman Atıkları ve Kullanılmış Taşınabilir Pil ve Akümülatör Atıklarının Toplanması için Bir Sistem Kurulması (MATRA) Projesi, ilgili AB Direktiflerinin ulusal mevzuata aktarılmasını amaçlamış olup, proje kapsamında hazırlanan Elektrik Elektronik Ekipman Atıklarına ilişkin Taslak Yönetmelik halen yayımlanmayı beklemektedir.

Bu yönetmelikte önemli olan unsur, “Üreticinin Sorumluluğu” prensibi ile işlemektedir. Bu sorumluluk, üreticilerin ve ithalatçıların ürünlerinin son kullanıcılar tarafından kullanıldıktan sonra geri kalan atığın belirli bir yüzdesinin geri kazanım faaliyetlerini kapsamaktadır. Üreticiler ve ithalatçılar aynı zamanda geri kazanım faaliyetlerini izlemek ve miktarlarını piyasaya sürdükleri ürün miktarı ile karşılaştırmak ve bu bilgilere yönelik kanıtlar sunmak zorundadır. Önemli bir nokta; yönetmelikteki hükümlerin satış tekniklerine bakılmaksızın (doğrudan/uzaktan/elektronik satış) bütün ürün ve üreticileri kapsamaktadır.

AEEE yönetmeliği, her üretici ve ithalatçının bir geri dönüşüm / geri kazanım sistemini kurmasından ve kendi ürünlerinin geri dönüşümü ve geri alınması için finansman sağlamaktan sorumlu olduğunu ifade etmektedir. Yönetmelik, üretici / ithalatçıların kolektif bir plan oluşturarak bu yönetmeliğin gereklerini birlikte yerine getirmelerine de olanak sağlamaktadır.

Tüketiciler, AEEE'leri diğer evsel atıklarla karıştırmamakla, ellerindeki AEEE'leri üreticiler tarafından istenen toplama noktalarına getirmekle ve yenisini alırken eskisini bayilere götürmekle yükümlüdür.

T.C. hükümetleri, bu yönetmelik gereğince elektrik ve elektronik eşyalar (EEE)'in tasarımı ve üretimi sırasında, atık önlenmesini ve ürünlerin uzun ömürlülüğüne öncelik verilmesini, ürünlerin kolayca parçalara ayrılabilmesini, EEE'lerin ve EEE'yi teşkil eden unsurların ve malzemelerin tercihen tekrar kullanımını, tekrar

kullanımın mümkün olmadığı durumlarda geri kazanımını kolaylaştırmak doğrultusunda teşvik edici olma garantisini vermektedir.

Hali hazırda Türkiye’de AEEE konusunda bir lisanslama çalışması yapılmamaktadır. Bakanlık tarafından verilen uygunluk yazısında, bu konuda hizmet veren bir şirketin mevcut yönetmeliklerin kapsamı dışında olduğu ve faaliyet göstermesinde bir sakınca olmadığı belirtilmektedir.

Türkiye’de yasal düzenlemelerin tam olarak yürürlüğe girmesi halinde, geri kazanım şirketlerine yansıyan maliyetlerde ciddi düşüş meydana gelecektir. Ancak yasal düzenlemeler hemen yürürlüğe girse bile, etkin bir AEEE sisteminin oturtulup, işler hale getirilmesi uzunca bir süre gerektirecektir. Gerekli denetim mekanizmalarının ve sertifikasyon sisteminin oluşturulması, ciddi çalışmalar gerektirmektedir.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı tarafından 2004 yılında 2002/96/EC WEEE direktifi göz önünde bulundurularak Atık Elektrik Elektronik Eşyaların Kontrolü ve Yönetimi Taslak yönetmeliği (AEEE Yönetmeliği) hazırlanmıştır. Bu taslak yönetmeliğe göre imalatçıların Tablo 5.1’de belirtilen oranlarda elektrikli ve elektronik ekipman atıklarını ayrı olarak toplamalarının garanti edilmesi beklenmektedir. Ayrıca yine taslak metinde bakanlığın, teknik ve ekonomik veri ve tecrübelerine dayanarak ve imalatçıların önerilerini de dikkate alarak, 31 Aralık 2012 tarihine kadar hem tıbbi aygıt atık grubu için bağlayıcı hedefleri belirleyeceği, hem de diğer atık grupları için verilen hedefleri gözden geçirip yeniden belirleyeceği yer almaktadır. Bu hedeflerin belirlenmesi için ise önceki yıllarda evsel kullanıcılara satılan elektrikli ve elektronik ekipman miktarlarının esas alınacağı belirtilmiştir.

Tablo 5.1. EEEA Toplama Oranları

Yıl	Kişi Başına Yıllık Toplama Hedefi (kg)
2006 (seçmeli)	0,5
2007	1
2008	1,5
2010	2,5
2012	4

TÜSİAD'ın Dış Ticarete Çevre Koruma Kaynaklı Tarife Dışı Teknik Engeller ve Türk Sanayii için Eylem Planı raporunda atık geri kazanım ve bertaraf tesislerinin kurulması ile ilgili olarak kısa ve orta vadeli olarak eylem önerileri sunulmuştur [18]. Buna göre bölgesel tesislerin kurulması ve atık borsasının kurulup işletilmesi, gerekli görülen teknik düzenlemeler olarak kaydedilmiştir. Bölgesel atık yönetim idarelerinin kurulması ve denetim kurumlarının oluşturulması, gerekli görülen kurumsal düzenlemeler olarak kaydedilmiştir. Tesislerin kullanılmasını teşvik edici yasal düzenlemeler ve nakliyecilik teşviki için yasal düzenlemeler ise gerekli görülen yasal düzenlemeler olarak kaydedilmiştir. Çevre ve Orman Bakanlığı, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, DPT, Maliye Bakanlığı, Hazine Müsteşarlığı ve TOBB ise ilgili başlıca kurum ve kuruluşlar olarak tanımlanmışlardır. Dokuzuncu Kalkınma Planı, Makine ve Metal Eşya Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Beyaz Eşya Raporunda ; Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından çıkarılacak olan RoHS ve WEEE yönetmeliklerine çekince konulmuştur. Bu direktiflerin uygulanmaya geçilmesi çerçevesinde konulmaya çalışılan hedeflerin tutturulmasının neredeyse mümkün olmayan hedefler haline getirildiği beyan edilmiştir. Bu konuda kişi başına kg olarak hedef gösterilen miktarların gerçekleşmesinin mümkün olmadığı ve ayrıca ülkemizde AB'de olduğu gibi halen çöplüklerde veya çevreye atılmış olarak herhangi bir beyaz eşya atığının da saptanmadığı vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra toplanan mamullerin tekrar kazanılması zorunluluğu konusunda finansal güçlükler ve ikinci el beyaz eşya ithalatıyla ilgili çekinceler dile getirilmiştir.

AEEE ile ilgili Türkiye’de yapılmış “bilimsel” bir istatistik çalışması bulunmamaktadır. Bununla beraber, MATRA pilot projesinde elde edilen; kişi başına yıllık 0.5 kg e-atık, dünya ve Avrupa ortalamalarının bir hayli altındadır. Hatta az gelişmiş ülkeler seviyesindedir. WEEE direktifinde kişi başına düşen atık toplama hedefi Avrupa verilerine dayanarak, ortalama 4 kg olarak açıklanmıştır. Aşamalı olarak toplama hedefinin 20 kg’a çıkarılması planlanmaktadır[15].

Avrupa birliği tarafından yapılan analizlere göre toplanan elektronik atık miktarını belirlemede rol oynayan faktörler;

- Toplama Noktalarının Sayısı
- Coğrafi Konum
- Mevcut Ekonomik Durum
- Sosyo-Kültürel Yapı
- Atık Toplama Yöntemleri’dir.

Bu veriler ışığında, elektronik atık miktarı hakkında bilgi sahibi olabilmek için Türkiye’yi ekonomik, sosyal ve çevresel anlamda analiz etmenin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

E-atıkların bertarafı için uygulanan bazı konvansiyonel yöntemler olmasına rağmen, bu yöntemler ekonomik ve çevresel açılardan elverişli değildir. Bu nedenle, e-atık yönetimi için geri dönüşüm gibi yeni alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu seçeneğin netleştirilebilmesi için Türkiye'deki elektronik geri dönüşüm altyapısı incelendi Çalışma sırasında Türkiye'de elektrikli ve elektronik ekipman atıklarının sınıflandırılmasının yapılmadığı, bu atıkların genel atıklar içerisinde değerlendirildiği ve bu nedenle elektrikli ve elektronik ekipman atıklarıyla ilgili istatistiksel verilerin olmadığı saptandı.

Elektrikli ve elektronik ekipman atıklarının tekrar kullanılabilir bileşenlerinin tehlikeli ve zararlı bileşenlerinin mamulden ayrılarak geri dönüşüm işlemi için hazır hale getirilmesi için gerekli olan demontaj yöntemleri ve demontaj uygulamaları hakkında bilgi verildi. Elektrikli ve elektronik ekipman atıklarının geri dönüşümünde kullanılacak geri dönüşüm yöntemlerine değinilerek, mekanik ve fiziksel ayırma yöntemleri ile kimyasal yöntemler sonucunda geri kazanılan materyaller tespit edildi.

Ülkemizde geri dönüşüm prosesinin daha iyi bir noktaya gelebilmesi için, iyi yapılandırılmış geri dönüşüm programlarının yürütülmesi gerektiği, e-atıkların toplanması ve geri kazanımı amacıyla çeşitli girişimler yapılmış olmakla birlikte bu süreçlerin halen gelişim aşamasında olduğu saptandı. E-atık geri dönüşümü konusunda karşılaşılan en büyük zorlukların başında, geri dönüşümü yapılacak olan materyallerin sürekli ve düzenli olarak tedarik edilmesi ihtiyacı olduğu saptandı.

Uygun maliyetli geri dönüşüm teknolojilerinin eksikliği bu sürecin tamamlanmasında engel teşkil etmektedir. Türkiye'de bulunan e-atık potansiyeli göz

önünde bulundurulacak olan bir yatırım yüzlerce kişiye istihdam sahası sağlayacağı gibi tesiste gerçekleştirilecek olan geri kazanım faaliyetleri ile hammadde çevrimi de kontrol altına alınmış olacaktır. Yurt içinde yapılacak olan değerli metal geri kazanımı ile ihracat maliyetlerini büyük oranda azaltarak ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.

Ülkemizdeki geri dönüşüm proseslerinin birçoğu manuel veya mekanik olarak yapılmaktadır. Bu yöntemlerle e-atıkların içindeki tehlikeli maddeler ayrıştırılmakta, demir, metal, plastik gibi çok karmaşık yapıları oluşturmeyen maddelerin geri kazanımı sağlanmaktadır. Ancak elektronik atıkların geri kazanımından elde edilecek gelirin en büyük kaynağını bu atıklar içindeki değerli metaller (altın, gümüş, paladyum vs.) oluşturmaktadır. Ülkemizde metalurjik yöntemleri içeren herhangi bir teknoloji bulunmadığından değerli metalleri içeren e-atık parçaları kategorilerine göre sınıflandırılarak yurtdışındaki rafinerilere ihraç edilmektedir. Atıklardan elde edilen değerli metallerin fiyatlandırması borsa üzerinden gerçekleştirilmektedir. Ancak ihracat yolu ile gönderilen atıklara ait süreci uzaktan tam manası ile takip etmenin zorluğu nedeniyle bu geri kazanım ve hammadde döngüsünün yapılacak olan yatırımlarla ülkemiz içinde gerçekleştirilmesinin daha ekonomik olacağı sonucuna varılmıştır.

Tez içerisinde anlatılan mekanik ayrıştırma sonrasındaki aşamayı oluşturan kimyasal ve ergitme teknolojilerini de içeren bir geri kazanım tesisinin kurularak elektronik atıklardan değerli metal geri kazanım sürecinin tamamının ülke içinde gerçekleştirilmesinin gerekliliği saptanmıştır. Elektrikli ve elektronik atıkların geri dönüşümü sadece atıkların bertarafı açısından değil aynı zamanda değerli materyallerin geri kazanımı açısından da önemlidir. Saf metaller yerine geri dönüştürülmüş materyallerin kullanılması öncelikle kayda değer enerji tasarrufu sağlamaktadır. Saf materyaller yerine atık materyallerin kullanılmasında yedi ana kazanım tespit etmiştir. Bunlar enerji tasarrufu, saf metal kullanımındaki tasarruf, hava kirliliğindeki azalma, kullanma suyundaki azalma, su kirliliğinde azalma, maden israfında azalma ve tüketici atıklarındaki azalmadır.

Elektronik atıklardan elde edilen geri dönüştürülmüş metal pazarının yıllık yüzde 8.1 oranında büyümekte olduğu göz önüne alındığında, gerçekleşecek olan geri dönüşüm oranı , yaratacağı istihdam sahaları ve yukarıda belirtmiş olduğumuz kazanımlar nedeni ile ülkemizde bu konu ile ilgili bir yatırıma ihtiyaç duyulduğu kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] 75/442/EEC, 1975. Council Directive of 15 July 1975 on Waste, The Council of the European Communities, Brussels, Belgium.
- [2] 14.03.2005–25755, 2005. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [3] 2002/96/EC, 2003. Directive of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Official Journal of the European Union, 13.02.2003.
- [4] 14.03.1991–20814, 1991. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete, T.C. Çevre Bakanlığı, Ankara.
- [5] CUI, J., ZHANG, L., Metallurgical recovery of metals from electronic waste., Norway ., pp. 228-256, 2008.
- [6] GRID, 2006. United Nations Environment Programme, Division of Early Warning and Assessment (DEWA), Global Resource Information Database (GRID) – Europa. <http://www.grid.unep.ch>
- [7] HISCHIER, R., WA˘GER, P., GAUGLHOFER, J., Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE) .,Switzerland., pp. 525-539, 2005.
- [8] JIE, G., SHUN, L.Y., MAI-XI, L., Product characterization of waste printed circuit board by pyrolysis, China, pp. 2211-2216, 2008.
- [9] KANG, H.Y., SCHOENUNG, J.M., Economic Analysis of Electronic Waste Recycling: Modeling the Cost and Revenue of a Materials Recovery Facility in California., pp. 1672-1680, 2006.
- [10] KANG, H.Y., SCHOENUNG, J.M., Electronic waste recycling: A review of U.S.infrastructure and technology options., USA., pp. 368-400, 2005.
- [11] MARCO, D ., CABALLERO, B.M., CHOMO˘N, M.J., LARESGOITI, M.F.,TORRES, A., FERNA˘NDEZ, G., ARNAIZ, S., Pyrolysis of electrical and electronic wastes., Spain., pp. 179-183, 2007.

- [12] PARK., Y.J., FRAY ,D.J., Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards., United Kingdom., pp. 1152-1158, 2009.
- [13] PUCKETT, J., SMITH, T., Exporting Harm The High-Tech Trashing of Asia., The Basl Action Network., Silicon Valley Toxics Coalition., India., China., 2002.
- [14] ROUSIS, K., MOUSTAKAS,K., MALAMIS, S., PAPADOPOULOS,A., LOIZIDOU, M., Multi-criteria analysis for the determination of the best WEEE management scenario in Cyprus., Grece., pp. 1941–1954, 2008.
- [15] ŞEN, E., Elektrikli ve Elektronik atıkların geri kazanımı ve Muğla ili pilot proje uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 10-18, 2006.
- [16] TS EN 50419, 2004. 2002/96/EC Direktifi (WEEE) Madde 11(2)'ye göre elektrikli ve elektronik cihazların işaretlenmesi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [17] TURNER, M., CALLAGHAN D., UK to finally implement the WEEE Directive., England., pp. 73-76, 2007.
- [18] TÜSİAD, 1998. Dış Ticarete Çevre Koruma Kaynaklı Tarife Dışı Teknik Engeller ve Türk Sanayii İçin Eylem Planı, Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği (TÜSİAD), İstanbul, Ağustos 1998.
- [19] United Nations Environment Programme (UNEP), Secretariat of the Basel Convention. <http://www.basel.int>
- [20] Uykan, M., 2005. Elektrikli Elektronik Ekipmanların Geri Dönüşümü, Demontaj Yöntemleri ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] White, C.D., Masanet, E., Rosen, C.M., Beckman, S.L., 2003. Product recovery with some byte: an overview of management challenges and environmental consequences in reverse manufacturing for the computer industry, Journal of Cleaner Production, 11, 445-458.
- [22] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Bak%C4%B1r./12.11.2008>

EK A

A.1 Atıkların Sınıflandırılması

- i. Aşağıda başka şekilde belirtilmemiş üretim veya tüketim artıkları
- ii. Standart dışı ürünler
- iii. Son kullanım süresi geçmiş olan ürünler
- iv. Dökülmüş, niteliği bozulmuş veya yanlış kullanıma maruz kalmış olan maddeler (örnek: kaza sonucu bozulmuş olan maddeler ve benzeri)
- v. Aktiviteler sonucu bozulmuş veya kirlenmiş olan maddeler (örnek: temizleme işlemi artıkları, ambalaj malzemeleri, konteynırlar ve benzeri)
- vi. Kullanılmayan kısımlar (örnek: atık piller ve katalizörler ve benzeri)
- vii. Yararlı performans gösteremeyen maddeler (örnek: bozulmuş asitler, bozulmuş çözücüler, bitmiş yumuşatma tuzları ve benzeri)
- viii. Endüstriyel proses kalıntıları (örnek: cüruflar, dip tortusu ve benzeri)
- ix. Kirliliğin önlenmesi süreçlerinden kaynaklanan kalıntılar (örnek: yıkama çamurları, filtre tozları, kullanılmış filtreler ve benzeri)
- x. Makine ve/veya yüzey işlemleri kalıntıları (örnek: torna artıkları, frezeleme tortuları ve benzeri)
- xi. Hammadde çıkarılması ve işlenmesinden kaynaklanan kalıntılar (örnek: petrol slopları, madencilik artıkları ve benzeri)
- xii. Saflığı bozulmuş materyaller (örnek; Poliklorlanmış Bifenillerle kontamine olmuş yağlar ve benzeri)
- xiii. Yasa ile kullanımı yasaklanmış olan ürün, madde ve materyaller
- xiv. Sahibi tarafından artık kullanılmayan ürünler (örnek: tarımsal, evsel, ofis, ticari ve market kalıntıları ve benzeri)
- xv. Arazi ıslahı ve iyileştirilmesi faaliyetleri sonucu bozulmuş madde, materyal ve ürünler

A.2 Elektrikli ve Elektronik Ekipmanların Sınıflandırılması

i. Büyük ev gereçleri (büyük beyaz eşyalar); büyük soğutma gereçleri, buzdolapları, dondurucular, yiyeceklerin soğutulmasında, muhafazasında ve saklanmasında kullanılan diğer büyük gereçler, çamaşır makineleri, kurutucular, bulaşık makineleri, ocaklar, elektrikli fırınlar, mikrodalga fırınları, yiyeceklerin pişirilmesinde ve hazırlanmasında kullanılan diğer büyük gereçler, elektrikli ısıtıcılar, elektrikli radyatörler, diğer büyük oda ısıtıcıları, yataklar ve oturma gurupları, elektrikli fanlar, hava şartlandırıcıları, diğer fan, vantilatörler ve şartlandırma ekipmanları

ii. Küçük ev gereçleri (küçük beyaz eşyalar); vakumlu temizleyiciler, elektrikli süpürgeler, diğer temizlik gereçleri, tekstil ürünlerinin dikilmesinde, örülmesinde, dokunmasında ve işlenmesinde kullanılan diğer gereçler, Ütüler ve elbiselerin ütülenmesinde, preslenmesinde ve bakımında kullanılan diğer gereçler, tost makineleri, fritözler, öğütücüler, kahve makineleri ile konservelerin ve paketlerin açılmasında ve kapatılmasında kullanılan gereçler, elektrikli bıçaklar, saç kesim, saç kurutuma, diş fırçalama, tıraş, masaj ve diğer vücut bakım gereçleri, saatler, zaman göstergeleri ve zaman ölçme, gösterme veya kaydetme amacıyla kullanılan gereçler, teraziler

iii. Bilgi teknolojisi ve iletişim ekipmanları (gri eşyalar);

a. Merkezi veri işleme donanımları; merkezi işlem birimleri, minibilgisayarlar, yazıcı birimleri

b. Kişisel bilgisayarlar donanımları; kişisel bilgisayarlar (işlemci, fare, ekran ve klavye dahil), dizüstü bilgisayarlar (işlemci, fare, ekran ve klavye dahil), el bilgisayarı bilgisayarlar, tablet bilgisayarlar, yazıcılar, kopyalama ekipmanları, elektrikli ve elektronik daktilolar, cep ve masa hesap makineleri, ve elektronik olarak bilginin toplamasında, saklamasında, işlenmesinde, sunulmasında veya iletilmesinde kullanılan diğer donanım ve ekipmanlar

c. Kullanıcı birimleri ve sistemleri

d. Faks cihazları, teleks, telefonlar, ankesörlü telefonlar, kablosuz telefonlar, mobil telefonlar, çağrı cihazları, ve iletişim yoluyla ses, görüntü ve diğer bilgilerin iletilmesini sağlayan donanım ve ekipmanlar

iv. Tüketici gereçleri (kahverengi eşyalar); radyo setleri, televizyon setleri, video kameralar, video kaydediciler, yüksek duyarlı ses kaydediciler, ses dalgası yükselticileri, müzik enstrümanları, ve iletişim yoluyla ses ve görüntünün yayınlanması için sinyal ve diğer teknolojileri de içeren, ses veya görüntülerin kaydedilmesi veya kopyalanması amacıyla kullanılan diğer donanım ve ekipmanlar

v. Aydınlatma ekipmanları; flüoresan lambalar için avizeler (evlerde kullanılan avizeler hariç), geleneksel flüoresan lambalar, kompakt flüoresanlar lambalar, basınçlı sodyum ve metal halojen lambaları dahil olmak üzere yüksek yoğunluklu akış lambaları, düşük basınçlı sodyum lambaları, filaman ampulleri hariç olmak üzere ışığın yayılması veya kontrolü amacıyla kullanılan diğer aydınlatma tertibatları veya ekipmanları

vi. Elektrikli ve elektronik aletler (büyük ölçekli sabit endüstriyel aletler hariç), matkap, testere, dikiş makineleri, ahşap, metal ve diğer materyallerin döndürülmesinde, frezelenmesinde, zımparalanmasında, taşlanması, biçilmesinde, kesilmesinde, kırılmasında, delinmesinde, zımbalanmasında, katlanmasında, bükülmesinde ve benzer işlemlerde kullanılan aletler, perçinleme, çivileme veya vidalamada yada perçinlerin, çivilerin, vidaların veya benzer uygulamaların çıkarılmasında kullanılan aletler, kaynak, lehim ve benzer uygulamalarda kullanılan aletler, sıvıların ve gazların püskürtmesinde, yayılmasında, dağıtılmasında ve diğer işlemlerinde kullanılan aletler, biçme ve diğer bahçıvanlık işlerinde kullanılan araçlar

vii. Oyuncaklar, eğlence ve spor ekipmanları; elektrikli trenler veya araba yarışı setleri, elle kumanda edilen video oyunu konsolları, video oyunları, bisiklet, dalış, koşu, kürek vb. için bilgisayarlar, elektrikli ve elektronik bileşenlere sahip spor ekipmanları, jetonlu oyun makineleri

viii. Tıbbi aygıtlar (bütün tedavi amaçlı vücut içerisine yerleştirilmiş aygıtlar ve enfeksiyon taşıyan aygıtların hariç); radyoterapi cihazları, kardiyoloji cihazları, diyaliz cihazları, solunum cihazları, nükleer tıp cihazları, tüplü (in vitro) teşhis kullanılan laboratuvar ekipmanları, analizörler, dondurucular, gebelik testleri, hastalık, yara veya maluliyetin incelemesi, önlemesi, izlemesi, tedavisi, teskin esilmesinde kullanılan aygıtlar

ix. İzleme ve kontrol cihazları; duman detektörleri, ısı regülatörleri, termostatlar, ev veya laboratuvar ekipmanı olarak ölçüm, tartım veya ayar cihazları, kontrol panelleri gibi endüstriyel tesisatlarda kullanılan diğer izleme ve kontrol cihazları

x. Otomatik dağıtıcılar; sıcak içecekler için otomatik dağıtıcılar, sıcak veya soğuk şişeli veya kutulu içecekler için otomatik dağıtıcılar, katı mamuller için otomatik dağıtıcılar, para için otomatik dağıtıcılar, her tür mamulün otomatik olarak teslimatını sağlayan tüm cihazlar

ÖZGEÇMİŞ

Banu Çevikel, 18.03.1982 de İzmit' de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İzmit'te tamamladı. 2002 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden 2007 yılında mezun oldu. 2006 – 2008 yılları arasında sırasıyla Doğa Entegre Geri Dönüşüm Endüstri A.Ş ve Exitcom Recycling Ltd. Şti.'de Tehlikeli Atık Yöneticisi, Proje Müdürü ve Kalite Yönetim Temsilcisi olarak çalıştı. Bu süre içerisinde şirketin kalite yönetim sistemlerinin kurulmasında, işletilmesinde ve entegre atık yönetim projelerinde aktif rol aldı. Şu anda Lokman Geri Kazanım A.Ş'de Atık Yönetim Mühendisi olarak görev yapmaktadır.