

راهکار مدیریت و بازیافت زباله های الکترونیکی در ایران

کمال فروندی

ja_fa^1@um.ac.ir

سید محسن موسوی نژاد، حسین حیدری

m^1moosavi^2004@GMAIL.COM, Yaheidar^100@gmail.com

چکیده

وسایل الکترونیکی همچون رایانه، موبایل، تلویزیون، رادیو و ... از جمله وسایل پرمصرف در دنیای مدرن امروز محسوب میشوند که به طور روز افزون بر تعداد آن‌ها افزوده می شود. بسیاری از قطعات مورد استفاده در تجهیزات الکترونیکی دارای عناصر آلوده کننده محیط زیست همچون کادمیوم، سرب و روی هستند. از این رو و با توجه به حجم گسترده وسایل از رده خارج، بازیافت آنها امری اجتناب ناپذیر است. هم اکنون برخی از روش های بازیافت قطعات الکترونیکی در دنیا به طور صنعتی مورد استفاده می باشند. در ایران نیز با توجه به حجم بالای این قطعات، اخیراً بازیافت قطعات الکترونیکی به عنوان جدی ترین دغدغه در بخش بازیافت زباله ها مطرح شده است. در این مقاله وضعیت کنونی ایران در زمینه بازیافت زباله های الکترونیکی به طور خلاصه تشریح گردیده و در پایان نیز راهکارهایی جهت رفع مشکلات و موانع موجود ارائه گشته است.

کلمات کلیدی

بازیافت، زباله های الکترونیکی، آلودگی محیط زیست

۱. مقدمه

توسعه صنعت الکترونیک کیفیت زندگی را تا حد زیادی بهبود داده است، اما به علت نرخ بالای رشد روزافزون این صنعت و از طرفی کاهش عمر مفید قطعات الکترونیکی (به دلیل ظهور فناوری های نوین)، ضایعات ناشی از، از رده خارج شدن تجهیزات الکترونیکی، روز به روز در حال افزایش است. در همین رابطه مهمترین مساله تاثیر این زباله ها بر سلامت انسان و محیط زیست به دلیل وجود عناصر و مواد سمی مانند سرب، کادمیم و جیوه است. به عنوان مثال رایانه های شخصی دارای ۸ عنصر خطرناک می باشند. در حال حاضر در برخی از کشورهای پیشرفته، زباله های الکترونیکی بزرگترین منبع فلزات سنگین در زباله های جامد شهری محسوب می شوند. لذا بازیافت زباله های الکترونیکی برای کشورها به یک ضرورت تبدیل شده است. از طرف دیگر بازیافت این زباله ها باعث صرفه جویی در مصرف منابع طبیعی از طریق بازیابی عناصر کارآمد مانند مس، آهن، آلومینیوم، طلا، نقره و ... می شود [۱].

در جهان سالیانه بین ۲۰ تا ۵۰ میلیون تن زباله الکترونیکی تولید می شود. مسلم است که ایران نیز به عنوان یک کشور در حال توسعه از این معضل مصون نیست. طبق آماري که در روزنامه های داخلی منتشر شده است، در ایران حدود ۴ میلیون رایانه و ۱۸ میلیون تلویزیون و هزاران وسیله الکترونیکی دیگر تا بحال از گردش خارج شده است. اگر بخواهیم به همین گونه دیگر وسایل الکترونیکی را اضافه کنیم، انبوهی از زباله های الکترونیکی خواهیم داشت که تا کنون راهکاری برای مدیریت و بازیافت آنها در کشور ارائه نشده است و این مشکل روز به روز بزرگ و بزرگتر می شود.

۲. مدیریت بازیافت زباله های الکترونیکی در دنیا

معضل افزایش زباله های الکترونیکی دولتمردان کشورهای گوناگون را بر آن داشته است که چاره ای در این زمینه بی نپندیشند. در بسیاری از کشور های پیشرفته و در حال توسعه شرکت های سازنده محصولات الکترونیکی (به عنوان مثال شرکت های بزرگی همچون HP, SONY, DELL, NOKIA, ...) ملزم به بازیافت محصولات از رده خارج خود می باشند و هزینه های بازیافت را در قیمت محصولاتشان در نظر می گیرند. علاوه بر این شرکت های زیادی در دنیا بر مبنای بازیافت زباله های الکترونیکی شکل گرفته اند که مورد حمایت دولت ها نیز قرار دارند. مدیریت زباله های الکترونیکی، به روش های مختلف دفع لوازم الکترونیکی و الکترونیکی از کار افتاده و از رده خارج (که تاثیر زیادی به سلامت انسان و محیط زیست دارند) می پردازد. این فرایند می تواند به فناوری های مدرن که منطبق با استانداردهای سلامت انسان و محیط زیست هستند و فناوری ها پرخطر که سلامت انسان و محیط زیست را به خطر می اندازند (و اغلب در کشورهایی که استانداردهای صریحی وجود ندارد استفاده می شود) تقسیم شود [۳].

۱.۲ روش های سنتی و پرخطر

روش های بازیافت پرخطر بر خلاف استانداردهای رایج بین المللی بوده و باعث به خطر افتادن سلامت انسان و محیط زیست می شوند. این روش ها عمدتاً به دو دسته تقسیم میشوند:

۱.۱.۲ سوزاندن

در این روش زباله ها از طریق سوزاندن تجزیه می شوند. سوزاندن می تواند در محیط باز و در شرایط غیر قابل کنترل باشد و یا اینکه در یک محیط بسته و کنترل شده باشد تا مانع از انتشار ذرات آلوده کننده در هوا گردد. به دلیل تنوع مواد موجود در قطعات الکترونیکی، در این روش خطر انتشار آلودگی و مواد سمی زیاد است. به طوری که سوزاندن زباله های رایانه ای بزرگترین منبع تولید دی اکسید ها و انتشار فلزات سنگین نظیر جیوه در جو است. در نتیجه سوزاندن زباله های الکترونیکی به هیچ وجه توصیه نمی شود [۴].

۲.۱.۲. دفن کردن

نفوذ ناپذیری محل دفن، شرط اصلی دفن زباله های رایانه ای است. تقریباً چنین مکانی اصلاً وجود ندارد به عبارت بهتر در طولانی مدت تمام محل های دفن زباله های الکترونیکی نفوذ ناپذیری خود را از دست می دهند. تحقیقات نشان میدهد که در محل دفن مانیتورهای^۱ CRT، هر عدد لامپ اشعه کاتدی می تواند تا ۱/۸۶ گرم سرب وارد شیرابه محل دفن کند [۵].

۲.۲. روش های مدرن و زیست سازگار:

فناوری های مدرن شامل سه مرحله هستند :

۲.۲.۱. جداسازی و آلودگی زدایی

در این فرایند مواد سمی و مضر برای محیط زیست مانند CRT ها و باتری ها باید جدا شوند . این کار طبق دستورالعمل استاندارد WEEE انجام می شود؛ لیست اجزای خطرناکی که طبق دستورالعمل باید جدا شوند در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱: اجزاء حاوی مواد خطرناک بر اساس استاندارد WEEE
• اجزاء حاوی جیوه ، مثل سوئیچ ها یا لامپ های backlighting
• باتری ها
• بوردهای الکترونیکی تلفن های همراه و بوردهای سایر وسایل الکترونیکی که سطح بیشتر از ۱۰ سانتی متر مربع دارند.
• تونر کارتریژها، تونرهای حاوی مایعات و مواد چسبنده
• پلاستیک های مقاوم در برابر آتش
• تیوب های دارای اشعه کاتدی
• مواد و ترکیبات نسوز
• کلرو لورو کربن ها(CFC)، هیدروکلروفلوروکربن ها(HCFC)، هیدروفلوروکربن ها(HFC)، هیدروکربن ها(HC)
• لامپ های خلا
• آل سی دی هایی که سطح آن ها بزرگتر از ۱۰ سانتی متر مربع و لامپ
• کابل های الکتریکی خارجی
• ترکیبات شامل فیبرهای سرامیکی نسوز
• ترکیبات شامل مواد رادیواکتیو

۲.۲.۲. فرایندهای مکانیکی

این فرایندها برای جداسازی مواد مختلف قابل بازیافت و آلاینده ها انجام می شود. که عموماً شامل واحد شکستن و خرد کردن و جداکننده های مغناطیسی، جداکننده های بادی، جداکننده های جریان گردابی و ... می شود. در این فرایندها گرد و غبارهای تولیدی بایستی قبل از رهاسازی برای کاهش آلودگی، فیلتر می شوند [۶,۷].

۲.۲.۳. پالایش

مواد موجود در زباله های الکترونیکی می توانند به صورت مواد بازیابی شوند و برای این منظور باید از فرایندهای مختلفی مانند فرایندهای پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی و الکتروشیمیایی عبور کنند . عمده موادی که از فرایند پالایش بدست می آیند شامل فلزات، پلاستیک ها و شیشه می شوند [۸-۱۰].

^۱ Catod Ray Tube

۳. مدیریت بازیافت زباله های الکترونیکی در ایران
در ایران سالانه حجم وسیعی از قطعات الکترونیکی از رده خارج میشوند اگر چه هنوز به صورت رسمی آماری برای مقدار این زباله ها اعلام نشده است [۳]. تا کنون در ایران اقدامی برای بازیافت اصولی این زباله ها صورت نگرفته است و سرنوشت وسایل الکترونیکی از رده خارج درست مشخص نیست.
وسایل الکترونیکی از جمله رادیو، تلویزیون و رایانه با توجه به سرعت بالای رشد فناوری، در بسیاری از موارد حتی قبل از پایان عمر مفیدشان از رده خارج می شوند. در ایران نیز تعداد زیادی از این دست وسایل در انبارها وجود دارد. هم اکنون بسیاری از دانشگاه های بزرگ، شرکت ها و برخی ادارات دولتی هر از چند گاهی وسایل الکترونیکی از رده خارج خود را به قیمت بسیار نازلی به حراج می گذارند.
در اغلب شهرهای بزرگ برنامه ی مشخصی برای جمع آوری زباله های الکترونیکی وجود ندارد. در نتیجه وسایل الکترونیکی خانگی عمدتاً یا به همراه دیگر زباله های شهری جمع آوری شده، سوزانده یا دفن می شوند و یا اینکه توسط افرادی که وسایل دست دوم را خریداری می کنند، جمع آوری می شوند و پس از تعمیر دوباره به فروش می رسند و یا قطعات سالم آنها جدا شده و مورد استفاده قرار می گیرند. در این میان تنها در تعداد اندکی از شهرهای ایران مانند مشهد مکان هایی به منظور جمع آوری زباله های الکترونیکی خانگی در نظر گرفته شده است. گرچه هنوز برنامه ای مدون برای بازیافت زباله های جمع آوری شده در هیچ کجای ایران وجود ندارد [۴].

۴. روش پیشنهادی

با توجه به وضعیت فعلی کشورمان و مطالعاتی که بر روی برنامه بازیافت قطعات الکترونیک در کشورهای توسعه یافته انجام شده است روش زیر برای مدیریت زباله های الکترونیکی در شهرهای ایران پیشنهاد می شود:

۱.۴ جمع آوری:

از آنجا که شهرداری ها هزینه زیادی را صرف جمع آوری زباله های شهری می کنند می توانند با استفاده از پتانسیل های موجود خود هزینه های جمع آوری را کاهش می دهند در این راستا راهکارهای زیر پیشنهاد می شود:

۱. استفاده از منابع انسانی و خودروهایی جمع آوری زباله های خشک (کاغذ، پلاستیک و شیشه) جهت جمع

آوری تجهیزات الکترونیکی از رده خارج

۲. اختصاص دادن محلی در ایستگاه های بازیافت سطح شهرها جهت زباله های الکترونیکی

۳. ایجاد مراکزی جهت پذیرش وسایل از رده خارج الکترونیکی در بخش هایی که محل تمرکز تعمیرکاران و

فروشندهگان تجهیزات دسته دوم الکترونیکی است.

از آن جا که قانع کردن مردم جهت تحویل زباله های الکترونیکی نیاز به فرهنگ سازی دارد نهاد هایی همچون صداوسیما، مطبوعات و سایر رسانه ها می توانند نقش موثری در این زمینه داشته باشند.

۲.۴ جداسازی و بازیافت زباله های الکترونیکی

با توجه به اینکه زباله های الکترونیکی از وسایل و مواد مختلفی تشکیل شده است اولین گام در بازیافت آنها جداسازی و دسته بندی مواد و وسایل مختلف است. برای این منظور ابتدا بایستی مواد خطرناک زباله ها (طبق جدول ۱)

جدا شود. مطابق با استاندارد WEEE بهترین روش جهت جداسازی زباله های الکترونیکی روش های دس تی است . محصول جداسازی، به چند دسته ی زیر تقسیم می شود:

۱.۲.۴. مواد فلزی (قطعای آهنی، آلومینیومی و مسی)

قسمت های فلزی حجیم بدنه ی رایانه و سایر دستگاه های الکترونیکی از جمله ی بخش های فلزی زباله ها محسوب می شوند. پس از تفکیک قطعای فلزی از همدیگر بسته به جنس، هر کدام به کارخانه ی مربوطه انتقال می یابند به عنوان مثال قطعای آهنی به کارخانجات ذوب آهن انتقال می یابند.

۲.۲.۴. مواد پلاستیکی (مثل قاب وسایل الکترونیکی)

درصد قابل توجهی از زباله های الکترونیکی را مواد پلاستیکی تشکیل می دهند. این مواد که در قسمت های مختلف دستگاه های الکترونیکی مانند قاب مانیتورها و بردهای الکترونیکی استفاده می شوند به سه روش قابل بازیابی هستند. برخی از صنایع بازیافت موجود قادرند بعضی از این قطعای پلاستیک را بازیافت نمایند.

برخی از مواد پلاستیکی قطعای بازیافتی به عنوان مواد اولیه صنعت پتروشیمی و یا به عنوان احیا کننده در استخراج فلزات قابل استفاده هستند . از طرفی میتوان قطعای پلاستیکی را خرد نمود، گرانوله کرد و برای ساخت مواد جدید استفاده نمود یا از آنها به عنوان مواد خام صنعت بازیافت به کشورهای دیگر صادر نمود. روش سوم بازیافت قطعای پلاستیکی نیز استفاده از مواد پلاستیکی به عنوان سوخت است . با توجه به پتانسیل های بومی هر منطقه یکی از این روش ها را میتوان برای بازیافت قطعای پلاستیکی انتخاب نمود [۱۱].

۳.۲.۴. بازیافت کابلها

کابل ها از دو بخش فلزی و غیر فلزی تشکیل شده اند. که بعداز عبور از فرایند بازیافت به صورت فلز و پلاستیک بازیابی می شوند.

۴.۲.۴. بازیافت CRT:

CRT های از رده خارج در صنایع ساخت شیشه، سرب و ساخت CRT قابل استفاده هستند . در نتیجه در بسیاری از کشورهای دنیا CRT ها به فروش می رسند. در ایران با توجه به شرایط موجود بهترین راهکار صادرات CRT به نظر می رسد. ضمن این که می توان مکان هایی برای نگهداری کنترل شده آنها در نظر گرفت تا در صورت راه اندازی واحد بازیافت CRT در ایران آنها را بازیافت نمود [۱۲].

۵.۲.۴. بازیافت بردها:

بردها بخش زیادی از دستگاه های الکترونیکی از رده خارج را تشکیل می دهند و بازیافت برد، مهمترین بخش عملیات بازیافت در تمامی دنیا محسوب می گردد. روش های گوناگونی برای بازیافت بردهای الکترونیکی وجود دارد . این روش ها شامل روش های مکانیکی، پیرومتالورژیکی، هیدرومتالورژیکی، بیومتالورژیکی و ... می باشند. در کشورهای در حال توسعه مثل ایران روش های هیدرومتالورژیکی به علت سرمایه گذاری اولیه کم، کاربرد بیشتری پیدا می کنند. در عین حال روش دیگر برای بازیافت بردها، انجام عملیات مکانیکی و دستی به منظور جداسازی اولیه آنهاست . محصولات این روش ها را میتوان به واحدهای بین المللی بازیافت فروخت.

۶.۲.۴. بازیافت باطری ها:

بازیافت باطری ها نیاز به واحد مجزا و پیشرفته ای دارد . اگرچه با توجه به حجم محدود این قطعای میتوان محلی را برای جمع آوری و نگهداری کنترل شده ی آنها در نظر گرفت تا در زمان راه اندازی واحد بازیافت باطری آنها را بازیافت نمود. از طرفی می توان آنها را به کشورهای دیگر جهت بازیافت فروخت.

۵. بحث و نتیجه گیری

به منظور بازیافت صحیح زباله های الکترونیکی ابتدا لازم است سیستمی جامع برای جمع آوری این زباله ها از طرف نهادهای ذیربط مانند شهرداری ها پیش بینی شود . راهکارهایی وجود دارد که هزینه های جمع آوری را تا حد زیادی کاهش می دهند و آن را مقرون به صرفه تر می کنند. در این میان نقش رسانه ها در فرهنگ سازی، بسیار حیاتی به نظر می رسد. گام بعد در راستای بازیافت زباله های الکترونیکی، راه اندازی کارخانه ای برای تفکیک و آلودگی زدایی از زباله های الکترونیکی است. از طرف دیگر در این کارخانه بایستی تجهیزاتی به منظور آماده سازی اولیه بخش های گوناگون زباله های جداسازی شده (با توجه به ماهیت آن ها) در نظر گرفته شود. به عنوان مثال برای خرد کردن و پرس نمودن قسمت های پلاستیکی و فلزی ، دستگاه های خردکن، جداکننده های مغناطیسی، پرس و ... لازم می باشد. با توجه به حجم بالای پدها و اهمیت بازیافت آن ها (و از طرفی هزینه بر بودن تاسیس واحد های بازیافت باطری ها و CRT ها) به نظر می رسد بهتر است تاسیس واحد بازیافت تخصصی در سه فاز انجام شود . می توان در ابتدا تنها واحد بازیافت بردها را راه اندازی نمود و بعد از جمع آوری CRT ها و بطری ها در صورت صرفه اقتصادی اقدام به راه اندازی واحد بازیافت برای آنها نمود و در غن اینصورت می توان آنها را به کشورهای دیگر صادر کرد.

در حال حاضر مهمترین مساله در بحث بازیافت ایجاد واحد اولیه بازیافت است که شامل بخش جداسازی، عملیات آماده سازی و واحد بازیافت بردهای چاپی است . شروع به کار این واحد می تواند چشم انداز بسیار مناسبی در مورد پارامترهای کلیدی فرایند بازیافت ارائه نماید تا بتوان در مورد ادامه روند بازیافت زباله تصمیم گیری بهتری نمود.

۶. منابع و مراجع

- [۱] Hai-Yong Kang, and Julie M. Schoenung, *Economic Analysis of Electronic Waste Recycling: Modeling the Cost and Revenue of a Materials Recovery Facility in California*, *Environ. Sci. Technol.*, ۲۰۰۶, ۴۰ (۵), ۱۶۷۲-۱۶۸۰.
- [۲] Rolf Widmer, Heidi Oswald-Krapf, *Global perspectives on e-waste*, *Environmental Impact Assessment Review* ۲۵ (۲۰۰۵) ۴۳۶-۴۵۸
- [۳] Hai-Yong Kang, Julie M. Schoenung, *Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options*, *Resources, Conservation and Recycling* ۴۵ (۲۰۰۵) ۳۶۸-۴۰۰.
- [۴] محمدعلی عبدلی، علی دریابیگی زندو تحلیلی بر پسماندهای رایانه ای، *مجله محیط شناسی*، شماره ۳۷، بهار ۱۳۸۴، صفحه ۱۰۵-۱۰۲
- [۵] Macualey, M. et al., ۲۰۰۳. *Dealing with electronic waste: Modeling the costs and environmental benefits of computer monitor disposal*, *Journal of Environment Management* ۶۸:۱۳-۲۲
- [۶] Shunli Zhang and Eric Forssberg, *Mechanical recycling of electronics scrap - the current status and prospects*, *Waste Management Research* ۱۹۹۸; ۱۶; ۱۱۹
- [۷] Jirang Cui, Eric Forssberg, *Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review*, *Journal of Hazardous Materials B* ۹۹ (۲۰۰۳) ۲۴۳-۲۶۳
- [۸] Jirang Cui, Lifeng Zhang, *Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review*, *Journal of Hazardous Materials* ۱۵۸ (۲۰۰۸) ۲۲۸-۲۵۶
- [۹] Hugo Marcelo Veit, Andr'ea Moura Bernardes, *Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy*, *Journal of Hazardous Materials B* ۱۳۷ (۲۰۰۶) ۱۷۰۴-۱۷۰۹
- [۱۰] A. Das, A. Vidyadhar, S.P. Mehrotra, *A novel flowsheet for the recovery of metal values from waste printed circuit boards*, *Resources, Conservation and Recycling* ۵۳ (۲۰۰۹) ۴۶۴-۴۶۹
- [۱۱] Jiuyong Guo, Jie Guo, Zhenming Xu, *Recycling of non-metallic fractions from waste printed circuit boards: A review*, *Journal of Hazardous Materials* ۱۶۸ (۲۰۰۹) ۵۶۷-۵۹۰.
- [۱۲] N. Menad, *Cathode ray tube recycling*, *Resources, Conservation and Recycling* ۲۶ (۱۹۹۹) ۱۴۳-۱۵۴

[12] A.M. Bernardes , D.C.R. Espinosa , *Recycling of batteries: a review of current processes and technologies* , *Journal of Power Sources* 130 (2004) 291–298