علی محمودی ازناوه
دانشجوی کارشناسی، مهندسی طبیعت، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران
ali.aznaveh@ut.ac.ir

ارزیابی عملکرد کشورها در بازیافت زباله‌های الکتریکی

چکیده

هدف این مطالعه بررسی و تحلیل مقایسه‌ای بازیافت زباله‌های الکتریکی (e-waste) کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته است. در حقیقت، اکثر کشورهای در حال توسعه، بازیافت را به صورت غیر اصولی انجام می‌دهند؛ به طوری‌که تعداد زیادی از افراد غیر متخصص در امر جمع‌آوری و بازیافت کارگاهی زباله‌های الکتریکی مشغول به کار هستند. آن‌ها در سطوح مختلف جامعه پسماندهای الکترونیکی که به طور مستقیم از سوی مصرف‌کننده دور انداخته می‌شود را جمع‌آوری نموده و سپس آن را به تعمیرکنندگان و بازیافت‌کنندگان می‌فروشند. این محصولات به طور کامل از طریق "بازیافت خانگی یا کارگاهی" یا روش‌های ابتدایی مانند سوزندان و اسید شویی اقدام به استخراج فلزات گرانبها می‌کنند. این دست فعالیت‌های غیر اصولی به علت عدم وجود قوانین، استانداردهای بازیافت، معیارهای حفاظت از محیط زیست و نبود زیرساخت‌های بازیافت و عدم آگاهی انجام می‌شوند. به علت عدم وجود داده‌های به روز میزان تولید WEEE در کشور هند در مقایسه با کشورهای چین، ایالات متحده آمریکا و اروپا، امکان ساخت سیستم کنترل کارآمد وجود ندارد.

این مطالعه بر اساس بررسی متون موجود در پایگاه داده‌های مختلف مانند Science direct و google scholar که با استفاده از چند کلمه‌ی کلیدی مانند e-waste یا زباله الکترونیکی یا بازیافت یا مدیریت WEEE در هند، چین، ایالات متحده آمریکا و اروپا و غیره جستجو شده بود؛ انجام شد. نتایج به دست آمده از این کار، کمک زیادی به دانش علمی خواهد کرد و از نظر ارائه‌ی بهترین تکنیک‌های موجود و بهترین شیوه‌های اجرایی در محیط زیست در آینده، برای دانشمندان و سیاست‌گذاران جهت حل مشکلات زباله الکترونیکی ارزشمند است.

کلمات کلیدی: زباله تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (WEEE)، بازیافت، تاثیر بر محیط‌زیست

مقدمه

تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی زمانی که به پایان عمر مفید خود نزدیک می‌شوند؛ به زباله‌های الکتریکی تبدیل می‌شوند که همین موضوع موجب رشد بحرانی و سریع آن‌ها می‌شود. این زباله‌ها عمدتا شامل کامپیوتر، پرینتر، تلفن‌های همراه، دستگاه کپی، تلویزیون، دستگاه فکس، لوازم خانگی و تجهیزات نورپردازی است. اخیرا، گزارش شده است که ۴۱.۸ میلیون تن زباله‌ی الکترونیکی در مقیاس جهانی تولید می‌شود و انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۱۸، این مقدار به حدود ۵۰ میلیون تن برسد. این حجم بزرگ از زباله‌های الکترونیکی شامل حدود ۱۲.۸ میلیون تن تجهیزات کوچک (مانند تستر، ریش تراش الکتریکی، جاروبرقی، دوربین‌های فیلمبرداری، مایکروویو و غیره)، ۱۱.۸ میلیون تن تجهیزات بزرگ (مانند ماشین ظرفشویی، خشک‌کن لباس، کوره‌های الکتریکی، ماشین لباسشویی، پانل‌های فتوولتائیک و غیره)، ۷ میلیون تن وسایل خنک‌کننده و سرمایشی (تجهیزات تبادل حرارتی)، ۶.۳ میلیون تن مواد صفحه نمایش، ۳ میلیون تن تجهیزات کوچک در زمینه‌ی فناوری اطلاعات (مانند تلفن‌های همراه، ماشین‌حساب‌های جیبی، رایانه‌های شخصی، پرینتر و غیره) و ۱ میلیون تن لامپ است.

با این حال، تولید بالای زباله‌های الکترونیکی یک موضوع جدی و مهم برای توسعه‌ی پایدار است که بخش‌های فنی، زیست محیطی، اجتماعی اقتصادی و قانونی را پوشش می‌دهد. حضور مواد ارزشمندی همچون فلزات و پلاستیک در محصولات الکترونیکی موجب تشویق مردم برای بازیافت این مواد از زباله‌های الکترونیکی می‌شود.

اما باید بسیار مراقب بود زیرا زباله‌های الکترونیکی به عنوان زباله‌های خطرناک در نظر گرفته می‌شوند. بسیاری از آلودگی‌های زیست محیطی از تخریب و بازیافت غیر اصولی به ویژه در کشورهای در حال توسعه منشا می‌گیرند. به همین دلیل، در سال‌های گذشته هزینه و تلاش فراوانی برای تحقیقات مربوط به بازیافت زباله‌های الکترونیکی صرف شده است. با این وجود بازیافت راه صحیح تر استفاده مجدد از مواد خام و منابع است؛ چرا که مواد خطرناک حاصل از زباله‌های الکترونیکی می‌توانند به کارگرانی و همچنین افرادی که در نزدیکی این سایت ها زندگی می‌کنند، آسیب برسانند.

به همین منظور یک روش دوستدار محیطزیست برای بازیافت موثر فلزات ارزشمند از زباله‌های الکتریکی از نظر امکان‌پذیری اقتصادی تاثیرات زیست محیطی مورد توجه می باشد. روش بیوتکنولوژی یکی از فناوری نوین در این زمینه است که هنوز تحقیقات اندکی در این زمینه برای بکارگیری بازیافت زباله‌های الکتریکی انجام شده است.

در کشورهای توسعه‌یافته، بازیافت پسماندهای الکتریکی در کارخانه‌های بازیافت تحت شرایط کنترل‌شده انجام می-شود. به عنوان مثال، بسیاری از کشورهای عضو اتحادیه اروپا، با ممانعت از خروج پلاستیک‌های بازیافت شده از زباله‌های الکتریکی، از آزاد شدن فوران برم‌دار و دیوکسین‌ها به اتمسفر جلوگیری می‌کنند. از سوی دیگر در کشورهای در حال توسعه، هیچ گونه ابزار کنترلی وجود ندارد و بازیافت به صورت خانگی انجام می گردد. از این رو، در این مطالعه مسائل مربوط به زباله‌های الکتریکی را در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه بررسی گردیده است.

تولید زباله‌های الکتریکی در این کشورها

هند

بیشتر زباله‌های الکتریکی تولید شده در آسیا: ۱۶ میلیون تن در سال ۲۰۱۴ است. در واقع به ازای هر نفر، ۳.۷ کیلوگرم زباله تولید شده است. بر اساس گزارش اعلامیه‌ی نیروی کار بین‌المللی National WEEE task force که در سال ۲۰۰۵ مجموع زباله‌های الکتریکی تولید شده در هند، ۱۴۶۰۰۰ تن در هر سال بود.

از سوی دیگر، کمیته‌ی مرکزی کنترل آلودگی (CPCB) گزارش کرده است که ۱.۳۴۷ صد هزار میلیون تن زباله‌ی الکتریکی در کشور هند در سال ۲۰۰۵ تولید شده و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۱۲، این عدد به ۸ صد هزار میلیون تن برسد. علاوه بر این، GTZ (آژانس همکاری‌های فنی آلمان) نشان داد که در سال ۲۰۰۷، مقدار زیادی (۳۳۰۰۰۰۰ تن) از زباله و تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در هند تولید شده است. با این حال، محققان دیگر نیز برآورده کرده‌اند که مقدار ۴۲۰۰۰۰ تن/ سال و ۳۸۲.۹۷۹ تن/ سال در هند تولید می‌شود. با این وجود، پیچیدگی روند تولید زباله‌های الکتریکی در هند همراه با اطلاعات ناکافی موجود، تخمین میزان تولید زباله‌های الکتریکی را دشوارتر می‌کند.

چین

مقدار کل زباله‌های الکتریکی در سال ۲۰۱۰، ۳.۶ میلیون تن و در سال ۲۰۱۳، حدود ۵.۵ میلیون تن برآورد شده بود و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۰ این میزان به ۱۱.۷ میلیون تن و تا سال ۲۰۴۰، به ۲۰ میلیون تن برسد. این زباله‌های الکتریکی عمدتا شامل تهویه‌کننده‌ی هوا (۲۶٪)، تلویزیون (۲۴٪)، کامپیوتر (۱۴٪)، یخچال (۱۲٪)، ماشین لباسشویی (۷٪)، پرینتر (۹٪) و لامپ‌های فلوروسنت (۷٪) هستند.

در ژانویه‌ی سال ۲۰۱۵، کاتالوگ جدید مربوط به بازیافت WEEE (دسته ۲) صادر شد و با پوشش بیش از ۹ دسته‌ی WEEE گسترش یافت. این دسته‌های جدید WEEE میزان نظارت دولت بر صنعت بازیافت را افزایش داد. با این وجود، فعالیت‌های غیراصولی و خارج از نظارت جمع‌آوری ان نوع پسماندها در مناطق شهری گزارش شده است، که به دلیل بالا بودن شانس انجام این فعالیت‌ها در مکان‌های پرجمعیت و همچنین در دسترس بودن زباله‌های الکتریکی رها شده یا منسوخ می‌باشد.

از سوی دیگر میزان این نوع زباله بسیار کم است که به دلیل نفوذ آهسته‌ی لوازم خانگی با ورود و جایگزینی فناوری‌های جدید می‌باشد.

ایالات متحده آمریکا (USA)

بر اساس برنامه‌ی محیط‌زیست ملل متحد (۲۰۰۷) (UNEP)، زباله‌های الکتریکی از مولفه‌های به‌سرعت در حال رشد زباله‌های شهری هستند، که شامل ۷۰ درصد فلزات سنگین می‌باشند و ۴۰ درصد از آن‌ها را سرب را تشکیل می‌دهد. در مجموع هر ساله ۴۰ میلیون مترمکعب زباله‌ی الکتریکی دفع می‌شود.

با این حال، شهروندان هنوز نمی‌دانند با کامپیوترهای قدیمی خود و ۷۵ درصد از وسایلی که در کمد خانه‌ها قرار دارد؛ چه کار کنند. سرنوشت اغلب این زباله‌های الکتریکی در ایالات متحده آمریکا هنوز هم به صورت یک رمز و راز باقی مانده است و متخصصان معتقدند که اکثر این زباله‌ها به محل دفن زباله برده می‌شوند؛ سوزانده شده و یا در محل ذخیره‌سازی رها می‌شوند.

در این رابطه، در حال حاضر، ایالات متحده آمریکا ۱۱. ۷ میلیون تن زباله الکتریکی (۷.۹ میلیون تن برای آمریکای شمالی، ۱.۱ میلیون تن برای آمریکای مرکزی و ۲.۷ میلیون تن برای آمریکای جنوبی) تولید کرده است که معادل ۱۲.۲ کیلوگرم در اینچ می‌باشد. بر اساس مطالعات Balde و همکارانش (۲۰۱۵)، ایالات متحده (۷.۱ میلیون تن) در جایگاه اول تولید زباله‌های الکتریکی قرار دارد و بعد از آن برزیل (۱.۴ میلیون تن) و مکزیک (۱ میلیون تن) جزء کشورهای تولیدکننده‌ی زباله هستند. از سوی دیگر، در بین ایالات متحده، آمریکا بیشترین میزان زباله الکتریکی (۲۲.۱ کیلوگرم/ اینچ) و بعد از آن کانادا (۲۰.۴

کیلوگرم/ اینچ) و باهاما (۱۹.۱ کیلوگرم/ اینچ) را تولید کرد.

زباله‌های الکترونیکی

اتحادیه اروپا

سیاست کنونی زباله‌های اروپا تمرکز بر استفاده مجدد و بازیافت پسماند نیست؛ بلکه کامل‌کردن زنجیره‌ی عرضه محصول مدنظر است. بازیافت جایگاه سوم را به خود اختصاص می‌دهد؛ در حالی که دفع زباله آخرین گزینه است. بیش‌ترین میزان تولید زباله الکتریکی به ازای هر نفر (۱۵.۶ میلیون تن/ اینچ) در اروپا تولید شده بود. اساسا، تولید زباله یک کسب و کار گسترده است و ذینفعان زیاد در این زمینه علاقه ندارند که میزان تولید زباله کاهش پیدا کند. به همین دلیل انگیزه‌های پیچیده‌تری برای جدا کردن رشد اقتصادی از تولید زباله مورد نیاز است.

نقش میکروب‌ها در فرآیند بازیافت

اعتقاد بر این است که بیوتکنولوژی یکی از جدیدترین فناوری‌ها در فرآیند استخراج فلزات [1]می‌باشد. به منظور بازیابی فلزات گران‌بها و سمی از زباله‌های الکتریکی از روش بیولیچینگ[2] استفاده شده‌است. با این حال، تحقیقات محدودی بر روی بیولیچینگ فلزات زباله‌های الکتریکی انجام شده‌است. معمولا از باکتری‌های اتوتروفیک، هتروتروفیک و قارچ‌ها در روش بیولیچینگ استفاده می‌شود. در این فرآیند سلول‌های میکروبی انرژی مورد نیاز خود برای متابولیسم را از طریق اکسیداسیون هوازی ترکیبات گوگردی احیا شده بدست می‌آورند.

محققان گزارش کرده‌اند که قارچ‌هایی مانند آسپرژیلوس و پنی‌سیلیوم به عنوان سویه‌های قارچی مناسب معرفی شده‌اند و در فرآیند بیولیچینگ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

1.metallurgical

۲.بیولیچینگ به مفهوم استفاده از توانایی باکتری‌ها در عملیات انحلال سولفیدهای فلزی به منظور بازیابی و تولید فلزات است.

آنالیز و بحث

صرف نظر از مواد مورد نیاز و ظهور تکنولوژی‌های جدید در زمینه‌ی بازیافت، به منظور مدیریت پایدار، تدوین قوانین ضروری است. جامعه‌ی بین‌المللی استانداردها، دستورالعمل‌ها و قوانین زیادی را در رابطه با زباله‌های الکتریکی و الکترونیکی به منظور حفظ محیط‌زیست، تعیین کرده است.

سازمان بین‌المللی استاندارد با کمک ایالات متحده و کنوانسیون بازل برای کنترل، حمل‌ونقل زباله‌های خطرناک و دفن آن‌ها، استاندارد ISO/TR 14062 (۲۰۰۲) و ISO 14001(۲۰۰۴) را تعیین کرد و این موضوع بیانگر نیازهای خاص برای سیستم مدیریت دقیق محیط‌زیست است و به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا سیاست‌ها و اهداف خود را توسعه داده و اجرا نمایند.

این قوانین نه تنها بر شرکت‌های بزرگ بلکه بر شرکت‌های کوچک و متوسط نیز اعمال می‌شود. علاوه بر این، از سال ۲۰۰۲ توافقنامه‌ی جهانی زیست محیطی، دستورالعمل‌های منطقه‌ای و ملی یا مقررات نیز تنظیم شده است که اکثر آن‌ها برای حل مشکلات مربوط به وسایل الکتریکی مبتنی بر مسئولیت‌پذیری گسترده تولیدکننده (EPR) است.

در این رابطه، اتحادیه اروپا یا انجمن‌های اروپایی دستورالعمل‌های مربوط به زباله‌های الکتریکی و الکترونیکی، محدودیت استفاده از برخی از مواد خطرناک در تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، دستورالعمل‌های مربوط به بسته‌بندی مواد زائد، دستورالعمل‌های مربوط به محصولات مرتبط با انرژی و دستورالعمل پیشگیری و کنترل آلودگی را صادر کرده‌اند.

در ایالات متحده آمریکا، ۲۵ ایالت قوانین مربوط به زباله‌های الکتریکی را دارند و حدود ۶۵ درصد از مردم تحت حمایت قانون بازیافت زباله‌های الکتریکی هستند؛ با این وجود، این قوانین زیرساخت‌های کافی یا بازده لازم را برای تامین یا ترویج مشارکت عمومی ارائه نمی‌دهند. با وجود اینکه قوانین مختلفی در هر کشور وجود دارد؛ اما به طور کلی چرخه‌ی حیات وسایل الکترونیکی شامل انتخاب مواد خام تا بازیافت و دفع مواد الکتریکی است. قوانین جهانی، منطقه‌ای و ملی به منظور کاهش دفع مواد، صرفه‌جویی در منابع و حذف سمیت طراحی اکولوژیکی CE را توسعه داده‌اند.

زباله‌های الکترونیکی

نتیجه‌گیری و چشم اندازهای آینده

پارامترهای کلیدی موفقیت برای بازیافت پسماندهای الکتریکی شامل در نظرگرفتن مزایای زیست‌محیطی، اجتماعی و اخلاقی است. با این حال، هنوز هم چالش‌ها و فرصت‌هایی پیش‌روی مدیریت این زباله‌ها وجود دارد. مقدار زیاد تولید این زباله‌ها زنگ خطری برای منابع‌طبیعی است که می‌تواند در آینده‌ی نزدیک به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر بخش بازیافت تاثیر بگذارد. قوانین و مقررات موجود سطح آلودگی را کاهش می‌دهند؛ اما نمی‌توانند به طور کامل مشکلات ناشی از تاثیرات زیست محیطی بازیافت غیر اصولی را حل کنند.

قوانین مربوط به زباله‌های الکتریکی باید به طور مداوم مورد توجه قرار بگیرند و اجماع برای بازیافت زباله‌های الکتریکی در سطح منطقه‌ای خاص ایجاد شود. به همین ترتیب، در کشورهای توسعه‌یافته، زباله‌های الکتریکی به منظور بازیابی برخی از مواد ارزشمند مانند فلزات با روش‌های مختلف انجام می‌شود. در حالی که، در کشورهای در حال توسعه، بازیافت زباله‌های الکتریکی عمدتا توسط فرآیندهای اصولی بر روی استخراج فلزات تمرکز می‌کند. علاوه بر این، انجام تحقیقات بیشتر به منظور ایجاد مکانیسم‌های سیستماتیک برای بکارگیری سیستم‌های بیولیچینگ ضروری است.

منابع

1) Bas, A.D., Deveci, H., Yazici, E.Y., 2013. Bioleaching of copper from low grade scrap TV circuit boards using mesophilic bacteria. Hydrometallurgy, 138, 65-70.

2) Bartl, A., 2014. Moving from recycling to waste prevention: A review of barriers and enables. Waste Management and Research 32, 3-18.

3) Breivik, K., James M., Armitage, Frank Wania, and Kevin C. J., 2014. Tracking the Global Generation and Exports of eWaste. Do Existing Estimates Add up? dx.doi.org/10.1021/es5021313 Environmental Science and Technology, 48, 87358743.

4) Chang, N.B., Pires, A., and Martinho, G., 2011. Empowering systems analysis for solid waste management: Challenges, trends, and perspectives. Critical Review Environmental Science and Technology, 41 (16), 1449–1530.

5) Coto, O., Galizia, F., Hernández, I., Marrero, J., Donati, E., 2008. Cobalt and nickel recoveries from laterite tailings by organic and inorganic bio-acids. Hydrometallurgy, 94 (1–4), 18-22.

6) Duan, H. Miller, T.R. Gregory, J. Kirchain, R., 2013. Quantitative Characterization of Domestic and Transboundary Flows of Used Electronics, Analysis of Generation, Collection, and Export in the United States.

7) Duan, H.B., Li, J.H., Liu, Y., Yamazaki, N., and Jiang, W., 2011. Characterization and inventory of PCDD/Fs and PBDD/Fs emissions from the incineration of waste printed circuit board. Environmental Science and Technology, 45, 6322–6328.

8) Electronics Take Back Coalition 2012. State legislation. Retrieved January 2013, from http://www.electronicstakeback.com/legislation/state legislation.htm.