محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٠، شمارهٔ ٤، زمستان ١٣٩٣، صفحهٔ ١٠٠٩-٩٩٩

برآورد ارزش اقتصادی آهن، آلومینیم و مس قابل بازیافت در پسماندهای الکترونیکی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۶ تهران)

امیر هدایتی آق‌مشهدی[۱]*، حمیدرضا جعفری[۲]، شاهو کرمی[۳]، سامان گلالی‌زاده[٤]، سمانه زاهدی[٥]

۱. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲. استاد گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران Hjafari@ut.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری آموزش محیط‌زیست، دانشگاه پیام نور، تهران karami.sh.@ut.ac.ir

٤. فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران Saman_galali@ut.ac.ir

٥. دانشجوی دکتری مدیریت محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران smnhzahedi@yahoo.com

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/٤/۲۲

چکیده

از مهم‌ترین مسائلی که بالاخص در دو دههٔ اخیر در خصوص توسعهٔ صنایع الکترونیکی مطرح شده، پسماندهای حاصل از این صنایع است. این پسماندها به‌رغم داشتن مواد باارزش برای بازیافت دارای مواد فوق‌العاده خطرناکی‌اند که در صورت بازیافت و کنترل‌نشدن موجب آسیب به انسان و محیط‌زیست می‌شوند. اهمیت پسماندهای الکترونیکی به علت فلزات سنگین مانند نیکل، کادمیم، سرب و فلزات باارزش قابل بازیافت مانند طلا، نقره، آلومینیم، آهن، مس و ... در آن است. در این مطالعه سعی شده است ارزش اقتصادی فلزات آهن، آلومینیم و مس در پسماندهای الکترونیکی منطقهٔ ۶ تهران محاسبه شود. برای این منظور با توجه به نبود بانک اطلاعاتی معتبر در کشور در خصوص تولید این نوع پسماندها، به کمک پرسش‌نامه‌هایی، میزان تولید حال و آیندهٔ پسماندهای الکترونیکی با استفاده از روش‌های کمّی محاسبه شد. این میزان در سال ۱۳۹۲ حدود ۷۴۵ تن برآورد شد که بر اساس ارزش اقتصادی فلزات آهن، مس و آلومینیم در بازارهای جهانی، ارزش این‌ها حدود ۴۹۹۰۰۰ دلار برآورد شد. انتظار می‌رود کل تولیدات پسماندهای الکترونیکی این منطقه تا سال ۱۴۰۲، حدود ۱۱۴۵ تن باشد و ارزش اقتصادی فلزات مذکور در آن‌ها حدود ۸۵۰۰۰۰ دلار برآورد شده است. برای بهره‌مندی از فواید اقتصادی این پسماندها ارائهٔ سیستم یکپارچهٔ مدیریت پسماندهای الکترونیکی ضروری به نظر می‌رسد. چنین سیستمی برای موفقیت، باید مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی این نوع از پسماندها را نیز در نظر گیرد.

کلیدواژه

ارزش‌گذاری اقتصادی، پسماندهای الکترونیکی، سیستم مدیریت، فلزات قابل بازیافت.

۱. سرآغاز

رشد بی‌رویهٔ جمعیت، توسعهٔ شهرنشینی، ظهور تکنولوژی‌های جدید و تغییر در عادات و الگوهای مصرف از یک سو و محدودیت‌های استفاده از منابع طبیعی از سوی دیگر، علاوه بر به وجود آوردن انواع معضلات پیچیده در زندگی انسان، موجب بروز انواع ناسازگاری زیست‌محیطی و اجتماعی شده است. یکی از پیامدهای تحولات جامعهٔ جهانی در چند دههٔ اخیر توسعهٔ زیرساختی

* نویسنده مسئول: تلفن تماس: ۰۹۱۱۲۵۶۹۷۳۱ Email: ahedayati@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

صنایع الکتریکی و الکترونیکی است (Wath, 2010). در حقیقت رشد صنایع الکتریکی و تمایل به آن‌ها از تحولات قرن حاضر است که این امر استفادهٔ بیشتر از تجهیزات الکترونیکی را که از مهم‌ترین صنایع استفاده‌کننده از فلزات به شمار می‌رود تشدید کرده است (Oguchi et al., 2012).

از جمله مهم‌ترین مسائلی که در دو دههٔ اخیر در خصوص توسعهٔ صنایع الکتریکی و الکترونیکی مطرح شده، پسماندهای الکتریکی حاصل از این صنایع است. این پسماندها به‌رغم داشتن مواد باارزش برای بازیافت، مواد فوق‌العاده خطرناکی نیز دارند. حدود ۲/۷ درصد از پسماندهای الکترونیکی را عناصر خطرناک و فلزات سنگینی مانند نیکل، برم، سرب و ... و حدود ۶۰ درصد را فلزات قابل بازیافتی مانند آهن، آلومینیم، مس و ... تشکیل می‌دهند (Widmer, 2005)، پسماندهای الکترونیکی مقدار زیادی از فلزات و مواد باارزشی نظیر فلزات گرانبها را دربر می‌گیرند. برای مثال، کامپیوترهای شخصی اولیه حاوی حدود ۴ گرم طلا بوده‌اند، هر چند این مقدار امروزه به ۱ گرم کاهش یافته است (Widmer, 2005). باید توجه کرد که فلزات موجود در این پسماندها از یک طرف برای طبیعت بسیار مضرند و از طرفی از لحاظ اقتصادی ارزش زیادی دارند که در صورت بازیافت آن‌ها می‌توان به صرفهٔ اقتصادی مناسبی در این زمینه دست یافت.

همچنین، بر اساس آیین‌نامهٔ اجرای مدیریت پسماندها مصوب سال ۱۳۸۳ و در مواد ۱ و ۳ آن، بر لزوم بازیافت و استفادهٔ مجدد مواد موجود در پسماندها اشاره شده (هیئت‌وزیران، ۱۳۸۴) و با توجه به توان بالای پسماندهای الکترونیکی، بهره‌مندی از مواد بازیافتی در آن‌ها لازم و ضروری است. علاوه بر این، در فصل ۱۹ دستور کار ۲۱ بر همکاری بخش‌ها و کشورهای مختلف بر ارزیابی مواد شیمیایی واردشده به محیط زندگی انسان (به ویژه از طریق پسماندها) تأکید شده است و در فصل ۲۱ دستور کار ۲۱ نیز تقلیل زباله و بازیافت آن را به‌منزلهٔ استراتژی دنبال‌دار و مستمر ارائه کردند (دستور کار ۲۱، ۱۹۹۲).

پسماندهای الکترونیکی همچنین به‌منزلهٔ پسماندهای حاوی ترکیبات متنوعی از مواد سمی و خطرناک شناخته شده‌اند که این مواد در صورت انتشار هنگام انجام فرایندهای بازیافت و امحا، خطر ریسک جدی برای سلامت انسان و محیط‌زیست به دنبال خواهند داشت (UNEP, 2005). برای مثال، پسماندهای الکترونیکی[1]، طیف وسیعی از فلزات سنگین همچون سرب، کادمیم، جیوه و ترکیبات آلی پایدار همچون مواد بازدارندهٔ اشتعال برومینه[2] و فتالات‌ها را دربر می‌گیرند. در تحقیقی دیگر که در راستای شناسایی اجزای تفکیک‌شدهٔ e-waste از سوی آزمایشگاه‌های مواد و تحقیقات صنعتی فدرال سوئیس[3] انجام شد، آلاینده‌های این پسماندها به طور متوسط ۲/۷ درصد تخمین زده شده‌اند.

به طور کلی و در یک تقسیم‌بندی ساده می‌توان پسماندهای الکترونیکی را زیرمجموعهٔ پسماندهای جامد شهری به حساب آورد که ترکیبی از پسماندهای خانگی، اداری، تجاری و صنعتی است. این تنوع سبب شده است موضوع پسماندهای الکترونیکی از مهم‌ترین مسائل پیش‌روی جامعهٔ جهانی باشد (Mallawarachchi & karunasena, 2012). رشد زیاد این پسماندها سبب شده است، جمع‌آوری و بازیافت آن‌ها لازم و ضروری باشد. بازیافت پسماندهای الکترونیکی پتانسیل اقتصادی بالایی را آزاد می‌کند، به طوری که امروزه بازیافت چنین موادی به‌منزلهٔ تجارتی سودآور برای بسیاری از شرکت‌های معتبر به حساب می‌آید، شرکت‌هایی مانند بولیدن در سوئد[4]، وی آس در نروژ[5] و کیتیرایا در انگلستان[6] در حال حاضر به این حرفه مشغول‌اند (Queiruga et al., 2012).

در ایران تاکنون تحقیقی در زمینهٔ پسماندهای الکترونیکی صورت نگرفته است. از جمله کارهایی که در سطح جهان در جهت پیش‌بینی تولید پسماندهای الکترونیکی صورت‌گرفته می‌توان به مقالهٔ دویودی و همکاران در سال ۲۰۰۹ در هند اشاره کرد. بر اساس مدل پیشنهادی آن‌ها، می‌بایست از سری‌های زمانی مربوط به طول عمر پسماندهای الکترونیکی برای تخمین روند تولید پسماندهای الکترونیکی استفاده کرد. در واقع آن‌ها بر اساس طول عمر استفاده و دورریزی

Archive of SID
www.SID.ir

پسماندهای الکترونیکی به پیش‌بینی روند طول عمر پرداختند (Dwivedy et al., 2009). همچنین، آراجو و همکارانش (۲۰۱۱) به بررسی تولید پسماندهای الکترونیکی در برزیل پرداختند، نتیجهٔ تحقیقات آن‌ها نشان داد که به منظور پیش‌بینی روند تولید پسماندهای الکترونیکی مهم‌ترین متغیر، طول عمر تجهیزات است که برای تخمین آن به درک کاملی از رفتار مصرف‌کننده نیازمندیم (Araujo et al., 2011). همچنین، رابینسون در سال ۲۰۰۹ با استفاده از فرمول منتسب به خود توانست روند تولید پسماندهای الکترونیکی را در جهان پیش‌بینی کند، وی بیان داشت که میزان تولید پسماندهای الکترونیکی جهان در سال ۲۰۰۹ حدود ۲۰ تا ۲۵ میلیون تن در سال است (Robinson, 2009).

با توجه به آثاری که پسماندهای الکترونیکی می‌توانند روی محیط‌زیست بگذارند و در عین حال به علت تأثیری که بازیافت این مواد روی بهبود وضعیت اقتصادی دارد، ارائهٔ سیستم مدیریتی که همهٔ این عوامل را در نظر گیرد کاملاً ضروری است. برای اجرایی‌کردن چنین سیستمی محاسبهٔ میزان تولید این پسماندها و ارزش اقتصادی آن‌ها ضروری است؛ لذا هدف از این پژوهش بررسی میزان ارزش اقتصادی آهن، آلومینیم و مس در پسماندهای الکترونیکی تولید شده است.

نکته‌ای که در اینجا باید به آن اشاره کرد این است که تفاوت چندانی بین اصطلاح کالاهای الکترونیکی و الکتریکی در بحث مدیریت پسماند وجود ندارد. در واقع، «الکترونیک مطالعه و استفاده از وسایل الکتریکی‌ای است که با کنترل جریان‌ها یا ذرات باردار الکتریکی دیگر در اسبابی مانند لامپ خلأ و نیمه‌هادی کار می‌کنند». بنابراین، در این پژوهش هنگامی‌که از کلمات کالاها یا پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی استفاده می‌شود در واقع تفاوتی وجود ندارد و منظور همان کالاهای الکتریکی است.

۲. مواد و روش تحقیق

محدودهٔ مطالعاتی: منطقهٔ ۶ یکی از مناطق نسبتاً قدیمی تهران به حساب می‌آید که در مرکز شهر قرار دارد. این منطقه با مساحتی معادل ۲۱۳۸/۴۵ هکتار حدود ۳/۳ درصد از سطح شهر را شامل می‌شود. منطقهٔ ۶ به لحاظ موقعیت جغرافیایی در حوزهٔ مرکزی تهران واقع شده است که از سمت شمال به منطقهٔ ۳، از شرق به منطقهٔ ۷، از جنوب به مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲ و از غرب به منطقهٔ ۲ محدود می‌شود. از عمده‌ترین ویژگی کالبدی منطقهٔ ۶ می‌توان به موقعیت قرارگیری آن در مرکز تهران از یک سو و از سوی دیگر استقرار مهم‌ترین کاربری‌های اداری- خدماتی با مقیاس عملکردی فرامنطقه‌ای، شهری و حتی ملی در آن اشاره کرد. این منطقه از ۳ جهت غرب، شرق و شمال با ۳ بزرگراه اصلی تهران؛ چمران، مدرس و همت و از سمت جنوب به بزرگ‌ترین محور شرقی- غربی شهر یعنی خیابان انقلاب محدود می‌شود، شکل ۱ موقعیت منطقهٔ ۶ در سطح تهران و منطقه‌بندی عرفی آن‌ها را نشان می‌دهد (Theran.ir).

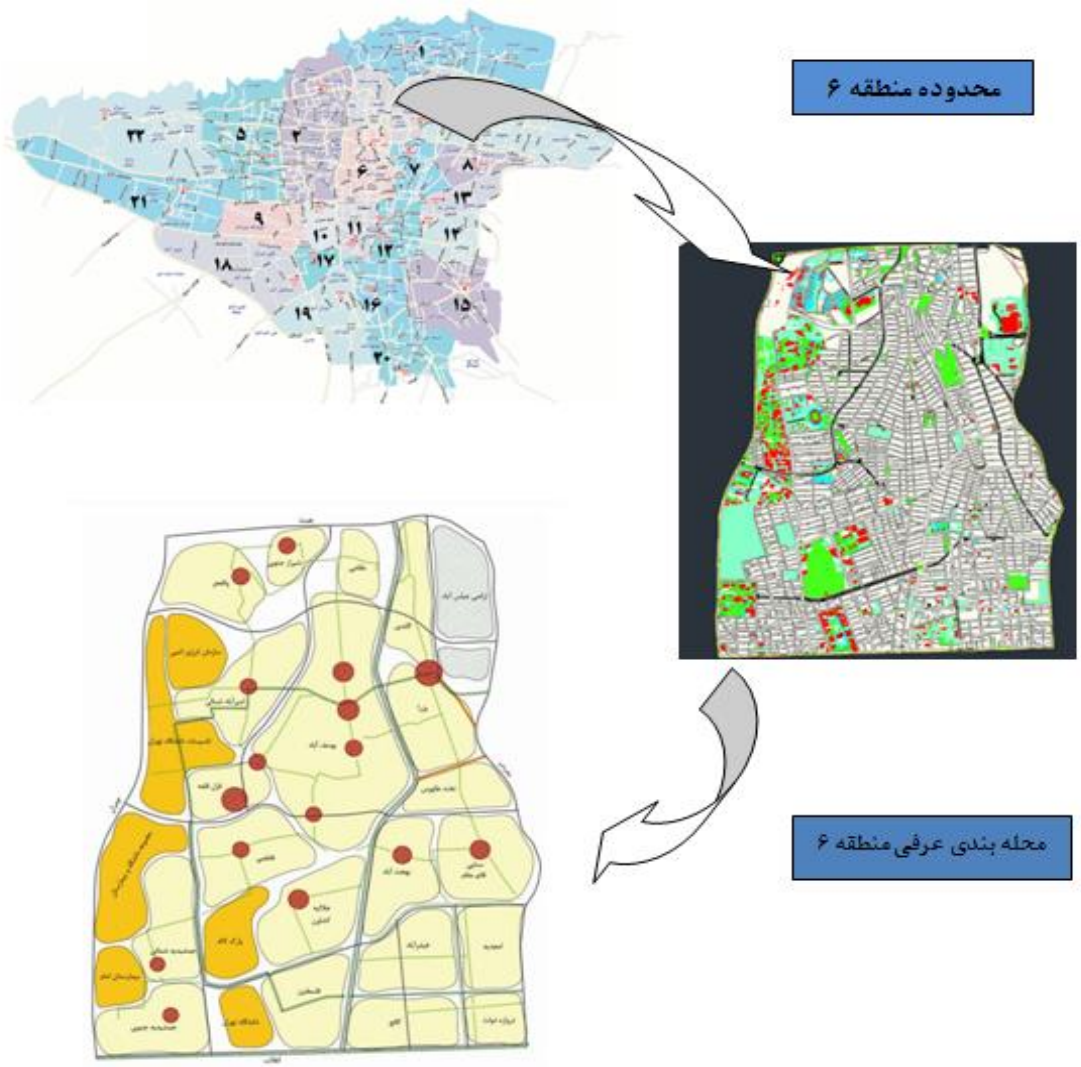
از آنجا که پسماندهای الکترونیکی در همهٔ بخش‌های مسکونی، اداری و تجاری تولید می‌شوند، لذا منطقهٔ ۶ شهرداری تهران به دلیل دارابودن همهٔ این کاربری‌ها به‌منزلهٔ منطقهٔ مطالعاتی در نظر گرفته شده است.

۳. روش بررسی

روش تحقیق در این پژوهش استفاده از روش‌های میدانی و طراحی پرسش‌نامه برای جمع‌آوری اطلاعات و آمارهای اولیه در خصوص پسماندهای الکترونیکی منطقهٔ ۶ تهران، استفاده از روش‌های آمار توصیفی برای مشخص‌کردن حجم نمونه و استفاده از محاسبات ریاضی برای برآورد حجم تولید این پسماندها در محدودهٔ مذکور است.

محاسبهٔ تولید پسماندهای الکترونیکی: برای اندازه‌گیری کمیت مواد زائد جامد، از وزن و حجم استفاده می‌شود. استفاده از حجم برای اندازه‌گیری کمیت می‌تواند سبب گمراهی شود. برای مثال، یک متر مکعب از مواد زائد جامد قبل از فشرده‌شدن، با یک متر مکعب از مواد که در کامیون فشرده شده‌اند، از نظر کمیت با هم متفاوت‌اند. در حالی که هر دوی این‌ها با یک متر مکعب مواد در محل دفن که کاملاً متراکم شده‌اند متفاوت خواهند بود. لذا در صورتی که از حجم برای اندازه‌گیری کمیت استفاده شود، لازم است میزان فشرده‌شدن نیز مشخص شود.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ ۶ تهران (منبع: اطلس تهران)

برای جلوگیری از خطا در اندازه‌گیری، باید مواد را به صورت وزنی اندازه‌گیری کرد. وزن، تنها اساس صحیح اندازه‌گیری برای ثبت اطلاعات و مقایسهٔ آن‌هاست. وزن می‌تواند مستقیماً بدون در نظر گرفتن درصد تراکم اندازه‌گیری شود. استفاده از وزن در انتقال و حمل و نقل مواد نیز مهم است.

منبع اطلاعات بخش بسیار مهم در ارزیابی تولیدات پسماندهای الکترونیکی به حساب می‌آید. این منابع می‌توانند به داده‌های اولیه و ثانویه تقسیم شوند. عوامل عمده‌ای که باید هنگام انتخاب منابع اطلاعات ثانویه در نظر گرفت، به شرح زیرند: (UNEP, 2010)

- در دسترس‌بودن داده‌ها؛
- اعتبار داده‌ها؛
- اندازه و محدودهٔ داده‌ها؛
- کامل‌بودن اطلاعات؛
- ارتباط داده‌ها به منظور انتخاب روش‌های محاسباتی.

مهم‌ترین مبحث در زمینهٔ محاسبهٔ تولید پسماندهای الکترونیکی وجود بانک اطلاعاتی موثق از جانب دولت‌هاست که کلیهٔ روندهای تولید، صادرات، واردات و حتی قاچاق کالاهای الکترونیکی را شامل می‌شود که در بسیاری از کشورهای در حال توسعه متأسفانه چنین بانک اطلاعاتی وجود ندارد.

www.SID.ir

در این پژوهش از پرسش‌نامه استفاده شد، زیرا بانک اطلاعاتی در خصوص تولید پسماندهای الکترونیکی در کشور ما نیز در دسترس نیست و برای محاسبهٔ تولید پسماندهای الکترونیکی، جمع‌آوری اطلاعات میزان تولید پسماندهای الکترونیکی اداری، تجاری، مسکونی و ... از مردم ضروری است. در این پرسش‌نامه‌ها سعی شده است از سؤال‌های بسته پاسخ استفاده شود. در این گونه سؤال‌ها فرد باید از بین چند گزینه یکی را انتخاب کند. سؤال‌های بسته پاسخ به راحتی قابل استفاده، نمره‌گذاری یا کدگذاری برای تحلیل با کامپیوترند. همچنین، داده‌های حاصل از این روش به کمک نرم‌افزار Excel پردازش شدند.

همان‌طور که گفته شد، جامعهٔ هدف نیز منطقهٔ ۶ شهرداری تهران انتخاب شد. جمعیت این منطقه در سال ۱۳۸۵ حدود ۲۱۷ هزار نفر و نرخ رشد جمعیت نیز حدود ۰/۱- برآورد شده است (اطلس کلان‌شهر تهران) و با استفاده از فرمول برآورد جمعیت که در قالب رابطهٔ ۱ بیان شده است، جمعیت این منطقه را برای ۲ بازهٔ زمانی ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ محاسبه کردیم.

رابطهٔ (۱) فرمول برآورد جمعیت $P_t = p_0 (1+r_0)^n$

که در آن:

P_t= جمعیت در سال‌های آتی، p_0= جمعیت در حال حاضر، r_0= نرخ رشد جمعیت، n= تعداد سال‌ها.

به کمک این اطلاعات و بر اساس رابطهٔ ۲ جمعیت تهران در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر خواهد بود با:

$P_{1392} = ۲۱۷۰۰۰[(۱+ (-۰/۰۰۱)]^{۷} = ۲۱۵۹۰۰$

$P_{1402} = ۲۱۷۰۰۰[(۱+ (-۰/۰۰۱)]^{۱۷} = ۲۱۳۷۰۰$

حجم نمونه نیز با استفاده از فرمول کوکران با سطح اطمینان ۹۵ درصد و مقدار اشتباه مجاز ۰/۰۵ و حجم جامعه، ۳۸۰ نفر محاسبه شد و این افراد با مدل خوشه‌ای تصادفی، در محل سکونت، تفریح، مراکز اداری، تجاری و عمومی انتخاب شدند.

پس از تکمیل پرسش‌نامه و به کمک جدول ۱ که از سوی Robinson و Cobbing میانگین وزن و طول عمر بعضی از کالاهای الکترونیکی بیان شده است، پسماندهای الکترونیکی در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ محاسبه و در قالب جدول ۲ ارائه شد.

از حاصل‌جمع پسماندهای الکترونیکی تولیدشده از طریق وسایل مختلف، می‌توان کل پسماندهای الکترونیکی تولیدی را در یک سال محاسبه کرد. جدول ۲ میزان تولید پسماندهای الکترونیکی را در سال ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ محاسبه می‌کند.

جدول ۱. میانگین وزن و طول عمر بعضی از کالاهای الکترونیکی

ردیف	نوع کالا	M وزن (کیلوگرم)	ردیف	نوع کالا	M وزن (کیلوگرم)	ردیف	نوع کالا	M وزن (کیلوگرم)
۱	کامپیوتر	۲۵	۹	ماشین ظرفشویی	۵۰	۱۷	مایکروویو	۱۵
۲	تلفن همراه	۰/۱	۱۰	دستگاه پخت الکتریکی	۶۰	۱۸	یخچال	۳۵
۳	دستگاه‌های بازی کامپیوتری	۳	۱۱	گرم‌کننده‌های برقی	۵	۱۹	تلفن	۱
۴	دستگاه فتوکپی	۶۰	۱۲	مخلوط‌کن مواد غذایی	۱	۲۰	توستر(نان)	۱
۵	رادیو	۲	۱۳	فریزر	۳۵	۲۱	جارو برقی	۱۰
۶	تلویزیون	۳۰	۱۴	خشک‌کننده مو (سشوار)	۱	۲۲	ماشین لباسشویی	۶۵
۷	پخش‌کننده‌های DVD	۵	۱۵	اتو	۱			
۸	تهویهٔ هوا (کولر)	۵۵	۱۶	کتری (برقی)	۱			

منبع: (Cobbing, 2008) (Robinson, 2009)

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. محاسبات مربوط به تولید پسماندهای الکترونیکی در سال ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

ردیف	نوع کالا	تعداد کالاهای دور ریخته‌شده در سال ۱۳۹۲	وزن کالاهای دور ریخته‌شده به تفکیک کالا در سال ۱۳۹۲ (kg)	تعداد کالاهای خریداری‌شده در سال ۱۳۹۲	وزن کالاهای دور ریخته‌شده به تفکیک کالا در سال ۱۴۰۲ (kg)
۱	کامپیوتر	۳۲	۸۰۰	۴۶	۱۱۵۰
۲	تلفن همراه	۱۰۷	۱۰/۷	۱۵۳	۱۵/۳
۳	دستگاه‌های بازی کامپیوتری	۱۲	۳۶	۱۷	۵۱
۴	دستگاه فتوکپی	۱	۶۰	۴	۲۴۰
۵	رادیو	۳	۶	۳	۶
۶	تلویزیون	۲۶	۷۸۰	۳۷	۱۱۱۰
۷	پخش‌کننده‌های DVD	۰	۰	۶	۳۰
۸	تهویهٔ هوا (کولر)	۳۳	۱۸۱۵	۴۷	۲۵۸۵
۹	ماشین ظرفشویی	۳	۱۵۰	۷	۳۵۰
۱۰	دستگاه پخت الکتریکی (فربرقی)	۴	۲۴۰	۶	۳۶۰
۱۱	گرم‌کننده‌های برقی	۷	۳۵	۸	۴۰
۱۲	مخلوط‌کن مواد غذایی	۱۰	۱۰	۱۳	۱۳
۱۳	فریزر	۱۶	۵۶۰	۳۱	۱۰۸۵
۱۴	خشک‌کنندهٔ مو (سشوار)	۱۵	۱۵	۲۲	۲۲
۱۵	اتو	۷	۷	۱۶	۱۶
۱۶	کتری (برقی)	۱۴	۱۴	۲۳	۲۳
۱۷	مایکروویو	۱	۱۵	۵	۷۵
۱۸	یخچال	۱۳	۴۵۵	۱۸	۶۳۰
۱۹	تلفن	۳۶	۳۶	۵۲	۵۲
۲۰	توستر (نان)	۳	۳	۵	۵
۲۱	جارو برقی	۱۵	۱۵۰	۱۹	۱۹۰
۲۲	ماشین لباسشویی	۷	۴۵۵	۱۱	۷۱۵
	جمع	۳۶۵	۵۶۵۳	۵۴۹	۸۷۶۳
	سرانهٔ تولید پسماندهای الکترونیکی در سال ۱۳۹۲ (kg) ۳/۴۵			سرانهٔ تولید پسماندهای الکترونیکی در سال ۱۴۰۲ (kg) ۵/۳۶	

(منبع: نویسندگان)

پس از محاسبهٔ پسماند الکترونیکی تولیدشده از طریق نمونهٔ آماری، باید اقدام به محاسبهٔ سرانهٔ آن، برای تخمین کل پسماند الکترونیکی تولیدشده در منطقهٔ ۶ کرد. با توجه به اینکه افراد حاضر در نمونهٔ آماری میزان تولید پسماند الکترونیکی را برای خانوادهٔ خود بیان کرده‌اند، لذا باید کل پسماند الکترونیکی تولیدی را به تعداد کل افراد خانوادهٔ اعضای نمونهٔ آماری تقسیم کرد. شایان یادآوری است بر اساس آمار اطلس کلان‌شهر تهران، میانگین تعداد نفرات اعضای خانواده در منطقهٔ ۶ تهران ۳ تا ۴ نفر است.

Archive of SID
www.SID.ir

- **سرانهٔ تولید پسماند الکترونیکی منطقهٔ ۶ تهران در سال ۱۳۹۲:**

کیلوگرم **۳/۴۵**=(۳۸۰ x ۴/۳)/۵۶۵۳= (میانگین افراد خانواد x تعداد افراد نمونهٔ آماری)/مجموع پسماند الکترونیکی تولیدشده از طریق نمونهٔ آماری در سال ۱۳۹۲

- **سرانهٔ تولید پسماند الکترونیکی منطقهٔ ۶ تهران در سال ۱۴۰۲:**

کیلوگرم **۵/۳۶**=(۳۸۰x۴/۳)/۸۷۶۳= (میانگین افراد خانواد x تعداد افراد نمونهٔ آماری)/مجموع پسماند الکترونیکی تولیدشده از طریق نمونهٔ آماری در سال ۱۴۰۲

- **کل پسماند الکترونیکی منطقهٔ ۶ تهران در سال ۱۳۹۲:**

کیلوگرم **۷۴۴۸۵۵**=۲۱۵۹۰۰x۳/۴۵= سرانهٔ تولید x کل جمعیت منطقهٔ ۶ در سال ۱۳۹۲

- **کل پسماند الکترونیکی منطقهٔ ۶ تهران در سال ۱۴۰۲:**

کیلوگرم ۱۱۴۵۴۳۲ = x۵/۳۶ ۲۱۳۷۰۰= سرانهٔ تولید x کل جمعیت منطقهٔ ۶ در سال ۱۴۰۲

پس از محاسبهٔ کل تولید پسماندهای الکترونیکی در منطقهٔ ۶ تهران، می‌بایست سهم هر یک از فلزات آهن، آلومینیم و مس را از کل این پسماندها محاسبه کرد. برای این منظور ابتدا باید اجزای پسماندهای الکترونیکی و سهم هر یک از آن‌ها را تعیین کرد.

اجزای پسماندهای الکترونیکی: اجزای پسماندهای الکترونیکی که برای تولید تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی جمع‌آوری و به کار می‌روند عبارت‌اند از: فلزات، موتور/کمپرسور، خنک‌کننده‌ها، پلاستیک، عایق، LCD، لاستیک، سیم‌پیچ‌ها، بتون، ترانسفورماتور (مبدل)، آهن‌ربا، منسوجات، صفحهٔ مدار، لامپ‌های فلورسنت، لامپ‌های مهتابی (دارای نور سفید تابان)، المنت‌های گرم‌کننده، ترموستات، پلاستیک‌های نسوز، باتری، CFC/HCFC/HFC/HC، کابل‌های بیرونی، فیبرهای سرامیکی مقاوم (نسوز)، مواد دارای خاصیت رادیواکتیویته و الکترولیزی (Betts, 2008).

لوازم الکتریکی خانگی بزرگ مانند یخچال ممکن است شامل موتور الکتریکی، صفحهٔ مدار، ترانسفورماتور، خازن، عایق گرمایی، سوئیچ، سیم‌پیچ، مواد پلاستیکی و غیره باشند. یک ماشین لباسشویی معمولی ممکن است شامل مواد فلزی' استوانهٔ درونی و بیرونی، موتور، پمپ، واحد کنترل، سوئیچ‌ها و دیگر تجهیزات باشد. ماشین‌های لباسشویی قدیمی عمدتاً از خازن‌های بزرگی استفاده می‌کردند، این در حالی است که ماشین‌های لباسشویی امروزی که دارای موتورهایی با سرعت متفاوت‌اند عمدتاً صفحات مدار دارند. در بخش تجهیزات اطلاعاتی و ارتباطی، تمایلات اصولاً به سمت استفاده از تجهیزات کوچک است و امروزه به جای استفاده از CRTها در مانیتورها عمدتاً از فناوری LCD (یا حتی LED) استفاده می‌شود (OECD, 2001).

مواد و ترکیبات در پسماندهای الکترونیکی: ترکیبات پسماندهای الکترونیکی بسیار متنوع‌اند. بخش اعظم این مواد شامل فلزات آهنی و غیرآهنی، پلاستیک، چوب، شیشه، صفحات مدار، بتن و سرامیک، لاستیک و مواد دیگر است. آهن و استیل حدود ۵۰ درصد از پسماندهای الکترونیکی را تشکیل می‌دهند، پلاستیک حدود ۱۳ درصد و فلزات غیرآهنی و مواد دیگر تشکیل‌دهنده ۱۳ درصد از کل پسماندهای الکترونیکی است. فلزات غیرآهنی شامل فلزاتی نظیر مس، آلومینیم، و فلزات گرانبهاست که شامل نقره، طلا، پلاتینیوم، پالادیوم و غیره است (Francheti, 2009).

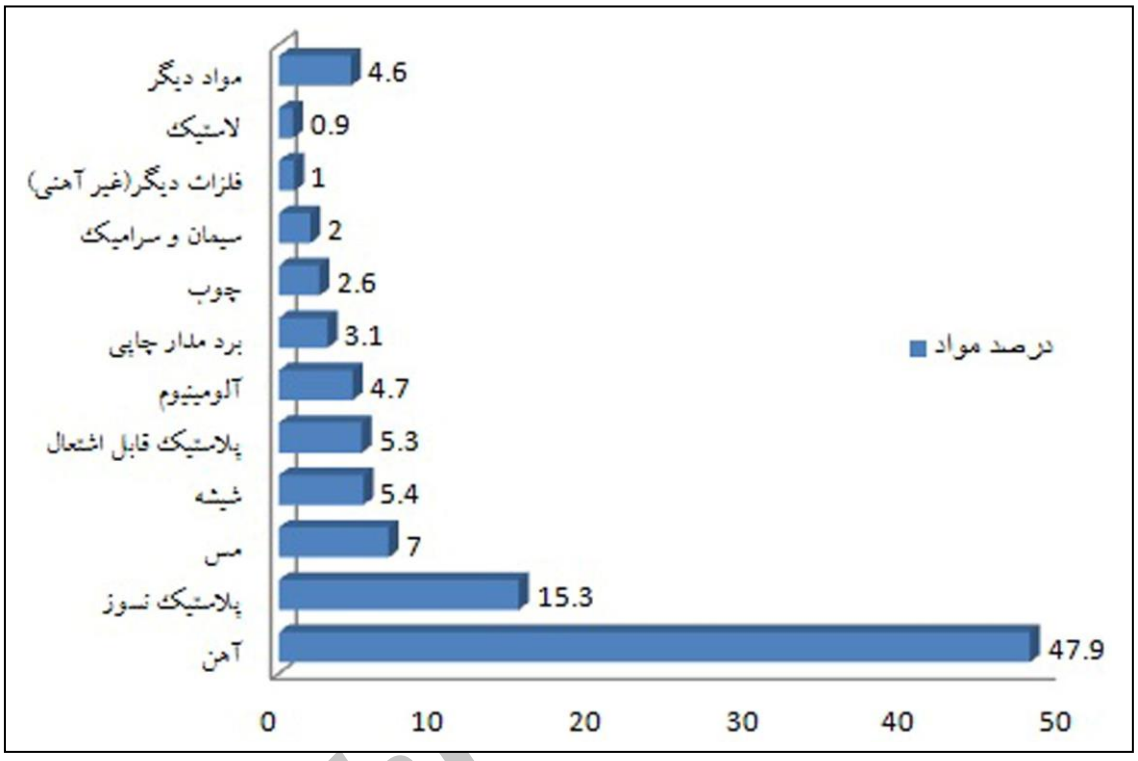
بنابراین، اجزای قابل بازیافت پسماندهای الکترونیکی برای هر کالا، مواد یا بخش‌های الکترونیکی می‌تواند به این شش دستهٔ عمده تقسیم شود (Widmer et al., 2005) و در شکل ۲، درصد هر یک از اجزای پسماندهای الکترونیکی به صورت درصدی از کل لوازم الکترونیکی نشان‌داده شده است:

- آهن یا استیل که به‌منزلهٔ قالب یا چارچوب استفاده شده است؛

Archive of SID

www.SID.ir

- فلزات غیرآهنی، به خصوص مس در کابل‌ها، آلومینیم و طلا؛
- شیشه؛
- پلاستیک؛
- اجزای الکترونیکی؛
- مواد دیگر (مانند لاستیک، چوب، سرامیک و غیره).



شکل ۲. درصد سهم هر یک از مواد در پسماندهای الکترونیکی (Widmer et al., 2005)

در نهایت با توجه به سهمی که هر یک از فلزات آهن، آلومینیم و مس در تولید پسماندهای الکترونیکی دارند و با در نظر گرفتن قیمت‌های فلزات آهن، آلومینیم و مس در بازارهای جهانی ارزش اقتصادی آن‌ها با توجه به وزنشان محاسبه می‌شود.

۴. یافته‌ها

۴. ۱. وزن آهن، آلومینیم و مس در پسماند الکترونیکی منطقهٔ ۶

برای محاسبهٔ وزن این فلزات از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

وزن کل پسماندهای الکترونیکی x درصد سهم فلز در پسماندهای الکترونیکی=وزن فلز

وزن فلز آهن در پسماندهای الکترونیکی در سال ۱۳۹۲: ۰/۴۹۷ x ۷۴۴۸۵۵= **۳۵۶۷۸۶** کیلوگرم

وزن فلز آهن در پسماندهای الکترونیکی در سال ۱۴۰۲: ۰/۴۹۷ x ۱۱۴۵۴۳۲= **۵۶۹۲۸۰** کیلوگرم

وزن فلز آلومینیم در پسماندهای الکترونیکی در سال ۱۳۹۲: ۰/۰۴۷ x ۷۴۴۸۵۵= **۳۵۰۰۸** کیلوگرم

وزن فلز آلومینیم در پسماندهای الکترونیکی در سال ۱۴۰۲: ۰/۰۴۷ x ۱۱۴۵۴۳۲= **۵۳۸۳۵** کیلوگرم

وزن فلز مس در پسماندهای الکترونیکی در سال ۱۳۹۲: ۰/۰۷ x ۷۴۴۸۵۵= **۵۲۱۴۰** کیلوگرم

وزن فلز مس در پسماندهای الکترونیکی در سال ۱۴۰۲: ۰/۰۷ x ۱۱۴۵۴۳۲= **۸۰۱۸۰** کیلوگرم

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. ارزش اقتصادی فلزات در پسماندهای الکترونیکی منطقهٔ ۶ تهران

نام عنصر	تولید در سال ۱۳۹۲ (تن)	ارزش اقتصادی هر تن فلز در بازار بورس لندن در تیر ۱۳۹۱ (دلار) (Lme.cmo)	ارزش اقتصادی کل در سال ۱۳۹۲ (دلار)	تولید در سال ۱۴۰۲ (تن)	ارزش اقتصادی هر تن فلز در بازار بورس لندن در مهر ۱۳۹۱ (دلار) * (Lme.cmo)	ارزش اقتصادی کل در سال ۱۴۰۲ (دلار)
آهن	۳۵۷	۱۳۶	۴۸۵۵۲	۵۶۹	۱۵۱	۸۵۹۱۹
آلومینیم	۳۵	۱۸۳۲	۶۴۱۲۰	۵۴	۱۹۹۲	۱۰۷۵۶۸
مس	۵۲	۷۴۲۱	۳۸۵۸۹۲	۸۰	۸۲۱۰	۶۵۶۸۰۰
جمع ارزش اقتصادی کل در سال ۱۳۹۲= ۴۹۸۵۶۴ دلار				جمع ارزش اقتصادی کل در سال ۱۴۰۲= ۸۵۰۲۸۷ دلار		

*با توجه به اینکه قیمت این فلزات در سال ۱۴۰۲ در دسترس نیست، با فرض ثابت‌بودن قیمت‌ها تا سال ۱۴۰۲ از قیمت‌های این فلزات در مهر ۱۳۹۱ استفاده شده است.

(منبع: نویسندگان)

حال به منظور تعیین ارزش اقتصادی آهن، مس و آلومینیم در پسماندهای الکترونیکی باید ارزش اقتصادی هر تن از فلزات مذکور را در سهمی که در تولید پسماندهای الکترونیکی دارند ضرب کرد تا ارزش اقتصادی آن‌ها محاسبه شود. شایان یادآوری است که به دلیل بحران اقتصادی جهان و نوسانات بازار ارز و به تبع آن نوسانات بازار فلزات، پیش‌بینی ارزش اقتصادی فلزات مذکور در سال ۱۴۰۲ بسیار سخت است، لذا از قیمت‌های فوریهٔ ۲۰۱۲ برای محاسبهٔ قیمت‌ها در حال حاضر و آینده استفاده می‌شود و ارزش اقتصادی آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

اندکی دقت در نتایج نشان می‌دهد که فلز آهن به دلیل درصد زیاد آن در پسماندهای الکترونیکی بیشترین وزن را دارد، پس از فلز آهن، فلزات مس و آلومینیم قرار دارند، این وضعیت ناشی از استفادهٔ زیاد آهن هنگام تولید این مواد است، از این رو باید به این موضوع توجه داشت که برای تولید دوبارهٔ وسایل الکترونیکی به این مواد ضروری نیاز است و باید زمینهٔ استفادهٔ دوبارهٔ این مواد در صنایع مختلف را فراهم آورد.

ارزش اقتصادی این مواد نیز متفاوت و فلز مس دارای قیمت بسیار بالایی است و پس از آن آلومینیم و آهن قرار دارند. این وضعیت سبب شده که مجموع ارزش اقتصادی کل این مواد بالا باشد، یعنی آهن با درصد وزنی بالا و مس و آلومینیم با ارزش اقتصادی بالایی که دارند، تولیدکنندگان و صاحبان امر را ترغیب به بازیافت آن‌ها کنند.

مقایسهٔ ارزش اقتصادی این مواد در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲، افزایش چشمگیری را در سال ۱۴۰۲ نشان می‌دهد، این موضوع دو دلیل دارد، اول افزایش تولید در مقدار این مواد است، به طوری که مجموعاً این سه ماده در سال ۱۴۰۲، ۲۵۹ تن افزایش تولید نسبت به ۱۳۹۲ دارند. اما دلیل دیگر افزایش قیمت این مواد است، با اینکه برای محاسبهٔ ارزش اقتصادی این مواد در سال ۱۴۰۲ از قیمت آن‌ها در مهرماه ۱۳۹۱ استفاده شده است، تفاوت ارزش کل اقتصادی این مواد نسبت به ۱۳۹۲ قابل توجه است. شایان یادآوری است در چند ماهی که از تیر ۱۳۹۱، تا مهرماه ۱۳۹۱ گذشته، قیمت‌های جهانی این مواد افزایش چشمگیری داشته و اگر روند افزایش قیمت ادامه داشته باشد، ارزش این مواد بسیار بیشتر از آنچه خواهد بود که محاسبه شده است.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

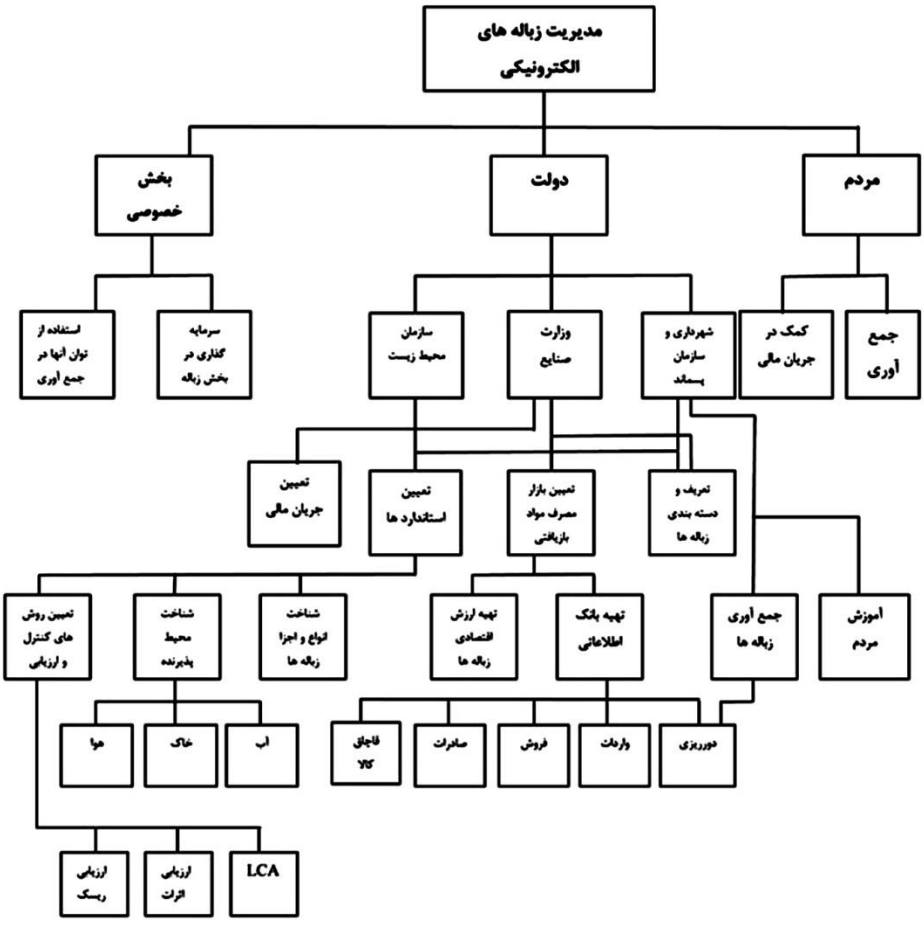
در این پژوهش با محاسبهٔ ارزش اقتصادی کل سه فلز آهن، آلومینیم و مس در پسماندهای الکترونیکی تولیدی در منطقهٔ ۶ شهرداری تهران برای سال ۱۳۹۲ و پیش‌بینی آن برای سال ۱۴۰۲ نشان داده شد که این پسماندها بسیار باارزش‌اند و باید بازیافت و استفاده شوند.

Archive of SID
www.SID.ir

امروزه پسماندهای الکترونیکی، به دلیل دارابودن فلزات سنگین و مواد خطرناک چالشی برای محیط‌زیست محسوب می‌شوند. در این مطالعه با بیان ارزش اقتصادی این مواد بر این نکته تأکید شد که می‌توان این چالش را به یک فرصت اقتصادی تبدیل و زمینه را برای ایجاد اشتغال افراد زیادی فراهم کرد.

نوع نگرش نسبت به این نوع از پسماندها، نوع برخورد با آن را مشخص می‌کند. در صورت ارائهٔ سیستم مدیریتی متناسب با شرایط اقتصادی و فرهنگی در قبال پسماندهای الکترونیکی می‌توان از این نوع پسماندها بهرهٔ کافی برد، به طوری که امروزه به دلیل فواید اقتصادی ناشی از بازیافت پسماندهای الکترونیکی از آن‌ها به‌منزلهٔ معادن شهری نام برده می‌شود. همچنین، در صورتی که برنامهٔ مناسبی برای مدیریت این نوع از پسماندها تدوین نشود، به دلیل مواد خطرناکی که در این نوع از پسماندها وجود دارد ممکن است به محیط‌زیست و انسان ضررهای جبران‌ناپذیری وارد شود. همچنین، به دلیل مواد و فلزات باارزش قابل بازیافت در این پسماندها، در صورت بازیافت آن‌ها فواید زیادی برای انسان و محیط‌زیست به بار خواهد آمد، که عبارت‌اند از: فواید زیست‌محیطی، اقتصادی، یکسان‌سازی تصورات (دیدگاه‌ها)، فواید فردی و اجتماعی.

برای کنترل و مدیریت حجم عظیم پسماندهای الکترونیکی به سیستم یکپارچهٔ مدیریت پسماندهای الکترونیکی نیازمندیم. این سیستم ترکیبی است از جریان پسماندها، جمع‌آوری پسماندها و روش‌های بازیافت و دورریزی آن‌ها، با هدف دستیابی به فواید زیست‌محیطی، مطلوبیت اقتصادی و مقبولیت اجتماعی. چنین سیستم جامعی به ارائهٔ سیستم مدیریت کاربردی پسماندهای الکترونیکی در هر ناحیه منجر خواهد شد، شکل ۳ الگوی پیشنهادی برای مدیریت پسماندهای الکترونیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. مدل مدیریت جامع پسماندهای الکترونیکی

(منبع: نویسندگان)

www.SID.ir

اما برای رسیدن به این سیستم به در نظر گرفتن همهٔ ذی‌نفعان و ذی‌نفوذان در امر تولید و مدیریت پسماندهای الکترونیکی نیاز داریم تا علاوه بر در نظر گرفتن نقش مردم، بخش خصوصی و دولتی در مدیریت پسماندهای الکترونیکی، مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی و مخصوصاً اجتماعی نیز در این امر در نظر گرفته شوند.

یادداشت

1. E-waste
2. Brominated flame retardant (BFR)
3. Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA)
4. Boliden Company Sweden
5. VS Company Norway
6. Kitira Company England

منابع

سایت اطلس کلان‌شهر تهران. ۱۳۹۲. Atlas.Tehran.ir.

سایت بورس لندن. ۱۳۹۲. Lme.com.

سایت شهرداری تهران. ۱۳۹۲. Tehran.ir.

دستور کار ۲۱. ۱۹۹۲. منشوری برای آینده، ریو، کنفرانس زمین، ۱۹۹۲.

هیئت‌وزیران. ۱۳۸۳. آیین‌نامهٔ اجرای مدیریت پسماندها مصوب سال ۱۳۸۳.

Araujo, M. G., Magirini A., Mahler C. F., Bilitewski, B. 2011. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil, Waste management, 42, pp 123-131.

Betts, K. 2008. Producing usable materials from e_waste. Environ Sci Technol. 49, pp 6782-3.

Cobbing, M. 2008. Toxic Tech: Not in our Backyard.Uncovering The Hidden Flows of e_waste, Report from GreenPeac. International.http://www.greenpeace.org/content/belgiumlfrlpresslreports/toxic-tech. pp 126-132.

Dwivedy, M., Mittal, R.K. 2009. Estimation of future outflows of e-waste in India, Waste Management 30. pp 483-491.

Franchetti, M.J. 2009. Solid Waste Analysis and Minimization A System Approach. United States of America: McGrow Hill Companies. pp 230-233.

Mallawarachchi, H., karunasena, G. 2012. Electronic and electrical waste management in SriLanka: Suggestions for national policy enhancements. Journal of Resources, Conservation and Recycling, 68, pp 44-53.

OECD. 2001. Extended Producer Responsibility:a guidance manual for government. pp 76-81.

Oguchi, M., Sakanakura, H., Terazono, A., Takigami, H. 2012. Fate of metals contained in waste electrical and electronic equipment in a municipal waste treatment process. Journal of Waste Management, 32, pp 96-103.

Queiruga, D., Gonzalez B, J., Lannelongue, G. 2012. Evaluation of the Electronic Waste Management System in Spain. Journal of Cleaner Production, 24, pp 56-65.

Robinson, B. H. 2009. E_Waste: An assessment of global production and environment impacts, Science of the Total Environment, 32, pp 183-191.

UNEP. 2010. A report_recycling_form E_waste to resources. United Nation Environment Programme(UNEP). pp 80-95.

UNEP. 2005. Inventory Assessment Manual of E-Waste. http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/EWasteManual_Vol1.pdf

Wath, S.B., Vaydia, A.N., Dutt, P., Chakrabarti, T. 2010. A roadmap for development of sustainable E_waste management system in india. Science of the Environment. 72, pp 19-32.

Widmer, R., Oswald-Karpf, H., Sinha-Khetirwal, D., Schnellmann, M., & Boni, H. 2005. Global perspective on e-waste, Environmental Impact Assessment Review, 45 pp 436-458.

Archive of SID
www.SID.ir