

# ارزیابی چرخه ی عمر بازیافت پسماندهای الکترونیکی

## چکیده

ارزیابی چرخه ی عمر برای برآورد تاثیر زیست محیطی بازیافت پسماندهای الکترونیکی صورت پذیرفت. بازیافت پسماندهای الکترونیکی به لحاظ زیست محیطی کاری مفید است. تکنولوژیهای دفن و سوزاندن در مقایسه با روش بازیافت پسماندهای الکترونیکی تاثیرات زیست محیطی بترتیب پایین تر و بالاتری دارند. عوامل کلیدی در کاهش تاثیر زیست محیطی بازیافت پسماندهای الکترونیکی موجب مصرف بهینه ی انرژی، کاهش فاضلاب، عدم دفع پسماندهای الکترونیکی در لندفیل و محلهای سوزاندن و تعیین واضح مسئولیتهای ذینفعان(از قبیل تولیدکننده ها، فروشنده ها، شرکتهای بازیافت و مصرف کننده ها) میشود.

## مقدمه

پسماندهای الکترونیکی زباله هایی هستند که از وسایل الکتریکی و الکترونیکی دور انداخته شده حاصل میشوند(نظیر موبایل ها، کامپیوترها، تلویزیونها، پرینترها). با توجه به پیشرفت صنعتی و اقتصادی گسترده در خیلی از کشورها در سالهای اخیر حجم پسماندهای الکترونیکی تولید شده بطور قابل توجهی افزایش داشته است. تولید پسماندهای الکترونیکی در جهان در حال حاضر 25 میلیون تن در سال است که بیشترین مقدار به چین تعلق دارد. یکی از مهمترین منابع معدنی یعنی پسماندهای الکترونیکی در چین توسط کارگران و با استفاده از شعله ی باز و صفحه ی داغ بازیابی میشود. روش نامناسب موجب رها شدن فلزات سنگین و مواد شیمیایی خطرناک در طبیعت میشود که تاثیرات بطور جدی نامناسبی بر اتمسفر، آب و خاک میگذارد و در نهایت برای سلامتی انسان مضر واقع میشود. تاثیرات زیست محیطی بالقوه ی ناشی از بازیافت پسماندهای الکترونیکی پیچیده بوده و نیاز به مشارکت چندگانه ای دارد.

ارزیابی چرخه ی عمر (LCA) روشی نظام مند برای ارزیابی کمی عملکرد زیست محیطی مرتبط با همه ی مراحل تولید محصول است. در LCA میتوان بصورت همزمان، نظام مند و درستی تاثیر، عوامل کلیدی، تصمیمات، بهینه سازی و بهبود زیست محیطی تمامی مراحل را شناسایی و ارزیابی کرد. مطالعات زیادی تاثیر زیست محیطی بازیافت پسماندهای الکترونیکی را با استفاده از روش ادغامی تحلیل انرژی و LCA بررسی کرده اند. نتایج حاصل

از این مطالعات نشان میدهد که بازیافت فلزات، شیشه و پلاستیک از پسماندهای الکترونیکی میتواند به لحاظ زیست محیطی مفید باشد. با این وجود در مطالعات مذکور هیچ پایگاه داده ی محلی برای تعیین تاثیرات زیست محیطی پسماندهای الکترونیکی وجود نداشت. اکثر داده ها از پایگاه های داده ی اروپا جمع آوری شدند. از اینرو حصول نتایج دقیق برای مطالعات موردی چین سخت است. بیشتر متخصصان LCA از قبیل انجام دهندگان مطالعات مذکور هنوز LCA را بدون توجه به عدم قطعیت ها انجام میدهند. تاثیر زیست محیطی ناشی از پروسه های بازیافت غیررسمی نیز باید بطور کمی بیان شود. مطالعه ی پیش رو بر آن است که نیازهای مزبور را بررسی، عوامل کلیدی جهت بهبود پروسه های موجود در صنعت بازیافت پسماندهای الکترونیکی در چین را شناسایی، دو تکنولوژی بازیافت پسماندهای الکترونیکی موجود در چین را مقایسه، و پایگاه داده ای برای پسماندهای الکترونیکی چین ارائه کند.

تعریف دامنه

واحد عملیاتی

در این مطالعه مدیریت 1 تن پسماند الکترونیکی بعنوان واحد عملیاتی جهت بررسی انتخاب شده است. نشر در هوا، آب و خاک، و مصرف انرژی، و دفع پسماندها بر اساس این واحد عملیاتی مورد بحث واقع میشوند.

حدود سیستم

حدود سیستم با استفاده از روش دريچه-به-دريچه تعیین شد. دو روش معمول مورد استفاده در چین در این مطالعه مورد بررسی واقع شدند.

روش ارزیابی تاثیر چرخه ی عمر

نتایج ارزیابی تاثیر چرخه ی عمر با استفاده از متد ReCiPe محاسبه شد. این متد جدیدترین روش در تجزیه و تحلیل LCA است. در این متد مجموعه ی وسیعی از تاثیرات مدنظر قرار میگیرد(سمیت برای انسان، تولید photochemical oxidant، تولید مواد ذره ای، تشعشع یونیزه کننده، تغییر آب و هوایی، تخلیه ی اوزون، ..).

منابع داده

داده های عملیات (انرژی، مواد شیمیایی، مواد خام، آب، فاضلاب، زباله ی جامد و محصول) و نشرهای مستقیم در آب و هوا (قبل و بعد از بازیافت) در یک مرکز بازیافت پسماند در تیانجان چین جمع آوری شدند. ظرفیت واقعی بازیافت پسماندهای الکترونیکی در این محل که تسهیلات تخصصی جداسازی در منطقه ی شمال چین بود در سال 2012 حدود 24 kt بود. برای طرح ET-ND داده های مرتبط با نشرهای مستقیم در هوا و آب حین پروسه های دسته بندی، جداسازی، خردکردن، و پالایش استفاده شد. علاوه بر این داده های پنج محل دفع پسماندهای الکترونیکی برای حصول مقدار میانگین نشرهای مستقیم در خاک استفاده شد. گویا شهری کوچک در گوانگدونگ چین است و یکی از بزرگترین محلهای پسماندهای الکترونیکی در سطح جهان است. در این شهر فعالیت زیادی در رابطه با بازیافت پسماندهای الکترونیکی و با استفاده از متدهای اولیه و پرخطر صورت میگیرد. از اینرو نمونه ای از طرح ET-ND است.

## نتایج

طرح ET-ND اثر بالقوه ی بالایی بر سلامتی انسان، تولید اکساینده ی فوتوشیمیایی، سمیت خاک، سمیت آب شیرین، انباشتگی خوراکه ی آب و سمیت دریا دارد. سوازدن زغال سنگ برای تولید الکتریسیته بطور قابل توجهی بر تاثیرات منفی زیست محیطی افزوده است. دفع در لندفیل و فاضلاب ها نیز بر تاثیرات منفی زیست محیطی ET-D میافزاید.

## تاثیرات مهم

مهمترین تاثیرگذارها بر LCA در شکل 3 نشان داده شده است تا مواد عمده ی موجود در طرحهای بازیافت پسماندهای الکترونیکی بیشتر توصیف شود. در طرح ET-D بیشترین موادی که در تغییر آب و هوایی موثر هستند دی اکسید کربن و متان هستند. نشر آرسنیک و سلنیوم در آب و نشر جیوه در هوا نقش مهمی در سمیت انسانی دارند. ماده ی غالب در تشکیل اکساینده های فوتوشیمیایی و انباشتگی خوراکه ی آب اکسید نیتروژن است. نشر ترکیبات آلی فرار غیر از متان در هوا و نیترات و آمونیوم در آب مواد غالب دیگر در تولید اکساینده های فوتوشیمیایی و انباشتگی خوراکه ی آب هستند. اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید گوگرد نشریافته در هوا در تولید ماده ی دانه ای و اسیدی شدن خاک مهمترین مواد هستند. نشر ذرات در هوا نیز نقش مهمی در تولید مواد دانه ای بازی میکند. فسفات داخل آب تاثیر عمده ای بر انباشتگی خوراکه ی آب شیرین دارد.

وانادیم، نیکل، بریلیوم و سلنیوم مهمترین مواد موثر در سمیت آب شیرین و دریا هستند. مصرف زغال سنگ، گاز طبیعی و نفت نیز بطور قابل توجهی در کاهش فسیل ها تاثیرگذار هستند.

### موازنه ی جرمی

موازنه ی جرمی طرحها مورد بررسی قرار گرفت تا درک بیشتری حاصل آید. در هر دو طرح جرم اولیه ی پسماند الکترونیکی 1 تن بود.

### تجزیه و تحلیل حساسیت

صرفه جویی در مصرف الکتریسیته بالاترین مزیت زیست محیطی در تمامی موارد بجز سمیت انسانی، سمیت خاک، سمیت آب شیرین و سمیت دریا را دارد.

### تجزیه و تحلیل عدم قطعیت

تجزیه و تحلیل عدم قطعیت برای برآورد میزان قطعیت برای زمانی انجام میشود که پیش بینی میشود تاثیر طرح ET-D از طرح ET-ND کمتر است.

### بحث

در حال حاضر دولتها بطور روز افزونی توجه خود را به سمت دفع پسماندهای الکترونیکی معطوف کرده اند چراکه مقادیر فزاینده ی پسماندهای الکترونیکی در سطح جهان بطور وسیعی مورد بررسی واقع شده اند. فرآیند عمده ای که در تاثیرات زیست محیطی هر دو طرح نقش بازی میکند تولید الکتریسیته است. در این مطالعه مصرف الکتریسیته در بازیافت پسماندهای الکترونیکی 145.45 کیلووات ساعت بازای هر تن فلز است که بالاتر از میزان اروپا میباشد. اگر فناوری مورد استفاده در اروپا بکار گرفته شود تقریباً بترتیب 9.48 درصد و 8.04 درصد کل الکتریسیته در طرحهای ET-D و ET-ND کاهش خواهد یافت.

در این مطالعه بسبب نبود اطلاعات در چین از داده های مربوط به تولید مواد شیمیایی در اروپا استفاده شد. در هر دو طرح عدم قطعیت های کل تاثیرات منفی زیست محیطی عمدتاً از نشر فلزات سنگین و مصرف الکتریسیته ناشی میشود. اگرچه داده های تولید مواد شیمیایی در اروپا در این مطالعه استفاده شد ولی نتایج را متاثر نکرد.

جدول 4 نشان میدهد که تاثیرات منفی زیست محیطی کلی ناشی از طرح ET-ND بطور قابل توجهی بالاتر از طرح ET-D است که بسبب تاثیر به نسبت بالای سمیت انسانی، سمیت خاکی، سمیت آب شیرین، و سمیت دریایی در طرح اول است. چدنووا و بنگتسون گزارش کردند که مدیریت نامناسب پسماندهای الکترونیکی میتواند خطرات قابل توجهی برای سلامتی انسان و محیط زیست بگذارد که بسبب زیانهای ناشی از فلزات سنگین و ترکیبات هالوژن موجود در پسماندهای الکترونیکی است. بر اساس مطالعات قبلی مقادیر بالایی از پسماندهای الکترونیکی در چین بطور نادرستی جمع آوری و دفع میشود. بر این اساس مدیریت صحیح پسماندهای الکترونیکی در کاهش خطرات برای سلامتی انسان و محیط زیست نقشی کلیدی دارد. کشورهای در حال توسعه در مقایسه با کشورهای پیشرفته فاقد قوانین، دستورالعمل ها و .. ی مرتبط در این زمینه هستند که بطور قابل توجهی میزان دفع نامناسب پسماندهای الکترونیکی را کاهش میدهند. مثلا اگرچه قانونی مربوط به دفع پسماندهای الکترونیکی در چین در سال 2009 تصویب شد ولی در وهله ی اجرایی عملکرد ضعیفی وجود داشت. تعریف واضح وظایف تولید کننده ها، فروشنده ها، شرکتهای بازیافت کننده، و مصرف کننده ها در کاهش میزان دفع نامناسب پسماندهای الکترونیکی اهمیت دارد.

کلیدی و همکارانش گزارش کردند که وارد کردن پسماندهای الکترونیکی از کشورهای پیشرفته معضل عمده ای را در کشورهای در حال توسعه بوجود میآورد. ونگ و همکارانش گزارش کردند که چین در حال حاضر با مشکلات جدی در رابطه با پسماندهای الکترونیکی مواجه شده است که بسبب واردات از خارج میباشد. تقریبا 80 و 18 درصد پسماندهای الکترونیکی بترتیب در کشورهای در حال توسعه و چین تولید میشود. اگر تمامی پسماندهای الکترونیکی بازیافت شوند موجب تاثیرات منفی زیست محیطی قابل توجهی خواهند شد.

زوتمن و همکارانش و اونگودو و همکارانش گزارش کردند که استفاده از لندفیل ها نیز در سطح جهان روش متداولی برای دفع پسماندهای الکترونیکی است. تقریبا 40 درصد پسماندهای الکترونیکی در چین از لندفیل ها میآیند. 70 درصد فلزات سنگین در لندفیل های ایالات متحده از پسماندهای الکترونیکی هستند.

## 5. نتیجه گیری

در این مطالعه LCIA پسماندهای الکترونیکی بررسی شد. برای افزایش اعتبار مطالعه تجزیه و تحلیل حساسیت و عدم قطعیت نیز صورت پذیرفت. لیست چرخه ی عمر، فاکتورهای کلیدی شناسایی شده و نتایج تجزیه و تحلیل

LCIA برای مدیریت پسماندهای الکترونیکی توسط دست اندرکاران امور متمرثرم واقع خواهند شد. یافته های اصلی حاکی از آن بود که اگرچه تاثیر طرح ET-D در تغییر آب و هوا، انباشتگی خوراکه ی آب شیرین و کاهش فسیل بطور قابل توجهی بالاتر از طرح ET-ND بود تاثیر زیست محیطی کلی طرح ET-ND بطور قابل توجهی از طرح ET-D بالاتر است. بهبود علمی پروسه ی دفع بعد از استفاده ی وسایل الکترونیکی و کاهش بازیافت نامناسب پسماندهای الکترونیکی اقداماتی موثر در تقلیل تاثیرات منفی زیست محیطی هستند. تکنولوژیهای سوزاندن و لندفیل برای دفع پسماندهای الکترونیکی مناسب نیستند چراکه این پسماندها منابع معدنی قابل توجهی تلقی میشوند. البته مزایای زیست محیطی بازیافت این منابع معدنی هنوز کاملا مشخص نیست. از این جهت نیاز به مطالعات بیشتری در این زمینه است.