



مرکز مطالعات و برنامه ریزی شیراز

بازیافت:

از صنایع الکترونیک به منابع مواد

(گزارش فاز دوم: مدل گردش مواد و مدل مالی)





مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران

بازیافت:

از ضایعات الکترونیک به منابع مواد
(گزارش فاز دوم: مدل گردش مواد و مدل مالی)

گزارش شماره ۱۸۳ - خرداد ماه ۱۳۹۲

تهیه‌کنندگان: مهندس حمید رضا عطری نژاد، دکتر سید هاشم بنی هاشمی

داور: دکتر یوسف خرازی

معاونت علم و فناوری

ناظر اجرایی: مصطفی رئوفی

ویراستار ادبی: تامارا نظری

گرافیک و صفحه‌آرایی: سیدمهرداد محمدی، یعقوب قاسمی، اکرم رحیمی

نشانی: تهران، خیابان شریعتی، پل رومی، خیابان شهید اکبری، نش خیابان شهید آقابزرگی، شماره ۳۲، کدپستی ۱۹۶۴۶۳۵۶۱۱

امور مخاطبین: ۳- ۲۲۳۹۲۴۸۴ داخلی ۳۰۸، نرگس آقایی <http://rpc.tehran.ir>

حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران است و استفاده از مطالب آن صرفاً با ذکر مأخذ بلامانع می‌باشد. ضمناً متن (WORD, PDF) بر روی سایت فوق قابل دریافت است.

چکیده

در گزارش فاز اول با عنوان «بازیافت: از ضایعات الکترونیک به منابع مواد» نکات زیر مطالعه و نتایج آن گزارش شدند:

- رشد فناوری در صنایع الکتریکی و الکترونیکی و میزان فروش تجهیزات الکترونیکی؛
- کوتاه بودن عمر مفید این تجهیزات با توجه به تغییرات سریع فناوری و تغییر دایمی مشخصات فنی قطعات و مجموعه‌ها و در نتیجه تولید حجم زیادی از ضایعات الکترونیک؛
- تعریف ضایعات الکترونیکی (مجموعه‌ای غیرقابل استفاده، شکسته شده یا غیرقابل تعمیر نظیر تلویزیون، واحد پردازش مرکزی، نمایشگرها (با صفحات تخت و با تیوب اشعه کاتدی)، لپ تاپ، چاپگر، اسکنر، گوشی تلفن، ویدیو و... و مجموعه سیم‌های آنان).
- اهمیت توجه به ضایعات الکترونیکی از دو دیدگاه:

✓ ورود مواد سمی به جریان ضایعات شهری (مواد سمی خطرناک نظیر سرب، جیوه و کروم ۶ ظرفیتی، کادمیم و اکسیدهای آنان، پلی کلرینات بی فیل، برومینات‌ها، پلی وینیل کلراید و...);
✓ هدر منابع مالی (این ضایعات حاوی مواد با ارزش نظیر طلا، پلاتین، پالادیم، نقره، مس و... بوده که در صورت بازیافت، فرصت‌های اقتصادی مناسبی فراهم می‌شود. بسته به نوع ضایعات الکترونیکی درصد مواد متغیر است).

گزارش فاز اول تلاش داشت تا با مرور بر منابع به موارد زیر پاسخ دهد:

۱. اهمیت موضوع بازیافت مواد از ضایعات الکترونیکی؛
۲. تشریح نیازمندی‌های تکنولوژیکی، با ارایه محدوده نیازمندی‌های اقتصادی؛
۳. تشریح موانع دستیابی در ایجاد پایدار تکنولوژی بازیافت (با مطالعه موردی کشورهایی که دارای شباهت‌های نسبی در زمینه بازیافت این ضایعات با ایران هستند).

بر اساس مطالعات فاز اول، کار مطالعاتی و تحقیقاتی فاز دوم به منظور درک مدل مالی بر اساس مدل گردش مواد که برای مدیریت بازیافت ضایعات الکتریکی و الکترونیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، شکل گرفت.

در گزارش حاضر بعد از مقدمه، در بخش اول، خواننده نمای جامعی از چگونگی گردش مواد، مدل مالی و هزینه‌ای مربوطه و بازیافت ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی پیدا می‌کند. با توجه به

یافته‌های این بخش، در بخش دوم، اصول لازم برای شبیه‌سازی دو مدل جریان کامل مواد و مدل اقتصادی در کنار هم به صورت یک سیستم تعریف شده تا نتایج زیست محیطی و اقتصادی، مورد بررسی قرار گیرند. در بخش سوم تحلیل عددی که نتایج حاصل از شبیه‌سازی است و بر پایه مطالعات موردی و نمونه‌گیری در یکی از کشورهای اروپایی موفق (آلمان) در زمینه بازیافت این ضایعات، ارایه شده است. به عبارت دیگر این تحلیل بر پایه سیستم مدلی جامع می‌باشد. نتایج اثرات به کارگیری رویکردها در این بخش نشان داده می‌شود و به مخاطب اجازه می‌دهد تا با توجه به درآمدها و هزینه‌های به دست آمده و سایر فاکتورها مانند اشتغال زایی، زیست محیطی، ملی و اجتماعی تصمیم صحیح را اتخاذ نماید.

قابل ذکر است با انجام این مرحله از مطالعات زمینه‌ها و پایه‌های لازم برای انجام فازهای بعدی، به شرح زیر فراهم شده است:

- انجام مطالعات مروری برای شناخت قوانین و ضوابط لازم برای انجام موفق عملیات بازیافت ضایعات الکتریکی و الکترونیکی و مطابق مدل گردش مواد و مدل مالی؛
- تعیین موانع ایجاد تکنولوژی در ابعاد اجتماعی، فنی و سرمایه‌گذاری، بر مبنای مدل ارائه شده در این گزارش و در شهر تهران؛
- تعیین پتانسیل بازار برای ایجاد تکنولوژی بازیافت در داخل کشور و شهر تهران؛
- بررسی‌های فنی، به منظور شناسایی تکنولوژی‌های مناسب بازیافت؛
- بررسی‌های فنی - اقتصادی (BP).

کلید واژه: ضایعات الکترونیک، مدل گردش مواد، مدل مالی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۹
۱- سیستم مالی بازیافت مواد از تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (EEE)	۱۰
۱-۱- بازیگران و فعالان	۱۱
۱-۲- مدل جریان و موجودی تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	۱۵
۱-۳- زنجیره ارزشی بازیافت	۲۱
۱-۳-۱- جمع‌آوری	۲۱
۱-۳-۲- حمل و نقل	۲۴
۱-۳-۳- مرتب کردن	۲۶
۱-۳-۴- تخریب و جداسازی	۲۷
۱-۳-۵- خرد کردن و جداسازی	۳۱
۱-۳-۶- فرایندهای فرعی	۳۴
۲- مدل سیستمی	۳۸
۲-۱- ساختار مدل	۳۸
۲-۲- تمرکز مدل و محدودیت‌ها	۳۹
۲-۳- مشخصات اقتصاد تحلیل شده	۴۰
۲-۴- مشخصات طراحی قانون به کار گرفته شده	۴۰
۲-۵- مدل جریان مواد	۴۳
۲-۶- مدل اقتصادی	۴۳
۲-۷- نتایج زیست محیطی و اقتصادی	۴۴
۳- نمونه مطالعه گروه لوازم خنک کننده و یخ‌ساز در آلمان	۴۴
۳-۱- اقتصاد آلمان	۴۵
۳-۲- مشخصه‌های فرآیند بازیافت بر روی لوازم خنک کننده و یخ‌ساز	۴۷
۳-۳- تصمیم‌گیری راجع به درجه آلودگی زدایی	۴۹
۳-۴- اقتصاد	۵۳
۳-۴-۱- جمع‌آوری	۵۳

۵۴ ۳-۴-۲ حمل و نقل
۵۶ ۳-۴-۳ مرتب کردن ..
۵۶ ۳-۴-۴ آلودگی زدایی
۵۷ ۳-۴-۵ انجام عملیات و درآمد حاصل
۵۸ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی
۶۱ منابع
۶۳ ضمیمه «الف»: مشخصات لازم برای تحلیل اقتصادی یک قرارگاه بازیافت
۶۴ ضمیمه «ب»: متغیرها و پارامترهای مدل جریان مواد
۶۵ ضمیمه «ج»: فهرست علائم اختصاری

مقدمه

در دهه گذشته چگونگی رفتار با ضایعات حاصل از تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی نگرانی‌های زیادی را در جهان به وجود آورده است. ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی یکی از گروه زباله‌های جامد شهری است که سریع‌ترین رشد را داشته و به همین دلیل است که شهرداری‌ها موظف به یافتن راهکارهای جدی در مورد آن‌ها هستند و در صورت عدم برخورد مناسب با این موضوع انتظار ورود مواد سمی بسیار خطرناک به محیط زیست و همچنین از بین رفتن پتانسیل‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی فراوانی را باید داشت. دانستن جذابیت اقتصادی آن به عنوان منبع ارزشمندی از مواد اولیه از یک سو و اثرات بسیار زیان بار آن بر اکوسیستم از سوی دیگر، مدیریت ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را به وجد می‌آورد که چگونه این مواد را به چرخه اقتصاد دوباره وارد کرده و چه استراتژی‌های رفتاری را باید به کار گیرند تا زنجیره مطمئنی را به همین منظور شکل داده و تحت تأثیر قرار دهند.

در دهه‌های قبل روش‌های سنتی مانند سوزاندن و در زمین مدفون کردن غالب بودند گرچه بازیافت، تولید مجدد و به کارگیری دوباره، اخیراً بسیار مورد استقبال قرار گرفته و تمجیدها راجع به عملیات بازیافت چندین برابر شده است. آشکارترین و ساده‌ترین دلیل، جلوگیری از اتلاف سرمایه‌ها و کمبود زمین لازم برای مدفون کردن ضایعات بوده است. کم شدن و از بین بردن غیرقانونی ضایعات و تأثیرات زیست محیطی بازیافت از دیگر دلایل حیاتی پشتیبان بازیافت و استفاده مجدد می‌باشند. اقتصاددانان به پتانسیل‌های بسیار به کارگیری روش بازیافت در اشتغال زایی و سودآوری فراوان آن در مقایسه با سایر روش‌ها تکیه می‌کنند که می‌تواند به موفقیت‌های اقتصادی زیادی ختم شوند به دلیل اینکه منابع اولیه همیشه و در همه جا محدود هستند.

به همین دلایل، اصلاً باعث شگفتی نیست که بدانیم در کشورهای صنعتی و در حال حاضر بازیافت نقش کاملاً برجسته‌ای در فرآیندهای پایان عمر محصولات به دست آورده است. هنگامی که کیفیت استراتژی‌های بازیافت مورد داوری قرار می‌گیرد چندین خصیصه کلیدی برای فرآیندهای بازیافت باید در نظر گرفته شوند که از جمله می‌توان به جداسازی، جابه‌جایی درست مواد خطرناک، امنیت کارگران و استانداردهای سلامتی، عمق انجام عملیات بازیافت، نرخ‌های بازیافت و درجه به کارگیری مجدد مواد اشاره کرد. شواهد نشان می‌دهند که مدیریت پایان عمر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در کشورهای اروپایی، آمریکای شمالی و بعضی کشورهای آسیایی به پیشرفت‌های مناسبی رسیده است ولی در

خاورمیانه به صورت کلی نادیده گرفته شده است که این از نقطه نظر زیست محیطی بسیار خطرناک بوده و علاوه بر آن پتانسیل‌های اقتصادی فراوانی را به هدر می‌دهد. بنابراین پس از ارائه گزارش فاز اول که به اهمیت موضوع بازیافت ضایعات الکتریکی و الکترونیکی و کلیات فرآیندهای مربوطه پرداخته شد، انجام مرحله دوم طراحی شد. در فاز دوم به پتانسیل‌ها و جذابیت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بازیافت ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی توجه شده و بر همین مبنا تلاش شد تا مدل مالی مناسب و قابل اجرا ارائه شود.

کار مطالعاتی و تحقیقاتی در این گزارش بر پایه سه مرحله شکل گرفته است. بعد از مقدمه، در بخش اول، خواننده نمای جامعی از بازیافت ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی پیدا می‌کند. این بخش جریان کامل لوازم الکترونیکی در طول چندین مرحله چرخه زندگی آن‌ها را مورد بررسی قرار داده و از آن به عنوان بنیان سیستم‌های بازیافت ضایعات تجهیزات الکترونیکی استفاده می‌کند تا بعد از آن با توجه به فعالیت‌ها، جریان مواد و زنجیره ارزشی بازیافت، جریان‌های مالی درگیر در فرآیند بازیافت را مورد تحلیل قرار داده تا ساختار اقتصادی مورد نظر را به دست آورد.

با توجه به یافته‌های بخش اول، در بخش دوم اصول و قواعد لازم برای این که دو مدل یعنی جریان کامل مواد و مدل اقتصادی در کنار هم قرار بگیرند تا مدل به صورت سیستمی یکپارچه و هماهنگ شکل گیرد و بر پایه آن نتایج زیست محیطی و اقتصادی مورد نظر حاصل شود، معرفی شده‌اند. در بخش سوم تحلیل عددی صورت می‌گیرد که این تحلیل بر پایه سیستم مدلی جامع می‌باشد. نتایج اثرات به کارگیری رویکردها در این بخش نشان داده می‌شود و به مخاطب اجازه می‌دهد تا با توجه به درآمدها و هزینه‌های به دست آمده و سایر فاکتورها مانند اشتغال زایی، زیست محیطی، ملی و اجتماعی تصمیم صحیح را اتخاذ نماید.

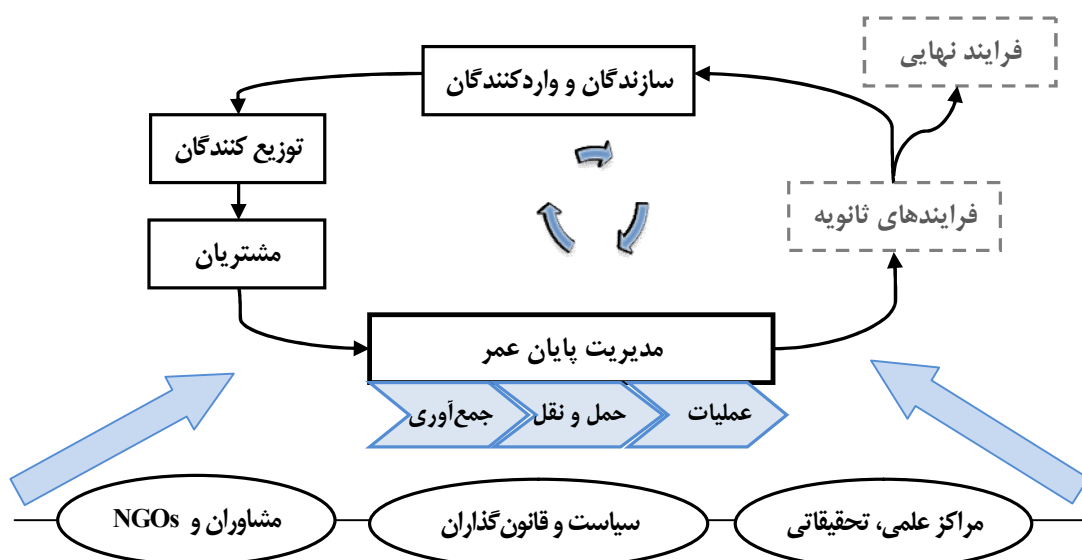
۱- سیستم مالی بازیافت مواد از تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (EEE)

اهمیت موضوع بازیافت مواد از ضایعات الکترونیکی که در گزارش فاز اول این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، ضرورت مطالعه و پژوهش به منظور یافتن مدل مالی برای مدیریت بازیافت را فراهم آورد. به طور کلی ارزیابی و تحلیل سیاست‌های مالی به کار گرفته شده در صنعت بازیافت مواد از ضایعات

تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (WEEE^۱) نیازمند درک صحیح و عمیق از چگونگی عملیات این صنعت و تخمین هزینه‌های مربوطه است. در این بخش تصویر جامعی از چرخه اقتصاد این صنعت، شامل فعالان و بازیگران با علایق، وظایف و نقش‌هایشان، مشخصات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، ضایعات آن‌ها و زنجیره بازیافت ارائه شده و بر همین اساس، نقش عوامل ذکر شده در صنعت بازیافت، مدل مالی مقدماتی بر مبنای چرخه اقتصادی مربوطه تعریف و طراحی می‌شوند.

۱-۱- بازیگران و فعالان

چرخه اقتصاد در صنعت الکترونیک توسط عوامل متعدد شکل گرفته و اجرا می‌شود. شکل ۱ بازیگران اصلی، فعالان و جریان مواد را در یک مدل دایره ای نشان می‌دهد.



شکل (۱) مدل دایره‌ای اقتصاد با توجه به بازیگران و فعالان (Bohr, 2008)

نقش، مسئولیت و علایق بازیگران و فعالان این صنعت به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- تولید کنندگان و وارد کنندگان در رأس هستند و به صورت سنتی مسئول طراحی، انتخاب مؤلفه‌ها، تولید و مونتاژ محصول می‌باشند. آن‌ها علاقه‌مندند که هزینه‌های مدیریت پایان عمر را کمینه کرده و از اجرایی شدن قوانین موجود مطمئن شوند. از لحاظ تئوری، تولید کنندگان می‌توانند هزینه‌های

مدیریت پایان عمر محصولات را تحت تأثیر قرار دهند و این امر به وسیله طراحی خوب محصولات امکان‌پذیر است، این در صورتی است که این کار برای تولید کننده مزایای مالی داشته باشد. قابلیت بازیافت یک محصول به شدت تحت تأثیر طراحی آن است، به عنوان مثال مدت زمان مورد نیاز برای تخریب و میزان پیچیدگی و سختی باز کردن قفل مشخصات محصول در قابلیت بازیافت آن بسیار مؤثر هستند. این موضوع منجر به توسعه دو روش «طراحی برای بازیافت» و «طراحی برای تخریب» شده و هر دو در مفهوم وسیع‌تری با نام «طراحی برای محیط زیست» دنبال می‌شوند.

به طور کلی، ساده‌سازی مدیریت پایان عمر با اطلاعاتی راجع به ساختار محصول، روش‌های تخریب و محتوای مواد هر وسیله فراهم می‌شود، این موضوع به بازیافت کنندگان کمک می‌کند تا فرآیندهای بهتری را به کار گیرند. اگرچه، تولیدکنندگان به شکل طبیعی به عملکرد بهتر محصول و مشتری خود اهمیت می‌دهند تا بتوانند موفقیت‌های اقتصادی خود را افزایش دهند.

- توزیع کنندگان شامل خرده فروشان بزرگ، فروشگاه‌های تخصصی، وارد کنندگان مستقیم یا فروشگاه‌های اینترنتی می‌باشند. این گروه هنگامی که نوبت به معرفی بازار، فهرست نمودن محصولات، جایگزین کردن یک محصول، بازاریابی و فروش می‌رسد، نقشی اساسی ایفا می‌کنند. به جز نقش واقعی ایشان به عنوان فروشنده یا شبکه‌های توزیع، توزیع کنندگان می‌توانند در جمع‌آوری ضایعات الکترونیکی نیز شرکت کنند. این موضوع با واگذاری مسئولیت به آنان، می‌تواند به وسیله ابزارهایی مثل قیمت بازیافت، قبض، جمع‌آوری و انتقال پول مدیریت شود.

- مصرف کنندگان و نیازهایشان، اقتصاد صنعت الکترونیک را گسترش می‌دهند. اولویت آن‌ها، عملکرد محصول، طراحی و قیمت است که متأسفانه جنبه زیست محیطی هنوز به عنوان یک فاکتور برای ایشان شناخته نمی‌شود. در هر حال این مصرف کنندگان هستند که به صورت غیرمستقیم هزینه‌های مدیریت پایان عمر محصولات الکتریکی را می‌پردازند.

- سازمان‌های مسئول در بین مدیران پایان عمر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی عبارتند از: تولیدکنندگان، شهرداری‌ها، ارائه کنندگان خدمات مدیریت ضایعات، شرکت‌های حمل و نقل، بازیافت کنندگان، تخریب کنندگان و فروشندگان قراضه‌ها.

تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، تجهیزاتی هستند که وابسته به جریان برق یا مغناطیس بوده تا بتوانند به درستی کار کنند و تجهیز شده‌اند تا عملیات تولید، انتقال و اندازه‌گیری جریان الکتریسیته را انجام دهند.

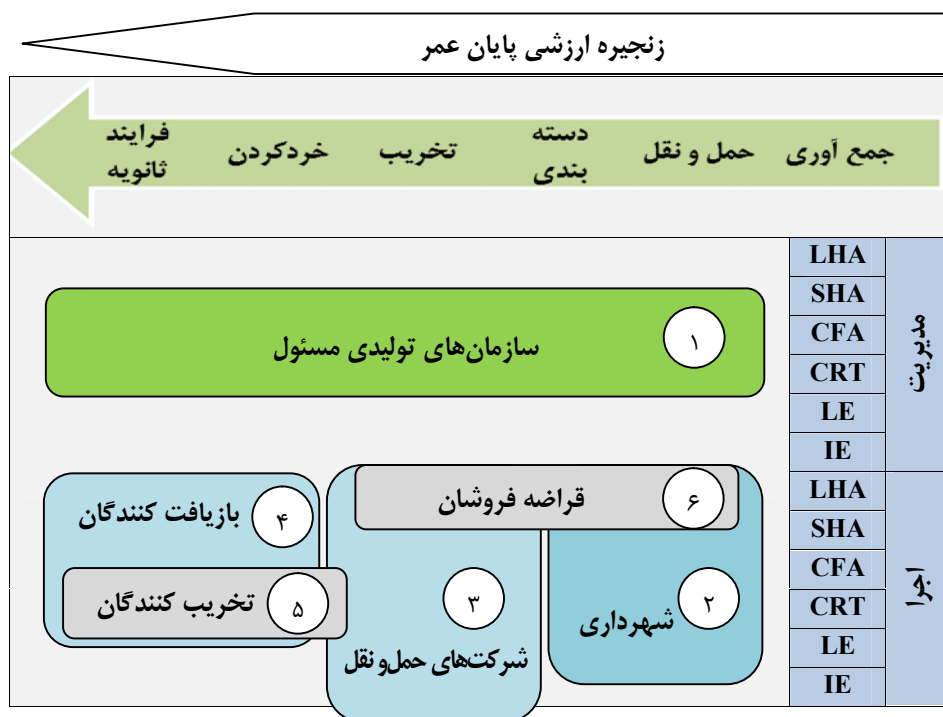
جدول ۱ طبقه‌بندی لوازم برقی را تحت این تعریف نمایش می‌دهد (COM, 2003). این طبقه‌بندی شش گروه محصول را نشان می‌دهد که عبارتند از:

- لوازم بزرگ (LHA)؛
- لوازم کوچک (SHA)؛
- لوازم خنک کننده و فریز کننده (CFA)؛
- وسایل دارای لامپ‌های کاتدی (CRT)؛
- تجهیزات روشنایی (LE) و
- تجهیزات صنعتی (IE).

جدول ۱) طبقه‌بندی تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (COM, 2003)

تجهیزات سرد کننده و یخ‌ساز [i=3]	تجهیزات کوچک (غیر صنعتی) [i=2]	تجهیزات بزرگ (غیر صنعتی) [i=1]
<ul style="list-style-type: none"> • یخچال‌ها • فریزرها • سایر تجهیزات سرد کننده و یخ‌ساز 	<ul style="list-style-type: none"> • جاروهای برقی • رایانه و لپ‌تاپ • رادیو • دوربین‌های ویدیویی • تستر و سرخ‌کن • تلفن و گوشی همراه • قهوه‌ساز • دستگاه‌های بازی • چاپگرها • سایر 	<ul style="list-style-type: none"> • ماشین‌های لباس‌شویی • خشک‌کننده‌ها • ماشین‌های ظرف‌شویی • اجاق‌های برقی • ماکروویو • بخاری‌های برقی • فن‌های الکتریکی • ماشین‌های فروش • سایر
تجهیزات EEE صنعتی [i=6]	تجهیزات روشنایی [i=5]	تجهیزات CRT [i=4]
<ul style="list-style-type: none"> • تجهیزات آزمایشگاهی • ماشین‌های صنعتی سنگین • تجهیزات رادیوترایی • تجهیزات کنترل صنعت • تجهیزات فرمانی • سایر 	<ul style="list-style-type: none"> • نورافکن و لامپ‌های فلورسنت • لامپ‌های تخلیه با شدت بالا • لامپ‌های سدیم با فشار کم • سایر 	<ul style="list-style-type: none"> • تلویزیون • مانیتور • سایر

شکل ۲ به طور ساده و اولیه، مدیریت پایان عمر صنعت الکترونیک را در یک تابلوی فعالیت نشان می‌دهد. تابلو گام‌های زنجیره ارزش را به صورت افقی و بخش‌های مختلف کار مربوط به شش گروه تجهیزات را به صورت عمودی نشان می‌دهد.

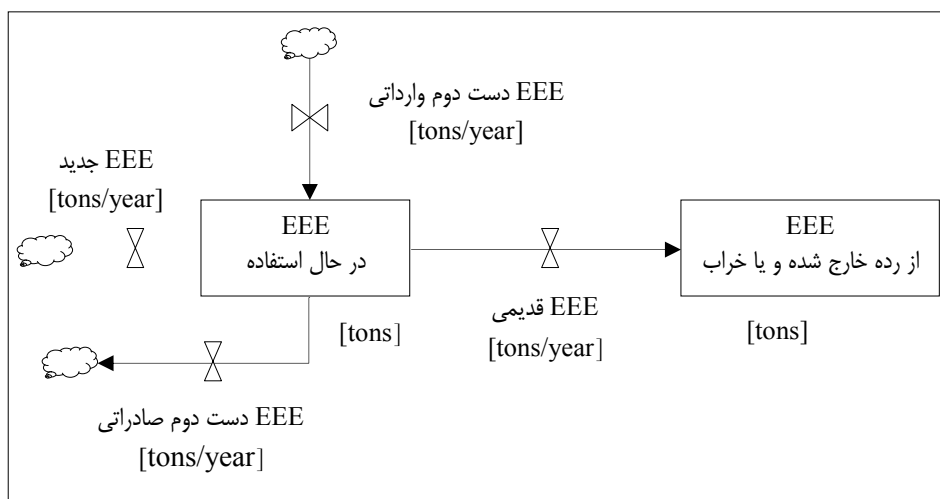


شکل ۲) تابلوی فعالیت برای مدیریت پایان عمر (Bohr, 2008)

تولید کنندگان و ارائه دهندگان مدیریت ضایعات خود را به عنوان خدمات دهنده به کارخانجات و واردکنندگان می‌شناسند و برای ساده کردن و اطمینان از اجرای قوانین تلاش می‌کنند و این کار را با داشتن وظایف متفاوت و سرویس‌هایی در محدوده پایان عمر لوازم الکترونیکی انجام می‌دهند. این موضوع مدیریت ضایعات و تعیین پیمانکاران فرعی را برای اجرای وظایف فیزیکی در محدوده پایان عمر، تضمین کیفیت، گزارش به مسئولین و ارتباطات جمعی شامل می‌شود. شهرداری‌ها همیشه با ضایعات الکترونیکی مواجه بوده و در رابطه با مدیریت آن‌ها مسئول هستند. شرکت‌های حمل و نقل، بازیافت کنندگان و تخریب کنندگان خدمات مربوط به پایان عمر محصولات را اجرا کرده و تلاش می‌کنند تا سودشان را بیشینه کنند. این موضوع برای فروشندگان قراضه نیز صادق است که با فعالیت سایر تجارت‌ها در زمینه خرید و فروش ضایعات حاصل از تجهیزات الکترونیکی و الکترونیکی (WEEE) در مراحل مختلف گاهی تداخل پیدا می‌کند.

۱-۲- مدل جریان و موجودی تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی

پیگیری کامل جریان لوازم الکترونیکی در طول چندین مرحله چرخه زندگی آن‌ها بنیان توضیح عمیق و پیش‌بینی بلند مدت سیستم‌های بازیافت تجهیزات الکترونیکی است. مسئولیت تولید کنندگان با فروش محصولات جدیدشان شروع می‌شود. بنابراین، مدل با تحلیل جریان مواد در محدوده مصرف کنندگان آغاز می‌شود که شکل ۳ گام‌های اولیه برای ایجاد مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۳) مدل اولیه به همراه موجودی و جریان تجهیزات و ضایعات الکترونیکی در محدوده مصرف کننده (Bohr, 2008)

در مدل فوق فروش محصولات جدید بر پایه میزان تن در سال در نظر گرفته شده و به صورت یک جریان نمایش داده شده است. پیکان‌ها در مدل نمایانگر جریان هستند. برخی از تجهیزات برقی دست دوم وارد یا صادر می‌شوند، که جریان آن نیز در شکل مشاهده می‌شود. لوازم در حال استفاده در مکان خود مشخص و لوازم مستهلک از رده خارج یا انبار شده و یا دور ریخته می‌شوند که به عنوان موجودی در نظر گرفته شده و در مربع با واحد اندازه‌گیری تن نمایش داده شده‌اند. مرزهای سیستم به صورت ابر مشاهده می‌شوند که نمایانگر مبدأ یا مقصد یک جریان بوده ولی مربوط به اهداف مدل نمی‌باشند.

تجهیزات جدید لوازمی هستند که یا وارد شده و یا در یک کارخانه محلی تولید شده‌اند و در اقتصاد مورد تحلیل به فروش می‌رسند. تجهیزات دست دوم وارداتی از هر منبعی خارج از اقتصاد مورد تحلیل، تهیه شده در حالی که تجهیزات دست دوم صادراتی بعد از استفاده به منبعی خارج از مدل صادر می‌شوند. فروش لوازم دست دوم در اقتصاد مورد بحث به صورت جریان مجزا نمایش داده نشده ولی در دوره

میانگین استفاده ثبت می‌شود. تجهیزات در مصرف، تجهیزاتی هستند که در زمان مشخص در حال استفاده شدن هستند. محصولات کهنه انبار شده و یا خراب شده تجهیزاتی هستند که در انبارها و یا خانه‌ها نگهداری می‌شوند زیرا مصرف کننده باور دارد که این تجهیزات ارزش مشخصی داشته و یا اینکه نمی‌خواهد با مشکلات از رده خارج کردن تجهیزات مواجه شود. این نوع تجهیزات یا خراب شده‌اند یا دیگر قابل استفاده نبوده، از لحاظ تکنولوژی قدیمی شده و یا دیگر با علایق مصرف کننده سازگار نیستند که در نهایت تبدیل به ضایعات الکتریکی و الکترونیکی می‌شوند.

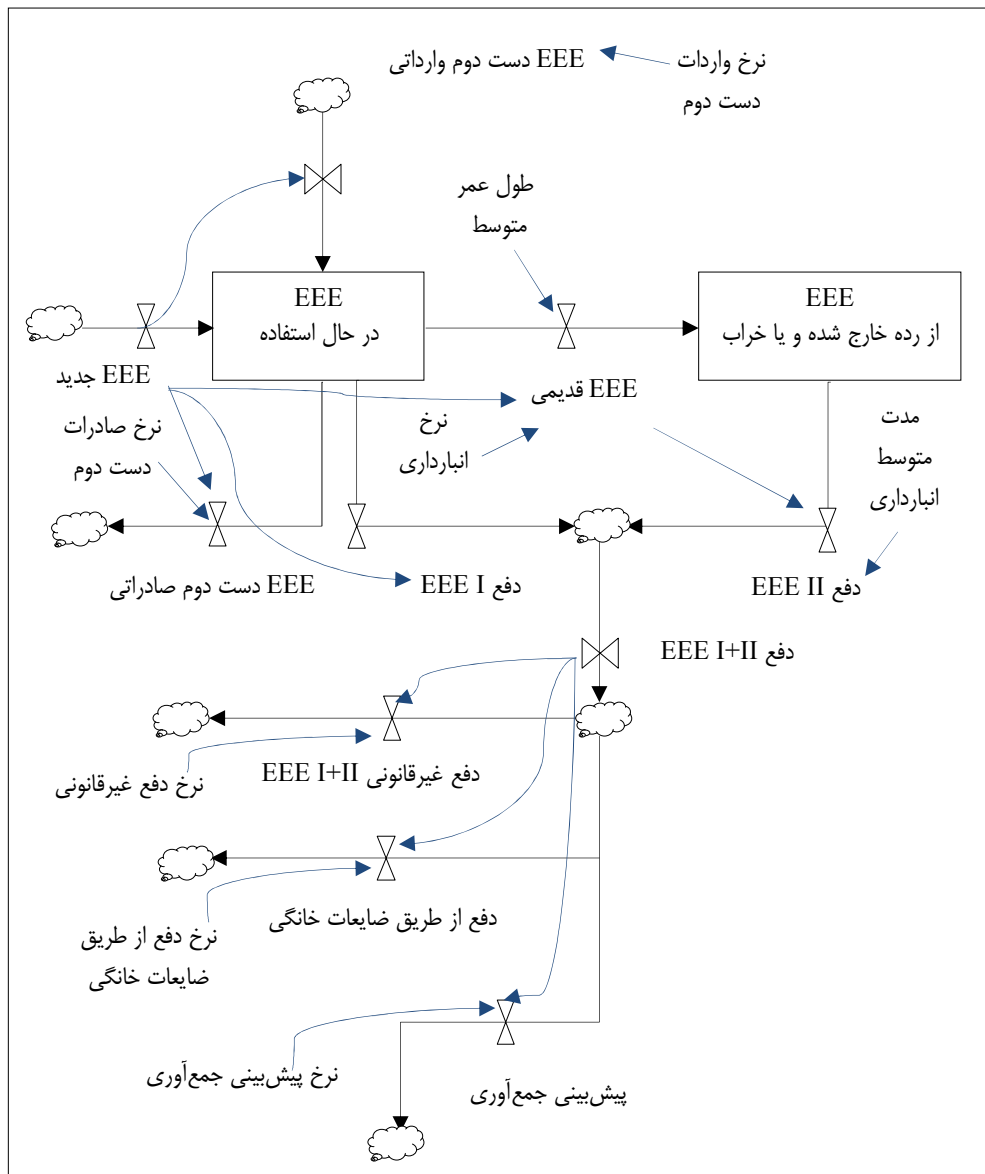
ضایعات الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات یا موادی هستند که مالک، آن‌ها را از رده خارج می‌کند یا قصد این کار را داشته و یا نیاز است که آن‌ها را از رده خارج کند (COM, 2006a). تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی هنگامی به پایان عمر خود می‌رسند که از لحاظ فیزیکی، محصول از محدوده مصرف کننده به محدوده مدیریت پایان عمر آن انتقال یابد. این انتقال تجهیزات کهنه یا خراب را به ضایعات تبدیل می‌کند تا این که از بین چندین روش رفتار با ضایعات یکی برای برخورد با آن‌ها انتخاب شود. محدوده مصرف کننده جایی است که مصرف کننده اثر زیادی بر جریان تجهیزات الکتریکی داشته و محدوده مدیریت پایان عمر مکانی است که مدیریت ضایعات تأثیر زیادی بر روی جریان ضایعات الکتریکی دارد.

در این گزارش سرنوشت پایان عمر ضایعات به چند رده طبقه‌بندی می‌شوند که از جمله می‌توان به دفن مستقیم در خاک، سوزاندن، تولید مجدد، تعمیر و یا استفاده مجدد، اشاره کرد.

انتخاب مصرف کننده درباره این که چه زمانی و چگونه تجهیزات الکترونیکی را از رده خارج کند از طریق چندین روش در مدل مشخص می‌شود. لوازم الکتریکی و الکترونیکی می‌توانند از نظر زمانی به صورت مستقیم بعد از استفاده از رده خارج شوند و یا بعد از انبار شدن که هر دو روش در پایان، حداکثر بعد از یک سال به یک نقطه می‌رسند. آن‌ها از طریق توابع تأخیر زمانی بین محصولات الکترونیکی جدید و قدیمی به هم وابسته بوده و تحت تأثیر میانگین مدت زمان مصرف و انبار کالا هستند.

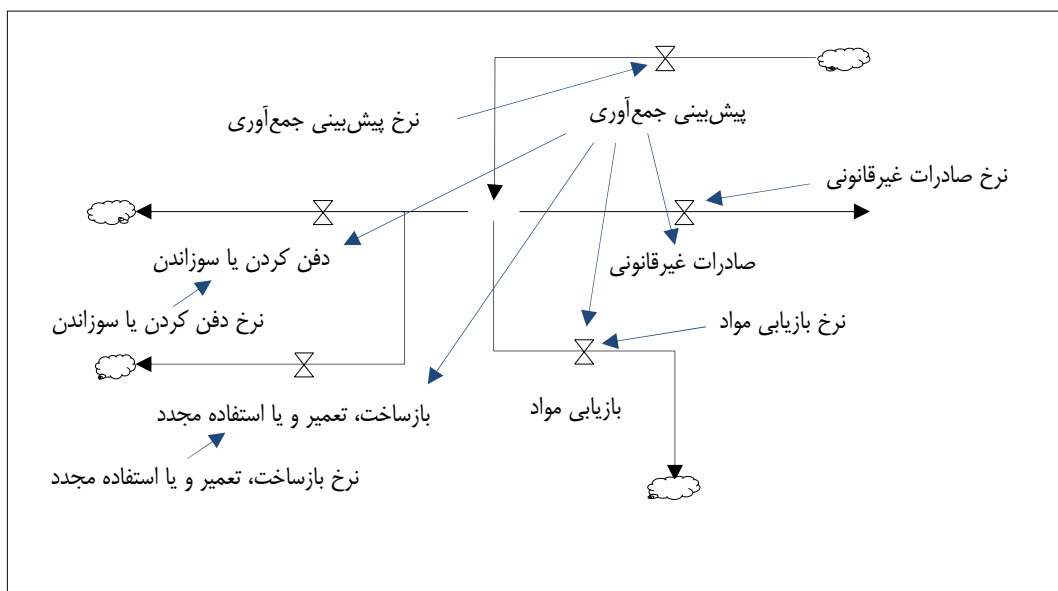
در مورد این که چگونه تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را باید از رده خارج کرد مصرف کننده با انتخاب‌های متفاوتی روبه‌رو است و در حال حاضر مقدار زیادی از مسئولیت سرنوشت پایان عمر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی بر عهده مصرف کننده است. به صورت اصولی، مصرف کننده می‌تواند از طریق مؤسسات مربوطه این کار را انجام داده، (با استفاده از روش‌های غیرقانونی) آن‌ها را در سطل‌های زباله نامربوط گذاشته، به شبکه‌های غیررسمی بفروشد و یا اینکه در جایی رها کند. این که

مصرف کننده کدام روش را انتخاب می کند بستگی به چندین عامل نظیر: آگاهی مصرف کنندگان، فرهنگ، پذیرش فرهنگ باز یافت در جامعه، چگالی و در دسترس بودن نقاط جمع آوری، مشوق ها و هزینه های مالی از رده خارج کردن محصولات الکترونیکی برای مصرف کننده و مؤسسات، دارد. شکل ۴ مدل ساختار کامل موجودی ها و جریان ها را در محدوده مصرف کننده، نشان می دهد.



شکل ۴) ساختار کامل موجودی و جریان تجهیزات و ضایعات الکترونیکی در محدوده مصرف کننده (Bohr, 2008)

در صورتی که ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی از طریق قانونی و مؤسسات مربوطه، جمع‌آوری شده باشند، وارد محدوده مدیریت ضایعات می‌شوند. در هر صورت طبق مدل فوق ضایعات می‌توانند در زمین دفن و یا سوزانده شوند، به صورت غیرقانونی به فروش برسند و یا صادر شوند، بازیافت شوند، تولید مجدد، تعمیر و یا استفاده مجدد شوند. هر چند که، تعمیر، تولید و استفاده مجدد تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی تنها عمر محصولات الکتریکی را بیش‌تر می‌کنند ولی در پایان تبدیل به زباله غیرقابل استفاده خواهند شد و تنها می‌توانند بازیافت شوند. علاوه بر این صادرات قانونی و غیرقانونی ضایعات نیز امکان‌پذیر است که صادرات غیرقانونی باعث بی‌خبری از سرنوشت و چگونگی رفتار با این ضایعات می‌شود، در حالی که صادرات قانونی ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی باعث بهینه و کارآمد شدن بیش‌تر این فرآیند در مدل می‌شود. به خاطر اهمیت بسیار صادرات غیرمجاز، این موضوع به صورت جریان مجزا مدل می‌شود. عملیات دفن کردن یا سوزاندن ضایعات نیز به صورت یک جریان مدل می‌شوند، به آن دلیل که بنا بر خط مشی‌های بازیافت نوین هر دو مورد ممنوع بوده و بر خلاف استراتژی‌های زیست محیطی می‌باشند. شکل ۵ جریان ضایعات را در محدوده مدیریت با توجه به آنچه شرح داده شد، نشان می‌دهد.



شکل ۵) جریان WEEE در محدوده مدیریت ضایعات (Bohr, 2008)

مطالعات و پژوهش‌های زیادی برای تعیین مقدار ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در اقتصادهای مختلف انجام شده است، گرچه تعاریف ناسازگار و متفاوت این صنعت، باعث ایجاد مشکلاتی در رابطه با اطمینان و قابلیت مقایسه این آمارها شده است. نکته حایز اهمیت در همین ارتباط پیشی گرفتن کشورهای توسعه یافته در موضوع باز یافت مواد از ضایعات الکترونیک نسبت به سایر کشورها است.

جدول ۲ آمار تولید ضایعات الکترونیکی یکی از کشورهای اروپای مرکزی را با توجه به بخش‌های متفاوت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی نشان می‌دهد که متناظر با مدل نمایش داده شده برای تجهیزات الکترونیکی از رده خارج شده است. این آمار بر پایه شبیه‌سازی مدل مورد بحث و نظر کارشناسان به دست آمده است (SENS, 2006).

جدول ۲) آمار تولید ضایعاتی الکترونیکی در یکی از کشورهای اروپای مرکزی در سال ۲۰۰۶ (SENS, 2006)

بخش	مقدار EEE از رده خارج شده ۲۰۰۶ [ton/year and m. capita]
تجهیزات بزرگ (غیرصنعتی) [i=1]	۶۰۸۰/۰۰
تجهیزات کوچک (غیرصنعتی) [i=2]	۵۹۴۷/۵۳
سردکننده‌ها و یخ‌سازها [i=3]	۱۸۴۳/۲۰
CRTs [i=4]	۳۱۷۲/۴۰
تجهیزات روشنایی [i=5]	۱۴۶/۶۷

در کشورهای صنعتی همان گونه که تجربه در اروپا و ژاپن نشان می‌دهد نقش از رده خارج کردن غیرقانونی تجهیزات چندان برجسته نیست. جدول ۳ نتایج مطالعات در ژاپن را نشان می‌دهد که از فعالیت غیرقانونی بسیار کم حاکمی است. در اروپا این آمار، بهتر نیز می‌باشد چون برای برگرداندن ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی هیچ هزینه‌ای وجود ندارد، در حالی که مصرف کنندگان ژاپنی مجبور به پرداخت هزینه هستند.

جدول ۳) درصد تخریب ضایعات به صورت غیرقانونی بعضی از تجهیزات الکترونیکی در ژاپن (Tsaki et al. 2005)

سرنوشت تجهیزات خانگی از رده خارج شده	تلویزیون	سردکننده‌ها و منجمد کننده‌ها	ماشین‌های لباس‌شویی	تهویه هوا
دفع غیرقانونی (کشف شده)	٪۰/۹	٪۰/۴	٪۰/۳	٪۰/۲

ضایعات خانگی از رده خارج شده، سهم برجسته‌ای در بخش تجهیزات کوچک دارد. هر چه لوازم از رده خارج شده در قسمت خانگی بزرگ‌تر شوند سهم آن‌ها با توجه به بخش‌های تعریف شده تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در صنعت بازیافت ضایعات کاهش می‌یابد.

پیگیری جمع‌آوری ضایعات به صورت رسمی و غیررسمی انجام می‌شود. مقدار و آمار ضایعات جمع‌آوری شده که به صورت رسمی قابل پیگیری هستند، اغلب توسط تولید کنندگان منتشر می‌شوند. جمع‌آوری غیررسمی ضایعات در تجهیزات با درصدهای بالای مواد قیمتی در کنار سهولت جداسازی آنان، معمول‌تر و رایج‌تر است. به عنوان مثال می‌توان از تجهیزات خانگی بزرگ نام برد که در این مورد میزان جمع‌آوری غیررسمی آن‌ها بسیار بیش‌تر از رسمی است.

صادرات غیرمجاز بیش‌تر از جمع‌آوری غیررسمی سرچشمه می‌گیرد. به طور کلی، نقش صادرات غیرمجاز برجسته بوده و هیچ گونه اطلاعات رسمی در مورد آمار این نوع جریان در دسترس نیست، ولی می‌توان آن را بین ۲۵٪ تا ۸۰٪ کل ضایعات تخمین زد. اغلب، این محصولات در کشتی‌ها به عنوان تجهیزات دسته دوم برچسب خورده، گرچه شامل تجهیزات خراب و از رده خارج هستند. نتایج مطالعات نسبت صادرات لوازم الکترونیکی از رده خارج شده برای چهار نوع از تجهیزات در ژاپن، در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴) درصد صادرات بعضی از تجهیزات در ژاپن (Tsaki et al. 2005)

سرنوشت تجهیزات خانگی از رده خارج شده	تلویزیون	سردکننده‌ها و منجمد کننده‌ها	ماشین‌های لباس‌شویی	تهویه هوا
صادرات	۵۲٪	۱۵٪	۱۷٪	۳۲٪

در بین روش‌های پایان عمر ضایعات، دفن کردن و سوزاندن ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در دهه‌های گذشته چیره بوده‌اند. آمار آمریکا نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۳ حدود ۹۱٪ ضایعات سوزانده و یا در زمین دفن شده‌اند، گرچه در حال حاضر با توجه به قوانین سخت و شدید بازیافت مدرن و زیست محیطی، این آمار به شدت کاهش یافته و در اروپا و ژاپن بسیار اندک است (SENS, 2006).

استفاده مجدد، تعمیر و تولید مجدد تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی بهترین و اولین گزینه‌های مدیریت پایان عمر تجهیزات الکتریکی می‌باشند، هرچند که این موضوع همیشگی نیست (COM, 2003).

گاهی، سناریوی جایگزینی یک محصول جدید با از رده خارج کردن یک محصول قدیمی از دیدگاه زیست محیطی بهتر عمل می‌کند. به عنوان مثال، مصرف کمتر انرژی محصول جدید در فاز استفاده می‌تواند مزیت بیش‌تری نسبت به استفاده مجدد محصول از لحاظ زیست محیطی داشته باشد. در هر حال باید به این نکته توجه کرد که، هرچند استفاده مجدد، تعمیر و تولید دوباره می‌توانند فقط دوره کاربرد تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را افزایش دهند، ولی در پایان زمانی می‌رسد که این تجهیزات تبدیل به ضایعاتی غیرقابل استفاده می‌شوند که تنها می‌توان مواد آن‌ها را باز یافت کرد.

۳-۱- زنجیره ارزشی باز یافت

در این بخش از فعالیت‌ها، مواد، جریان‌های مالی درگیر در بازگشت و باز یافت مواد مورد بحث قرار می‌گیرد. علاوه بر آن، اقتصاد مربوط به زنجیره باز یافت مورد تحلیل قرار گرفته و به صورت ساختاری با به کارگیری روش تخمین هزینه بر پایه فعالیت ارائه می‌شود تا هزینه‌های محصولات و خدمات معین شوند. شکل ۶ گام‌های اساسی زنجیره باز یافت که باعث شکل‌گیری مدل اقتصادی مورد نظر می‌شود را نمایش می‌دهد.



شکل ۶) زنجیره ارزشی باز یافت (Bohr, 2008)

۱-۳-۱- جمع‌آوری

ضایعات الکتریکی از طریق چندین روش می‌توانند جمع‌آوری شوند. مصرف کنندگان معمولاً کنترل و مالکیت پایان عمر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (EEE) را به عهده دارند و رفتار و تعهدشان برای بالا بردن میزان جمع‌آوری ضروری است.

اصولاً، دو روش جمع‌آوری در محل تولید زباله و یا تحویل در مرکز باز یافت برای جمع‌آوری ضایعات متمایز هستند. روش جمع‌آوری در محل برای مصرف کننده مناسب است چون تنها نیاز به فراهم شدن ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی با روشی مناسب دارد. اما روش تحویل نیاز به آن دارد که

محصول ابتدا از رده خارج شده و سپس به نقطه جمع‌آوری حمل شود. تمایز بیش‌تر در سرویس‌های همیشگی و موقتی آشکار می‌شود. خدمات موقتی نیاز به تبلیغات قابل توجهی دارند تا میزان آگاهی مردم را برای رسیدن به درجه بالایی از مشارکت افزایش دهند. سرویس‌های دائمی نیازی به تبلیغات ویژه ندارند و آگاهی مصرف‌کننده با طولانی شدن عمر این سرویس‌ها در یک منطقه خاص افزایش می‌یابد. شکل ۷ گزینه‌های مختلف جمع‌آوری را طبقه‌بندی کرده و آن‌هایی را که اصولاً در عمل به کار گرفته می‌شوند به صورت پررنگ‌تر نشان می‌دهد. گزینه‌های دائمی عبارتند از: رها کردن زباله‌ها در ایستگاه‌های جمع‌آوری مربوطه، بازگرداندن به فروشگاه‌های توزیع‌کننده و حمل مستقیم به سایت‌های بازیافت و یا اینکه به صورت عمده توسط جمع‌آوری‌کنندگان جمع شود. گزینه اصلی جمع‌آوری موقتی رویدادهای مختلف جمع‌آوری زباله است که هر از گاهی توسط شهرداری یا نهادهای دیگر صورت می‌گیرد.

انداختن	برداشتن
<ul style="list-style-type: none"> • (شهرداری) ایستگاه‌های جمع‌آوری • برگشت به خرده‌فروشی‌ها • ایستگاه‌های جمع‌آوری با کمک شبکه‌های اجتماعی • برگشت مستقیم به سایت بازیافت 	<ul style="list-style-type: none"> • ایجاد کانتینرهای جمع‌آوری در کنار محل جمع‌آوری ضایعات جامد • ایجاد کانتینرها در کنار ضایعات حجیم
<ul style="list-style-type: none"> • رویدادهای جمع‌آوری • خودروهای جمع‌آوری • برگشت بر اساس قرارداد و یا موافقت نامه • برگشت به سازنده یا توزیع‌کننده با پست 	<ul style="list-style-type: none"> • بر اساس تقاضای خانه دار • ایجاد سامانه جداسازی و تخریب بر اساس تقاضا (صنایع EEE)

شکل ۷) گزینه‌های جمع‌آوری (SENS, 2006)

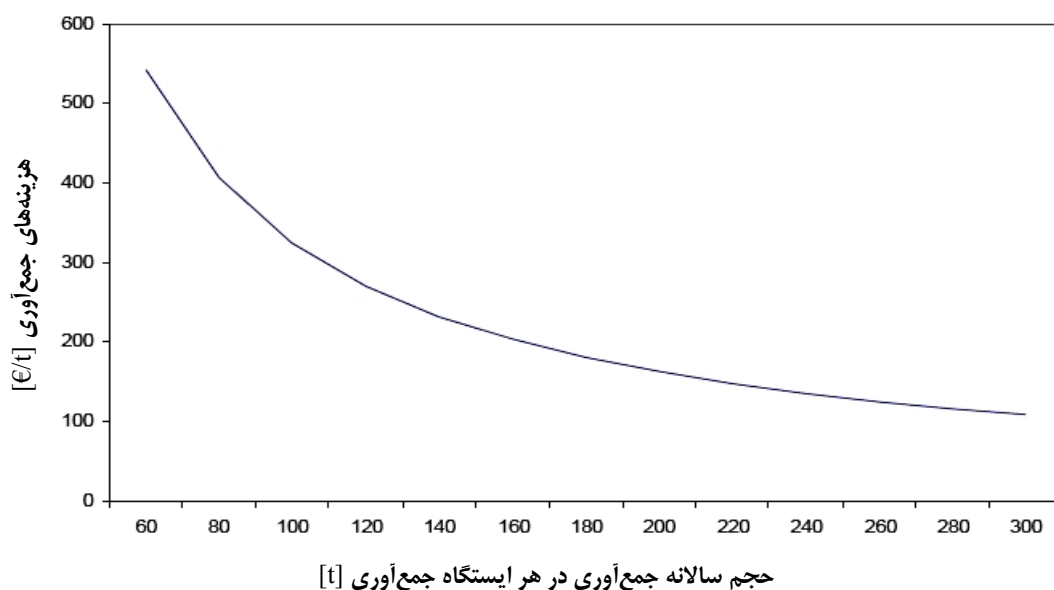
هزینه‌های جمع‌آوری باید به صورت کامل بر پایه محاسبات و فاکتورهای ویژه سیستمی تحلیل شوند. هزینه‌های جمع‌آوری معمولاً شامل قسمت عمده‌ای از هزینه‌های ثابت و مقدار کمی از هزینه‌های متغیر هستند. جدول ۵ ساختار هزینه یک مرکز جمع‌آوری زباله‌های الکترونیکی و الکتریکی را در یکی از کشورهای اروپای مرکزی نشان می‌دهد (Caudill et al. 2003).

این ساختار هزینه‌ای بر پایه نظر سنجی و مشورت با خبرگان، متخصصین و مدیران ۲۴ ایستگاه جمع‌آوری در آلمان و سوییس برآورد شده است. در اینجا فرض شده که ایستگاه جمع‌آوری با روشی اقتصادی سازمان یافته است.

جدول ۵) هزینه‌های جمع‌آوری برای ایستگاه جمع‌آوری زباله $i=1$ (Caudill et al. 2003)

ایستگاه‌های جمع‌آوری شهرداری $[i=1]$	
هزینه‌های نیروی انسانی (سربار)	
۳/۵	تعداد نیروی انسانی
۳۷	ساعات کاری (ساعت در هفته)
۱۷۷۶	ساعات کاری نیروی انسانی (ساعات/ نفرات و سال)
۰/۲۵	ضریب تخصیص اعتبار (مقدار جمع‌آوری ضایعات/ کل ضایعات جمع‌آوری شده)
۲۳۳۱۰	هزینه‌های سالانه نیروی انسانی (سربار) [€]
هزینه‌های زیرساختی (سربار)	
۴۰	دفتر و فضای اداری [مترمربع]
۹۲	اجاره دفتر و فضای اداری [$€/m^2$]
۳۶۸۰	هزینه سالانه دفتر و فضای اداری [€]
۵۰۰۰	هزینه سالانه تجهیزات حمل و نقل داخلی (لیفت تراک و ...) [€]
۴۰۰۰	هزینه سالانه تعمیر و نگهداری زیر ساخت‌ها (قفل‌ها، توری‌ها، دیوارها و ...) [€]
۲۵۰۰	سایر هزینه‌های عملیاتی سالانه (انرژی، آب، تجهیزات اداری و...) [€]
۲۰۰	مسیرهای دسترسی [m^2]
۱۵۰	فضای اصلی و کلیدی [m^2]
۱۰۰	فضای اضافی تخلیه [m^2]
۷/۵	هزینه اجاره سالانه فضا در هر متر مربع [$€/m^2$]
۳۳۷۵	هزینه سالانه اجاره فضا [€]
۰/۲۵	ضریب تخصیص اعتبار (مقدار جمع‌آوری ضایعات/ کل ضایعات جمع‌آوری شده)
۴۶۳۸/۷۵	هزینه‌های سالانه زیرساختی (سربار) [€]
هزینه‌های کل زیرساختی ویژه WEEE	
۷	تعداد کانتینرها برای چرخه [عدد]
۱۰	دوره استهلاك [سال]
۵۲۰۰	هزینه کانتینرها [€ / عدد]
۳۶۴۰	هزینه سالانه کانتینرها [€]
۲۵	فضای لازم برای هر کانتینر [مترمربع/ عدد]
۷/۵	هزینه سالانه فضا برای هر کانتینر در هر متر مربع [$€/m^2$]
۵	تعداد کانتینرها در ایستگاه [عدد]
۹۳۷/۵	هزینه کل سالانه فضا برای کانتینرها [€]
۴۵۷۷/۵۰	هزینه‌های کل زیرساختی ویژه WEEE [€]
۳۲۵۲۶/۲۵	هزینه‌های کل جمع‌آوری هر ایستگاه جمع‌آوری WEEE [€]

در شبیه‌سازی مدل اقتصادی به کار گرفته شده، هزینه‌های جمع‌آوری ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی برای پنج گزینه اصلی جمع‌آوری در شکل ۷ ارائه شده است. بر طبق مدل، هزینه جمع‌آوری هر تن در هر ایستگاه کاملاً وابسته به حجم جمع‌آوری شده در هر نقطه است. شکل ۸ رابطه بین هزینه جمع‌آوری هر تن و حجم‌های جمع‌آوری شده برای یک ایستگاه را نمایش می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش حجم جمع‌آوری سالانه، هزینه‌های جمع‌آوری به ازای هر تن به شدت و به صورت نمایی، کاهش می‌یابد، به عنوان مثال اگر هزینه جمع‌آوری سالانه ۶۰ تن ضایعات ۵۵۰ یورو است با افزایش پنج برابری آن به ۳۰۰ تن، هزینه آن به یک پنجم یعنی ۱۰۰ یورو کاهش می‌یابد.



شکل ۸) رابطه هزینه‌های جمع‌آوری و حجم سالانه جمع‌آوری متعلق به شهرداری (Bohr, 2007)

۱-۳-۲- حمل و نقل

ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (WEEE) که از زنجیره بازیافت عبور می‌کنند، باید چندین بار جابه‌جا و حمل شوند. معمولاً ابتدا مصرف کنندگان ضایعات را به ایستگاه جمع‌آوری حمل می‌کنند. ضایعات انباشته شده سپس به تأسیسات عملیاتی، حمل شده و بعد از جداسازی، مواد به تأسیسات عملیاتی ثانویه حمل می‌شوند تا وارد تکنولوژی کاربرد مجدد شوند.

برای به دست آوردن تخمینی معقول، هزینه حمل و نقل هر تن از یک ایستگاه جمع‌آوری به تأسیسات بازیافت باید بررسی شود. اولین فاکتور برای میانگین هزینه حمل، تجهیزات به کار گرفته شده برای حمل و نقل است که معمولاً دارای شکل‌ها و اندازه‌های متفاوتی نظیر: پالت‌ها، جعبه‌ها، کانتینرها و ... هستند. میزان ضایعات جابه‌جا شده توسط یک کانتینر بستگی به این دارد که تجهیزات به چه گروهی از لوازم الکتریکی تعلق دارند و این موضوع در فاکتوری به نام فاکتور بار ارائه می‌شود.

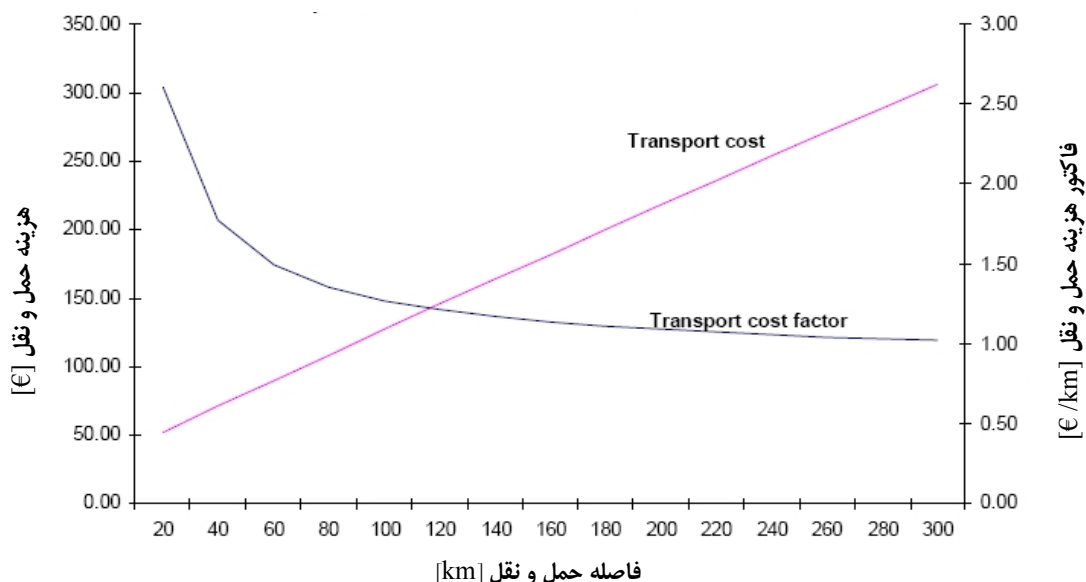
جدول ۶ میانگین فاکتور بار برای یک کانتینر فولادی ۳۸ متر مربعی برای گروه‌های مختلف تجهیزات الکتریکی (رجوع شود به جدول ۱) را نمایش می‌دهد که به صورت میانگین وزنی چند نمونه کوچک محاسبه شده است. قابل ذکر است که داده‌ها توسط چند بازیافت کننده ارائه شده‌اند.

جدول ۶) فاکتورهای بار گروه‌های خاص لوازم الکتریکی (Smekal, 2006)

بخش	فاکتور یا ضریب بار [تن / کانتینر]
تجهیزات بزرگ (غیرصنعتی) ($i=1$)	۵/۲
تجهیزات بزرگ (غیرصنعتی) ($i=2$)	۹/۵
تجهیزات سرد کننده و یخ‌ساز ($i=3$)	۲/۹
تجهیزات CRT ($i=4$)	۶/۵

به علاوه، هزینه‌های حمل اصولاً وابسته به فاصله حمل هستند. اگر چه، میانگین زمان پر کردن و تخلیه بار، میانگین زمان انتظار، هزینه سوخت، هزینه راننده، عوارض جاده و نوع کامیون نیز از عوامل مؤثر دیگر هستند. هزینه‌های سربار مانند نگهداری، بیمه، مالیات، استهلاک و هزینه‌های مالی، دستورات مدیریتی و تورهای سازمانی و برنامه‌ریزی نیز محاسبات را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

شکل ۹ هزینه‌های حمل و نقل و فاکتور هزینه حمل را به عنوان تابعی از فاصله حمل برای یک کامیون مناسب با باری معادل یک کانتینر ۳۸ متر مربعی در اروپای مرکزی نمایش می‌دهد. این تخمین نیز با کمک چندین کارشناس محاسبه شده است.



شکل ۹) هزینه‌های حمل و نقل برای یک کانستینر فلزی ۳۸ متر مربعی (Smekal, 2006)

همان طور که مشاهده می‌شود، با افزایش فاصله حمل، هزینه نیز به صورت خطی رشد می‌نماید حال آن که با افزایش فاصله حمل و نقل ضایعات، فاکتور هزینه حمل به صورت نمایی کاهش پیدا می‌کند. به عنوان مثال اگر برای فاصله ۲۰ کیلومتری ۲/۵ یورو برای هر کیلومتر پرداخته می‌شود، برای طی مسافت بیش‌تری مانند ۳۰۰ کیلومتر، به ازای هر کیلومتر ۱ یورو محاسبه و پرداخت می‌شود.

برای تخمین میانگین فاصله حمل بین نقاط جمع‌آوری و قرارگاه‌های بازیافت، پیش فرض‌های ساده زیر ضروری است که در نظر گرفته شوند:

- ظرفیت قرارگاه بازیافت کاملاً به تراکم جمعیت و میزان ضایعات تولیدی آن منطقه وابسته است.
- منطقه‌ای که در آن خدمات بازیافت انجام می‌شود به شکل دایره‌ای هستند.
- ضایعات به صورت مشابه و همگن در منطقه توزیع شده‌اند.

۱-۳-۳- مرتب کردن

مرتب کردن ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در چندین مرحله در زنجیره بازیافت امکان‌پذیر است. مرتب‌سازی ابتدا در سایت‌های جمع‌آوری صورت می‌گیرد، جایی که ارزیابی برای استفاده و یا فروش مجدد محصولات رخ می‌دهد. اگر در آنجا این اتفاق به طور کامل رخ ندهد، تجهیزات قابل استفاده مجدد یا مؤلفه‌های ارزشمند به وسیله مؤسساتی که بر روی تخریب لوازم تمرکز می‌کنند،

مرتب می‌شوند. این مؤسسات قسمت قابل توجهی از درآمد این مؤسسات از طریق استفاده مجدد کل محصول و یا مؤلفه‌های با ارزش بالای آن به دست می‌آید. ضایعات واقعی و بدون پتانسیل استفاده مجدد، بنا بر آمادگی برای بازیافت مواد و بهینه کردن ارزش بازیافت مرتب می‌شوند. بازیافت کنندگان با بررسی رفتار عمومی مواد و ایجاد بسته‌هایی از محصولات برای انجام فرآیند بازیافت عملیات مرتب کردن را انجام می‌دهند. بعضی از تجهیزات مانند تجهیزات IT فلزات ارزشمندتری را دارا هستند و بنابراین به صورت مجزا تحلیل شده و نوعاً تنظیمات متفاوتی در مرحله تخریب و مرتب‌سازی بر آن‌ها اعمال می‌شود.

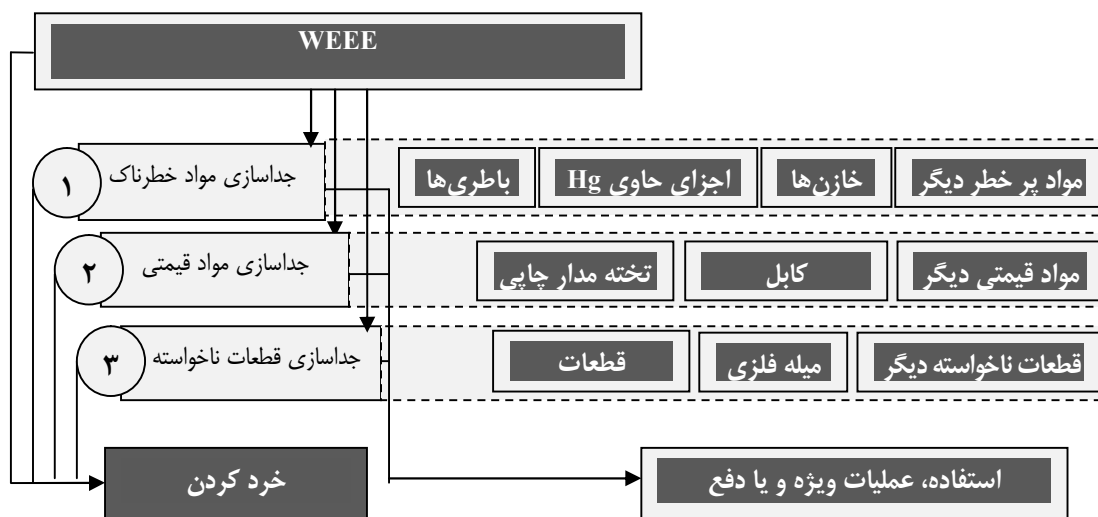
مرتب کردن برای اهداف گزارش‌گیری و حسابداری نیز ضروری است. بعضی مشتریان شواهدی برای از رده خارج شدن محصول درخواست می‌کنند، بعضی می‌خواهند راجع به قبض مواد تولید شده از محصولشان مطلع شوند و یا دستگاه‌های قانونی می‌توانند جریان یا میزان بازیافت را درخواست کنند. هزینه‌های مرتب کردن به وسیله میانگین دفعات پردازش مرتب‌سازی برای هر وسیله، میانگین وزنی آن و نرخ ساعتی هزینه کارگر محاسبه می‌شوند. قرار پیش فرض برای فعالیت‌های مرتب کردن یک بازیافت کننده با تمرکز بر بازیافت بهتر و دقیق‌تر مواد و در نتیجه بهینه کردن سود شکل می‌گیرد.

۱-۳-۴- تخریب و جداسازی

تقریباً نیمی از تجهیزات از رده خارج شده در غرب اروپا قطعه قطعه شده و متعاقباً به گروه‌های مختلفی از مواد تجزیه می‌شوند، بدون اینکه نیازی به از بین بردن آن‌ها باشد. عملیات تخریب معمولاً به چندین دلیل انجام می‌شود (Boks, 2002):

- بازیافت مناسب اجزا و مواد خطرناک، حذف اجزای خطرناک که معمولاً به وسیله قوانین زیست محیطی تبیین می‌شوند؛
- بازیافت اجزای ارزشمند، مانند کارت‌های ویدئو، موتورهای الکتریکی یا اجزای کامپیوتر شخصی، تخته مدارهای چاپی که معمولاً به خاطر داشتن فلزهای بسیار ارزشمند تخریب می‌شوند؛
- حذف قسمت‌های ناخواسته، گاهی وجود این اجزا به طور قابل ملاحظه‌ای سرعت انجام عملیات بازیافت را کاهش می‌دهد یا تمرکز بر روی فلزات مورد هدف را بر هم می‌زند. به عنوان مثال می‌توان از پلاستیک‌های بزرگ موجود در لوازم خانگی نام برد.

شکل ۱۰ جریان مواد در عملیات جداسازی و تخریب را نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل مشخص است، ضایعات تجهیزات الکتریکی تخریب شده و مواد خطرناک (باتری‌ها، خازن‌ها، اجزای دارای عنصر جیوه و ...)، اجزای ارزشمند (تخته مدارها، کابل‌ها و ...) و قطعاتی که مورد نیاز نیستند (پلاستیک‌ها و ...) جدا می‌شوند؛ و در نهایت قطعه قطعه شده و رفتار مناسب برای بهره‌برداری و بازیافت بر روی آن‌ها انجام می‌شود.



شکل ۱۰) جریان مواد در مرحله جداسازی و تخریب ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (Boks, 2002)

عملیات تخریب دستی هنوز در عمل بر روش‌های مکانیزه غالب است و تخریب اتومات و یا نیمه اتومات کماکان چالشی بزرگ برای صنعت بازیافت محسوب می‌شود.

به طور کلی زمان مورد نیاز برای تخریب و جداسازی مواد آلاینده و هزینه‌های پیرو آن وابسته به دقت نمایش اجزای ارزشمند، ناخواسته و خطرناک است. دو مؤلفه اول با توجه به مشوق‌های اقتصادی معمولاً با دقتی بالا انجام می‌شوند. این در حالی است که موانع بازدارنده اقتصادی برای تخریبی کامل و خوب وجود دارد، به آن دلیل که رسیدن به درجه بالایی از جداسازی آلاینده‌ها نیاز به تلاش فراوان دارد. درجه جداسازی با توجه به اجزای تشکیل دهنده تجهیزات الکتریکی به صورت قابل توجهی تغییر می‌کند و هیچ داده قابل اطمینانی نشان نمی‌دهد که بازیافت کننده می‌تواند ۱۰۰٪ عملیات بازیافت را انجام دهد.

جدول ۷ تخمینی از سهم مواد آلاینده نسبت به حجم مواد ورودی برای نتایج جداسازی آلاینده‌ها در گروه‌های ۱، ۲ و ۳ تجهیزات الکتریکی (رجوع شود به جدول ۱) در کشوری در اروپای مرکزی را نشان می‌دهد که به عنوان نمادی برای اهمیت پتانسیل موجود جریان مواد خطرناک به کار می‌رود (Kasser, 2006).

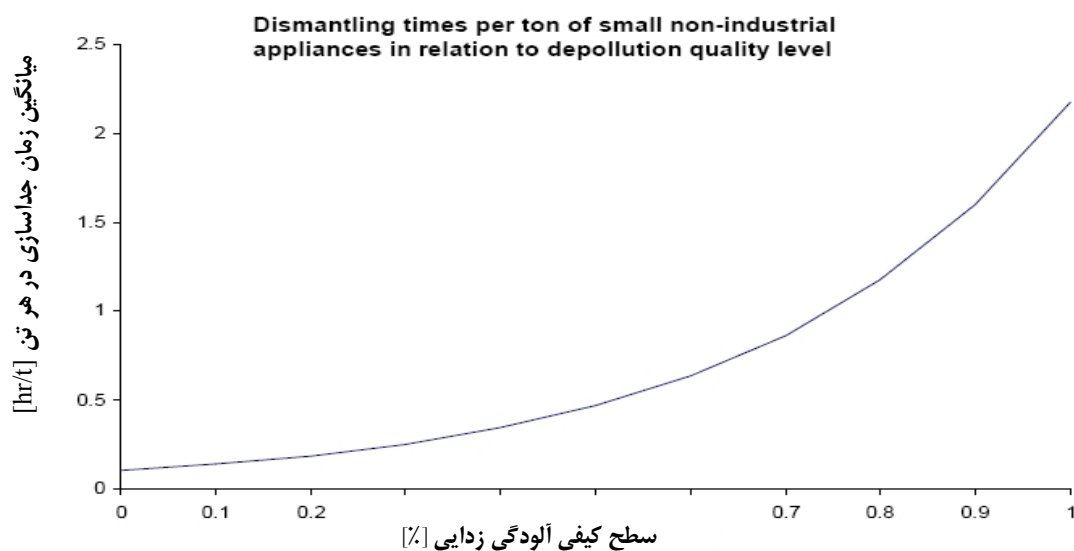
جدول ۷) تخمین نتایج درجه بیشینه جداسازی آلاینده‌ها در کشوری در اروپای مرکزی (Kasser, 2006)

تجهیزات بزرگ (i=1)	
توصیف اجزا	مقدار (سهم) [%]
اجزا جیوه‌ای	۰/۰۰۲
خازن‌ها (مشکوک در PCB)	۰/۶۳۶
خازن‌های الکترولیتی	۰/۲۴۰
روغن‌های انتقال حرارت (مشکوک در PCB)	۰/۰۱۰
روغن‌های انتقال حرارت	۰/۰۱۰
تجهیزاتی که دارای آزبست (آزاد) هستند	۱/۰۰۰
اجزایی که دارای آزبست هستند	۰/۱۰۰
تخته مدارهای چاپی (PCB)	۰/۲۰۰
تجهیزات بزرگ (i=2)	
خازن‌ها (مشکوک در PCB)	۰/۱۶۰
تجهیزاتی که دارای آزبست (آزاد) هستند	۰/۰۳۶۰
اجزای جیوه‌ای	۰/۰۸۰
باتری‌ها	۲/۰۰۰
سایر ضایعات خطرناک	۰/۱۰۰
تجهیزات سرد کننده و یخ‌ساز (i=3)	
آب مقطر	۰/۳۳۰
اجزا جیوه‌ای	۰/۰۱۰۵۰
خازن‌های مشکوک در PCB	۰/۰۰۱۰
R11+ R12 (step 2)	۰/۵۴۶
R12+ R22+ R502 (step 1)	۰/۲۲۸

تلاش‌ها برای افزایش درجه جداسازی آلاینده‌ها تابعی خطی از درجه کیفیت آن نیست. بعضی اجزای خطرناک به صورت ساده شناسایی شده و جدا می‌شوند در حالی که بعضی به ندرت شناسایی شده یا

باعث سختی‌های بی‌شماری به هنگام جداسازی می‌شوند. آلودگی زدایی این دسته به زمان قابل توجهی برای نمایش و کنترل زباله و پیرو آن به تخصص بالای جدا کننده نیز نیاز دارد. در اصل، توابع هزینه عملیات جداسازی به صورت نمایی هستند که اغلب شامل مدت زمان لازم برای انجام عملیات جداسازی بوده که این مؤلفه کاملاً وابسته به درجه کیفیت جداسازی می‌باشد.

شکل ۱۱ مثالی از تابع میانگین مدت زمان لازم برای انجام عملیات جداسازی برای یک وسیله غیرصنعتی را در ارتباط با درجه کیفیت جداسازی نشان می‌دهد که با توجه به تخمین کارشناسان به دست آمده است (Huisman, 2003; Walther, 2005).



شکل ۱۱) ارتباط میانگین زمان جداسازی و درجه کیفیت آن (Walther, 2005)

همان گونه که شکل نشان می‌دهد هر چه به صورت میانگین زمان بیش‌تری برای جداسازی صرف شود درجه کیفیت آن به صورت نمایی افزایش می‌یابد. به عنوان مثال اگر با صرف زمان نیم ساعت درجه کیفیت جداسازی حدود ۵۰٪ به دست آید، با صرف زمان بیش از چهار برابری (بیش از دو ساعت) کیفیت جداسازی به نزدیک ۱۰۰٪ افزایش می‌یابد که در نتیجه باعث افزایش شدید هزینه‌ها در سیستم مالی خواهد شد. باید این نکته را مورد توجه قرار داد که این فعالیت‌ها در یک کارخانه بازیافت انجام می‌شود که معمولاً دارای هزینه‌های سربار نیز بوده و هزینه‌های ثابت دیگر نیز وجود دارند. اهمیت و مدل این

هزينه‌ها در بخش بعدي با معرفي نمونه اوليه يك قرارگاه ضايعات تجهيزات الكتريكي و الكترونيكي نمايش داده مي‌شود.

۱-۳-۵- خرد كردن و جداسازي

ضايعات الكترونيكي تركيبی بسيار پيچيده از فلزات اساسی و پلاستيك‌ها هستند. بعد از تخریب و جداسازی اجزاء، ضايعات به قطعات كوچك خرد مي‌شوند. بيش‌تر مراكز بازيافت عمليات خرد كردن را به وسيله دستگاه‌های خردكننده بزرگ مانند چكش‌های آسيابي بزرگ و ماشين ابزارهای خردكننده قوي انجام مي‌دهند.

تكنولوژی‌های جداسازی بر پايه خواص ويژه مواد يا ذرات ضايعاتی خرد شده شكل گرفته‌اند. تكنولوژی‌های مدرن تخریب اغلب تركيبی از هر دو روش هستند. مثال‌هایی برای تكنيك‌های مرتب كردن ذرات ويژه، غربال كردن، جداسازی با هوا، جداسازهای مغناطيسي، ابزار شناورسازی و جداسازهای با جريان Eddy هستند. در اين ميان مرتب‌سازی نوری روز به روز توجه بيش‌تری را به خود جلب مي‌كند. برای مدل‌سازی مالي بخش خرد كردن و جداسازی ضايعات، يك مركز بازيافت با تجهيزات پايه‌ای و ساختار مديريتي حمايتی به عنوان پيش فرض در نظر گرفته شده است كه اجازه تحليل درآمد و هزينه نسبتاً دقيق را مي‌دهد.

فاكتور اقتصادي مهم در يك مركز بازيافت، بهره‌برداري از ظرفيت طراحی شده است. در عمل، مقدار زيادی از لوازم برقی خانگی بزرگ هنوز به وسيله ماشين آلات خردكننده تکه تکه مي‌شوند، در حالی كه موارد ديگر شامل تجهيزات گروه‌های ۲ و ۴ (رجوع شود به جدول ۱) در مراكز تخصصی تحت عمليات قرار مي‌گيرند. در مدل سيستمي مورد بحث، ميانگين بهره‌برداري از ظرفيت، بر پايه چگونگی بهره‌برداري عملياتی از ظرفيت مركز و مقدار زباله در دسترس هر مركز برای بازيافت مواد، تعريف شده است. ظرفيت مركز می‌تواند بر پايه پارامترهای اجرائی محاسبه شوند كه به ظرفيت تجهيزات خردكننده، مقدار و طول شيفت‌ها در يك هفته، تعداد روزهای سال، در دسترس بودن مركز و ميزان مواد ورودی هر بخش بستگی دارد.

جدول ۸ محاسبه ظرفيت يك مركز كه قادر به عمليات بازيافت ضايعات تجهيزات الكتريكي و الكترونيكي گروه‌های ۱، ۲ و ۴ (رجوع شود به جدول ۱) هست را بر پايه پارامترهای اصلی اجرائی نمايش مي‌دهد.

جدول ۸) پارامترهای پایه‌ای اجرا (محاسبات ظرفیتی) برای یک مرکز بازیافت (Huisman, 2003; Walther, 2005)

محاسبات ظرفیتی پایه		
ظرفیت خط خردکن	تن در ساعت	۸/۵۰
درصد مواد ورودی خردکن	%	۸۰
کل ورودی مواد	تن در ساعت	۱۰/۶۲۵
تعداد روز کاری در سال	روز	۲۴۸
تعداد ساعت کاری در هر شیفت	ساعت	۸
تعداد شیفت کاری بخش خردکن	شیفت در روز	۳
تعداد ساعت کاری در سال	ساعت در سال	۵۹۵۲
در دسترس بودن امکانات (با توجه به توقف‌ها، سرویس و ...)	%	۹۰
ساعات مؤثر کاری در سال	ساعت در سال	۵۳۵۶/۸۰
ظرفیت سالانه امکانات	تن	۵۶۹۱۶

همان طور که در جدول مشخص است در صورتی که ظرفیت تجهیزات خردکننده ۸/۵ تن در ساعت باشد و تجهیزات ۸۰٪ ورودی را خرد کنند، نیاز به ۱۰/۶۲۵ تن ورودی است. اگر مرکز ۲۴۸ روز در سال و هر شیفت ۸ ساعت و به صورت سه شیفت فعال باشد و در ۹۰٪ موارد مرکز، تجهیزات و امکانات آن در دسترس بوده و قابلیت کار داشته باشد، زمان مؤثر فعالیت ۵۳۵۶/۸ ساعت در سال بوده و در نتیجه ظرفیت یک مرکز با امکانات اولیه و پایه ۵۶،۹۱۶ تن در سال خواهد بود که مدل اقتصادی مورد بحث بر اساس این ظرفیت گسترش می‌یابد.

دسته‌های اصلی هزینه و درآمد مربوط به عملیات بازیافت ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در یک قرارگاه عبارتند از استهلاك سرمایه‌گذاری‌ها، هزینه‌های مالی، هزینه‌های ثابت، هزینه‌های متغیر عملیات و هزینه‌های مربوط به از رده خارج کردن مواد، در مقابل منابع درآمد، پاداش‌های سرویس‌های بازیافت و درآمدهای ثانویه از فروش مواد می‌باشند. اهمیت هر دسته به چندین تصمیم استراتژیک بستگی دارد، به عنوان نمونه می‌توان از استراتژی مالی (خرید یا اجاره)، یا چگونگی انجام عملیات و یا تطابق اندازه ماشین آلات با مکانی که ماشین آلات مورد نیاز در آنجا قرار می‌گیرند، نام برد.

جدول ۹ سرمایه‌گذاری، استهلاك و هزینه‌های مالی مربوط به عملیات قرارگاه بازیافت که بنا بر داده‌های Huisman, 2003; Walther, 2005 مورد تحلیل قرار گرفته است، را نشان می‌دهد (با امکانات پایه‌ای یاد شده در جدول ۸). همان گونه که جدول نشان می‌دهد با در نظر گرفتن ۶/۰۹ میلیون یورو سرمایه‌گذاری بر روی ایستگاه بازیافت شامل ماشین آلات، حقوق انجام عملیات، زمین و اجاره آن،

ساختمان‌ها، کارگاه‌ها و ابزار انجام عملیات و در نظر گرفتن ۱۸٪ به عنوان میانگین هزینه سرمایه، مجموع هزینه‌های مالی ۱,۰۹۶,۲۰۰ یورو خواهد بود که با در نظر گرفتن روش استهلاک خطی برای ماشین آلات، ساختمان‌ها، کارگاه‌ها و ابزار کار و اجاره‌های مربوطه هزینه سالیانه سرمایه‌گذاری و مالی ۲,۳۸۹,۹۵۰ یورو خواهد بود.

جدول ۹) سرمایه‌گذاری و هزینه‌های مالی یک قرارگاه بازیافت (Huisman, 2003; Walther, 2005)

امکانات پایه		
۴۵۰۰۰۰	€	سرمایه‌گذاری ماشین آلات
۴۰۰۰	€	هزینه‌های طراحی و اخذ مجوزهای لازم
۵۰۰۰	€	هزینه‌های مونتاژ
۸	سال	دوره استهلاک
۵۷۳۷۵۰	€	هزینه استهلاک سالانه امکانات پایه با روش خطی
املاک و مستغلات		
۱۵۰۰۰	مترمربع	زمین لازم
۳۶	€	هزینه اجاره سالانه زمین و برای هر متر مربع
۵۴۰۰۰۰	€	هزینه سالانه کل زمین
دفاتر و ساختمان‌های کارگاهی		
۲۰۰۰۰۰	€	سرمایه‌گذاری دفاتر و اجتماعات
۱۰۰۰۰۰۰	€	سرمایه‌گذاری ساختمان‌های کارگاهی
۱۵	سال	دوره استهلاک
۸۰۰۰۰	€	هزینه سالانه دفاتر و ساختمان‌های کارگاهی
تجهیزات کاری		
۲۵۰۰۰۰	€	لیفت تراک، جرثقال‌ها و سایر تجهیزات حمل و نقل (جعبه، کانتینر و ...)
۳۰۰۰۰	€	تجهیزات EDV
۲۰۰۰۰	€	سایر
۳	سال	دوره استهلاک
۱۰۰۰۰۰	€	هزینه سالانه تجهیزات کاری
۶۰۹۰۰۰۰	€	سرمایه‌گذاری کل
هزینه‌های سرمایه‌گذاری		
٪۱۸		WACC
۱۰۹۶۲۰۰	€	هزینه‌های مالی
۲۳۸۹۹۵۰	€	هزینه‌های سالانه مالی و سرمایه‌ای

جدول ۱۰ اهمیت این ایده که در سیستم مالی مورد بحث (جداول ۸ و ۹) سایر هزینه‌های ثابت و مجموع هزینه‌های متغیر عملیات نیز برجسته هستند، را نشان می‌دهد. این هزینه‌ها مجدداً تحت تأثیر چگونگی انجام عملیات و کارایی جریان مواد در داخل قرارگاه می‌باشند. همان گونه که مشاهده می‌شود، هزینه داشتن کارمندهای اجرایی متخصص شامل مدیریت بازرگانی، فنی، تضمین کیفیت، مکانیک و معاون دفتری ۲۷۷,۰۰۰ یورو بوده و هزینه نگهداری و بیمه ۳۳۳,۶۰۸ یورو به دست می‌آید که در مجموع هزینه‌های ثابت را به میزان ۶۱۰,۶۰۸ یورو افزایش می‌دهد و بنا بر داده‌های تحلیلی هزینه‌های متغیر اجرایی نیز ۳۷/۱۷ یورو به ازای هر تن ضایعات ورودی به دست می‌آید.

جدول ۱۰) سایر هزینه‌های ثابت و هزینه‌های متغیر عملیاتی یک قرارگاه بازیافت (Huisman, 2003; Walther, 2005)

هزینه کارکنان اداری		
۱۰۰۰۰۰	€	۱ مدیر (بازرگانی)
۷۰۰۰۰	€	۱ مدیر (فنی)
۴۲۰۰۰	€	۱ تضمین کیفیت
۳۵۰۰۰	€	۱ مکانیک
۳۰۰۰۰	€	۱ منشی
۲۷۷۰۰۰	€	هزینه کل سالانه کارکنان اداری
تعمیر و نگهداری و بیمه		
۱۲۹۶۰۸	€	هزینه‌های بیمه
۲۰۴۰۰۰	€	کل هزینه‌های ثابت تعمیر و نگهداری (غیرعملیاتی)
۶۱۰۶۰۸	€	کل هزینه‌های ثابت بیمه و تعمیر و نگهداری
۳۴/۰۱	€/t	هزینه‌های متغیر کارکنان
۳/۱۵	€/t	سایر هزینه‌های متغیر عملیاتی
۳۷/۱۶	€/t	کل هزینه‌های متغیر

۱-۳-۶- فرآیندهای فرعی

فرآیندهای فرعی و گزینه‌های به کارگیری مجدد مواد بعد از خرد کردن و جداسازی مواد اولیه در سال‌های اخیر چندین برابر شده‌اند. برای ارائه یک دیدگاه کلی، بخش‌های زیر را می‌توان با مبنای فروش محصولات تولیدی در قرارگاه‌های بازیافت، بررسی نمود:

- فلزات آهنی در ذوب فلزات به کار می‌روند. قراضه‌های فولادی می‌توانند در کوره‌های الکتریکی ذوب مجدد شده و در تولید شمش و یا قطعات به شکل مستقیم و یا غیرمستقیم به کار گرفته شوند. نکته حایز اهمیت طبقه‌بندی این قراضه‌ها بر مبنای ترکیب شیمیایی است، زیرا می‌توانند دارای قیمت‌های متفاوتی باشند.
- مقصد آخر اکثر فلزات غیرآهنی، ذوب کنندگان و ریخته گران مس، آلومینیوم، روی و سرب هستند. پیش از ورود به تکنولوژی نهایی، بر روی فلزات غیرآهنی فرآیندهای متمرکز بیش‌تری انجام می‌شوند. آلومینیوم معمولاً به شکل قراضه مورد استفاده قرار می‌گیرد و در صنایع ریخته گری به شکل مستقیم به کار گرفته می‌شود و یا تبدیل به شمش شده و وارد چرخه بعدی تولید می‌شود. کابل‌های مسی لخت می‌شوند تا مس قابل بازیابی شود.
- بازیافت کنندگان به شکل تخصصی تکنولوژی‌های متفاوتی را برای جداسازی انواع مختلف فلزات سنگین به کار می‌گیرند. این تکنولوژی‌ها کاملاً پیچیده بوده و نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان است و معمولاً تأمین سرمایه آن به شکل مشترک بین کشورها انجام می‌شود. در این مرحله فلزات گران بها نظیر نقره، طلا، پالادیم و مس و غیره از یکدیگر جدا شده و بازیافت می‌شوند.
- شیشه، می‌تواند به چندین مدل بهره‌برداری شود. گزینه غالب، بازیافت مستقیم شیشه به شیشه و بهره‌برداری از آن در ذوب سرب به خاطر مقدار قابل توجه میزان سرب آن می‌باشد. به علاوه، شیشه می‌تواند به عنوان جایگزین در صنعت سرامیک یا شن در صنعت ساختمان‌سازی به کار برده شود.
- پلاستیک‌ها می‌توانند برای تولید متانول بازیافت و یا سوزانده شوند. بازیافت مواد در این مرحله نیاز به جداسازی پلاستیک‌ها و مرتب‌سازی انواع مختلف آن‌ها دارد. قابل ذکر است که فرآیند اتومات بازیافت مواد پلاستیک تنها به وسیله تعداد اندکی از شرکت‌ها به صورت بهینه انجام می‌شود. گرچه، شرایط حال حاضر اقتصاد، قشر گسترده‌ای از تکنولوژی‌ها را تشویق به بازیافت پلاستیک در مرحله مواد می‌کند.
- مواد پرخطر که در مرحله تخریب جدا شده‌اند بازیافت یا سوزانده می‌شوند و یا در زمین‌های خاص مدفون می‌شوند. به عنوان نمونه، باتری‌ها و جیوه بازیافت شده، پنبه‌های نسوز سوزانده شده و خازن‌ها مدفون می‌شوند.

هزینه‌های از رده خارج کردن مواد mdc_i و درآمد حاصل از مواد بازیافتی smr_i برای یک بازیافت کننده اولیه به خروجی تولید شده به ازای هر تن ورودی بستگی دارد. میانگین هزینه‌های از رده خارج کردن به ازای هر تن ورودی $amdc_i$ و میانگین درآمدهای حاصل از مواد $asmr_i$ در هر گروه از تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی i به وسیله سهم خروجی هر بخش k ، $fms_{i,k}$ و میانگین قیمت از رده خارج کردن fp_k برای محاسبه هزینه و قیمت مواد بازیافتی fpp_k برای محاسبه در آمد به دست می‌آید که این موضوع در فرمول‌های زیر خلاصه شده‌اند (Kasser, 2006).

$$amdc_i = \sum_k fms_{i,k} \cdot fp_k$$

$$asmr_i = \sum_k fms_{i,k} \cdot fpp_k$$

مقدار مواد بازیافتی از بخش‌های مختلف ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی متفاوت هستند، به دلیل آنکه مشخصات ورودی هر بخش با بخش دیگر متفاوت بوده و استراتژی‌های فرآیند نیز متفاوتند. جدول ۱۱ (Kasser, 2006)، تخمینی از خروجی‌های مورد انتظار برای یک مرکز بازیافت مواد برای بخش‌های ۱، ۲ و ۳ تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (رجوع شود به جدول ۱) در اروپای مرکزی را نمایش می‌دهد، که با توجه به فرمول‌های فوق و به کارگیری ضرایب به دست آمده در جدول زیر می‌توان هزینه‌های مربوطه و درآمدهای حاصل از فروش آن‌ها را به دست آورد.

جدول ۱۱) تخمین میانگین خروجی به ازای هر تن ورودی در اروپای مرکزی (Kasser, 2006)

خروجی بر حسب هر تن ورودی در بخش $i=1$	
اجزا	سهم (%)
فلزات آهنی	۶۲/۱
فلزات غیر آهنی	۲/۱
کابل	۰/۴۸۴
موتور (با سیم پیچ مسی)	۳/۱۰۶
فلزات سنگین	۳/۴
پلاستیک (با کیفیت تعریف شده)	۰/۰
فولاد ضد زنگ	۴/۶
مواد غربال یا توری	۸/۵
اجزا سبک خرد شده	۶/۴۸
ضایعات باقی‌مانده	۸/۵۵۲

ادامه جدول ۱۱) تخمين ميانگين خروجي به ازاي هر تن ورودی در اروپای مرکزی (Kasser, 2006)

خروجی بر حسب هر تن ورودی در بخش $i=2$	
۸/۰	ضايعات باقي مانده
۶/۳۵	اجزا سبك خرد شده
۱/۰	تخته مدار چاپی (PCB)
۱/۸	كابل
۲۹/۷۸	فلزات آهنی
۳/۸۴۵	فلزات غير آهنی
۳۲/۵	پلاستيك
۱۵/۰۵	ترانسفورمر، موتور و ساير قطعات حاوی فلزات
۱/۲۵	فولاد ضد زنگ
خروجی بر حسب هر تن ورودی در بخش $i=3$	
۴۷/۰	فلزات آهنی (با خلوص $> 99\%$)
۵/۴	آلومينيم / مس
۲۱/۳۲	كمپرسور
۰/۳۸	سيم و كابل
۰/۴۸	روغن
۱۲/۴۵۹	پلاستيك (تقريباً ۸۰٪ پلی استيرن)
۹/۷۶	فوم عايق بندی
۱/۵۶	اجزا غير قابل بازیافت (غذاهای باقي مانده)
۰/۱۷	پشم شیشه

اجرت انجام خدمات بازیافت بستگی به طرف قراردادی دارد که این خدمات را بنا بر قرارداد انجام می دهد. برای اهداف مورد نظر، میانگین اجرت انجام خدمات بازیافت معمولاً به عنوان یک باقی مانده از تمامی متغیرهای تعريف شده ديگر است که با به کارگیری میانگین وزنی هزینه کارکرد سرمايه صنعت به دست می آید. طراحی دقيق آن بستگی به مسؤليت های مالی بازیگران مختلف زنجيره ارزش و طراحی خط مشی آن ها دارد. هر چند که نیاز است ابزار لازم برای خط مشی های مختلف شناخته و تحليل شوند. در بخش بعد این موضوع به صورت روشن تر مورد تحليل قرار می گیرد.

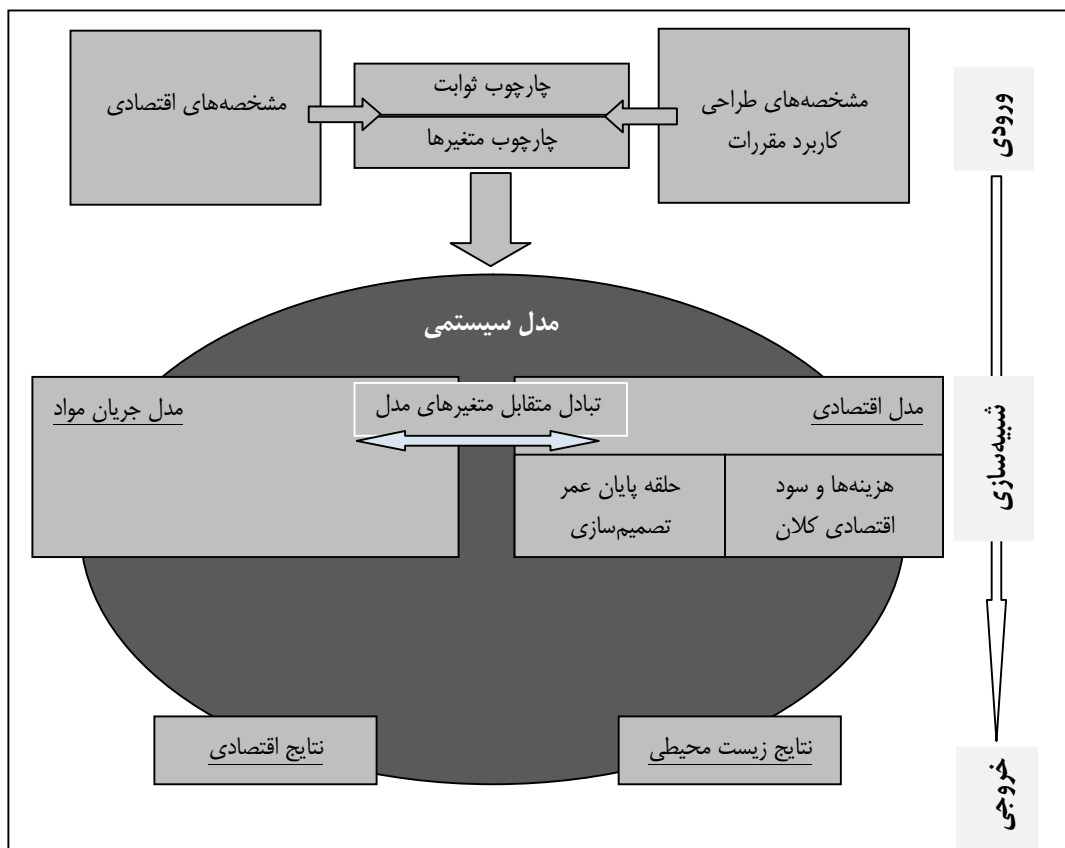
۲- مدل سیستمی

در بخش قبل جریان کامل لوازم الکترونیکی در طول چندین مرحله چرخه زندگی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و از آن به عنوان بنیان سیستم‌های بازیافت تجهیزات الکترونیکی یاد شد و بعد از آن با توجه به فعالیت‌ها، جریان مواد و زنجیره ارزشی بازیافت جریان‌های مالی درگیر در فرآیند بازیافت تحلیل شد تا ساختار اقتصادی مورد نظر به دست آید.

با توجه به یافته‌های بخش قبل نیاز است که این دو مدل یعنی جریان کامل مواد و مدل اقتصادی در کنار هم و به صورت یکپارچه تحلیل شده تا مدل به صورت سیستمی شکل گیرد و نتایج اقتصادی و زیست محیطی مورد نظر حاصل شود.

۲-۱- ساختار مدل

جریان مواد و اقتصاد مربوط به آن در یک مدل سیستمی قابل توصیف است. این مدل از دو بخش مرتبط تشکیل می‌شود: یکی مدل جریان مواد و دیگری مدل اقتصادی است. هر مدل دارای چندین متغیر اساسی بر پایه زمان و قانون هستند. هر دو نیاز به یک ورودی در چارچوب پارامترها یا متغیرهایی دارند که در حقیقت همان مشخصات اقتصاد مورد تحلیل می‌باشند (به ۳-۲ رجوع شود) و یا به وسیله طراحی قوانین شبیه‌سازی شده‌اند (به ۴-۲ رجوع شود). علاوه بر آن، شبیه‌سازی به مبادله متغیرهای مدل بین مدل جریان مواد و مدل اقتصادی احتیاج دارد. نتایج زیست محیطی مانند مقدار مواد خطرناک بازیافت شده یا کارایی حلقه‌های مواد از مدل جریان مواد سرچشمه می‌گیرند. نتایج اقتصادی مانند جریان‌های مالی و هزینه‌های عمده برای رسیدن به این چنین جریان موادی از مدل اقتصادی به دست می‌آیند. شکل ۱۲ خلاصه‌ای از رویکرد مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲) ساختار مدل شبیه‌سازی شده (Bohr, 2008)

۲-۲- تمرکز مدل و محدودیت‌ها

- شبیه‌سازی‌ها بنا بر قوانین مختلف و ارزش اطلاعاتی آن‌ها محدود می‌شوند و بر شاخص‌های کلیدی خاصی تمرکز می‌کنند. اثرات به کارگیری رویکردهای قانونی مختلف در مدل ذکر نشده است. مدل مورد بحث:
- قادر به شبیه‌سازی اثرات پویای رقابت در طول زمان نمی‌باشد؛
 - مزایای تصمیم‌گیری غیرمتمرکز در جمع‌آوری و حمل و نقل برای رویکردهای مختلف را اندازه‌گیری و یا منعکس نمی‌کند؛
 - میزان هزینه‌های تراکنش تحت طراحی یک قانون خاص را اندازه‌گیری و یا منعکس نمی‌کند؛
 - بازیگران ناهمگن در محدوده پایان عمر را مشخص نمی‌کند؛
 - بازخوردهای پویا در شبیه‌سازی مواد را شامل نمی‌شود.

۲-۳- مشخصات اقتصاد تحلیل شده

اقتصاد بازیافت مواد از ضایعات الکترونیک با مشخصه‌هایی زیر معرفی می‌شوند:

- اندازه؛
 - مساحت؛
 - تعداد بازیگران دارای امکانات بازیافت؛
 - چگالی نقطه جمع‌آوری که نمایانگر درجه زیربنای جمع‌آوری است؛
 - سهم حجم ضایعاتی که از طریق گزینه‌های مختلف جمع‌آوری (رجوع شود به شکل ۷) به ایستگاه بازیافت انتقال می‌یابند؛
 - فاکتور انحراف که درجه زیر ساخت جاده‌ای را نشان می‌دهد؛
 - نرخ هزینه کارگر که نرخ دستمزد را در اقتصاد برای نیروی کار با تخصص کم در عملیات صنعتی مشخص می‌کند؛
 - میانگین هزینه سرمایه مربوط به صنعت خاص که نمایانگر قدرت رقابت در اقتصاد است.
- به علاوه، پارامترهای اقتصادی خاص مانند قیمت زمین، اجاره، انرژی، هزینه‌های مالی یا مالیات خاص هر کشور وجود دارند که به صورت ضمنی آشکار نشده‌اند و جزئیات آن در اصول ساختارهای هزینه و درآمد قرارگاه‌های بازیافت قرار می‌گیرند.
- مشخصات لازم برای تحلیل اقتصادی یک قرارگاه بازیافت در ضمیمه «الف» آمده است.

۲-۴- مشخصات طراحی قانون به کار گرفته شده

رسیدن به توسعه پایدار به عنوان یکی از مشکلات بنیادی قرن ۲۱ شناخته شده است. در زمینه اکولوژی صنعتی، کارهای ابتدایی نشان می‌دهند که نقش مشارکت چرخه اقتصادی در صنعت الکترونیک در توسعه پایدار کاملاً حیاتی است. محصولات الکترونیکی از رده خارج شده رشد حجم ورودی‌های سمی و خطرناک را به زباله‌ها به شدت افزایش می‌دهند و تولید محصولات جدید نیز تقاضای زیادی از منابع اولیه را روانه بازار می‌کند. بنابراین بستن چرخه‌های مواد و رفتار مناسب با مواد خطرناک دو جنبه کلیدی هستند که نیاز به داشتن قوانین خاص را در این ارتباط برجسته می‌کند.

مدیریت ضایعات، متمرکز بر یافتن بهترین گزینه‌های بازیافت زباله‌ها است و به شکل کلی تمرکز مدیریت در مکانیزم دریافت و پرداخت منعکس می‌شود. به عنوان نمونه اگر یک روش مناسب بازیافت پیشنهاد شود، پیشنهاد کننده مقدار بیش‌تری ورودی دریافت کرده و یا پول بیش‌تری برای انجام عملیات بازیافت دریافت می‌کند و یکی از اهداف مدیریت ضایعات ارتقاء کیفیت فرآیند بازیافت و تکمیل آن است. میزان کیفیت آلودگی زدایی، نرخ بازیافت و درجه استفاده مجدد مواد از معیارهای مهم کیفیت فرآیند بازیافت هستند. چنین معیارهایی اصولاً با توجه به خروجی فرآیند بازیافت مشخص می‌شوند. برای همین موضوع باید به دنبال ابزار مناسب بود تا هم میزان کیفیت بازیافت و نرخ آن را بالا برده و هم بیش‌ترین درآمد را به دست آورد که این ابزار در چارچوب قوانین خاص معرفی می‌شوند.

دو نوع قانون در این مدل می‌توانند به کار گرفته شوند: یکی رویکرد دستور و کنترل (C&C) است و دیگری روش گواهینامه‌های بازیافت مواد (MRC) که قابل معامله هستند. هرکدام از این رویکردها نیاز به تحلیل و بررسی جداگانه دارند که توضیح جامع آن نیازمند تحقیقی جداگانه بوده و خارج از بحث مربوط به این تحقیق است.

به طور خلاصه می‌توان گفت روش C&C نرخ‌های بازیافت و درجه آلودگی زدایی را نمایان می‌کند. پاداش خدمات بازیافت بر اساس میزان ضایعات ورودی پرداخت می‌شوند. این رویکرد با تلاش‌هایی که برای کنترل کیفیت و محدوده آن و همچنین نمایش و اندازه‌گیری آن صورت می‌گیرد به صورت روشن‌تر مشخص می‌شود. اروپا یک نمونه کامل برای این روش است که سال‌ها است این قانون را به کار می‌گیرد. هدف اصلی عبارت است از «جلوگیری، استفاده مجدد، بازیافت و یا به کارگیری روش‌های دیگر بازیافت ضایعات الکتریکی و الکترونیکی تا بتوان میزان از بین رفتن ضایعات را کاهش داد».

رهنمود بر پایه افزایش مسئولیت تولید کننده شکل می‌گیرد. به طور اساسی، تولید کنندگان و یا نمایندگان آن‌ها مسئول بنا نهادن برنامه‌های جمع‌آوری و اطمینان از رفتار مناسب با ضایعات در این قانون هستند. علاوه بر آن، طراحی و تولید مناسب محصولات الکتریکی نیز به شدت تشویق می‌شود تا استفاده مجدد، تخریب و بازیافت ضایعات از این محصولات راحت‌تر شود. باید فرصت‌هایی برای مصرف کنندگان مهیا شود تا بتوانند بدون هیچ هزینه‌ای ضایعات را به مراکز مخصوص بازیافت انتقال دهند و توزیع کنندگان باید برگرداندن محصول را بپذیرند اگر یک وسیله جدید از همان نوع خریداری می‌شود. تولید کنندگان موظفند بنا بر این قانون، حداقلی را برای نیازهای مالی جمع‌آوری، تخریب و بازیافت

ضایعات در روشی مناسب با محیط زیست پردازند و هر تولیدکننده مسئول مهیا کردن نیازهای مالی مربوط به عملیات بازیافت محصولات خود است.

حال آن که MRC بر پایه خروجی تولید شده بوده و بر این اساس درآمد عملیات بازیافت به دست می‌آید. بازیافت کننده، گواهینامه‌های بازیافت مواد را به جهت انجام عملیات مالی بیش‌تر برای فعالیتش به کار می‌برد و این گواهینامه‌ها را برای میزان مشخصی از مواد بازیافتی صادر و یا می‌فروشد. گواهینامه‌های بازیافت مواد (MRC) از این ایده شکل گرفته‌اند که خدمات واقعی بازیافت به وسیله درجه کیفیت فرآیند، عمق انجام عملیات بازیافت کننده (چه مقدار از مواد ورودی به حلقه استفاده باز می‌گردد و در چه مرحله‌ای از به کارگیری مجدد قرار می‌گیرد) و به وسیله انجام آلودگی زدایی، از ورود مجدد چه مقدار از مواد ضایعاتی خطرناک به اکوسیستم جلوگیری شده است. روش MRC بر اساس لنگرگاه‌های مواد حاصل از انجام عملیات بازیافت نمایان می‌شود که شامل یک سری فاکتورهای امتیاز دهی است که به ازای هر تن خروجی تولید شده مشخص می‌شوند. تعیین نقاط لنگرگاه MRC در سیستم مواد حاصل از بازیافت و مقداردهی فاکتورهای امتیازدهی با این ملاحظات شکل می‌گیرند: در کجای سیستم، مواد به راحتی می‌توانند تعقیب شوند و از کدام نقطه می‌توان مطمئن شد که مواد وارد تکنولوژی نهایی مقصد می‌شوند؟ در کجا استراتژی‌های به کارگیری مجدد، جذاب، اقتصادی و بنا نهاده شده، وجود دارند و در کجا مشوق‌های اضافی نیاز هستند تا بازیافت کنندگان را مجبور به بازیافت مواد در روشی مناسب با محیط زیست کنند؟ مواد از طریق لنگرگاه‌های مطمئن جریان می‌یابند و در نتیجه به وسیله بازیافت کنندگان قابل پیگیری بوده تا بتوانند گواهینامه‌ها را صادر کنند. تعداد گواهینامه‌ها به وسیله فاکتورهای امتیاز دهی و حجم آن برای هر قسمت تعیین می‌شوند. به صورت ایده‌آل، فاکتورهای امتیازدهی به گونه‌ای انتخاب می‌شوند تا دیده بانی ممکن شده و به صورت مناسبی قابل اجرا شود به طوری که آلودگی زدایی نسبتاً کامل انجام شده، بازیافت مواد خطرناک تحریک و نرخ‌های بازیافت بالا رود. هدف از این فاکتورهای امتیاز دهی نه تنها اهداف زیست محیطی بوده بلکه به گونه‌ای تنظیم می‌شوند تا سود حاصل را بیشینه کرده و درجه استاندارد آلودگی زدایی و بازیافت مواد را نیز افزایش دهند.

۲-۵- مدل جریان مواد

مدل جریان مواد در بخش اول شرح داده شد. این مدل اهمیت موجودی، جریان و توسعه آن در طول زمان را نشان می‌دهد. مدل، جریان مواد را از نقطه فروش، در فاز مصرف و تا سرنوشت پایان عمر آن در طول زمان نشان می‌دهد و اجازه می‌دهد تا بتوان تأثیر قانون به کار گرفته شده را بر روی متغیرهای کلیدی سیستم بازیافت ضایعات تجهیزات الکترونیکی تحلیل کرد. شکل‌های ۴ و ۵ در بخش اول این مدل را به صورت کامل نمایش می‌دهند.

هر متغیر مدل یا به صورت داخلی و یا خارجی برای هر برهه یک ساله از زمان تعیین می‌شود. یک متغیر داخلی بر پایه روابط تابعی تعیین می‌شود، حال آن که متغیرهای خارجی به صورت مستقل تنظیم می‌شوند. در محیط تجاری کنونی و در کشورهای توسعه یافته موفقیت این چنین تعریف می‌شود که بتوان به درجه بالایی از کیفیت آلودگی زدایی و نرخ پائینی از صادرات غیرمجاز رسید. بنابراین مدل بر این دو متغیر تکیه می‌کند. ضمیمه «ب» خلاصه‌ای از متغیرها و پارامترهای داخلی و خارجی را نشان می‌دهد. همان طور که قبلاً بحث شد، درجه کیفیت آلودگی زدایی و نسبت صادرات غیرمجاز موضوعات مهم تصمیم‌گیری در مورد سود مالی مورد نظر هستند.

۲-۶- مدل اقتصادی

اقتصاد زنجیره ارزشی بازیافت، با استفاده از مدل هزینه بر پایه فعالیت و به عنوان ابزار تعیین هزینه‌ها و درآمدها برای هر عملیات، در بخش اول مورد بحث قرار گرفت. شناخت ساختار هزینه و درآمد، به تصمیم‌سازی بهینه توسط بازیافت کنندگان و مدیران پایان عمر تجهیزات الکتریکی، تعیین درجه کیفیت آلودگی زدایی و نسبت صادرات غیرمجاز و همچنین نتیجه‌گیری در خصوص هزینه‌ها و درآمدهای گسترده اقتصادی در چارچوب مجموعه‌ای از پارامترهای خاص اقتصادی کمک کند.

مدل اقتصادی بر پایه فرض‌ها و شرایط زیر بنا شده است:

۱. تمامی بازیگران شامل بازیافت کنندگان و مدیران پایان عمر محصولات الکترونیکی دیدگاه یکسانی درباره شرایط چارچوب کاری داشته،
۲. استراتژی‌های رفتاری برابری را در یک مرکز بازیافت به کار گرفته؛
۳. در به دست آوردن اختیار بازیافت به صورت برابر موفق بوده و

۴. از نظر ساختار هزینه و درآمد و ظرفیت انجام عملیات شرایط مساوی دارند. این پیش شرطها این اجازه را می‌دهد تا بتوان میانگین هزینه هر تن و هزینه‌های گسترده اقتصادی را برای هر فعالیت به دست آورد. بدین ترتیب تنها کافی است که بازیافت کننده راجع به درجه کیفیت آلودگی زدایی و نسبت صادرات غیرمجاز تصمیم‌گیری نماید تا بتواند سود خود را بیشینه کند. همان طور که در بخش اول بحث شد عملیات جمع‌آوری، حمل و نقل، مرتب کردن، آلودگی زدایی و عملیات بازیافت به عنوان فعالیت‌های مجزا برای تحلیل اقتصاد کلان، شناسایی شده‌اند و می‌توان برای هر یک از این فعالیت‌ها هزینه مربوط به هر تن را محاسبه نمود و بر این اساس هزینه‌های اقتصادی نیز با توجه به جریان مواد در هر بخش تخمین زده می‌شوند.

۷-۲- نتایج زیست محیطی و اقتصادی

با توجه به مدل تعریف شده از نظر اقتصادی هزینه هر تن محصول بازیافت شده به صورت دقیق و عددی قابل تخمین بوده و از طرف دیگر نتایج زیست محیطی در کارایی حلقه بسته مواد منعکس شده و کاملاً وابسته به میزان بازیافت مواد خطرناک در اقتصاد مورد تحلیل است.

۳- نمونه مطالعه گروه لوازم خنک کننده و یخ‌ساز در آلمان

بخش اول گزارش نمای جامعی از چگونگی گردش مواد، سطوح سرمایه‌گذاری و هزینه‌های مربوطه و همچنین بازیافت ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را ارائه داد. با توجه به یافته‌های این بخش، بخش دوم، اصول لازم برای شبیه‌سازی دو مدل جریان کامل مواد و مدل اقتصادی در کنار هم و به صورت یک سیستم تعریف شدند و سپس دو رویکرد C&C و MRC برای انجام تحلیل‌های عددی به شکل مقدماتی و کلی معرفی شدند. حال لازم است تا با توجه به مطالب ارائه شده، خروجی‌های تحلیل عددی که نتایج حاصل از شبیه‌سازی است ارائه شوند. به عبارت دیگر این تحلیل بر پایه سیستم مدلی جامع و نتایج اثرات به کارگیری رویکردها با توجه به درآمدها و هزینه‌های به دست آمده و سایر فاکتورها مانند اشتغال زایی، زیست محیطی، ملی و اجتماعی است. بدیهی است انجام موفقیت آمیز این بخش از گزارش بر اساس مطالعات موردی و نمونه‌گیری بر پایه شرایط زیر امکان‌پذیر است:

الف: نمونه منتخب یکی از کشورهای موفق در زمینه جمع‌آوری و بازیافت ضایعات الکترونیک و الکتریک باشد؛

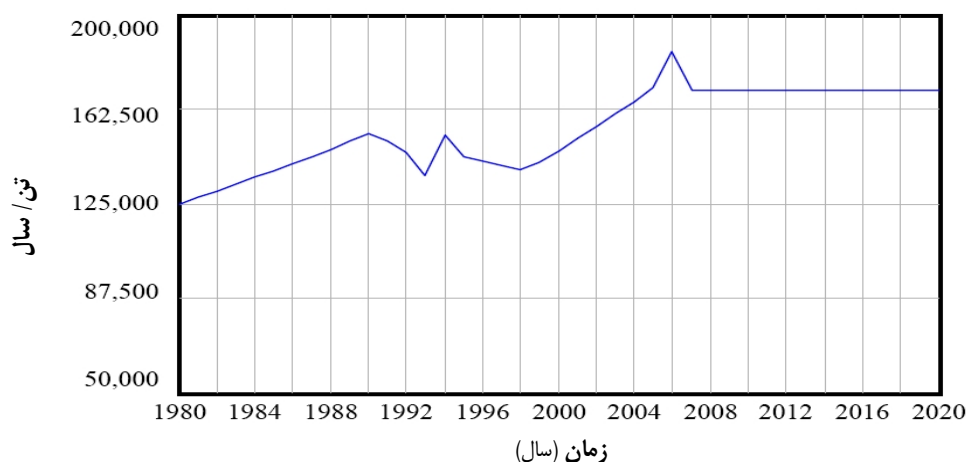
ب: کشور منتخب در اروپا قرار داشته باشد تا با سطوح هزینه‌ای و سرمایه‌گذاری معرفی شده در بخش اول، سازگاری نسبی داشته باشد؛

پ: کشور منتخب نسبت به رعایت مفروضات و قوانین ارائه شده در بخش دوم، تطابق نسبی داشته باشد؛

ت: در کشور منتخب، یک گروه از ضایعات الکتریکی و الکترونیکی مورد مطالعه قرار گیرد.

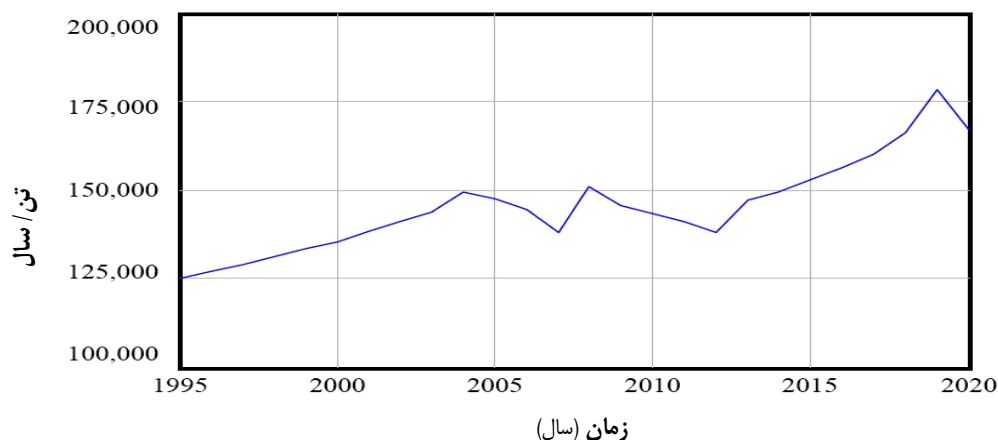
۳-۱- اقتصاد آلمان

کشور آلمان دارای جمعیت ۸۲،۳۰۰،۰۰۰ نفر است که در ۳۸/۷ میلیون خانه و در مساحت ۳۵۷،۰۰۰ کیلومتر مربع زندگی می‌کنند. آلمان به عنوان یک اقتصاد بالغ، درجه اشباع بالایی برای تجهیزات خانگی و توسعه نسبتاً پایداری برای فروش لوازم خنک کننده و یخ‌ساز دارد. صادرات و واردات محصولات دست دوم توسط مصرف کننده اهمیت ناچیزی دارد. شکل ۱۳ تخمینی از فروش این تجهیزات بین سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۰ (SENS, 2006) را نمایش می‌دهد. بدین ترتیب مقدار ۱۷۰،۰۰۰ تن به عنوان میزان فروش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۷ فرض شده است.



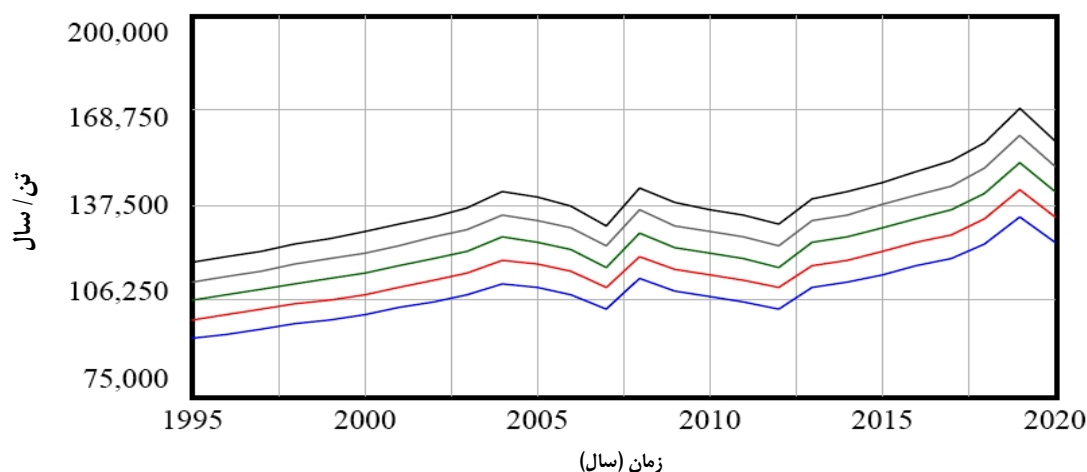
شکل ۱۳) فروش لوازم خنک کننده جدید ۱۹۸۰-۲۰۲۰ (SENS, 2006)

برای شبیه‌سازی جریان مواد، میانگین دوره استفاده بین ۱۱/۴ تا ۱۵ سال و دوره انبار شدن ۵ سال فرض شده است. در نتیجه می‌توان لوازم از رده خارج شده در دوره ۱۹۹۵-۲۰۲۰ را به صورت شکل ۱۴ شبیه‌سازی کرد (Destatis, 2007).



شکل ۱۴) لوازم از رده خارج شده در دوره ۱۹۹۵-۲۰۲۰ (Destatis, 2007)

تقریباً هیچ ضایعاتی از گروه سوم تجهیزات الکتریکی (رجوع شود به جدول ۱) تلف نشده و یا به صورت غیرقانونی رها نمی‌شود. بنابراین جمع‌آوری ضایعات تقریباً برابر لوازم از رده خارج شده است. تعمیر و استفاده مجدد ۵٪ موارد در پایان عمر محصول بوده و ۰/۱٪ نیز سوزانده و یا دفن می‌شوند. هیچ داده‌ای راجع به نسبت صادرات غیرمجاز در دسترس نیست ولی بین بازه ۰-۲۰٪ در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱۵ توناژ مواد ورودی را برای انجام عملیات بازیافت بر پایه سناریوهای مختلف نسبت صادرات غیرمجاز نمایش می‌دهد.



Material recycling : Illegal export ratio eir=20%
 Material recycling : Illegal export ratio eir=15%
 Material recycling : Illegal export ratio eir=10%
 Material recycling : Illegal export ratio eir=5%
 Material recycling : Illegal export ratio eir=0%

شکل ۱۵) ورودی عملیات بازیافت با توجه به نرخهای متفاوت صادرات غیرمجاز (Destatis, 2007)

تقریباً ۲۰ مرکز بازیافت در حال حاضر عملیات بازیافت این گروه را در آلمان انجام می‌دهند. حداکثر ظرفیت این مراکز ۳۲۰،۰۰۰ دستگاه در سال بوده، اگر به صورت سه شیفت در روز کار کنند.

۳-۲- مشخصه‌های فرآیند بازیافت بر روی لوازم خنک کننده و یخ‌ساز

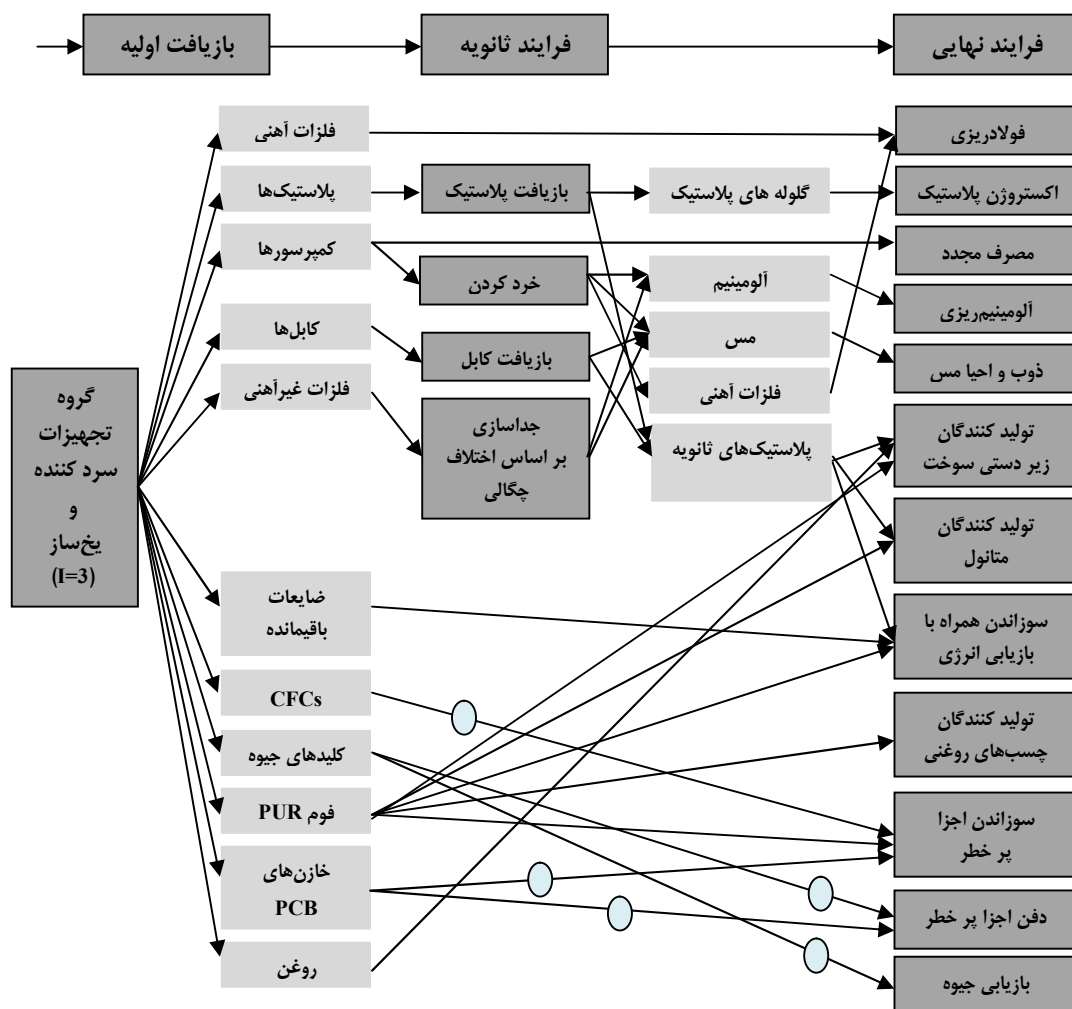
لوازم خنک کننده و یخ‌ساز نیاز به تجهیزات ویژه ای برای انجام عملیات بازیافت دارند زیرا دارای مقدار زیادی CFC و میعانات بوده که به دلیل خطرناک بودن برای محیط زیست باید از بین بروند. عایق‌ها و مدار خنک کننده دارای گازهای مضر برای محیط زیست هستند که باید طبق قانون از بین بروند (COM, 2003). رویه استاندارد برای این لوازم به شرح زیر است:

ابتدا غذاهای باقی‌مانده و قفسه‌های شیشه‌ای یا پلاستیکی بیرون آورده می‌شوند. کابل برق بریده شده و لوازم حاوی مواد خطرناک مانند کلیدهای جیوه‌ای و قسمت‌های شامل خازن چک شده و به صورت دستی جدا می‌شوند. در مرحله بعدی، وسیله به ایستگاه مکش (گام ۱) برده می‌شود. بازیافت CFC در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول عملیات مایع داخل مدار خنک کننده جدا شده و در مرحله دوم CFC بازیافت می‌شود. به طور متوسط ایستگاه مکش باید ۱۱۵ گرم گاز سرد کننده، به ازای هر وسیله (۹۰٪ حداکثر قابل انتظار) به همراه ۲۴۰ گرم روغن بازیافت و در تانک اضافی ذخیره کند.

بعد از خارج شدن مایعات مدار خنک کننده، کمپرسورها با یک برنده هیدرولیک بریده می‌شوند. لوازم مورد پردازش بیش‌تر قرار گرفته و قطعات کوچک کاهش می‌یابند (گام ۲). در این گام از روش‌های اندازه‌گیری متفاوتی برای درک درجه بازیافت گازها و کاهش اندازه قطعات استفاده می‌شود (مثال: اندازه‌گیری گازهای ورودی و یا خروجی و یا اندازه‌گیری وزن).

بعد از قطعه قطعه شدن، مواد بر حسب نوع آنان، نظیر مواد آهنی و غیرآهنی، پلاستیک‌ها با بخش غالب پلی استر و پلی ارتان مرتب می‌شوند. این کار با استفاده از تجهیزات مرتب‌سازی مانند جدا کننده‌های مغناطیسی یا جریان eddy انجام می‌شود. فلزات آهنی به طور مستقیم و درجه کیفیت بیش از ۹۹٪ قابل دستیابی هستند و به فولادسازان فروخته می‌شوند. بخش فلزات غیرآهنی برای عملیات جداسازی بیش‌تر به بازیافت کننده‌های فرعی می‌روند. بخش پلاستیکی نیز توسط بازیافت کنندگان پلاستیک پردازش بیش‌تر شده که معمولاً بر بخش پلی استر آن تمرکز می‌شود تا بتوانند این مواد را دوباره در لوازم نو به کار برند. پلی ارتان نیز مجدداً برای ستنزهای متانول به کار می‌روند یا برای تولید

انرژی سوزانده می‌شوند. کابل‌ها به بازیافت کابل رفته تا مس بازیافت شود. کمپرسورها قابل استفاده مجدد بوده و یا می‌توانند مورد پردازش بیش‌تر قرار گیرند تا مواد آن‌ها بازیافت شوند. شکل ۱۶ جریان کلی مواد را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۶) جریان مواد از بازیافت لوازم خنک کننده و یخ‌ساز (Bohr, 2007)

علاوه بر آن، نمایی کلی از قسمت‌های خروجی مورد نیاز است تا نرخ بازیافت، کیفیت آلودگی زدایی و فاکتورهای امتیاز دهی تحت MRC مشخص شوند. با در نظر گرفتن درجه کیفیت آلودگی زدایی ۰/۹، می‌توان نمای کلی از میزان خروجی را در جدول ۱۲ مشاهده کرد (Bohr, 2007).

جدول ۱۲) میزان خروجی بازیافت لوازم خنک کننده و یخ ساز

خروجی بر حسب هر تن ورودی در بخش $i=1$	
اجزا	سهم (%)
فلزات آهنی (با خلوص ۹۹٪)	۴۷/۰
آلومینیوم / مس	۵/۴
کمپرسور	۲۱/۳۲
سیم و کابل	۰/۳۸
روغن	۰/۵
پلاستیک (تقریباً ۸۰٪ پلی استیرن)	۱۲/۵۴۰
فوم عایق بندی (PUR)	۹/۷۶
اجزای غیرقابل بازیافت (غذاهای باقی مانده)	۱/۳۸
پشم شیشه	۰/۱۷
سایکلوپنتان (step 2)	۰/۰۵
R290, R600a (step2)	۰/۰۱
NH ₃ (step1)	–
شیشه (قفسه ها)	۰/۷
آب مقطر	۰/۳۳
اجزای جیوه ای	۰/۰۱۱
خازن در PCB	۰/۰۰۵
R11+ R12 (step 2)	۰/۵۴۶
R12, R122, R134a, R502 (step1)	۰/۲۲۸
جمع	۱۰۰/۳۳

تعیین درجه کیفیت آلودگی زدایی به تصمیم بازیافت کننده بستگی دارد که باید در بخش مربوط به بازیافت CFC در گام ۱ و ۲ تحلیل شود.

۳-۳- تصمیم گیری راجع به درجه آلودگی زدایی

برای تصمیم گیری بر اساس آمار و ارقام، لازم است که هزینه های از رده خارج کردن محصول، هزینه های آلودگی زدایی و زیان های مالی مورد انتظار تحلیل شوند.

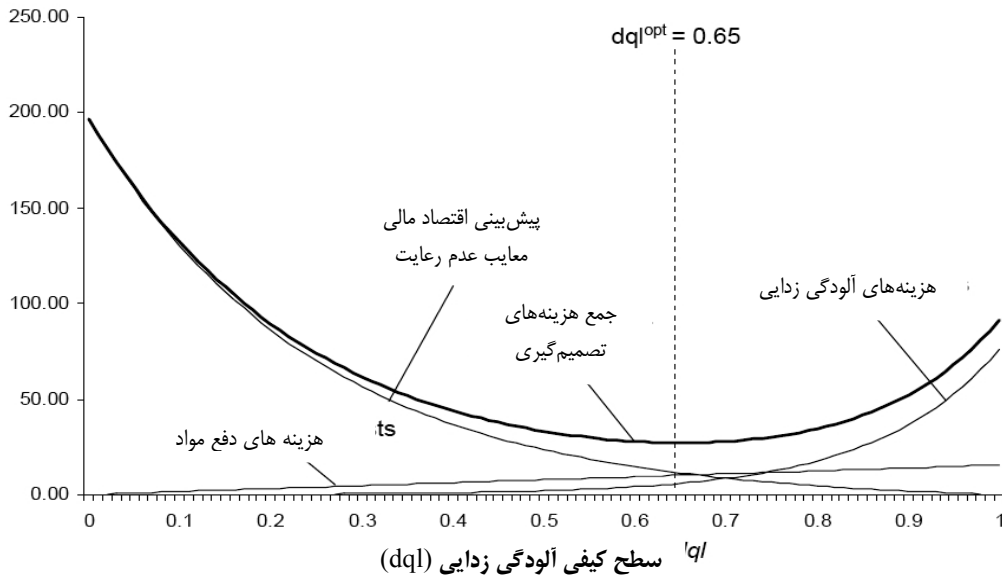
هزینه‌های از رده خارج کردن محصول به قیمت بخش‌های از رده خارج شده و سهم خروجی بازیافت شده هر بخش بستگی دارند. که دومی به راحتی و با توجه به درجه کیفیت آلودگی زدایی و مقدار بیشینه قابل انتظار برای بازیافت مواد خطرناک قابل محاسبه است.

درجه کیفیت آلودگی زدایی و هزینه‌های مربوطه اساساً تحت تأثیر این عوامل هستند: دقت نمایش عناصر خطرناک، کیفیت نگهداری تجهیزات، فرآیند نگهداری در مرکز، ایزوله بودن خرد کننده‌ها و حجم جریان گازی که به بیرون مکیده و تخلیه می‌شوند.

محاسبه زیان‌های قابل انتظار اقتصادی برای اهداف این گزارش تقریباً غیرممکن است. کارشناسان در آلمان بر این باورند که درجه کیفیت آلودگی زدایی (dql) کمی پایین‌تر از ۷۵٪ بوده و در موارد معدودی حدود ۵۰٪ در قسمت لوازم خنک کننده و یخ‌ساز می‌باشند (ARD, 2007). بنابراین، مقدار آن به طور میانگین ۰/۶۵ برای درجه کیفیت آلودگی زدایی سیستم بازیافت تحت قانون C&C در آلمان فرض شده است. به این ترتیب انتظار می‌رود تا مقدار سود افزایش یابد. شکل ۱۷ هزینه‌های مربوط به تصمیم‌گیری و میزان بهینه درجه کیفیت آلودگی زدایی تحت قانون C&C را نمایش می‌دهد.

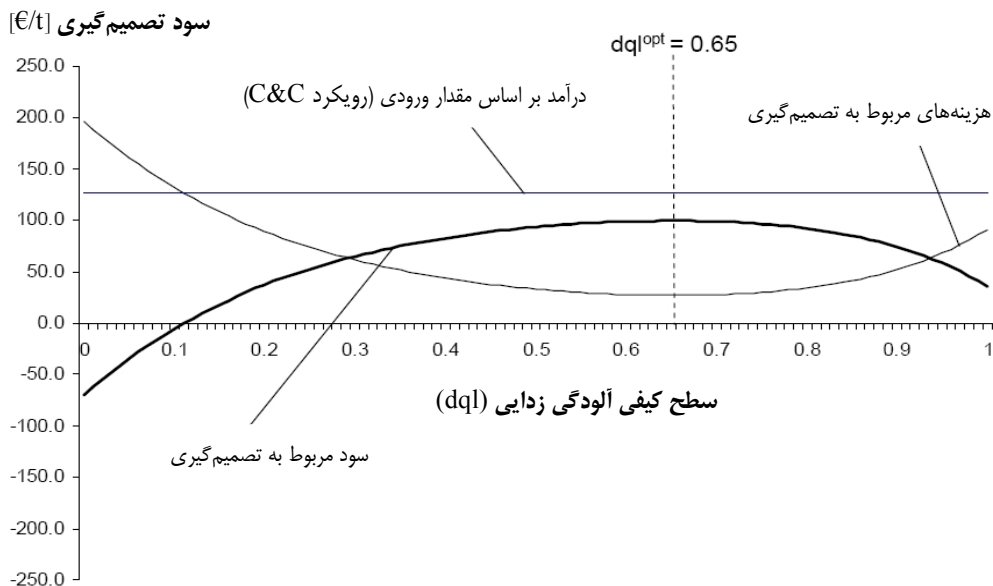
نمودارهای منحنی کم رنگ مربوط به هزینه‌های از رده خارج کردن مواد، هزینه‌های آلودگی زدایی و زیان‌های اقتصادی قابل انتظار هستند این سه نوع هزینه به صورت مستقیم در تصمیم‌گیری مؤثر می‌باشند. منحنی پررنگ برآیند مجموع این هزینه‌های مربوط به تصمیم‌گیری را بنا بر درجات مختلف آلودگی زدایی نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به این منحنی می‌توان نقطه‌ای از dql را یافت که هم درجه‌ای قابل قبول از آلودگی زدایی داشته باشد و هم این که هزینه‌ها به کمترین مقدار ممکن برسد. همان گونه که مشاهده می‌شود در $dql=0.65$ میزان هزینه‌های مربوط به تصمیم‌گیری کمینه شده و در نتیجه انتظار می‌رود که سود بیشینه شود.

هزینه‌های تصمیم‌گیری [€/t]



شکل ۱۷) هزینه‌های مربوط به تصمیم‌گیری تحت قانون C&C (Bohr, 2007)

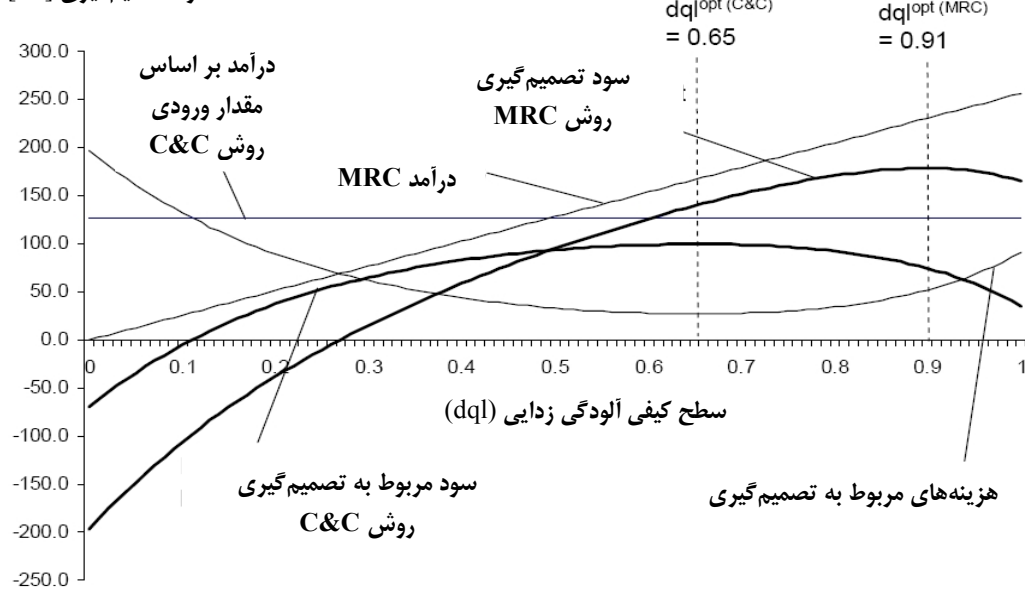
شکل ۱۸ سود مربوط به تصمیم‌گیری یک بازیافت‌کننده در آلمان را تحت قانون C&C نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل مشخص است با در نظر گرفتن هزینه گردش سرمایه ۶٪ میزان پاداش بر پایه ورودی به ازای هر تن و بر حسب نرخ ارز یورو به دست می‌آید. در شکل مشاهده می‌شود که با در نظر گرفتن درجه کیفیت آلودگی زدایی در نقطه ۶۵٪، هزینه‌ها کمینه و سود پیش‌بینی شده و مورد انتظار بر پایه قیمت فروش مواد اولیه بازیافتی در سال ۲۰۰۶ و به ازای هر تن، بیشینه خواهد بود (Bohr, 2007).



شکل ۱۸) سود مربوط به تصمیم‌گیری تحت رویکرد C&C (Bohr, 2007)

اعداد مربوطه تحت رویکرد MRC به یکدیگر وابسته هستند. چون، درجه کیفیت آلودگی زدایی مجموع هزینه‌ها و به طور غیرمستقیم قیمت گواهینامه بازیافت مواد را در مدل اقتصادی تحت تأثیر قرار می‌دهد. شکل ۱۹ سودهای حاصل از تصمیم‌گیری برای هر دو رویکرد را نشان می‌دهد. به طور همزمان قیمت گواهینامه‌ها برای محاسبه درآمدهای MRC به کار برده می‌شوند که تصمیم بازیافت کننده را برای درجه کیفیت آلودگی زدایی تحت تأثیر قرار می‌دهد. این درآمدها در شکل به صورت نمودار خطی صعودی کم رنگ نمایش داده شده است. منحنی کم رنگ دیگر نمودار مجموع هزینه‌های تصمیم‌گیری است که در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نیز نمایش داده شده است. در شکل دو منحنی پرنرنگ وجود دارد که یکی همان سود حاصل از به کارگیری روش C&C است که در شکل ۱۸ توضیح داده شد و دیگری منحنی سود حاصل از به کارگیری روش MRC است که با تغییر درجه آلودگی زدایی تغییر می‌کند. همان طور که در شکل مشخص است با انتخاب درجه آلودگی زدایی ۰/۹۱ در رویکرد MRC میزان سود حاصل بیشینه می‌شود. مقدار بهینه درجه کیفیت آلودگی زدایی برای شبیه‌سازی بازار آلمان $dql=0.91$ که قیمت گواهینامه‌ها را به ۳۲۵ یورو افزایش می‌دهد (Bohr, 2007).

سود تصمیم‌گیری [€/t]



شکل ۱۹) سودهای حاصل از تصمیم‌گیری باز یافت کننده با استفاده از دو رویکرد C&C و MRC (Bohr, 2007)

۳-۴- اقتصاد

نتایج تحلیل باید با مدل جریان مواد تطابق نسبی داشته باشد تا این که شبیه‌سازی مدل مورد قبول واقع شود. فرض شده است که در روش C&C صادرات غیرمجاز ۱۰٪ و در رویکرد MRC برابر ۵٪ بوده است در نتیجه میزان ورودی ضایعات گروه سوم (به جدول ۱ مراجعه شود) تجهیزات الکتریکی ۱۲۸،۳۲۲ تن در رویکرد C&C و برای MRC برابر ۱۳۵،۸۷۱ تن می‌باشد (Bohr, 2007).

۳-۴-۱- جمع‌آوری

زیرساخت جمع‌آوری در آلمان بسیار ناهمسان است. تخمین‌ها برای مدل کردن هزینه‌های بازار آلمان برای پنج گزینه اصلی جمع‌آوری بر پایه مطالعه صنعت و بررسی دیدگاه‌های افراد در بخش مدیریت ایستگاه‌های جمع‌آوری به دست آمده است. جدول ۱۳ نمایانگر سهم هزینه هر یک از گزینه‌های جمع‌آوری sco، چگالی نقطه جمع‌آوری cpd، هزینه‌های ثابت fecp و هزینه‌های متغیر vccp برای هر یک از گزینه‌های جمع‌آوری است (رجوع شود به شکل ۷)، هزینه هر تن جمع‌آوری cc می‌باشد. با توجه به جدول، میانگین هزینه‌های جمع‌آوری acc در سال ۲۰۰۸ به ازای هر تن ۱۰۰/۳۸ یورو خواهد بود. مصرف کنندگان در آلمان ۱۵۰،۹۸۶ تن ضایعات به جمع‌آوری کنندگان تحویل می‌دهند تا آن‌ها بتوانند

۱۳۵،۸۷۱ تن ضایعات قابل بازیافت را به بازیافت کنندگان ارائه کنند (این میزان با متغیر dc نمایش داده می‌شود) و در نتیجه هزینه‌های جامع اقتصادی EACC برای لوازم خنک کننده و یخ‌ساز ۱۳،۱۵۶،۰۱۳ یورو به دست می‌آید که به صورت زیر محاسبه شده و به دست آمده‌اند.

$$acc_t = \sum_j sco_j \cdot cc_{j,t} = 100.38 \text{ €/t}$$

$$EACC_{i=3,t=2008} = dc_{i=3,t=2008} \cdot acc_t = 15,156,013 \text{ €}$$

قابل ذکر است که، فهرست علایم به کار گرفته شده در این بخش، در ضمیمه «ج» ارائه شده است.

جدول ۱۳) پارامترها و متغیرهای مربوط به جمع‌آوری در آلمان^۱ (Bohr, 2008)

۲۰۰۸	sco	cpd	fecp	vccp	cc
۱	۰/۵۵	۲۱	۳۲۵۲۶/۲۵	۰	۶۸/۷۹
۲	۰/۰۵	۳۰۰	۱۵۹۵۰	۰	۶۸/۲۹
۳	۰/۲	۵۰	۲۶۳۰	۷۹	۱۱۷/۷۱
۴	۰/۰۵	۵	۱۸۷۵	۱۵	۱۷/۲۷
۵	۰/۱۵	—	۰	۲۳۱/۴۸	۲۳۱/۴۸

۳-۴-۲- حمل و نقل

میانگین هزینه حمل به ازای هر تن و هزینه‌های جامع اقتصادی حمل و نقل شدیداً به فاکتور کارایی uf و تعداد مراکز فعال بازیافت RF بستگی دارند. جدول ۱۴ میانگین فاصله‌های حمل بین بازیافت کننده و نقطه جمع‌آوری atd، میانگین فاصله حمل به ازای هر سفر atdt و میانگین هزینه جابه‌جایی هر تن atc را برای فاکتورهای کارایی انتخاب شده نشان می‌دهد.

۱- توضیح: هر ستون SCO که سهم هر گزینه جمع‌آوری است در هر ستون هزینه هر تن جمع‌آوری ضرب می‌شود و میانگین هزینه جمع‌آوری به دست می‌آید. در واقع سطرهای ۱ تا ۵ مربوط به ۵ گزینه اصلی جمع‌آوری هستند که مورد بحث قرار گرفته‌اند و هر ستون هزینه‌های متفاوت هر گزینه را حساب می‌کند.

جدول ۱۴) متغیرها و پارامترهای حمل و نقل (Bohr, 2008)

Uf_{2008}	atd	atdt	atc
۱	۸۰/۰۳	۸۰/۰۳	۳۷/۴۴
۱/۲	۸۰/۰۳	۹۶/۰۳۶	۴۲/۵۶
۱/۴	۸۰/۰۳	۱۱۲/۰۴۲	۴۷/۶۵
۱/۶	۸۰/۰۳	۱۲۸/۰۴۸	۵۲/۷۲
۱/۸	۸۰/۰۳	۱۴۴/۰۵۴	۵۷/۷۶
۲	۸۰/۰۳	۱۶۰/۰۶	۶۲/۷۷

هزینه‌های جامع حمل و نقل EATC بنا بر جدول در سال ۲۰۰۸ برای مقدار پیش فرض $uf=2$ برابر ۹,۴۷۷,۴۲۵ یورو^۱ می‌باشد.

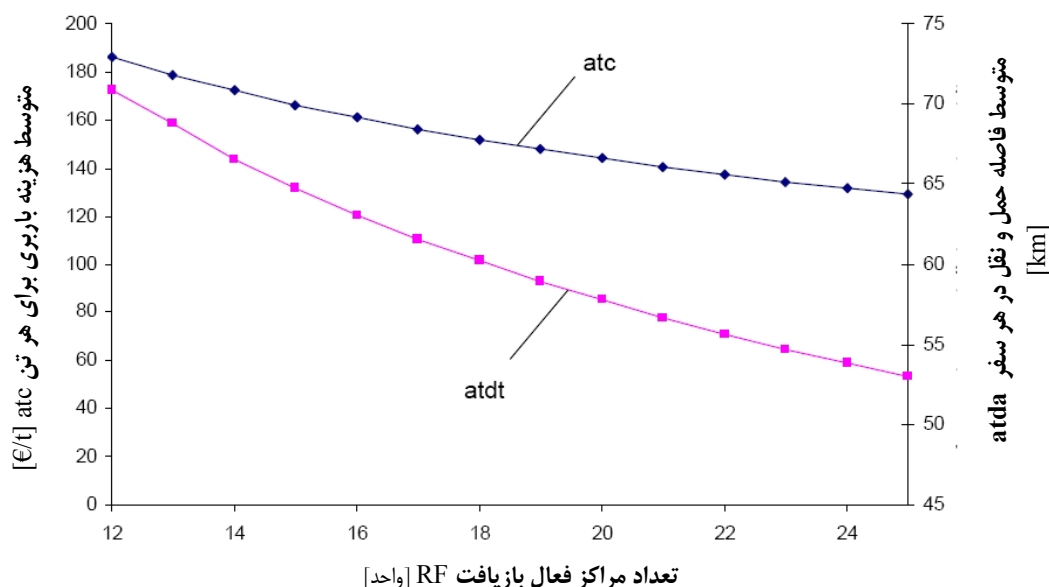
$$EATC_{i=3,t=2008} = dc_{i,t} \cdot atc_i = 9,477,425 \text{ €}$$

بر طبق آمار حاصل از بازیافت کنندگان، بنا بر رویکرد تصمیم‌گیری‌شان می‌توانند فاکتور کارایی را به ۱/۲ کاهش دهند و بیش از ۳ میلیون یورو صرفه‌جویی کنند.

$$Savings = EATC_{i=3,t=2008}(uf=2) - EATC_{i=3,t=2008}(uf=1.2) = 3,051,328 \text{ €}$$

افزایش رقابت می‌تواند تعداد مراکز بازیافت فعال را تغییر دهد. اثر تغییر RF بر میانگین فاصله حمل و نقل به ازای هر سفر و میانگین هزینه حمل در شکل ۲۰ نمایش داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد مراکز هزینه و میانگین فاصله کاهش می‌یابد. قابل ذکر است که، فهرست علایم به کار گرفته شده در این بخش، در ضمیمه «ج» ارائه شده است.

۱- توضیح: با در نظر گرفتن $uf=2$ متغیر atc برابر ۶۲/۷۷ است که با ضرب در متغیر dc که برابر ۱۵۰,۹۸۶ تن است عدد معرفی شده به دست می‌آید.



شکل ۲۰) حساسیت میانگین هزینه و فاصله حمل به تعداد مراکز باز یافت (Bohr, 2007)

۳-۴-۳- مرتب کردن

عملیات مرتب‌سازی بخش کوچکی از هزینه را در این گروه در بر می‌گیرد. میانگین هزینه مرتب‌سازی به ازای هر تن برابر ۳ یورو بوده و هزینه‌های جامع اقتصادی آن برای روش C&C برابر ۳۸۴،۹۷۱ یورو و برای روش MRC معادل ۴۰۷،۶۱۸ یورو می‌باشد. هزینه‌ها تحت رویکرد MRC بیش‌تر می‌باشد زیرا ضایعات بیش‌تری به مراکز باز یافت وارد شده و مقدار کمتری به صورت غیرمجاز صادر می‌شوند (Bohr, 2007).

۳-۴-۴- آلودگی زدایی

باقی‌مانده هزینه‌های آلودگی زدایی مربوط به خازن‌ها و سوییچ‌های حیوهای می‌شوند. این هزینه‌ها با درجه کیفیت آلودگی زدایی ۰/۶۵ برابر ۱۴/۶۱ یورو در هر تن و با کیفیت ۰/۹۱ برابر ۵۱/۴۷ یورو می‌باشد که در نتیجه برای روش C&C هزینه‌های آلودگی زدایی برابر ۱،۹۸۴،۵۳۰ یورو و با رویکرد MRC معادل ۶،۹۹۲،۷۹۵ یورو به دست می‌آید (Bohr, 2007).

۳-۴-۵- انجام عمليات و درآمد حاصل

ميانگين پاداش ها و هزينه هاي انجام خدمات بازيافت به ميانگين وزني هزينه کارکرد سرمايه (WACC) و تعداد مراکز بازيافت فعال RF، شديداً وابسته بوده که مورد آخر مستقيماً نشانگر ظرفيت کاراي بازيافت در اقتصاد است. سود حاصل از انجام خدمات بازيافت arsr تحت رويکرد C&C با پيش فرض $WACC=6\%$ و $RF=20$ برای گروه سوم تجهيزات الكتريكي در سال ۲۰۰۸ به صورت زير محاسبه می شود (Bohr, 2007):

$$Ar_{sr} (WACC=6\%, RF=20, i=3, t=2008)$$

$$= asmr - fic - daic - ofc - vco - adc - amdc$$

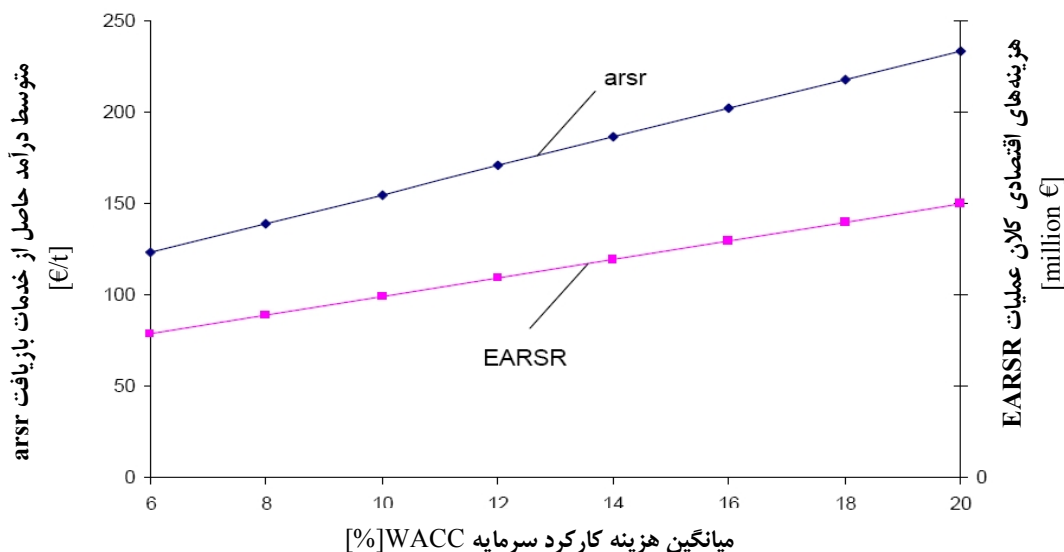
$$= 510.57 - 47.36 - 144.1 - 83.67 - 73.44 - 14.61 - 23.98$$

$$= 123.41 \text{ €/ton}$$

ميانگين هزينه کارکرد سرمايه (WACC) نرخ بازدهی است که تأمين کنندگان سرمايه، اعم از صاحبان سهام و قرض دهندگان در ازای تأمين سرمايه طلب می کنند. به عبارت ديگر هزينه کارکرد سرمايه برابر است با هزينه فرصت سرمايه برای تأمين کنندگان سرمايه، زيرا تأمين کنندگان سرمايه، سرمايه خود را در اختيار شرکت قرار نمی دهند مگر اين که به اندازه هزينه فرصت خود، بازده مورد نظر را کسب کنند.

در روابط بالا asmr درآمد حاصل از فروش مواد بازيافتي، fic هزينه هاي مالي بازيافت هر تن، daic هزينه هاي استهلاك ماشين آلات و قرارگاه، ofc هزينه هاي ثابت، vco هزينه هاي متغير، adc هزينه هاي آلودگي زدائي و amdc هزينه هاي از رده خارج کردن محصول هستند. در نتيجه با توجه مقدار مواد قابل بازيافت سود حاصل از انجام خدمات بازيافت برابر ۱۵,۸۳۷,۶۶۰ يورو خواهد بود (Bohr, 2007).

قابل ذکر است که، فهرست علايم به کار گرفته شده در اين بخش، در ضميمه «ج» ارائه شده است.



شکل ۲۱) حساسیت هزینه‌ها و سودهای حاصل از انجام خدمات بازیافت به WACC (Bohr, 2007)

سود بر پایه خروجی حاصل از انجام خدمات بازیافت تحت روش MRC با به کارگیری هزینه‌های جمع‌آوری، حمل و نقل و مرتب کردن با قیمت گواهینامه بازیافت مواد به دست می‌آید. با در نظر گرفتن قیمت ۳۲۵ یورو برای گواهینامه‌ها، $WACC=6\%$ و کیفیت آلودگی زدایی ۰/۹۱ سود حاصل از این روش برابر ۱۴۷/۹۷ یورو در هر تن خواهد بود که مجموع سود به دست آمده از این رویکرد برابر ۲۰،۲۶۶،۴۳۰ یورو خواهد بود که ۲۸٪ بیش از سود روش C&C می‌باشد.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

- نتایج اصلی تحقیق مربوط به مدل مالی بازیافت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی به شرح زیر است:
- در صورتی که در مدل جریان مواد میزان جمع‌آوری ضایعات کم شود صادرات غیرمجاز به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد و در نتیجه نرخ بازیافت بسیار پایین می‌آید. بدین ترتیب هزینه‌های نگهداری قرارگاه‌های بازیافت بالا رفته و درآمدهای مورد انتظار به شدت کاهش می‌یابد.
 - نرخ‌های بالای بازیافت با مشوق‌ها و سودهای اقتصادی فراوان همراه است. هرچند که، درجه بالای کیفیت آلودگی زدایی و بازیافت گروه‌های خاصی از لوازم الکتریکی به خاطر امکان به وجود آمدن یک سری از زیان‌های اقتصادی زیر سؤال هستند. بنابراین، درجه کیفیت آلودگی باید مستقیماً به

جریانات مالی وصل شود تا بتوان مشوق‌های مالی مناسب و استانداردهای بالای آلودگی زدایی را مهیا کرد.

- به صرفه‌ترین راه برای انجام عملیات بازیافت و کمینه کردن هزینه‌ها داشتن ظرفیت بالای قرارگاه بازیافت، نرخ‌های بالای کارایی، تصمیم مناسب راجع به مقدار درجه کیفیت آلودگی زدایی و کمینه کردن میزان صادرات غیرمجاز با وضع قوانین و به کارگیری رویکردهای درست می‌باشد.
- تمرکززدایی تصمیم‌گیری درباره جمع‌آوری، حمل و نقل و چگونگی رفتار با ضایعات الکتریکی کاملاً این امکان را به وجود می‌آورد که راندمان و کارایی هزینه تقویت شود حال آنکه متمرکز بودن تصمیم‌گیری می‌تواند کارایی سیستم‌های بازیافت را زیر سؤال ببرد.
- چگونگی و انجام عملیات بازیافت و نتایج اقتصادی آن وابسته به رویکرد قانونی است که توسط بازیافت کننده به کار گرفته می‌شود که در این گزارش به طور مختصر دو روش C&C و MRC در بخش دوم معرفی شد و اثرات آن‌ها در بخش سوم مورد بررسی قرار گرفت.
- با توجه به آن چه در بخش ۳ نشان داده شد، برای گروه سوم از لوازم الکترونیکی (به جدول ۱ رجوع شود) سود حاصل از بازیافت تجهیزات این گروه در آلمان با ورودی حدود ۱۳۰ هزار تن و به کارگیری روش C&C حدود ۱۶ میلیون یورو (حدود ۱۲۳ یورو در هر تن) و در رویکرد MRC بیش از ۲۰ میلیون یورو (بیش از ۱۵۳ یورو در هر تن) است که بیش از ۲۵٪ از درآمد کسب شده است. این در حالی است که در آلمان هزینه کارکرد سرمایه بسیار پایین بوده و هزینه‌های نام برده و تحلیل شده (مانند حمل و نقل و کارگری) بسیار بالاتر از کشور ایران است. در ایران هزینه کارکرد سرمایه بیش از ۱۵٪ بوده و انتظار سود بسیار بیش‌تری می‌رود. این نکته نیز قابل توجه است که قیمت فلزات پایه در ایران معمولاً ۵٪ تا ۱۰٪ بیش از قیمت‌های جهانی آنان هستند.
- با توجه به آن که اکثر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی دارای مقدار قابل توجهی مواد سمی و بسیار خطرناک هستند، بازیافت صحیح و قانونی آن‌ها و انتخاب درجه آلودگی زدایی مناسب باعث می‌شود تا نگرانی‌های زیست محیطی کمتر شده و حداقل خطرات زیست محیطی قابل کنترل شوند.
- با توجه به جدول‌های ۵ و ۹ (بخش اول)، پیش‌بینی می‌شود که هر قرارگاه برای جمع‌آوری به حداقل ۳ نفر و برای کارهای اداری به ۵ نفر و برای کارهای عملیاتی حداقل به ۳۰ نفر نیرو نیاز باشد. بنابراین با ایجاد هر قرارگاه با ورودی ۱۳۰ هزار تن در سال، حدود ۴۰ نفر فرصت شغلی به

وجود می‌آید که ظرفیت بسیار بالای اشتغال زایی و اثرات مثبت اجتماعی فراوان این صنعت را نشان می‌دهد.

- کاملاً آشکار است که منابع طبیعی بسیار کمیاب و گران قیمت هستند، بنابراین بازیافت مواد می‌تواند در زمینه استقلال هرچه بیش‌تر ایران از واردات منابع اولیه، صرفه جویی بالا در مصرف مواد و حفظ ذخایر منابع مواد برای نسل‌های آینده نقش بسیار مؤثر و مستقیم داشته و در نهایت افزایش تولید ملی و رشد اقتصادی را به همراه داشته باشد.

- نکته آخر: عدم توجه به بحث بازیافت این ضایعات و عدم تصمیم‌گیری مناسب در مورد آن علاوه بر اعمال خسارات زیست محیطی، از دست رفت فرصت‌های اشتغال و منافع مالی، خسارات مالی در حدود ۲۰۰ یورو به ازای هر تن ضایعات تولیدی به شهر و در بعد کلان‌تر به کشور تحمیل می‌کند (به شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ مراجعه شود).

منابع

- ARD (2007), Umwelt – Wohin mit dem alten Kühlschrank? Report, Dienstag, 10. Juli 2007,
- http://www.daserste.de/plusminus/beitrag_dyn~uid,wyv99mr3h6ovu0gs~cm.asp.
- Boks, C. (2002), the relative importance of uncertainty factors in product end-of-life scenarios: A quantification of future developments in design, technology and policy, PhD dissertation, TU Delft, The Netherlands.
- Bohr, Philipp and Timothy Gutowski (2007), Collective, Collaborative, or Competitive? An Analysis of EPR Approaches using Material Recovery Certificates for the Recycling of Cooling and Freezing Appliances in Austria, Proc. 2nd International Conference Eco-X, Vienna, pp. 31-37.
- Bohr, Philipp (2008) The Economics of Electronics Recycling: New Approaches to Extended Producer Responsibility. Journal of High Technology Law, pp.169
- Brandes, Günter (1997), Opening Address. In: Cycle management in the raw materials industry, Proc. of the 8th International Symposium in Hannover, Germany, October 21-23, Verlag Schweizerbart, Stuttgart, Germany, 2002.
- Brouwers, W.J.C and Ab Stevels (1995), Cost Model for the End-of-life Stage of Electronic Goods for Consumers, Proc. Int. Symposium on Electronics and the Environment, May, Orlando, US.
- Caudill, R, S. Jackson, W. Rifer, F. Marella, S. Cole, and A. Willmott (2003), Assessing Base Level of Service for Electronics Collection and Recycling Programs: Seattle- Tacoma Case Study, Proc. Int. Symposium on Electronics and the Environment, May 19-22, Boston, pp. 309-314.
- COM (Commission of the European Communities) (2003), Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council on Waste Electrical and Electronic
- Equipment (WEEE), Official Journal of the European Union, Brussels, Belgium.
- COM (Commission of the European Communities) (2006a), Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council on waste, Official Journal of the European Union, Brussels, Belgium.
- Destatis (2007), Statistisches Bundesamt, Wirtschaftsrechnungen und Zeitbudgets, Laufende Wirtschaftsrechnungen 2006 zur Ausstattung privater Haushalte, Bonn.
- E-waste: Volume I: Inventory Assessment Manual, UNEP DTIE, 2007.
- E-waste: Volume II: E-waste Management Manual, UNEP DTIE, 2007.
- Huisman, Jaco (2003), The QWERTY/EE Concept: Quantifying Recyclability and Recycling- from E-waste to resources, UNEP, July 2009
- Kasser, Ueli (2006), TK-SENS, Personal Communication, January-December 2006.
- Magalini, Federico (2007a), Economic Evaluation of Implementation, Workshop on the Review of the WEEE Directive, Brussels, March 15th.
- SENS (Stiftung Entsorgung Schweiz) (2006), Kennzahlen 2006, <http://www.sens.ch>.
- Smekal, Gerald (2006), ZLU Berlin, Personal Communication, May

- Tasaki, Tomohiro, Atsushi Terazono, and Yuichi Moriguchi (2005), Effective Assessment of Japanese Recycling Law for Electrical Home Appliances, Proc. Int. Symposium on Electronics and the Environment, May 16-19, New Orleans, pp. 243-248.
- Walther, Grit (2005), Recycling von Elektro- und Elektronik-Altgeräten, Strategische Planung von Stoffstrom-Netzwerken für kleine und mittelständische Unternehmen, PhD thesis, TU Braunschweig, Germany.

ضمیمه «الف»: مشخصات لازم برای تحلیل اقتصادی یک قرارگاه بازیافت (Bohr, 2007)

Depiction	Symbol	Unit	Characterization
Size of economy	ES	[capita]	Parameter
Areal Spread	A	[km ²]	Parameter
Amount of recycling facilities	RF_i	[units]	Variable
Collection point density/frequency	cpd_j	[t]	Parameter
Share of collection option j	sco_j	[%]	Parameter
Labor costs	lr	[€/h]	Parameter
Detour factor	v	[%]	Parameter
Industry-specific costs of capital	$WACC$	[%]	Variable
New EEE	$ne_{i,t}$	[t/year]	Parameters
Second hand export ratio	$sher_{i,t}$	[%]	Parameters
Second hand import ratio	$shir_{i,t}$	[%]	Parameters
EEE in use	$eu_{i,t}$	[t]	Initial parameter
Storage ratio	$sr_{i,t}$	[%]	Parameters
Average use span	$aus_{i,t}$	[years]	Parameters
Average storage span	$ass_{i,t}$	[years]	Parameters
Stored obsolete or broken EEE	$so_{i,t}$	[t]	Initial parameter
Illegal dumping ratio	$idr_{i,t}$	[%]	Parameters
Household bin ratio	$hwr_{i,t}$	[%]	Parameters
Landfill and incineration ratio	$lar_{i,t}$	[%]	Parameters
Rem., repair, reuse ratio	$rrr_{i,t}$	[%]	Parameters

ضمیمه «ب»: متغیرها و پارامترهای مدل جریان مواد (Bohr, 2007)

Depiction	Symbol	Characterization	Internal	External	Further Information
New EEE	$ne_{i,t}$	Flow		X	Non-constant external parameters
Imported second hand EEE	$ie_{i,t}$	Flow	X		
Exported second hand EEE	$ee_{i,t}$	Flow	X		
Second hand export ratio	$sher_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Time-constant external parameters
Second hand import ratio	$shir_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Time-constant external parameters
EEE in use	$eu_{i,t}$	Stock	X	X	Initial values for t=0 (1980) set externally
Obsolescent EEE	$oe_{i,t}$	Flow	X		
Disposed EEE I	$deI_{i,t}$	Flow	X		
Disposed EEE II	$deII_{i,t}$	Flow	X		
Storage ratio	$sr_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Time-constant external parameters
Average use span	$aus_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Non-constant external parameter
Average storage span	$ass_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Time-constant external parameters
Stored obsolete or broken EEE	$so_{i,t}$	Stock	X	X	Initial values for t=0 (1980) set externally
Illegal dumping	$id_{i,t}$	Flow	X		
Illegal dumping ratio	$idr_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Time-constant external parameters
Disposal via household waste	$hw_{i,t}$	Flow	X		
Household bin ratio	$hwr_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Time-constant external parameters
Dedicated collection	$dc_{i,t}$	Flow	X		
Dedicated collection ratio	$dcr_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Residual of other auxiliary parameters
Illegal export	$ei_{i,t}$	Flow	X		
Illegal export ratio	$eir_{i,t}$	Auxiliary variable		X	Derivatives of economic model
Landfill and incineration	$la_{i,t}$	Flow	X		
Landfill and incineration ratio	$lar_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Time-constant external parameters
Remanufacturing, repair, reuse	$rr_{i,t}$	Flow	X		
Rem., repair, reuse ratio	$rrr_{i,t}$	Auxiliary parameter		X	Time-constant external parameters
Material recycling	$mr_{i,t}$	Flow	X		
Material recycling ratio	$mr_{i,t}$	Auxiliary parameter	X		Residual of other auxiliary parameters
Depollution quality level	dql_i	Auxiliary variable		X	Derivatives of economic model

ضمیمه «ج»: فهرست علائم اختصاری

<i>acct</i>	average collection costs per ton
<i>adc i,(k)</i>	average depollution costs per ton (of fraction k) in segment i
<i>amdc i</i>	average material disposal costs per ton in segment i
<i>asmri</i>	average secondary material revenues per ton in segment i
<i>arsri,t</i>	average recycling service remunerations per ton in segment i at time t
<i>atci</i>	average transport costs per ton in segment i
<i>atdi</i>	average transport distance between collector and recycler in segment i
<i>atdri</i>	average transport distance per tour in segment i
<i>ccj, t</i>	collection cost per ton of collection option j at time t
<i>cpdj</i>	collection point density /(event frequency) of collection option j
<i>daici,t</i>	depreciation and amortisation per ton of archetype plant in segment i at time t
<i>dql i,(k)</i>	depollution quality level (of fraction k) in segment i
<i>EACCi,t</i>	economy-wide collection costs in segment i at time t
<i>EATCi,t</i>	economy-wide transport costs in segment i at time t
<i>Fccpj</i>	fixed collection costs of collection option j
<i>fici,t</i>	financing costs per ton of archetype plant in segment i at time t
<i>ofci,t</i>	other fixed costs per ton of archetype plant in segment i at time t
<i>RFi</i>	amount of recycling facilities for segment i
<i>scoj</i>	class-specific share of collection option j
<i>uf</i>	utilization factor
<i>vccpj</i>	variable collection costs of collection option j
<i>vcoi</i>	variable costs from operations of archetype plant in segment i
C&C	Command & Control
MRC	Material Recovery Certificate
WACC	Industry-specific weighted average cost of capital

عناوین انتشارات مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران از سال ۱۳۸۷ تاکنون:

کتاب:

- طراحی تفرجگاهی در نواحی رودکناری در محیط کلانشهرها
- مدیریت زیست محیطی فضای سبز شهری
- شهرها در فرآیند جهانی شدن (گزارش سکونتگاه‌های انسانی)
- مجموعه مقالات سمینار چالش‌ها و راهبردهای زیست محیطی کلانشهر تهران
- راهنمای توانمندسازی شهروندان و محلات شهر برای ارتقای سلامت
- آلودگی هوا (راهبردهای ملی، قوانین و مقررات)
- آلودگی هوا و صدا در حقوق ایران
- مدیریت بحران (اصول و راهنمای عملی دولت‌های محلی)
- برنامه‌ریزی شهری سالم
- فن‌آوری راهبردی مدیریت دانش
- امکان‌سنجی انتخاب مستقیم شهرداران توسط مردم در ایران
- مبانی پایداری کلانشهرها با تاکید بر کلانشهر تهران

گزارش‌های دانش شهر:

- جهانشهرها و گروه اقتصادی G24
- سیاه چاله‌ها و پیوندهای سست در شبکه شهرهای جهانی
- مروری بر برنامه‌ریزی فرهنگی در شهرداری‌های استان اونتاریو، کانادا
- جایگاه مشارکت شهروندان در اسناد بالادستی
- تحلیلی بر موضوع انتقال پایتخت سیاسی کشور
- وضعیت شهروندی
- دیپلماسی شهری در فرآیند جهانی شدن
- جایگاه مسئولیت پاسخگویی در شهرداری
- بررسی کاهش آلودگی هوای شهر تهران با جایگزینی سوخت CNG
- اثرات اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها در استان تهران
- حکمرانی خوب شهری
- جایگاه فضاهای زیرزمینی در طرح‌های شهری
- مشارکت، تصور از مشارکت و حمایت شهروندان
- بررسی اجمالی تولید ناخالص داخلی ایران با توجه به سهم استان‌ها
- بررسی وضعیت رود دره فرحزاد
- معلولیت و شهروندی
- بحران سفید (برف) و مدیریت آن در کلانشهرها
- دیپلماسی شهری (ابزاری برای توسعه ملی در عصر فضای جریان‌ها)
- مدیریت منظر شهری محلات با رویکرد پایداری
- مطالعه وضعیت ازدواج در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران
- مطالعه وضعیت طلاق در شهر تهران
- بحران مالی جهانی و تأثیرات آن بر سطح ملی و منطقه‌ای (با تاکید بر شهر تهران)
- بررسی ضوابط بلندمرتبه‌سازی در شهر تهران
- شهروندی و سالمندی
- کودکان و شهروندی
- شهروندی فعال و نظارت شهروندی
- مطالعه وضعیت اقتصادی و اجتماعی زنان سرپرست خانوار
- جایگزینی مینی‌بوس‌های فرسوده شهر تهران، چالش‌ها و راهکارها
- لایزینگ زمین و مسکن
- نقش سازمان‌های بین‌المللی در جایگاه جدید جهانی کلانشهرها با تاکید بر مجمع شهرداران کلانشهرها
- مسئله‌یابی در حوزه مدیریت شهری
- بررسی جایگاه شهر استانبول در شبکه شهرهای جهانی (آموزه‌هایی برای تهران)
- شهروندی در دوران پساملی
- رویکردهای جدید در طراحی پارک‌ها و فضاهای سبز شهری (پارک‌های موضوع محور)
- مفاهیم پدافند غیرعامل در مدیریت شهری با تمرکز بر شهر تهران
- رویکردهای جدید در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری: برنامه‌ریزی شهری سالم
- عوارض سبز؛ ابزاری جهت کنترل آلودگی هوا در شهرها و ایجاد درآمدهای پایدار برای شهرداری‌ها
- بررسی تطبیقی طرح‌ها و برنامه‌های فضای سبز کلانشهر تهران و شهر گوانگژو چین
- وضعیت مسکن و کیفیت سکونت زنان سرپرست خانوار با تاکید بر مناطق ۲۲ گانه شهر تهران
- خطرهای محتمل بر تونل‌های درون شهری
- دولت و پایتخت؛ بررسی تجارب جهانی کمک دولت در تأمین مالی اداره پایتخت‌ها به عنوان منبع درآمدی پایدار در مدیریت شهری
- طراحی پیاده‌راه‌ها در شهر تهران؛ با تمرکز بر نیازهای اجتماعی شهر
- سامانه فرماندهی حادثه در شهر تهران
- بررسی و ارائه سیاست‌های دستیابی به حمل و نقل پایدار در تهران
- الزامات تهیه دستورالعمل یخ زدایی معابر
- برنامه استمرار خدمات سازمان‌ها و مشاغل در حوادث
- مدیریت تقاضای سفر (TDM)
- مهندسی ارزش در حمل و نقل شهری

- کشاورزی شهری
- مدیریت حریم پایتخت؛ بررسی تجارب جهانی و ارائه پیشنهادهای اجرایی
- کلانشهرها و چالش‌های حمل و نقل

گزارش‌های مدیریتی:

- ارزیابی درآمدها و هزینه‌های اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها
- بررسی چالش‌ها و راهبردهای رشد اقتصادی در ایران (با تمرکز بر استان تهران)
- بررسی چالش‌ها و راهبردهای دستیابی به اشتغال کامل (با تمرکز بر استان تهران)
- بررسی لایحه بودجه سال ۱۳۹۴ کشور و مقایسه آن با احکام برنامه پنجم و بودجه سال ۱۳۸۹
- گزارش شاخص بهروزی در سال ۲۴۱۴ و جایگاه ایران در آن
- گزارش عملکرد شهرداری تهران (از سال ۸۴ لغایت ۸۹)
- بررسی مسائل و مشکلات شهر تهران (از دیدگاه شورایاران)
- بررسی چالش‌ها و راهبردهای کاهش تورم در ایران (با تاکید بر استان تهران)
- معرفی مراکز و سازمان‌های علمی و پژوهشی بین‌المللی و داخلی فعال در حوزه مدیریت شهری
- مبانی بودجه‌ریزی مبتنی بر عملکرد
- گزارش عملکرد سال ۸۹ مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران
- شناسایی وضعیت و ابعاد هویت اجتماعی شهروندان تهرانی و راهکارهای ارتقاء آن
- ضرورت‌ها و الزامات مدیریت یکپارچه در کلانشهر تهران (جدایی شهرستان‌های ری و شمیرانات از کلانشهر تهران؛ تهدید یا فرصت)
- بررسی ضوابط احداث، نگهداری و مدیریت سرویس‌های بهداشتی عمومی
- جهاد اقتصادی و نقش شهرداری در تحقق آن (با تاکید بر ضرورت‌ها و الزامات)
- ساماندهی مشارکت شهروندان در اداره امور شهر با رویکرد محله‌محوری
- جایگاه فرم‌های ارگانیک در طراحی امان‌های شهری
- امکان‌سنجی تحقق اجرای فضای سبز عمودی در شهر تهران
- طرح داوطلب واکنش اضطراری محله (دوام)
- ارزیابی عملکرد خانه‌های اسباب‌بازی مستقر در سرای محلات در شهر تهران
- شهر آموزش‌دهنده، ضرورت‌ها و راهکارها
- نظرسنجی و نیازسنجی از کارکنان شهرداری تهران درخصوص عملکرد شهرداری
- مطالعه تطبیقی پیرامون وظایف و مأموریت‌های شهرداری‌ها و انتخاب شهرداران در شهرهای مختلف جهان
- معرفی نمونه‌های موفق برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری و مقایسه آن‌ها با شهر تهران
- بررسی نظام مداخله بهینه برای بهسازی و نوسازی پهنه‌های فرسوده شهر تهران
- شناسایی و ارزیابی خرابی‌های پل‌های بتنی شهر تهران (مطالعه موردی: پل شهید صنیع‌خانی)
- ممیزی انرژی ساختمان در شهر تهران
- بررسی مشارکت شهروندان در امور شهری
- توانمندسازی اقتصادی- اجتماعی زنان سرپرست خانوار (معرفی و ارزیابی عملکرد شهرداری تهران)
- بررسی وضعیت اتاق‌های بحران (پایگاه‌های پشتیبانی) مناطق شهرداری تهران
- بررسی انواع روش‌های حمل و نقل پاک در شهرها
- تحلیل برنامه شهرداری در کاهش آلودگی هوای شهر تهران با توجه به نقش و چشم‌انداز شهرداری
- ارزیابی عملکرد شهرداری درخصوص مبارزه و پیشگیری از اعتیاد و ارائه رهنمودهای لازم
- مداخلی بر اقتصاد سیاسی نظام شهری در ایران با تاکید بر کلانشهر تهران
- امکانات، توانمندی‌ها و شیوه‌های خدمات‌رسانی سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری تهران
- مروری بر نقش شهرداری تهران در مدیریت بحران
- بررسی ضرورت‌ها و نیازهای گردشگری الکترونیک در ایران (تهران)
- ساماندهی و مدیریت ایجاد و توسعه مراکز آزمون‌های ادواری سامانه‌های سوخت‌رسانی CNG برای انواع خودرو (فاز اول پروژه)
- نقاط قوت و ضعف طراحی منظر شهری (بررسی موردی برنامه، طرح، اجرا و نظارت طرح منظر شهری نعمت آباد)
- بررسی نظرات شهروندان تهرانی درخصوص نحوه انتخاب شهردار تهران
- بازنگری طرح نوسازی ناوگان تاکسیرانی تهران (جایگزینی تاکسی‌های فرسوده)
- ارزیابی معایب و مزایای احداث زیرگذر عابر پیاده به جای پل‌های روگذر
- راهکارهای ساماندهی جا پارک حاشیه‌ای در محلات مسکونی شهر
- مدیریت زباله‌های بتنی
- مقایسه‌ی تطبیقی تهران با شهرهای اسلامی با ساختار مدرن
- معرفی عوامل موثر بر تأمین هزینه پروژه‌های حمل و نقل مانند تونل، پل و بزرگراه‌های دو طبقه از محل دریافت عوارض بهره‌برداری
- شاخص‌ها و ابزارهای سنجش رضایت شهروندان از شهرداری تهران
- خوردگی مواد در هوای شهری (فاز اول)
- بلندمرتبه‌سازی در شهر تهران؛ مطالعات، تحلیل و ارائه ضوابط پیشنهادی
- شاخص‌ها و ابزارهای سنجش رضایت شهروندان از شهرداری تهران
- عدالت در شهر (۱)- وضعیت مسکن و سرپناه در مناطق شهر تهران
- مبانی مدیریت طرح

- بررسی مهم‌ترین چالش‌ها، فرصت‌ها و پیامدهای الکترونیکی شدن شهر تهران با استفاده از مدل SWOT
- بررسی مقایسه‌ای میزان آمادگی الکترونیکی ایران و کشورهای جهان با نگاهی ویژه به شهر تهران
- وضعیت محیط زیست شهر تهران (SoE) (۸۶-۱۳۷۷)
- بررسی مسائل و مشکلات موجود در مرزهای مناطق و نواحی از دیدگاه شهروندان (مطالعه موردی: مرزهای مناطق و نواحی ۱۴ و ۱۷ شهرداری تهران)
- شناسایی ظرفیت‌های سرمایه اجتماعی با تاکید بر شبکه‌سازی در شهر تهران
- تحلیلی بر وضعیت اجتماعی رانندگان تاکسی در تهران و ارائه راهکارهایی برای افزایش اعتماد عمومی و مسئولیت‌پذیری آن‌ها
- بازیافت از ضایعات الکترونیکی بر منابع مواد
- بررسی وضعیت سلامت شهروندان و خدمات شهری در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران
- ضرورت استفاده از سیستم‌های حمل و نقل هوشمند (ITS) در شهر الکترونیک
- مروری بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای کلانشهر تهران در طرح مطالعاتی جایکا با نگاهی بر وضع موجود
- تدوین مفهوم توسعه اجتماعی در مقیاس شهری
- ارزیابی طرح جامع
- سلسله گزارش‌های شناسایی مسائل اجتماعی در اولویت (۱)؛ تعیین موضوعات اجتماعی مهم از نظر مردم
- اعتماد اجتماعی از دریچه مطالعات تجربی در سطح ملی و شهر تهران
- مفاهیم زیست محیطی در برنامه‌ریزی و مدیریت راهبردی حوزه آبخیز شهری
- شناسایی شاخص‌های اجتماعی به منظور تدوین مدل اولویت‌بندی موضوعات و مسائل حوزه شهری
- رنگ در شهر
- هویت شهروندی و راهکارهای ارتقاء آن در شهر تهران
- نحوه واگذاری خطوط BRT به بخش خصوصی
- بررسی تطبیقی تجارب مداخله در پهنه‌های فرسوده و ارائه راهبردهای مبتنی بر مشارکت مردم
- بررسی و مقایسه روش‌های نوین پایدارسازی شیروانی‌های خاکی در شرایط گوناگون
- تکنولوژی‌های جدید ساخت و ساز و تأثیر استفاده از آن‌ها در شهر تهران
- ارزیابی پیاده‌راه بازار تهران
- ساماندهی و حفاظت از باغات و اراضی مزروعی شهر تهران
- بررسی میزان بهره‌وری خانه سلامت در سرای محلات و ارائه رهنمودهای لازم
- بررسی وضعیت واگذاری فعالیت‌های فرهنگی و اجتماعی به بخش خصوصی در شهر تهران
- بررسی مهم‌ترین عوام توسعه گردشگری در شهر تهران
- طرح ساماندهی محور جنوبی شهر تهران (حدفاصل شوش - بعثت)
- سیاست‌گذاری اجتماعی در مواجهه با پدیده: کارتن خوابی
- تبیین الگوهای موفق مشارکت‌های اجتماعی و توسعه محلات در کشور انگلستان
- مطالعه و تدوین راهکارهای بهینه‌سازی اداره سینماهای تحت مالکیت شهرداری و تعیین نقش بخش خصوصی در آن
- سیلاب‌های شهری و نحوه مدیریت آن (مطالعه موردی: سیلاب‌های شهر تهران)
- مطالعه آثار اجتماعی و اقتصادی کارگران مهاجر فصلی در شهر تهران
- مالیات بر ارزش زمین؛ ویژگی‌ها، مزیت‌ها و تأثیر آن بر درآمدهای شهرداری تهران
- توسعه انسجام اجتماعی در تهران «مبانی، تحلیل وضعیت، راهبردها»
- شهر، مصرف فرهنگی و تحلیل نسلی (مطالعه‌ای در شهر تهران)
- سیاست‌گذاری اجتماعی در مواجهه با پدیده کودکان کار خیابانی
- عدالت در شهر (۲)- توزیع فضایی امکانات و خدمات و تناسب آن با جمعیت ساکن در مناطق شهر تهران
- بررسی عوامل مؤثر بر ارتقاء کیفیت فضایی میدانی با رویکرد طراحی شهری
- برنامه راهبردی مدیریت و برنامه‌ریزی حریم پایتخت و برنامه‌ریزی حریم شمال بزرگراه بابایی
- اصلاح تقسیمات شهری تهران
- توسعه انسانی در سال ۲۰۱۰ و جایگاه ایران
- عدالت در شهر (۳)- کودکان و خدمات شهری
- نقش آموزش‌های شهروندی بر توسعه شهر الکترونیک
- ارزیابی خطوط BRT تهران با استاندارد بین‌المللی
- شورایاری‌ها و کارآفرینی اجتماعی

بر اساس مطالعات فاز اول با عنوان «بازیافت: از ضایعات الکترونیک به منابع مواد»، کار مطالعاتی و تحقیقاتی فاز دوم به منظور درک مدل مالی بر اساس مدل گردش مواد که برای مدیریت بازیافت ضایعات الکتریکی و الکترونیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، شکل گرفت.

در گزارش حاضر بعد از مقدمه، در بخش اول، خواننده نمای جامعی از چگونگی گردش مواد، مدل مربوطه و بازیافت ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی پیدا می‌کند. با توجه به یافته‌های این بخش، در بخش دوم، دو مدل جریان کامل مواد و مدل اقتصادی در کنار هم و به صورت یک سیستم تعریف شده تا نتایج زیست محیطی و اقتصادی، مورد بررسی قرار می‌گیرند. بخش سوم به بررسی تحلیل‌های موردی یافت شده در منابع و بر پایه سیستم مدل جامع می‌پردازد. نتایج اثرات به کارگیری رویکردها در این بخش نشان داده می‌شود و به مخاطب اجازه می‌دهد تا با توجه به درآمدها و هزینه‌های به دست آمده و سایر فاکتورها مانند اشتغال زایی، زیست محیطی، ملی و اجتماعی تصمیم صحیح را اتخاذ نماید.



مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران
سازمان علم و فناوری

<http://rpe.tehran.ir>
[email:info@rpe.tehran.ir](mailto:info@rpe.tehran.ir)