رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی به مدل پردازش پایان عمر محصول[1]

احمد اختیارزاده

*** وزارت راه وترابری،مرکز نوسازی و تحول اداری- تهران، خیابان آفریقا،اراضی عباس آباد،ساختمان وزارت راه و ترابری طبقهٔ هفتم شمالی - ۸۲۲۴۳۵۱۵- ahmad_ekhtiarzadeh@yahoo.com**

مجید ایرانمنش

*** وزارت راه وترابری،مرکز نوسازی و تحول اداری- تهران، خیابان آفریقا،اراضی عباس آباد،ساختمان وزارت راه و ترابری طبقهٔ هفتم شمالی - ۰۹۱۲۱۹۰۹۹۷۶- iranmanesh@mrt.ir**

چکیده

روند موجود امروزی در کاهش منابع طبیعی و افزایش تعداد کالاهای مصرفی که تولید شده‌اند منجر به افزایش چشمگیری در تعداد کالاهای مصرف شده ، دورانداخته شده و منقضی شده گردیده است. بدین جهت مفهوم پردازش پایان عمر (**EOL**) محصول، به عنوان سرفصل جدیدی در ادبیات تولیدی مطرح گردید. از اینرو راههای ممکن برای پردازش محصولات مصرف شده یا . . . مورد تجزیه و تحلیل‌های فراوانی قرار گرفت. در این مقاله ذکر می‌گردد که فرآیندهای انهدام محصول, استفاده مجدد، تولید مجدد, تعمیر قطعات و بازیافت مطرح ترین گزینه‌ها برای پردازش پایان عمر محصول می‌باشند. از اینرو در مقاله حاضر یک مدل‌برنامه‌ریزی آرمانی (**GP**) ارائه می‌گردد که از طریق آن می‌توان بهترین ترکیب از آلترناتیوهای فوق را با توجه به ترجیحات تصمیم‌گیرنده انتخاب نمود.

مقدمه

اکنون سازمانهای تولیدی در بازار پرتلاطم و به شدت رقابتی امروزی، با دو مشکل عمده روبرو هستند. اولین مشکل شناسایی و تامین منابع موردنیاز جهت برآورده ساختن اهداف تولیدی است. در جهان امروزی با توجه به رقابت شدید میان کمپانی‌های مختلف، پیدا کردن راهی که از آن طریق بتوان منابع ارزان‌تری را به دست آورد کی از کلیدی ترین مقولات است ، تا بواسطه کسب این منابع ارزان، بتوان به مزیتی رقابتی برای مقابله با رقبای موجود در بازار دست پیدا کرد.

دومین مشکل عمده‌ای که امروزه سازمانهای تولیدی با آن روبرو هستند، قوانین و مقررات سازمانهای حافظ محیط زیست است. این سازمانها برای جلوگیری از تبدیل وضعیت بد محیط زیست به وضعیت بحرانی (بویژه در کشورهای پیشرفته)، فعالیتهای بسیار جدی را در جهت وضع قوانین و مقررات حفاظت از محیط زیست شروع کرده‌اند. در این راستا این سازمانها به‌طور مداوم و با ارائه برنامه‌های تبلیغاتی و . . . مصرف کنندگان را تشویق می‌کنند تا از مصرف محصولاتی که آلاینده محیط زیست هستند، پرهیز کنند.

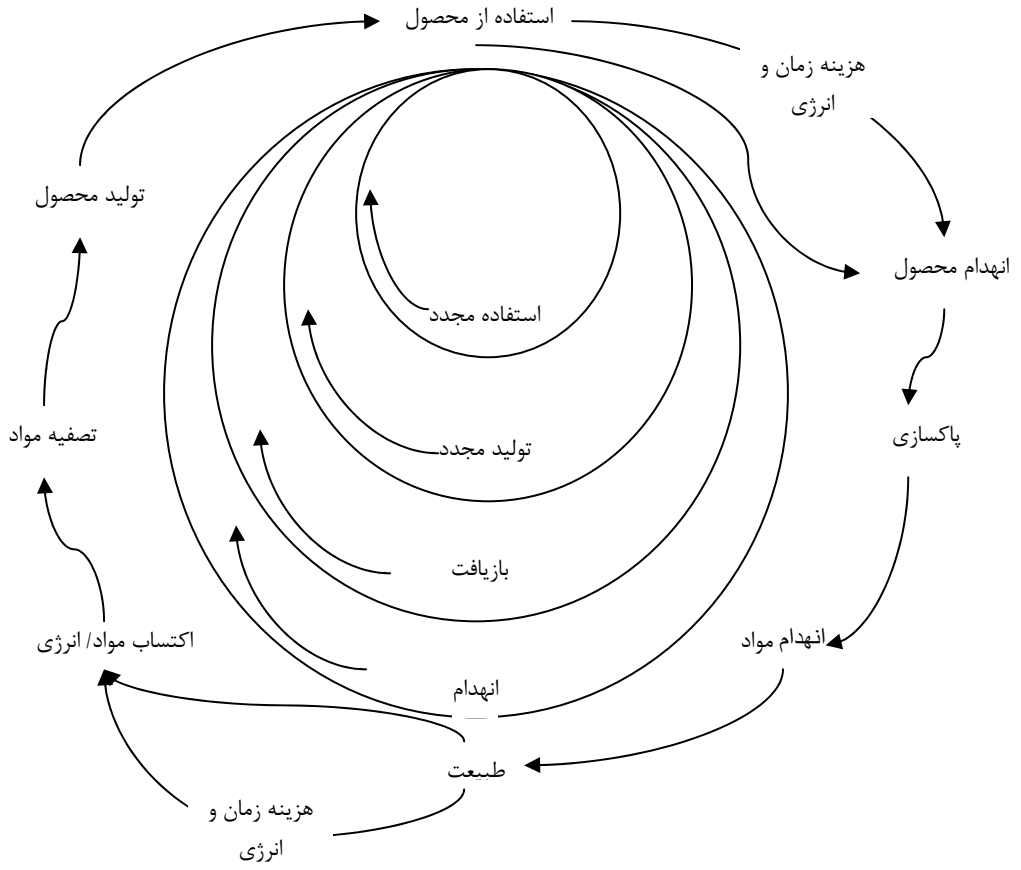
[1] Product End of Life (EOL)

از اینرو مفهوم جدیدی با عنوان تولید اگاهانه محیطی (**Environmental Conscious Manufacturing**) مطرح گردید. تمرکز تولید آگاهانه محیطی بر روی تهیه ابزارها و روشهایی است که می‌توانند اثرات محیطی یک طرح محصول را مشخص کنند. در این وضعیت با دردست داشتن اطلاعات محیطی، ممکن است که طراحان با توجه به سایر محدودیتهای مربوط به محصول، طرح محصول را طوری بهبود ببخشند که از تاثیرات منفی آن بر روی محیط کاسته شود (**James R.Baker, June L.Hansen ,1997**). این زمینه جدید به دنبال استرتژی‌هایی برای طرح محصول است که ازنظر محیطی بی‌خطر باشند، تا از این طریق از آلوده شدن محیط زیست جلوگیری به عمل بیاورند و یا حداقل میزان آلودگی آنها را کاهش بدهند.

آشنایی با مفهوم تولید آگاهانه محیطی این فرصت را به کمپانی‌ها می‌دهد که با دید جدیدی به محصولات و فرآیندهای تولیدی‌شان نگاه کنند. امروزه کمپانی‌ها به دنبال یافتن راههایی برای حداقل کردن تولید ضایعات و استفاده از منابع طبیعی در طراحی محصولاتشان برای سازگاری بیشتر با محیط هستند (**Veerakamolmal, P. and Gupta, S. M , 2000**). از اینرو در ادبیات جدید تولیدی این نوع محصولات را " محصولات سبز" نامگذاری نمودند. در حال حاضر، در اثر تبلیغات بسیار وسیع سازمانهای حافظ محیط زیست، مصرف کنندگان ترجیح می‌دهند که از محصولات سبز استفاده کنند ، و همین امر سبب گردیده است که تولید کنندگان به دنبال راههایی برای تولید محصولاتی باشند که سازگاری بیشتری با محیط داشته باشند (**Elif Kongar, Surendra M. Gupta , 2000**).

امروزه پیشرفتهای سریع در فنآوری سبب ایجاد تغییراتی در رفتار مشتریان گردیده است. حتی با وجود اینکه محصولات فعلی قادر به انجام تمامی کارهای مورد لزوم می‌باشند ، مشتریان امروزی به محصولات جدیدی نیاز دارند. این پدیده، بخصوص در مورد محصولات الکترونیک صادق است و همین امر موجب کوتاه شدن چرخه عمر محصول گشته است (**Elif Kongar, Surendra M. Gupta , 2000**). تولید آگاهانه محیطی (**ECM**) نیز به مباحث محیطی می‌پردازدکه در بر گیرنده مفهوم چرخه عمر محصول هستند. شکل۱ معمولا برای نشان دادن چرخه عمر محصولاتی چون اتوموبیل‌ها، ماشین‌های نساجی، مخلوط‌کن‌ها و ماشین‌های شوینده به کار می‌رود. این چرخه با استخراج مواد از طبیعت آغاز می‌شود و شامل مراحلی همچون پردازش مواد، تولید، استفاده و استعمال پس از مصرف می‌گردد (**James R.Baker, June L.Hansen ,1997**). حرکت ساعتگرد در طول این چرخه همواره هزینه‌هایی را در بر دارد (هزینه‌های مستقیم و هزینه‌های اجتماعی) و موجب مصرف انرژی می‌گردد. این چرخه بیانگر این امر است که حتی استفاده پس از مصرف محصول نیز به مصرف انرژی می‌انجامد و سبب افزایش هزینه‌های چرخه عمر محصول می‌گردد. در این شکل چنانچه مشاهده می‌گردد علاوه بر گزینه‌های انهدام محصول، گزینه‌هایی همچون استفاده مجدد، تولید مجدد و بازیافت نیز وجود دارند. این گزینه‌ها با توجه به قوانین حفاظت از محیط زیست تا زمانیکه عمر مفید محصول را افزایش بدهند، بر انهدام ترجیح داده می‌شوند. در رابطه با شکل۱ این نکته نیز لازم به ذکر است که حلقه‌های داخلی بر حلقه‌های خارجی ارجحیت دارند (**James R.Baker, June L.Hansen ,1997**).

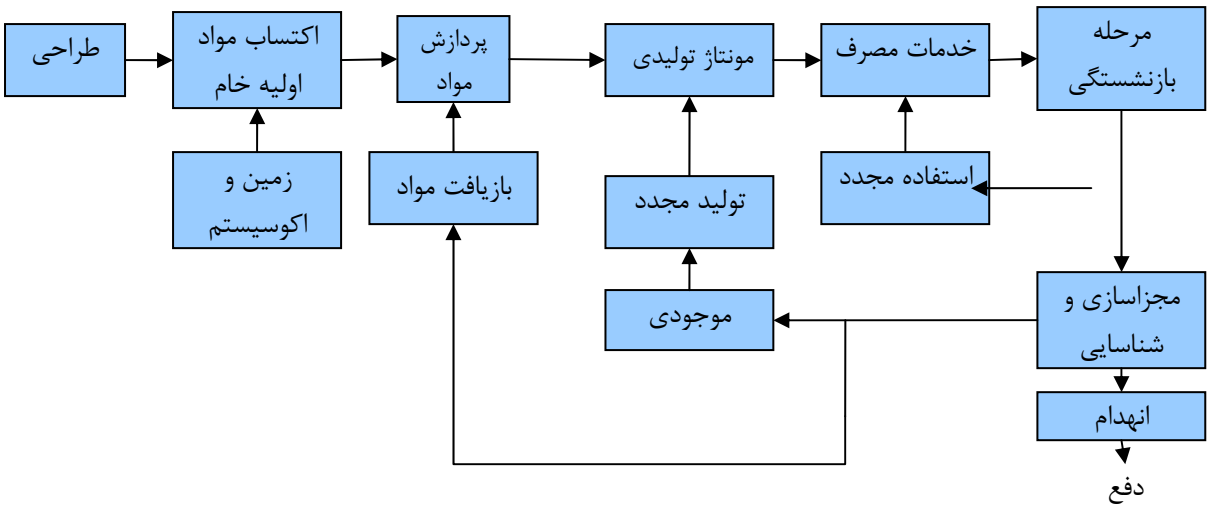
با توجه به شکل۱ همواره پس از پایان عمر یک محصول، جریان جدیدی برای کسب منافع از آن محصول آغاز می‌گردد. این جریان با توجه به نوع و ماهیتش مسیرهای متفاوتی را می‌پیماید. ممکن است محصول موردنظر به منظور بازگردانده شدن به محیط زیست دفع گردد و یا اینکه برای استفاده‌ها و کاربردهای دیگری پردازش گردد. شکل۲ نشان دهنده مسیرهایی است که یک محصول از ابتدا تا انتهای عمر مفید خود و پس از آن می‌پیماید. بنابر این با توجه به شکل، محصول پس از رسیدن به پایان چرخه عمر خود با چهار مسیر مختلف روبرو می‌گردد :



شکل۱ – چرخه عمر محصول

Environmental Conscious Manufacturing By James R.Baker, June L.Hansen , CenCITT Activities Report ,1997.

استفاده مجدد (**Reuse**)، تولید مجدد (**Remanufacturing**)، بازیافت مواد (**Recycling**) و دفع (**Emissions**) یا انهدام (**Disposal**).

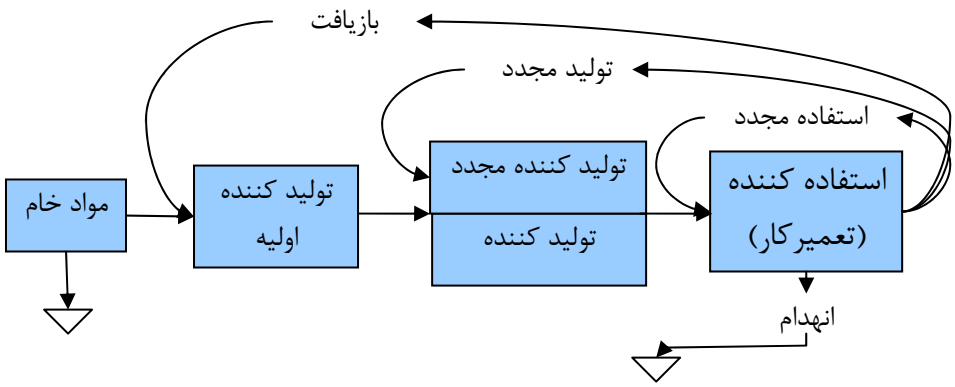


شکل۲- چرخه عمر یک محصول

Recycling vs. Remanufacturing: Environmental Benefits Debated (Part 13) By Tricia Judge, Recharger Magazine, September 1998.

از میان راههای فوق استفاده مجدد، تولید مجدد و بازیافت بهترین گزینه‌ها برای پردازش پایان عمر محصول (**End Of Life**) به شمار می‌روند.

دیاگرام ذیل (شکل۳) جریان مواد و قطعات را در کل چرخه تولید، تعمیر، استفاده مجدد، تولید مجدد و بازیافت محصولات بادوام نشان می‌دهد. در میان راه‌حلهای فوق (یعنی تعمیر و استفاده مجدد، تولید مجدد و بازیافت) طولانی‌ترین حلقه مبین بیشترین هزینه برای اجتماع است (**EPA, 1998**).



شکل۳- دیاگرام جریان مواد در طو حصول

"Remanufacturing" user, Robert T.Lund. Boston University,7/25/2003.

بسیاری از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته است، بر روی مزایای محیطی تمرکز می‌کنند. چرا که محرکهای عمده برنامه‌های بازیافت و تولید مجدد، عمدتا محیطی بوده‌اند (محرکهایی همچون جلوگیری از آلودگی مربوط به تولید و تصفیه کردن مواد اولیه خالص، کاهش تعداد درختانی که قطع می‌شوند و کاهش میزان موادی که در زمین دفع می‌شوند) (**William Hauser, Robert T.Lund ,2003**). علیرغم تمامی این موارد بازیافت و تولید مجدد از دیدگاه اقتصاد کلان نیز دارای مزایای بیشماری می‌باشد که تعدادی از این مزایا به شرح زیر می‌باشند :

- فعالیتهای بازیافتی بیش از پانصدهزار کارگر را به استخدام خود درآورده‌اند و محصولات نهایی با ارزش بیش از ۵ بیلیون دلار تولید می‌کنند. همانطور که در شکل۴ نشان داده شده است، حدودا ۲۷۰۰۰۰ کارگر در صنایع کاغذ، آلومینیوم و فولاد با استفاده از مواد بازیافت شده، محصولات نهایی را تولید می‌کنند (**EPA,1998**).

صنعت	استخدام تولیدی	مواد بازیافت شده(بصورت درصدی از کل مواد)	استخدام (با استفاده از مواد بازیافت شده)
فولاد	۱۱۰،۰۰۰	۶۷	۷۳،۷۰۰
آلومینیوم	۶۹،۰۰۰	۴۲	۲۸،۹۸۰
کاغذ	۶۸۱،۰۰۰	۲۵	۱۷۰،۲۵۰
کل	۸۶۰،۰۰۰	۳۳	۲۷۲،۹۳۰

شکل۴- تعداد کارگران تولیدی بر اساس مواد بازیافت شده

Macroeconomic Importance of Recycling and Remanufacturing, Prepared for The Environmental Protection Agency's Office of Solid Waste, October 1998.

- شرکتهایی که تولید مجدد می‌کنند پانصد هزار کارگر مازاد را به کار گرفته‌اند و فروشی بالغ بر ۵۳ بیلیون دلار در سال به دست آورده‌اند (**EPA,1998**).
- مقدار انرژی مورد نیاز برای بازیافت و تولید مجدد یک محصول بسیار کمتر از آن چیزی است که برای تولید آن محصول و خالص کردن مواد اولیه مورد نیاز آن مصرف می‌شود. این کاهش سالیانه هزینه‌های انرژی بیش از ۱۵ بیلیون دلار در سال می‌باشد (**EPA,1998**). همانطور که در شکل۵ نیز نشان داده شده است، بازیافت فولاد، آلومینیوم، کاغذ، شیشه و پلاستیک هزینه‌های انرژی را بیش از ۱۵ بیلیون دلار کاهش می‌دهند. همچنین با توجه به هزینه ۳۷ دلار در هر تن برای انهدام، صرفه‌جویی حاصله چیزی بالغ بر ۵ بیلیون دلار خواهد بود (**EPA,1998**).
- عمل بازیافت، مقدار ضایعاتی که لازم است در اختیار ضایعات جامد شهری (**Municipal Solid Waste**) قرار بگیرد را کاهش می‌دهد. از اینرو هزینه‌های انهدام ضایعات جامد شهری نزدیک به ۵ بیلیون دلار در سال کاهش می‌یابد (**EPA,1998**).
- کاهش دادن هزینه‌های تولید مواد، سهم زیادی در رقابت‌پذیری صنایع مربوطه خواهد داشت.

مواد	صرفه‌جویی انرژی در هر تن		هزینه انهدام هر تن	کل صرفه‌جویی در هزینه انرژی	کل صرفه‌جویی در هزینه انهدام
	Mill BTU.	دلار			
فولاد	۱۱/۴	۹۴	۳۷	۶،۸۰۰	۲،۷۰۰
آلومینیوم	۱۷۷/۲	۱،۴۷۳	۳۷	۵،۵۰۰	۱۴۰
کاغذ	۱۱/۷	۹۷	۳۷	۴،۴۰۰	۱،۷۰۰
شیشه	۲/۳	۱۸	۳۷	۶۰	۱۰۰

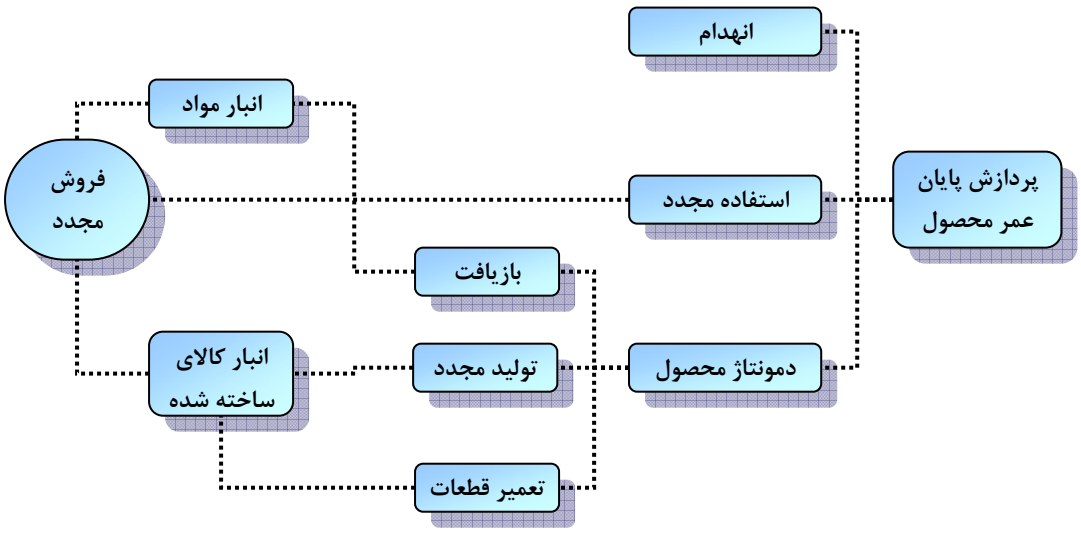
پلاستیک	۷۷/۳	۶۴۲	۳۷	۷۰۰	۴۰
کل	موجود نیست	موجود نیست	۳۷	۱۷،۴۶۰	۴،۶۸۰

شکل۵- صرفه‌جویی در هزینه حاصل از بازیافت (صرفه‌جویی‌های کل بصورت میلیون دلار می‌باشند).
Macroeconomic Importance of Recycling and Remanufacturing, Prepared for The Environmental Protection Agency's Office of Solid Waste, October 1998.

با توجه به توضیحات فوق بهترین گزینه‌ها برای پردازش پایان عمر محصول استفاده مجدد، تولید مجدد و بازیافت هستند. به منظور اجرای هریک از این فرآیندها در اغلب موارد محصولات می‌بایستی ابتدا دمونتاژ گردند. " دمونتاژ فرآیند سیستماتیک برداشتن اجزاء اصلی از مونتاژ اولیه است، بطوریکه به اجزای مفید آسیبی وارد نیاید" (**Elif Kongar, Surendra M. Gupta, 2000**). دمونتاژ می‌تواند بصورت جزئی (محصول کاملا دمونتاژ نمی‌شود) یا کامل (محصول کاملا دمونتاژ می‌شود) انجام پذیرد. علاوه بر این، فرآیند دمونتاژ می‌تواند مخرب (تمرکز عملیات بیشتر بر روی بازیافت مواد است تا بازیافت قطعات) یا غیر مخرب باشد (تمرکز بیشتر بر روی بازیافت قطعات است تا مواد).

بنابراین همواره باید توجه داشت که برای کسب نتیجه‌ای بهتر می‌توانیم برای راه حلهای فوق اولویت‌های بالاتری را در مدل لحاظ کنیم. در این مقاله دمونتاژ بخشی و غیرمخرب مورد بحث قرار می‌گیرد. برای پردازش پایان عمر محصول از یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح با آرمانهای متضاد استفاده می‌کنیم تا از این طریق بتوانیم به طور همزمان به اهداف محیطی، فیزیکی و اقتصادی دست پیدا کنیم.

با توجه به توضیحات فوق چارچوب مدل برنامه‌ریزی آرمانی که در این مدل عنوان می‌گردد , بر اساس شکل ۶ می باشد. آلترناتیوهای مختلف پردازش پایان عمر محصول عبارتند از : انهدام محصول , استفاده مجدد , بازیافت , تولید مجدد و تعمیر قطعات.



شکل ۶ : آلترناتیوهای ممکن برای پردازش پایان عمر محصول

انهدام محصول (**Disposal or Landfill**)

در صورتی که این راه در پیش گرفته شود , محصولات منهدم می‌شوند. برای مثال ممکن است که آنها را در زیر خاک مدفون کنند و غیره.

استفاده مجدد (**Reuse**) :

در این مورد محصولاتی که به پایان عمر خود رسیده‌اند، بازرسی می‌شوند، تعمیر می‌گردند و برای استفاده‌های آتی آماده می‌گردند. این حالت از کمترین هزینه نسبت به سایر گزینه‌ها برخوردار است، ولی این امکان وجود دارد که به علت نگرش منفی مصرف‌کنندگان ، فروش محصولات با مشکل مواجه شود. ورود تلفنهای دست دوم آلمانی با مارکهایی همچون **Telecom** و امثالهم به بازار ایران مثال بارزی برای این نوع پردازش است. چرا که به علت نگرش منفی مصرف کنندگان , تولید کنندگان مجبورند که کالای خود را با قیمت های پایین تر و در کشورهای جهان سوم به فروش برسانند.

بازیافت (**Recycling**) :

در جریان بازیافت، محصول ابتدا دمونتاژ می‌گردد و سپس مواد سالم و قابل استفاده آن تفکیک می‌شوند تا برای به کار برده شدن در تولیدات بعدی مورد استفاده قرار بگیرند. تفاوت میان بازیافت و تولید مجدد در این است که در تولید مجدد قطعات دمونتاژ شده برای تولید محصولاتی همانند آنچه که قبلا بوده‌اند به کار می‌روند، در حالیکه در بازیافت مواد قابل استفاده‌ای جمع‌آوری می‌شود که می‌توانند در تولید هر محصولی که به آنها نیاز داشته باشد به کار بروند. مورد دیگر این است که در تولید مجدد , قطعاتی که دمونتاژ می شوند به همان صورت مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی در جریان بازیافت این امکان وجود دارد که با انجام برخی پردازش‌ها به مواد اولیه مورد نیازی هم دست پیدا کرد. برای مثال ممکن است که با ذوب کردن آهن قراضه ها بتوان از ماده حاصله در صنایع اتوموبیل‌سازی استفاده نمود.

تولید مجدد (**Remanufacturing**) :

در تولید مجدد محصولاتی که دور انداخته شده‌اند، معیوب هستند و یا فرسوده شده‌اند به یک محیط تولیدی منتقل می‌گردند تا دمونتاژ شوند. کلیه قطعات تمیز می‌شوند و مورد بازرسی قرار می‌گیرند. آنهایی که می‌توانند مورد استفاده مجدد قرار بگیرند تشخیص داده می‌شوند، و آنهائیکه نمی‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند، دور انداخته می‌شوند (**EPA,1998**). وقتیکه محصول با استفاده از قطعات جمع‌آوری شده دوباره مونتاژ گردید، مورد آزمایش قرار می‌گیرد و برای دومین دوره حیات خود آماده می‌گردد تا به عنوان یک محصول جدید عمل نماید.

تعمیر قطعات (Repair)

در این حالت محصول ابتدا دمونتاژ می‌شود و پس از آن قطعاتی که قابل تعمیر شدن باشند تعمیر می‌شوند و مابقی دورانداخته می‌شوند.

در نهایت در راستای توضیحات فوق فرض بر این است که با مشاهده محصول و نقص مربوطه می‌توانیم تشخیص بدهیم که آیا محصول باید منهدم گردد , بازرسی و اصلاح گردد و یا اینکه قطعاتش قابل تعمیر هستند یا به جز چند قطعه بقیه بی نقص هستند.

برای رسیدن به این مرحله , از نمایندگی هایی که محصولات خراب یا منقضی شده را پس می‌گیرند می‌خواهیم تا نوع نقص هر محصول را در فرمهایی که به همین منظور تهیه شده‌اند , بنویسند و آن را روی محصول نصب کنند.

بررسی پیشینه تحقیق

اخیرا تحقیقات بسیاری انجام گرفته است که تولید آگاهانه محیطی و دمونتاژ را مورد تاکید قرار داده‌اند. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان این تحقیقات را در سه طبقه قرار داد : برنامه‌های زمانبندی دمونتاژ، برنامه‌ریزی فرآیند دمونتاژ و تکنیک‌های مدلسازی ریاضی برای بهینه کردن جنبه‌های مالی و محیطی دمونتاژ.

Gupta و **Taleb** برای زمانبندی کردن دمونتاژ محصولی با ساختاری کاملا تعریف شده و گسسته، الگوریتمی را ارائه کرده‌اند. برنامه دمونتاژ یک محصول به قطعات، چیزی شبیه به برنامه‌ریزی مواد مورد نیاز (**MRP**) است. این الگوریتم برنامه‌ریزی دمونتاژ را طوری تعیین می‌کند که تقاضاها برای آن قطعات را ارضا کند. آنها در مقالات بعدی‌شان متدولوژی‌شان را بهبود بخشیدند. بنابراین این الگوریتم قطعات/ مواد یکسانی را که در تعدادی از محصولات مختلف به کار گرفته شده‌اند را نیز در برگرفت (**Elif Kongar, Surendra M. Gupta, 2000**). اخیرا **Veerkamolmal** و **Gupta** روشهایی را پیشنهاد کردند که راه‌حلهایی را برای برنامه‌ریزی بازیافت قطعات ارائه می‌کند. این نویسندگان تعداد و نوع محصولاتی را که می‌بایست دمونتاژ شوند را طوری تعیین کرده‌اند که تقاضا برای مجموعه‌ای از قطعات را ارضا کند، و در عین حال هزینه‌های بازیافت و دمونتاژ را حداقل می‌سازد. **Lye** الگوریتمی را ارئه کرده است که حداقل هزینه کل سرویسهای انجام شده برای یک شبکه محصول را بر اساس الگوریتم کوتاهترین مسیر **Floyd** تعیین می‌کند. اگرچه این تحقیق روابط پیشنیازی را بکار می‌گیرد و قطعات معیوب را به حساب می‌آورد و آلترناتیوهای متعددی را به کاربر ارائه می‌کند، بازهم مشکل بکارگیری قطعات و مواد اولیه یکسان در کالاهای مختلف و دمونتاژ بخشی را حل نمی‌کند. **Veerkomolmal** برای تهیه یک طرح دمونتاژ کارا از تکنیکهای تدریجی و برنامه‌ریزی کاربردی با بکارگیری مزیت **Product Modularity** استفاده کرده است که زمان کل پردازش را حداقل می‌کند و بنابراین هزینه دمونتاژ را حداقل می‌سازد. **Gungur** و **Gupta** برای ایجاد یک طرح تدریجی دمونتاژ نزدیک به بهینه، متدولوژی را ارائه کرده‌اند (**Elif Kongar, Surendra M. Gupta, 2000**).

نویسندگان متعددی برنامه‌ریزی ریاضی را در زمینه دمونتاژ و بازیافت به کار برده‌اند. **Issacs** و **Gupta** برای حل این مشکل با بکاربردن برنامه‌ریزی آرمانی، اثر طراحی خودرو را برروی استراتژی‌های بازیافت مورد بررسی قرار داده‌اند. **Hoshino** برای تجزیه و تحلیل کردن سودآوری و نرخ‌های بازیافت در سیستمهای تولیدی از یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی استفاده کرده است.

بیان مساله و فرموله‌سازی

به منظور ارضاء تقاضای قطعات و یا محصولات مورد نیاز ، تنوعی از محصولات از مصرف‌کنندگان نهایی و یا اسقاطی‌ها خریداری می‌گردد و برای تحقق تقاضا دمونتاژ یا اصلاح می‌گردند. هر قلم مورد تقاضایی که در دوره زمانی فعلی مورد استفاده قرار نگیرد ممکن است به یک تولیدکننده مجدد فرخته شود تا آن را در موجودی خود نگهداری کند، تا در دوره‌های بعدی مورد استفاده قرار دهد. بدین طریق تاریخ مصرف این اقلام منقضی نمی‌گردد. اقلام باقی‌مانده به چرخه بازگردانده می‌شوند و یا بازیافت می‌گردند. بخاطر داشته باشید که هر محصول ممکن است چندین قطعه از نوعی مشابه داشته باشد و ممکن است نمایانگر استفاده از مواد و قطعات یکسانی در بین و درون ساختارهای محصول باشد.

برای تعیین تعداد و نوع محصولاتی که می‌بایست برای ارضای مجموعه ای از محدودیتهای تقاضا بکار بروند یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح ارائه می‌گردد، که در عین حال اهداف محیطی، فیزیکی و هزینه/ فایده از قبل تعیین شده را نیز برآورده می‌سازد.

مفروضات مدل :

۱. کالایی که دوباره تولید شده دقیقا مثل یک کالای نو است.
۲. قطعه‌ای که دمونتاژ و تعمیر شده دقیقا مثل یک قطعه نو است.
۳. محصولی که بازیافت , تولید مجدد یا تعمیر شده در همان دوره مالی فروخته می‌شود (استراتژی Pull).
۴. فرض می‌کنیم دو انبار داریم , انبار مواد اولیه و انبار محصول آماده فروش.
۵. فرض می‌کنیم قیمت های فروش تابع رابطه زیر هستند :

کالاهای دست دوم< مواد بازیافتی< کالای تعمیر شده< کالایی که تولید مجدد شده

۶. فرض می کنیم هزینه‌ها تابع رابطه زیر هستند :

تعمیر برای استفاده مجدد < تعمیرات قطعات < تولید مجدد < بازیافت

۷. کل تقاضای هر دوره در همان دوره برآورده می‌گردد.
۸. در صورت نیاز به دمونتاژ محصول کلیه قطعات دمونتاژ می‌شوند.
۹. قطعات بازیافتی به انبار مواد اولیه باز می‌گردند.
۱۰. $$V_j \le V_i \qquad \begin{matrix} \forall i \mid i = 1,2,3,...,n \\ \forall j \mid j = 1,2,3,...,m \end{matrix}$$

i : اندیس مورد استفاده برای محصولات $i = 1 , 2 , 3 , . . . , n$	DM_i : تعداد محصول i که می بایست دمونتاژ گردند
j : اندیس مورد استفاده برای قطعات $j = 1 , 2 , 3 , . . . , m$	DMC_{ij} : هزینه دمونتاژ قطعه j از قطعه/ محصول i
P_i : تعداد محصول i در هر دسته , که قابلیت پردازش شدن دارند	TDMC : هزینه کل دمونتاژ
PAS_i : هزینه اکتساب هر واحد محصول i	DM_{ij} : تعداد قطعات موجود از j در محصول i
TSP : کل فضای موجود در انبار کالای ساخته شده	TDMC : هزینه کل دمونتاژ

TSM: کل فضای موجود در انبار مواد اولیه	R_i : تعداد محصول i که می بایست بازیافت گردد
S_i : موجودی خریداری شده از محصول i	RC_{ij} : هزینه بازیافت قطعه j از قطعه/ محصول i
Sj : موجودی خریداری شده از قطعه j	RPj : قیمت فروش قطعه j که بازیافت شده
HC_i : هزینه نگهداری محصول i	TRR : درآمد کل بازیافت
HC_j : هزینه نگهداری قطعه j	TRC : هزینه کل بازیافت
V_i : حجم محصول i	TRP : سود حاصل از عملیات بازیافت
V_j : حجم قطعه j	RM_i : تعداد محصول i که می بایست تولید مجدد شوند
L_i : تعداد محصول i که می بایست منهدم گردند (در هر دسته).	RMC_j :هزینه تولید مجدد قطعه j
LC_i : هزینه انهدام هر واحد محصول i	TRMC : هزینه کل تولید مجدد
TLC : هزینه کل انهدام	TRMR : درآمد کل فروش مجدد
A_i : تعداد محصولات قابل اصلاح i (در هر دسته).	RMP_i : مبلغ فروش تولید مجدد محصول i
AC_i : هزینه بازرسی و اصلاح هر واحد محصول i	RP_i : تعداد محصول i که قطعاتش قابل تعمیر هستند
TAC : هزینه کل تعمیرات اصلاحی	RPC_j : هزینه تعمیر قطعه j از محصول i
AP_i : مبلغ فروش محصول i	TRPC : هزینه کل تعمیر
TAR : درآمد کل حاصل از فروش محصولات دست دوم	RPP_j : مبلغ فروش قطعه تعمیری j
TAP : سود کل حاصل از محصولات دست دوم	TRPR : درآمد کل فروش قطعات تعمیر شده
IC : هزینه نگهداری	D_i : مقدار تقاضا برای محصول i
	D_j : مقدار تقاضا برای قطعه j
	TOTAL : سود کل پردازش پایان عمر محصولات

جدول ۱ – تعریف متغیرهای مدل

در این مدل دو نوع محدودیت داریم. دسته اول محدودیتهایی هستند که محدودیتهای سخت نامیده می شوند و تنها پس از ارضای کامل آنها می‌توان به دنبال تحقق بقیه اهداف رفت. بنابراین در کل تابع هدف مربوط به این محدودیتها اولویتی برابر با p_1 خواهد داشت. دسته دوم محدودیتهای آرمانی با ترجیحات تصمیم‌گیرنده هستند که اولویت آنها توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌گردد.

محدودیت‌های سخت در این مدل عبارتند از :

- تعداد محصولاتی که منهدم , اصلاح یا دمونتاژ می‌شوند باید کمتر یا برابر با موجودی خریداری شده از همان محصول باشد.

$$L_i + A_i + DM_i \le S_i \qquad \forall i \mid i = 1,2,3,...,n$$

- تعداد محصولاتی که بازیافت , تولید مجدد یا تعمیر می‌گردند میبایست با تعداد محصولاتی که دمونتاژ می‌شوند برابر باشد.

$$R_i + RM_i + RP_i = DM_i \qquad \forall i \mid i = 1,2,3,...,n$$

- تعداد محصولاتی که دمونتاژ می‌شوند برابر یا کمتر از تعداد کل محصولات قابل پردازش در هر دسته است.

$$DM_i \le P_i \qquad \forall i \mid i = 1,2,3,...,n$$

- مجموع حجم محصولاتی که تولید مجدد یا اصلاح می‌گردند و قطعاتی که تعمیر می‌شوند باید برابر یا کمتر از حجم انبار محصول ساخته شده باشد.

$$\sum_{i=1}^{n}\left[V_i(A_i+RM_i)+\sum_{j=1}^{m}(V_j(RP_i\times DM_{ij}))\right]\le TS$$

- مجموع تعداد محصولاتی که اصلاح می‌شوند وآنهایی که تولید مجدد می‌شوند باید تقاضا برای هر محصول را برآورده سازد.

$$A_i+RM_i=D_i \qquad \forall i \mid i=1,2,3,\ldots,n$$

- تعداد قطعاتی که تعمیر می‌شوند باید تقاضای مربوطه را برآورده بسازند.

$$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}(RP_i\times DM_{ij})=D_j$$

سایر توابع هدف آرمانی مدل به شرح زیر می‌باشند :

- هزینه عملیات انهدام محصول عبارت است از :

$$TLC=\sum_{i=1}^{n}(L_i\times LC_i)$$

- سود کل حاصل از عملیات بازرسی و اصلاح به منظور استفاده مجدد عبارت است از :

$$TAP=TAR-(TAC+IC_A)$$

$$TAR=\sum_{i=1}^{n}(A_i\times AP_i)$$

$$TAC=\sum_{i=1}^{n}(A_i\times AC_i)$$

$$IC_A=\sum_{i=1}^{n}(A_i\times HC_i)$$

- سود کل حاصل از عملیات بازیافت به منظور فروش مجدد عبارت است از :

$$TRP=TRR-(TRC+IC_R)$$

$$TRR=\sum_{i=1}^{n}\left[R_i\times\sum_{j-1}^{m}(DM_{ij}\times RP_j)\right]$$

$$TRC=\sum_{i=1}^{n}\left[R_i\times\sum_{j-1}^{m}(DM_{ij}\times RC_{ij})\right]$$

$$IC_R=\sum_{i=1}^{n}\left[R_i\times\sum_{j-1}^{m}(DM_{ij}\times HC_j)\right]$$

- سود کل حاصل از عملیات تولید مجدد عبارت است از :

$$TRMP = TRMR - (TRMC + IC_{RM})$$

$$TRMR = \sum_{i=1}^{n} (RM_i \times RMP_i$$

$$TRMC = \sum_{i=1}^{n} \left[RM_i \times \sum_{j=1}^{m} (DM_{ij} \times DMC_{ij}) \right] + \sum_{i=1}^{n} \left[RM_i \times \sum_{j=1}^{m} (DM_{ij} \times RMC_{ij}) \right]$$

$$IC_{RM} = \sum_{i=1}^{n} (RM_i \times HC_i)$$

- سود کل حاصل از عملیات تعمیر قطعات , به شرح زیر می‌باشد :

$$TRPP = TRPR - (TRPC + IC_{RP})$$

$$TRPR = \sum_{i=1}^{n} \left[RP_i \times \sum_{j=1}^{m} (DM_{ij} \times RPP_j) \right]$$

$$TRPC = \sum_{i=1}^{n} \left[RP_i \times \sum_{j=1}^{m} (DM_{ij} \times DMC_{ij}) \right] + \sum_{i=1}^{n} \left[RP_i \times \sum_{j=1}^{m} (DM_{ij} \times RPC_j) \right]$$

$$IC_{RP} = \sum_{i=1}^{n} \left[RP_i \times \sum_{j=1}^{m} (DM_{ij} \times HC_j) \right]$$

- هزینه کل اکتساب محصول i عبارت است از :

$$TPAS = \sum_{i=1}^{n} (PAS_i \times S_i)$$

- بنابراین تابع سود کل به شرح زیر خواهد بود :

$$TOTAL = TAP + TRP + TRMP + TRPP - (TLC + TPAS)$$

نتیجه گیری :

امروزه با توجه به وضع قوانین و مقررات محدود کننده و یا مواردی دیگر اینطور به نظر می رسد که رویه تصمیم‌گیری پیچیده‌تر شده است. بنابراین در چنین وضعیتی بهتر است که از شرایط تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده کنیم تا بتوانیم انعطاف‌پذیری لازم را در مقابل وضع قوانین و مقررات جدید به دست آوریم. مدل ارائه شده در این مقاله در ضمن اینکه سطح قابل قبولی از سود را ارئه می‌نماید، این امکان را به ما می‌دهد که سایر آرمانها را نیز بطور همزمان تحقق بخشیم.

در مقاله حاضر یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای یافتن بهترین آلترناتیوهای ممکن از میان راه‌های مختلف پردازش پایان عمر ارائه گردیده است. در این مدل ، پنج حالت مختلف برای پردازش پایان عمر محصول ذکر گردیده است. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده و مطالعه متون مربوطه به‌نظر می‌رسد که گزینه دیگری برای پردازش پایان عمر محصول وجود ندارد. این گزینه‌ها عبارتند از : انهدام محصول ، استفاده مجدد ، تولید مجدد ، بازیافت و تعمیر قطعات. با استفاده از مدل ارائه شده درصورتیکه محصولاتی متنوع خریداری شده باشد به راحتی می‌توان تعیین نمود که چه تعداد از هر محصول می‌بایست منهدم ، تعمیر و یا . . . گردد.

در نهایت تصمیم‌گیری در این فرآیند بسته به ترجیحات تصمیم‌گیرنده دارد ، و در صورت نیـاز نیـز می‌توان هریک از آلترناتیوها را با توجه به نظر تصمیم‌گیرنده از صورت مساله حذف نمود.

منابع

۱- مهرگان، محمدرضا. *پژوهش عملیاتی پیشرفته* . نشر کتاب دانشگاهی .ص . تهران ، ۱۳۸۳.

2- M.Gupta Surendra , Kongar Elif, 2000. A Goal Programming Approach To the Remanufacturing Supply Chain Model. ***Laboratory of Responsible Manufacturing.*** pp 1-12.

3- Environmental Protection Agency's Office of Solid Waste, 1998. Macroeconomic Impact of Recycling and Remanufacturing. **pp 1-7.**

4- Hauser William, T.Lund Robert, 2003. Remanufacturing. ***An American Resource.*** pp 1-8.

5- Crittenden John.C, R.Baker James and L.Hansen June, 1997. " Activity Report". ***National Center for Clean Industrial and Treatment Technologies.*** pp 1-10.

6- Judge Tricia. "Recycling v. Remanufacturing: Environmental Benefits debated". ***Recharger Magazine.*** Part 13 of 17-Part Series. September 1998. pp 68-69.

7- Erdos Gabor, Kis Tamas, Xirouchakis Paul. "Modeling and Evaluating Product end-Of-Life Options". ***Swiss Federal Institute Of Technology at Lausanne.*** 1999. pp 1-15.

8- Veerakamolmal, P. and Gupta, S. M., "Design for Disassembly, Reuse and Recycling", in *Green Electronics/ GreenBottom Line: Environmentally Responsible Engineering,* Edited by Lee Goldberg, ***Butterworth-Heinemann***; (Newnes),Chapter 5, 69-82, ISBN: 0-7506-9993-0, 2000.