کمینه سازی هزینه‌های لجستیک معکوس خودروهای فرسوده

مسعود زارعی[i]؛ سعید منصور[ii]؛ فریبرز جولای[iii]

چکیده

امروزه با توجه روزافزون به مسایل زیست محیطی، مدیریت پایان عمر محصولات که آخرین مرحله از دوره عمر محصول می‌باشد بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مهمترین مساله در این مرحله، نحوه جمع آوری محصولات فرسوده و بازیافت آنها به منظور کسب حداکثر ارزش اقتصادی و در عین حال رعایت قوانین است.

با معرفی خط مشی اتحادیه اروپا درخصوص خودروهای فرسوده، تولیدکنندگان خودرو مسئول بازپس گیری رایگان و بازیافت محصولات فرسوده تولیدی خود بوده و همچنین اهداف مشخصی برای افزایش نرخ بازیافت این خودروها تعیین شده است. در این مقاله به منظور برآوردن نیازمندی‌های خط مشی فوق با کمترین هزینه، مفهوم "شبکه تولیدکننده" معرفی و مدلی با هدف کمینه سازی هزینه های لجستیک معکوس این شبکه ارایه شده است. هدف مدل، تعیین مناطق بهینه استقرار تسهیلات جمع آوری و بازیافت خودروهای فرسوده و همچنین نحوه جریان مواد بین آنها می باشد. در ادامه پس از حل یک نمونه مساله، آنالیز حساسیت بر روی مدل انجام گرفته است.

کلمات کلیدی

پایان عمر، بازیافت خودروهای فرسوده، خط مشی اتحادیه اروپا، لجستیک معکوس، مدلسازی ریاضی.

Minimization of Reverse Logistics Costs of End-of-Life Vehicles

Zarei M., Mansour S., Jolai F.

ABSTRACT

By increasing attention to environmental issues, the Sustainable Product Development concept has been well developed and products End-of-Life (EoL) management, as the last stage in every product life cycle, has much been taken into account. The main problem is how to collect the EoL products and treat them in order to get the maximum economic benefit from their recovery, and also at the same time fulfilling the related legislations.

By introducing the European Union (EU) Directive on End-of-Life Vehicles (ELVs), the manufacturers are responsible for free take back and recovery of their vehicles; and also some targets for enhancing the recovery rate have been determined.

In this paper, for satisfying the requirements of the above Directive with minimum cost, the *Manufacturer Network* concept has been introduced and a mathematical model for minimizing the reverse logistic costs of this network has been developed. The objective of the model is to determine the optimal locations of ELVs' collection centers and dismantlers and also material flows between involved facilities. After solving a numerical example, the sensitivity analysis has been performed on model.

KEYWORDS

End-of-Life (EoL), End-of-Life Vehicle, recovery, European Union Directive, Reverse logistics, Mathematical Modeling.

[i] کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع؛ دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ Email: masoud_zarei@yahoo.com

[ii] دانشیار دانشکده مهندسی صنایع؛ دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ Email: s.mansour@aut.ac.ir

[iii] استادیار گروه مهندسی صنایع؛ دانشکده فنی دانشگاه تهران؛ Email: fjolai@ut.ac.ir

۱- مقدمه

مدیریت پایان عمر[1](EoL) محصولات به عنوان آخرین فاز در دوره عمر[2] محصول، از لحاظ زیست محیطی و اقتصادی، از اهمیت زیادی برخوردار می باشد زیرا محصولات اسقاط پتانسیل بالایی برای آلودگی محیط زیست دارند و همچنین بسیاری از محصولات EoL، دارای قطعات، اجزا و مواد با ارزش هستند که ممکن است بدون تغییر و یا با اندکی تغییر، قابل استفاده مجدد در تولید محصولات جدید باشند.

هنگامی که یک محصول به پایان عمر خود می‌رسد، گزینه‌های مختلفی برای بازیافت قطعات و مواد اولیه تشکیل دهنده آن وجود دارد. انتخاب گزینه مناسب برای هر جزء سازنده محصول با توجه به کیفیت آن، قوانین زیست محیطی مربوطه و نیز با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی و تحلیل هزینه انجام گزینه بازیافت در مقابل درآمد حاصل از آن انجام می‌گیرد. این گزینه‌ها در حالت کلی به ترتیب مناسب بودن آنها از لحاظ زیست محیطی عبارتند از: استفاده مجدد[3]، ساخت مجدد[4]، بازیابی مواد[5]، سوزاندن[6] و دفن کردن[7].

استفاده مجدد به معنی هرگونه عملیاتی است که باعث شود اجزای محصولات فرسوده به منظور هدفی مشابه با وظیفه اولیه آنها بکار گرفته شوند[۲]. ساخت مجدد عبارتست از عملیات دمونتاژ، پاک کردن، پرداخت مجدد، جایگزینی قطعات در صورت لزوم و درنهایت مونتاژ مجدد یک محصول بطوری که کیفیت قطعات بهتر و یا حداقل به خوبی قطعات نو باشد [۹]. هنگامی که استفاده مجدد از محصول و یا قطعات امکان پذیر نباشد، گزینه مناسب بعدی بازیابی مواد است. بازیابی مواد به معنای پرداخت مجدد مواد زاید در فرآیندهای تولیدی به منظور استفاده از آنها برای هدف اولیه و یا اهداف دیگر می باشد که البته استراتژی بازیافت انرژی را شامل نمی شود[۲]. در صورتی که بازیافت قطعات و مواد امکان پذیر نباشد، از گزینه سوزاندن مواد زاید به منظور تولید انرژی استفاده می شود که باتوجه به جنس مواد، ممکن است این عملیات بدون بازیافت انرژی گرمایی باشد. آخرین گزینه برای دور ریختن ضایعات، دفن آنها در مکانهای مشخص می باشد.

خودروی فرسوده[8] (ELV)، خودرویی است که به انتهای دوره عمر مفید خود رسیده و بطور بالقوه می تواند به محیط زیست زیان وارد نماید، بنابراین باید تحت برنامه ای مناسب با محیط زیست، بازیافت شود. باتوجه به حجم بالای تولید خودرو در کشورهای مختلف و اسقاط تعداد زیاد ELV ، اندازه فیزیکی بزرگ خودروها و نبود فضای کافی جهت نگهداری آنها و نیز ارزش اقتصادی بالقوه قطعات و مواد این محصولات، تحقیقات متعددی بر روی فرایند بازیافت آنها انجام شده است. آمارهای زیر اهمیت بحث بازیافت خودروهای فرسوده را نشان می‌دهد:

- خودروهای فرسوده سالیانه بین ۸ تا ۹ میلیون تن ضایعات در اتحادیه اروپا تولید می کنند [۲].
- در ایالات متحده آمریکا برآورد می شود که سالیانه بطور میانگین حدود ۱۳/۳ میلیون خودرو از رده خارج می شوند [۱۶].
- سالیانه حدود ۵ میلیون خودروی فرسوده در ژاپن از رده خارج می شوند [۷].

دو موضوع مهم خط مشی اتحادیه اروپا[9] در رابطه با ELVs (خط مشی 2000/53/EC [۲])، عبارتند از:

i. مسئولیت توسعه یافته تولیدکننده[10](EPR): باتوجه به خط مشی تولیدکنندگان خودرو مسئول بازپس گیری رایگان و بازیافت خودروهای خود بوده و باید تمام و یا بخش عمده ای از هزینه‌های جمع آوری و بازیافت آنها را پرداخت نمایند.

ii. اهداف بازیافت ELVs: اهداف تعیین شده برای بازیافت خودروهای فرسوده به صورت جدول ۱ می‌باشند:

جدول (۱): اهداف بازیافت ELVs طبق خط مشی اتحادیه اروپا[۲]

نوع خودرو	تاریخ	هدف بازیافت/ استفاده مجدد	هدف بازیابی/ استفاده مجدد
تمامی ELVs	01/01/2006	٪۸۵	٪۸۰
ELVهای تولیدشده قبل از سال ۱۹۸۰	01/01/2006	٪۷۵	٪۷۰
تمامی ELVs	01/01/2015	٪۹۵	٪۸۵

اختلاف بین دو ستون آخر جدول فوق، نشانگر میزان سوزاندن مواد زاید به منظور تولید انرژی می‌باشد و بنابراین باتوجه به جدول فوق، در سال ۲۰۰۶، اجازه سوزاندن ۵٪ وزن خودرو برای احیای انرژی داده شده که این مقدار برای سال ۲۰۱۵ برابر با ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است.

لجستیک معکوس[11]، عبارتست از فعالیتهای لجستیک در ارتباط با محصولات غیرقابل کاربرد توسط مصرف کنندگان و تبدیل آنها به محصولات و موادی که می‌توانند مجددا در بازار مورد استفاده قرار گیرند[۵]. هدف این سیستمها، مدیریت توزیع محصولات EoL و همچنین قطعات، اجزا و مواد آنها از کاربر نهایی به واحدهای مسوول در امر بازیافت و به عبارت دیگر مدیریت کانالهای توزیع معکوس مواد[12] می‌باشد.

۲- مرور ادبیات

در مرجع [۱۱] یک مدل لجستیک معکوس با در نظر گرفتن

مناطق جمع آوری و پرداخت ارایه شده که در آن علاوه بر محدودیت حداکثر ظرفیت تاسیس تسهیلات فوق، برای هریک از آنها، حداقل و حداکثر تعداد تاسیس مراکز بر مدل اعمال شده است. یک مدل برنامه ریزی مخلوط خطی عدد صحیح برای بازیابی ماسه در[۱] ارایه شده است. هدف مساله تعیین مناطق ساخت انبارهای منطقه ای و تسهیلات بازیافت از میان نقاط بالقوه و چگونگی جریان یافتن انواع مختلف ماسه‌ها بین گره های شبکه ارایه شده می‌باشد. یک مدل جایابی-تخصیص برای تسهیلات جمع آوری، پرداخت اولیه و توزیع مجدد فرشهای ماشینی و مواد اولیه آنها در[۱٤] ارایه شده است. در این مدل، مختصات محلهای تسهیلات به صورت پیوسته در نظر گرفته شده است. یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای شبکه توسعه یافته زنجیره تامین در[۳] پیشنهاد شده است که در آن با در نظر گرفتن فازهای توسعه محصول و بازیابی آن، تصمیمات و متغیرهای خروجی مدل، به برنامه ریزی استراتژیک و بلندمدت شبکه مرتبط می باشد.

یک مدل لجستیک معکوس به منظور کمینه سازی هزینه‌های مرتبط با یک سیستم بازیافت چند دوره‌ای و با در نظر گرفتن چند نوع ضایعات خطرناک در [۱۰] ارایه شده و سپس یک مطالعه موردی انجام گرفته است. یک مدل برای جایابی یک کارخانه با در نظر گرفتن همزمان محصولات اولیه و ثانویه در [۱۵] ارایه شده است. محصول اولیه، محصولی است که برای برآوردن تقاضای مشتریان مورد استفاده قرار می‌گیرد درحالی که محصول ثانویه، محصولی است که توسط کاربر به کارخانه بازگردانده می‌شود.

یک مدل برای مدیریت زنجیره تامین معکوس با در نظر گرفتن رفتار تصمیم گیرندگان مختلف درگیر در امر بازیافت در[۱۶] ارایه و سپس یک مدل تعادلی چند رده‌ای[۱۳] برای آن ساخته شده است. در مرجع[۱۳]، یک روش برنامه ریزی تصادفی[۱٤] برای مساله جایابی تسهیلات در سیستمهای بازیافت ارایه گردیده و سپس روش پیشنهادی، برای مساله بازیافت ماسه، پیاده سازی شده است. در مرجع [۸]، یک روش دینامیک سیستم[۱۵] به منظور تحلیل تاثیر پارامترهای زیست محیطی بر طراحی شبکه‌های مذکور به کار گرفته شده است. خواننده برای اطلاعات بیشتر در مورد مشخصات سیستمهای لجستیک معکوس و طبقه بندی مدلهای مختلف ارایه شده در این زمینه، می‌تواند به[۵], [۶] مراجعه کند.

در مرجع [۱۲] از یک ابزار تحلیلی مبتنی بر بهینه سازی فرآیند ساخت زدایی[۱۶] درجهت یافتن برنامه بهینه بازیافت قطعات و مواد برای یک خودروی نمونه اوراق شده، استفاده شده است. برای توسعه مدل در بخش ۴، نتایج این تحقیق بکار رفته است. همچنین تاثیر خط مشی اتحادیه اروپا بر صنعت بازیافت خودرو به منظور محاسبه میزان مواد جداشدنی از خودرو در مرحله اوراق کردن[۱۷] آن درجهت برآوردن اهداف بازیافتی خط مشی، در[۴] بررسی شده است. تحقیق جامعی در رابطه با مدیریت پایان عمر خودروها در ایالات متحده آمریکا در مرکز سیستمهای پایدار دانشگاه میشیگان انجام شده است [۱۷]. این تحقیق اکثر موارد مرتبط با وضعیت فعلی بازیافت خودروها و مسایل قابل اهمیت جهت تمرکز در آینده به منظور افزایش نرخ بازیافت آنها را مورد پوشش قرار داده است.

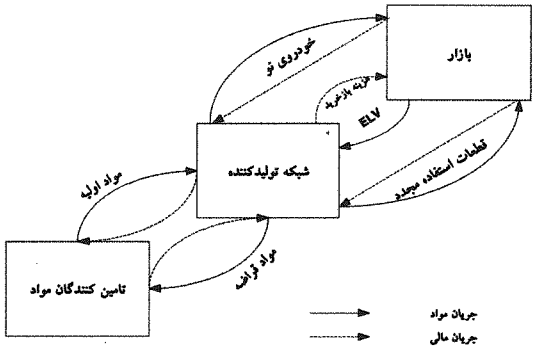
در ایران، سیاست بهینه در امر بازیافت، مدتهاست که مورد بحث و بررسی بوده و یکی از معدود تحقیقات کارشناسی انجام گرفته در این زمینه، تحت نظارت سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور در سال ۱۳۸۰ بوده است که در آن شش راهکار کلی همچون خرید خودروهای فرسوده با جایگزینی، حذف تدریجی خودروهای فرسوده و ... مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

در مقاله حاضر یک مدل لجستیک معکوس تک دوره ای باتوجه به فرایند بازیافت ELVs و درنظر گرفتن پارامتر حداکثر فاصله دسترسی نقاط تقاضا و همچنین محدودیتهای مرتبط ارایه شده است. ابتدا در بخش ۳، مدل مفهومی سیستم پیشنهادی و سپس در بخش ۴، مدل ریاضی مربوطه آورده شده است. اعتبارسنجی مدل در بخش ۵ انجام گرفته است و در انتها بررسی یافته‌های اعتبارسنجی و نتیجه گیری، ارایه شده‌اند.

۳- مدل مفهومی

پیش از معرفی مفهوم EPR، سازندگان خودرو همچون سازندگان سایر محصولات، در فرآیند بازیافت محصولات فرسوده خود دخالتی نداشتند. مالک نهایی خودرو مسئول تحویل آن به مرکز بازیافت بوده و هریک از واحدهای درگیر در امر بازیافت نیز درجهت ماکزیمم کردن سود خود در حال فعالیت بودند. با معرفی مفهوم EPR و مسئولیت سازندگان درجهت بازخرید رایگان و بازیافت خودروهای فرسوده تولیدی خود، حوزه عمل تولیدکنندگان علاوه بر تولید محصولات نو به محدوده بازیافت محصولات اسقاطی نیز کشیده شده است.

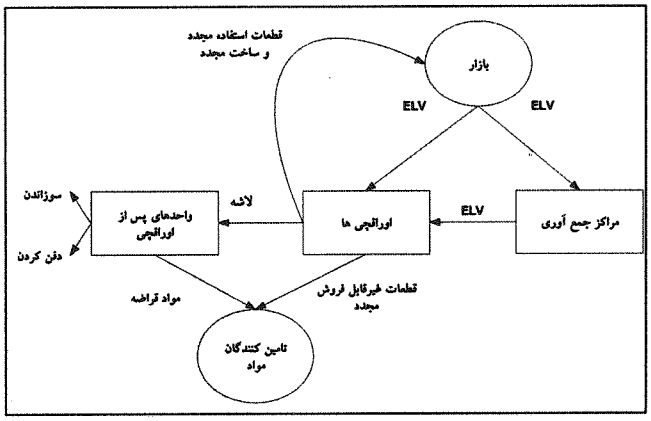
به منظور طراحی مدل مساله، "شبکه تولیدکننده"[۱۸] با نقش محوری سازنده خودرو معرفی می‌شود. این شبکه شامل تمامی واحدهای درگیر در تولید محصولات جدید و نیز بازیافت محصولات اسقاطی می‌باشد. مدل سطح صفر مساله و یا به عبارتی دیاگرام مفهومی[۱۹] آن در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل (۱): نمودار مفهومی سیستم

در فرایند بازیافت، خودروهای فرسوده در اولین مرحله به اوراقچی‌ها تحویل داده می‌شوند. عملیاتی که در این مراکز انجام می‌گیرد به دو دسته تقسیم می‌شود: ابتدا آلودگی زدایی[۲۰] خودروی فرسوده (فاز پیش بازیافت) و سپس جداسازی قطعات با ارزش. در گام اول، قطعاتی و موادی که می توانند به محیط زیست آسیب وارد کنند و یا شامل مواد خطرناک می باشد، از خودرو جدا می شوند. برخی از این مواد شامل انواع مایعات موجود در خودرو، باتری و کیسه‌های هوا می‌باشند. پس از آلودگی زدایی خودروی فرسوده، قطعات و اجزای با ارزش جدا شده و سپس با توجه به کیفیت آنها مورد استفاده مجدد، ساخت مجدد و یا بازیابی مواد قرار می‌گیرند. موتور، گیربکس، استارتر، کلاچ، پمپهای آب و روغن، نمونه‌هایی از این قطعات می‌باشند. سپس باقیمانده خودرو بنام لاشه خودرو[۲۱] به تجهیزات خردکن[۲۲] فرستاده می‌شود. پس از خردکردن، فلزات آهنی جداشده و به واحدهای بازیابی مواد فرستاده می‌شوند. باقیمانده مواد به دو دسته فلزات غیرآهنی و مخلوط مواد غیرفلزی[۲۳] (ASR) تبدیل می‌شوند که دسته اول به واحدهای جداسازی فلزات[۲۴] فرستاده می‌شود تا پس از جداشدن مواد مختلف راهی واحدهای بازیابی مواد گردد، اما دسته دوم که درحدود ۲۵ درصد وزنی خودرو را تشکیل می‌دهد در حال حاضر بازیافت نشده و در نهایت در زمین دفن می‌گردد. تحقیقات در زمینه بازیافت ASR در حال انجام می‌باشد، به عنوان مثال، یک روش بازیافت در مرجع [۱۸] ارایه شده است.

باتوجه به پیچیدگی بسیار زیاد فرآیند بازیافت خودروهای فرسوده، مدل ساده شده شبکه تولیدکننده به صورت شکل ۲ در این مقاله مبنای ارایه مدل ریاضی قرار گرفته است.



شکل (۲): شبکه ساده شده تولیدکننده

اوراقچی‌ها نقش بسیار مهمی در فرآیند بازیافت خودرو ایفا می کنند و عملا ساختار شبکه توزیع معکوس مواد در این مرحله تعیین می‌شود زیرا تصمیم گیری در مورد اینکه "نحوه بازیافتELV چگونه باشد"، در این واحد انجام می‌گیرد. توجه شود که پس از این مرحله، قسمتهای فلزی باقیمانده ازELV درنهایت به واحدهای بازیابی مربوطه فرستاده می‌شوند (فلزات آهنی پس از واحدهای خردکن و فلزات غیرآهنی پس از واحدهای جداسازی مربوطه آنها) و نیز قسمتهای غیرفلزی، ASR را تشکیل می‌دهند.

٤- مدل ریاضی

متغیر اصلی در این مدلها، تعیین مناطق بهینه برای استقرار مراکز جمع آوری و اوراقچی‌ها و نیز یافتن تخصیص بهینهELV به واحدهای فوق و محاسبه جریانهای بهینه مواد بین تمامی تسهیلات در نظر گرفته شده می‌باشد. هزینه‌های اصلی که در تابع هدف در نظر گرفته می‌شوند شامل هزینه های بازگشایی مراکز جمع آوری و اوراقچی‌ها و نیز هزینه‌های انتقال مواد بین واحدهای مختلف می‌باشد.

تابع هدف مساله ناظر بر کمینه کردن مجموع آن دسته از هزینه‌های لجستیک مطرح شده فوق می‌باشد که برعهده شبکه تولیدکننده هستند. باتوجه به مرتبط بودن و منافع مشترک اجزای تشکیل دهنده شبکه تولیدکننده، هدف مساله کمینه نمودن هزینه‌های لجستیک این شبکه بوده و در نتیجه، هزینه‌های مالکان نهایی خودروهای فرسوده برای تحویلELV به مراکز مربوطه، در مدل در نظر گرفته نمی‌شوند.

از آنجایی که برخی نقاط تقاضا ممکن است در فاصله دوری از نزدیکترین اوراقچی قرار داشته باشند و همچنین به منظور استفاده کاراتر از ظرفیت واحدهای اوراقچی، J محل بالقوه برای تاسیس واحدهای جمع آوری در نظر گرفته می شود. همچنین K محل بالقوه نیز برای واحدهای اوراقچی منظور می‌گردد.

پنج جریان خروجی مواد از واحدهای اوراقچی به صورت زیر درنظر گرفته می‌شوند:

۱. ارسال مایعات جداشده به واحدهای بازیابی
۲. ارسال تایرهای جداشده به واحد بازیابی
۳. ارسال قطعات پلاستیکی غیرقابل فروش مجدد به واحد بازیابی
۴. فروش قطعات استفاده مجدد و ساخت مجدد (شامل قطعات پلاستیکی قابل فروش مجدد)در محل اوراقچی
۵. ارسال لاشه خودرو به واحدهای خردکن

مواد خطرناک[۲۵] جداشده، در مدل در نظر گرفته نشده اند، زیرا با توجه به مدل ارایه شده در [۱۲]، دارای وزن بسیار کمی (کمتر از ۰/۱ درصد وزن خودرو) می‌باشند.

به دلیل پیچیدگی بالای فرآیند بازیافت خودروها و باتوجه به هدف مدل ارایه شده در این مقاله، با هدف "کمینه سازی هزینه های کلی لجستیک معکوس مساله"، برنامه بهینه بازیافت ELV به صورت یک مساله جداگانه دیده می‌شود. برای این منظور، از نتایج مدل ارایه شده در مرجع [۱۲] استفاده شده است. پارامترهای مورد استفاده در این مدل باتوجه به اهداف بازیافتی سال ۲۰۰۶ برای پنج جریان معرفی شده فوق، به صورت جدول ۲ می‌باشند.

جدول (۲): پارامترهای بهینه بازیافت برای سال ۲۰۰۶ [۱۲]

جریان مواد	ELVهای با قطعات قابل فروش مجدد	ELVهای بدون قطعات قابل فروش مجدد
۱	٪۱/۸	٪۱/۸
۲	-	٪۲/۵
۳	٪۰/۳	٪۲
۴	٪۵۹/۳	-
۵	٪۳۸/۶	٪۹۳/۷

پارامتر α به عنوان حداکثر فاصله دسترسی[۲۶] تعریف می شود. برای نقاط تقاضایی که فاصله آنها از یک مرکز جمع آوری و یا اوراقچی کمتر از α می‌باشد، مالک نهایی خودروی فرسوده، مسئول تحویل خودروی خود به آن واحد است و در غیر این صورت، هزینه حمل ELV تا مرکز جمع آوری و یا اوراقچی مناسب، برعهده شبکه تولیدکننده می‌باشد.

با توجه به اینکه در انتهای افق برنامه ریزی T، تمامی خودروها باید جمع آوری شوند و اینکه درصد هر یک از انواع ELVs به عنوان یک پارامتر ثابت در مدل فرض می‌شود، مجموع هزینه بازپرداخت خودروها به مالکان نهایی آنها، پرداختی توسط شبکه تولیدکننده، مقداری ثابت بوده و در نتیجه در تابع هدف مدل لحاظ نشده است. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم در بخش ضمیمه آورده شده‌اند.

٤-۱- تابع هدف

طراحی شبکه لجستیک معکوس برای برخی از محصولات نظیر شن و ماسه، ضایعات فرش و قطعات الکترونیک در مرور ادبیات مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اما مدل مشابهی باهدف جایابی-تخصیص برای مساله بازیافت ELV ارایه نشده است و ایجاد چنین مدلی در اینجا مدنظر می‌باشد. همچنین در اکثر مدلهای لجستیک ارایه شده، فرآیند بازیافت تک مرحله ای است اما درخصوص ELV، این فرآیند توسط سه نوع واحد عملیاتی مختلف انجام می‌گیرد.

تابع هدف مدل به صورت زیر درنظر گرفته می‌شود:

(۱)

$$Min \sum_j (HX_j + fu_j) + \sum_k (LY_k + gv_k) + \sum_i \sum_j t_{3ik} d_{2ik} C_u + \sum_j \sum_k t_{4jk} d_{4jk} C_u + \sum_i \sum_j t_{1ij} p_{1ij} + \sum_i \sum_k t_{2ik} p_{2ik} + \sum_n \sum_k \sum_l C_w d_{5kl} \theta_{n5} \beta_n W t_{5kl} + \sum_n \sum_k \sum_s C_w d_{6ks} \theta_{ns} \beta_n W v_k$$

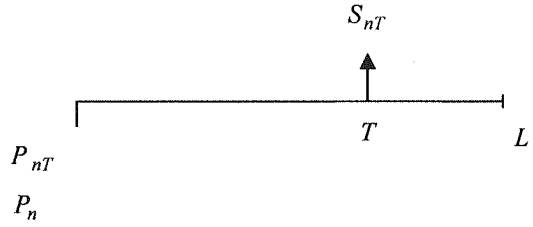
متغیرهای صفروویک X_j و Y_k نمایانگر تاسیس یا عدم تاسیس مراکز جمع آوری و اوراقچی‌ها می‌باشند. انتقال ELVs توسط مالک نهایی آنها به مراکز جمع آوری و یا اوراقچی‌ها توسط متغیرهای t_{1ij} و t_{2ik}، و انتقال آنها توسط شبکه تولیدکننده به اوراقچی‌ها توسط t_{3ik} نشان داده شده است. t_{4jk} بیانگر انتقال مابین مراکز جمع آوری و اوراقچی‌ها می باشد. همچنین جریان خروجی مواد از اوراقچی‌ها به واحدهای خردکن، توسط متغیر t_{5kl} معرفی شده است.

درخصوص جریانهای مواد خروجی از اوراقچی‌ها باتوجه به پنج جریان خروجی معرفی شده، سه جریان خروجی اول (مایعات، تایرها و قطعات پلاستیکی غیرقابل فروش مجدد) راهی واحد بازیابی مربوطه می‌شوند که در شکل ۲ به نام "تامین کنندگان مواد" مشخص شده و هزینه آنها در مدل لحاظ شده است (آخرین جمله تابع هدف). درخصوص قطعات استفاده مجدد و ساخت مجدد، باتوجه به فروش آنها در محل اوراقچی، هزینه لجستیکی به مدل اعمال نمی‌کنند، که در شکل ۲، انتقال این مواد به بازار (بازار قطعات دست دوم) مشخص می‌باشد. باتوجه به محدوده مدل ارایه شده، واحدهای پس از اوراقچی‌ها و جریان‌های مواد آنها در مدل لحاظ نشده‌اند.

جمله اول و دوم در (۱)، میزان هزینه بازگشایی تخصیص یافته از تاسیس مراکز جمع آوری و اوراقچی‌ها به افق برنامه ریزی مساله را نشان می‌دهند. برای تاسیس هر مرکز جمع آوری و هر اوراقچی یک هزینه ثابت و یک هزینه متغیر وابسته به ظرفیت آن در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که دوره

عمر (دوره بکارگیری برآوردشده) این تسهیلات ممکن است بیشتر از افق برنامه ریزی مدل (T) باشد و در نتیجه در انتهای زمان T این تاسیسات بطور کامل مستهلک نشوند، برای هزینه یابی و تخصیص صحیح هزینه ها به مدل باید یک ارزش اسقاط برای هر مرکز جمع آوری و یا اوراقچی در انتهای دوره T در نظر گرفته و در مدل لحاظ گردد که این مقادیر به زمان ایجاد سیستم (زمان صفر) تنزیل می‌شوند.

نمودار جریان نقدی برای محاسبه هزینه تاسیس تخصیص یافته از یک تسهیل با دوره عمر تعیین شده L به مدل با افق برنامه ریزی T بصورت شکل ۳ می‌باشد.



شکل (۳): نمودار جریان نقدی برای محاسبه هزینه تخصیص یافته از تاسیس یک تسهیل

T: افق برنامه ریزی مدل براساس سال

L: دوره عمر (استهلاک کامل) تسهیل براساس سال

P_n: هزینه تاسیس تسهیل n

S_{nT}: ارزش اسقاط تسهیل n در انتهای دوره T

P_{nT}: هزینه تاسیس تخصیص یافته از تسهیل n به مدل

i: نرخ بهره سالانه

براساس فرض مرکب شدن پیوسته، رابطه (۲) حاصل می‌شود:

$$P_{nT} = P_n - S_{nT}e^{-iT} \qquad (۲)$$

جمله سوم در (۱) بیانگر هزینه انتقال ELVs از نقاط تقاضا به اوراقچی‌ها و جمله چهارم بیانگر هزینه انتقال آنها از مراکز جمع آوری به اوراقچی‌ها توسط شبکه تولیدکننده می‌باشد. همانطور که قبلا گفته شد، باتوجه به اینکه هدف مدل، کمینه کردن هزینه های لجستیک این شبکه می‌باشد، هزینه‌های مالکان نهایی ELV در جهت تحویل خودروهای خود به مراکز جمع آوری و یا اوراقچی‌ها، در مدل لحاظ نمی‌گردد. بنابراین متغیرهای t_{1ij}, t_{2ik} بر روی مدل، هزینه ای اعمال نمی‌کنند.

جملات پنجم و ششم در (۱)، پارامتر حداکثر فاصله دسترسی نقاط تقاضا را بر روی مدل اعمال می‌نمایند. پارامترهای p_{1ij}, p_{2ik} بصورت رابطه (۳) تعریف می‌شوند: (p_{1ij} مرتبط با مراکز جمع آوری و p_{2ik} مرتبط با اوراقچی‌ها می باشد)

$$p_{1ij} = \begin{cases} 0; & if\ d_{1ij} \le \alpha \\ M; & if\ d_{1ij} > \alpha \end{cases},\quad p_{2ik} = \begin{cases} 0; & if\ d_{2ik} \le \alpha \\ M; & if\ d_{2ik} > \alpha \end{cases} \qquad (۳)$$

که در آن M یک عدد مثبت بسیار بزرگ فرض می‌شود. با توجه به روابط فوق، رابطه (۴) حاصل می‌گردد:

$$\sum_i \sum_j t_{1ij} p_{1ij} = 0 \ , \ \sum_i \sum_k t_{2ik} p_{2ik} = 0 \qquad (٤)$$

مقدار این جملات همیشه برابر صفر بوده و بر روی مدل، هزینه اضافی اعمال نمی‌کنند، زیرا:

- برای فواصل بیشتر از α:

$p_{1ij} = p_{2ik} = M$. و باتوجه به جملات پنجم و ششم و اینکه تابع هدف بصورت کمینه سازی هزینه‌ها می‌باشد، مقدار بهینه متغیرهای t_{1ij}, t_{2ik} برابر با صفر محاسبه خواهد شد. بنابراین چون فاصله این نقاط از مراکز جمع آوری و اوراقچی ها از α بیشتر می‌باشد، هیچ گونه حمل و نقل ELV توسط مالکان نهایی آنها برای تحویل خودروها در نظر گرفته نمی‌شود.

- برای فواصل مساوی و یا کمتر از α:

$p_{1ij} = p_{2ik} = 0$. و درنتیجه، مقادیر t_{1ij}, t_{2ik} ممکن است بزرگتر از صفر باشند یعنی تحویل ELV ممکن است توسط مالکان نهایی آنها انجام گیرد.

یکی از ویژگی‌های روش M بزرگ در مدلسازی ریاضی مسایل، امکان تغییر در جوابهای بهینه با تغییر در مقدار M انتخاب شده می‌باشد. دلیل اصلی این امر این است که اگر امکان انتخاب M برابر با بینهایت وجود داشت، چنین مشکلی پیدا نمی‌شد اما بدلیل محدود بودن طول کلمه در کامپیوترها که تعداد کاراکترهای مشخصی برای آن قابل پذیرش می‌باشد، این انتخاب، امکان پذیر نبوده و اعداد بسیار بزرگ نیز بریده[۲۷] شده و عملا چنین مشکلی پیش می‌آید. برای رفع این مشکل، در [۱۹] پیشنهاد شده که مخصوصا در مسایلی که محدوده پارامترها مختلف می‌باشد، M را هرچقدر که ممکن است باید کوچکتر انتخاب نمود. در ادامه برای نمونه مساله بررسی شده، محدوده مناسب برای انتخاب پارامتر M مورد ارزیابی قرار گرفته است.

جملات هفتم و هشتم در (۱) به ترتیب بیانگر هزینه حمل لاشه خودروها از اوراقچی‌ها به واحدهای خردکن و هزینه حمل سه گروه مواد خارج شده از اوراقچی‌ها به مراکز بازیابی می باشند. میزان این هزینه‌ها باتوجه به وزن مواد حمل شده در واحد مسافت، محاسبه می‌شود.

٤-۲- محدودیتهای مدل

۱- جمع آوری تمامی خودروها: در انتهای افق برنامه ریزی T، تمامی خودروهای فرسوده باید از نقاط تقاضا جمع آوری

شوند:

$$\sum_j t1ij + \sum_k (t2ik + t3ik) = A_i \quad ;\forall i \qquad (۵)$$

۲- ظرفیت مراکز جمع آوری: u_j، متغیری وابسته می‌باشد که مقدار آن باتوجه به میزان ELV حمل شده به مرکز جمع آوری به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$u_j = \sum_i t1ij \quad ;\forall j \qquad (۶)$$

۳- ظرفیت اوراقچی‌ها: v_k نیز متغیری وابسته می‌باشد که مقدار آن به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$v_k = \sum_i (t2ik + t3ik) + \sum_j t4jk \quad ;\forall k \qquad (۷)$$

۴- ظرفیت انتخابی تاسیس مراکز جمع آوری: برای هر مرکز جمع آوری، حداکثر و حداقل ظرفیت بالقوه جهت تاسیس در نظر گرفته می‌شود. حداقل ظرفیت برای تمامی مراکز، یکسان فرض می‌شود که باید براساس خصوصیات صنعت بازیافت و باتوجه به نقطه سربه سر تاسیس یک مرکز جمع آوری تعیین شود. حداکثر ظرفیت بالقوه تاسیس هر محل نیز با توجه به میزان منابع در دسترس در آن ناحیه (عمدتا برمبنای میزان فضا و بودجه) مشخص شده و در نتیجه ممکن است با سایر نقاط متفاوت باشد:

$$u_j \le C_j X_j \quad ;\forall j \qquad (۸)$$

$$u_j \ge MCC.X_j \quad ;\forall j \qquad (۹)$$

۵- ظرفیت انتخابی تاسیس اوراقچی‌ها: محدودیتهای مشابه ظرفیتهای تاسیس مراکز جمع آوری، برای اوراقچی ها نیز بصورت زیر به مدل اضافه می‌گردد:

$$v_k \le D_k Y_k \quad ;\forall k \qquad (۱۰)$$

$$v_k \ge MCD.Y_k \quad ;\forall k \qquad (۱۱)$$

۶- جریان مواد از مراکز جمع آوری و اوراقچی‌ها: محدودیت اول مشتمل بر بازیافت تمامی خودروهای جمع آوری شده در مراکز جمع آوری (انتقال آنها به اوراقچی‌ها) بوده و نیزمحدودیت دوم در این راستا، لزوم انتقال تمامی خودروها از اوراقچی‌ها به واحدهای خردکن را بر مدل اعمال می‌نماید:

$$u_j = \sum_k t4jk \quad ;\forall j \qquad (۱۲)$$

$$v_k = \sum_l t5kl \quad ;\forall k \qquad (۱۳)$$

۷- محدودیت علامت: بجز متغیرهای X_j, Y_k که از نوع متغیرهای صفرویک می‌باشند، سایر متغیرها باید مقادیر مثبت از میان اعداد صحیح در نظر گرفته شوند:

$$X_j, Y_k = 0 \text{ یا } ۱ \qquad (۱۴)$$

عدد صحیح و ≥ 0 سایر متغیرها

۵- اعتبارسنجی و بررسی یافته ها

در ابتدا یک مساله نمونه حل شده و سپس به منظور ارزیابی تاثیر پارامترهای مختلف بر روی مقدار بهینه تابع هدف، آنالیز حساسیت انجام خواهد شد. پارامترهای مساله نمونه به صورت زیر انتخاب شده‌اند:

- ۲۰ نقطه تقاضا، ۱۰ محل بالقوه برای مراکز جمع آوری، ۱۰ محل بالقوه برای اوراقچی‌ها و ۲ واحد خردکن.
- مختصه x نقاط تقاضا، مراکز جمع آوری و اوراقچی‌ها از توزیع یکنواخت بر بازه [0,1000] و مختصه y آنها نیز از توزیع یکنواخت بر بازه [0,500] به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند.
- سایر پارامترها عبارتند از:

A_i: از توزیع یکنواخت بر بازه [200,500] انتخاب شده است.

C_j: از توزیع یکنواخت بر بازه [1000,1200] انتخاب شده است.

D_k: از توزیع یکنواخت بر بازه [1000,1200] انتخاب شده است.

$$\alpha = 250, h = 10000, l = 20000, f = 15, g = 30, C_u = 1, C_w = 0.001$$
$$W = 1000, MCC = 300, MCD = 300, \beta_1 = \beta_2 = 0.5$$
$$\theta_{11} = 0.018, \theta_{12} = 0, \theta_{13} = 0.003, \theta_{14} = 0.593, \theta_{15} = 0.386$$
$$\theta_{21} = 0.018, \theta_{22} = 0.025, \theta_{23} = 0.02, \theta_{24} = 0, \theta_{25} = 0.937$$

برای انتخاب پارامتر M، دامنه ای از اعداد، مورد آزمایش قرار گرفتند. درصورت انتخاب M از محدوده اعداد بین ۲۰۰ تا ۵۰۰،۰۰۰، همواره جواب بهینه اشاره شده در زیر بدست خواهد آمد. قابل توجه اینکه اعداد کوچکتر از ۲۰۰، باتوجه به دیگر پارامترهای مساله، عدد کوچکی در مدل محسوب شده و درنتیجه خاصیت مورد انتظار M را برآورده نمی‌کنند.

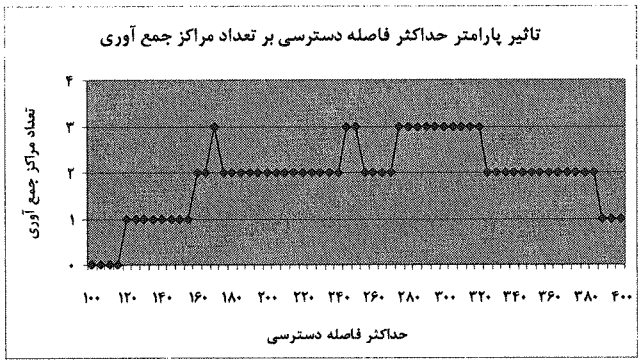
مساله برنامه ریزی حاصل توسط نرم افزار LINGO6 بر روی یک کامپیوتر Pentium IV با 256 MB RAM حل شده و جواب بهینه زیر در کمتر از ۴ ثانیه بدست آمد:

- مقدار بهینه تابع هدف برابر با ۲۹۱۴۱۳۹
- تاسیس سه مرکز جمع آوری: در محلهای ۴و۵و۸
- تاسیس هفت اوراقچی: تمامی محلها بجز ۲و۳و۶

پس از یافتن جوابهای فوق، آنالیز حساسیت جواب یافته شده، نسبت به پارامترهای اساسی مدل انجام گرفت که نتایج حاصل در جدول شماره ۳ در ضمیمه دو ارایه شده‌اند. تعداد مراکز جمع آوری مورد نیاز، تعداد اوراقچی‌های مورد نیاز،

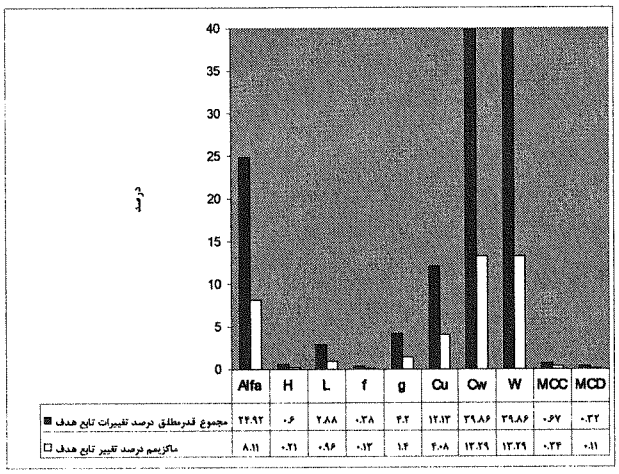
مقدار تابع هدف و نیز درصد تغییر آن، با نام‌های OFV Change(%), OFV, N, M نشان داده شده‌اند. باتوجه به جدول شماره ۳ ضمیمه، موارد زیر نتیجه می‌شوند:

- باتوجه به سطور متناظر با M، تعداد مراکز جمع آوری نسبت به پارامترهای α, C_u, MCC حساس تر می‌باشد. پارامتر α تاثیر دوطرفه ای بر روی تعداد این مراکز دارد بطوری که با افزایش مقدار آن، حداکثر فاصله دسترسی نقاط تقاضا به اوراقچی‌ها بیشتر شده و درنتیجه نیاز به تاسیس مراکز جمع آوری کاهش می‌یابد، اما از طرف دیگر، افزایش α باتوجه به تحمیل قسمت بیشتری از هزینه انتقال ELV برای تحویل به مراکز جمع آوری بر روی مالک نهایی خودرو، ممکن است باعث افزایش تعداد این مراکز شود. کاهش پارامتر α نیز تاثیر مشابهی بر روی مدل خواهد داشت. توجه شود که این تاثیر عمدتا وابسته به پارامترهای دیگری همچون مکان نقاط تقاضا و تعداد ELV در آنها می‌باشد. تاثیر پارامتر حداکثر فاصله دسترسی (α) بر روی تعداد مراکز جمع آوری در مساله نمونه، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل (۴): تاثیر پارامتر α بر تعداد مراکز جمع آوری

- باتوجه به سطور متناظر با N، تعداد اوراقچی‌ها نسبت به پارامترهای تغییر یافته، متغیری حساس نمی‌باشد. یکی از دلایل این امر، مقدار زیاد هزینه ثابت تاسیس اوراقچی‌ها نسبت به هزینه متغیر تاسیس و ظرفیت کم آنها می‌باشد که درنتیجه باعث می‌شود تاسیس یک اوراقچی اضافی، غیر اقتصادی باشد. حداقل تعداد اوراقچی‌های مورد نیاز، وابسته به تعداد کل ELV در افق برنامه ریزی مساله می‌باشد زیرا یکی از فرضهای مدل ارایه شده این است که در پایان این دوره، تمامی خودروها جمع آوری و کاملا بازیافت شوند.
- باتوجه به سطور متناظر با OFV Change، تابع هدف، بیشتر از همه نسبت به پارامترهای α, C_W, W حساس می‌باشد. باتوجه به تابع هدف مدل، پارامترهای C_W, W تاثیر مشابهی بر روی هزینه کلی مساله دارند که این امر باتوجه به جدول ضمیمه ۲ مشخص می‌باشد. پارامتر W به نوع ELV مرتبط بوده و C_W نیز مرتبط با هزینه انتقال مواد از اوراقچی‌ها به واحدهای خردکن و واحدهای بازیابی می باشد. تاثیر پارامترهای مختلف بر روی مقدار تابع هدف در مساله نمونه، در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل(۵): تاثیر پارامترهای مختلف بر مقدار تابع هدف

۶- نتیجه گیری

درجهت پیاده سازی خط مشی اتحادیه اروپا، تولیدکنندگان مجبور شده اند که با تسهیلات بازیافت، مرتبط و شریک شده و به منظور کمینه سازی هزینه‌ها، مدیریت فرآیند را برعهده گرفته و به نحو موثر و کارایی انجام دهند. در این راستا، مفهوم "شبکه تولیدکننده" و روابط آن با موجودیتهای خارجی سیستم معرفی شد.

در ادامه یک مدل ریاضی تک دوره‌ای جهت کمینه کردن هزینه‌های کلی لجستیک معکوس مساله با توجه به خصوصیات سیستمهای بازیافت ELV پیشنهاد شده است. پارامتر حداکثر فاصله دسترسی به تسهیلات نیز برای نقاط تقاضا اعمال گردید. همچنین مساله بهینه سازی فرآیند بازیافت و یافتن پارامترهای مربوطه، به عنوان یک مساله جداگانه محسوب شده و برای آن از نتایج کارهای قبلی در ادبیات موضوع استفاده شده است. پس از حل یک نمونه مساله و انجام آنالیز حساسیت، نتایج یافته شده ارایه شده‌اند.

۷- ضمائم

۷-۱- ضمیمه یک

اندیس ها

$i=1,2,...,I$: نقاط تقاضا

$j=1,2,...,J$: مراکز جمع آوری

$k=1,2,...,K$: اوراقچی ها

l=1,2,...,L : واحدهای خردکن

s=1,2,3 : واحدهای بازیابی (s=1 متعلق به بازیابی مایعات، s=2 بازیابی تایرها و s=3 بازیابی پلاستیکها)

پارامترها

T: افق برنامه ریزی

H: هزینه ثابت بازگشایی یک مرکز جمع آوری

f: هزینه متغیر بازگشایی یک مرکز جمع آوری برای یک واحد ELV

L: هزینه ثابت بازگشایی یک اوراقچی

g: هزینه متغیر بازگشایی یک اوراقچی برای یک واحد ELV

d_{1ij} :فاصله بین نقطه تقاضای i-ام و مرکز جمع آوری j-ام

d_{2ik} : فاصله بین نقطه تقاضای i-ام و اوراقچی k-ام

d_{4jk} : فاصله بین مرکز جمع آوری j-ام و اوراقچی k-ام

d_{5kl} : فاصله بین اوراقچی k-ام و واحد خردکن l-ام

d_{6ks} : فاصله بین اوراقچی k-ام و واحد بازیابی نوع s

C_u: هزینه حمل یک ELV در واحد مسافت

C_w: هزینه حمل یک واحد وزن (کیلوگرم) در واحد مسافت

W: متوسط وزن یک ELV برمبنای واحد وزن

A_i : تعداد ELVها در نقطه تقاضای i در افق برنامه ریزی T

MCC: حداقل ظرفیت بالقوه تاسیس یک مرکز جمع آوری

MCD: حداقل ظرفیت بالقوه تاسیس یک اوراقچی

C_j: حداکثر ظرفیت بالقوه تاسیس مرکز جمع آوری j-ام

D_k: حداکثر ظرفیت بالقوه تاسیس اوراقچی k-ام

α : حداکثر فاصله دسترسی

β_1: درصد ELV نوع اول در اوراقچی ها

β_2 : درصد ELV نوع دوم در اوراقچی ها

θ_{n1} : درصد مایعات از وزن کلی ELV نوع n-ام

θ_{n2}: درصد تایرها از وزن کلی ELV نوع n-ام

θ_{n3} : درصد قطعات پلاستیکی غیر قابل فروش از وزن کلی ELV نوع n-ام

θ_{n4} : درصد قطعاتی که برای استفاده مجدد و یا ساخت مجدد جدا می‌شوند از وزن کلی ELV نوع n-ام (شامل قطعات پلاستیکی قابل فروش مجدد)

θ_{n5}: درصدی از وزن کلی ELV نوع n-ام که به واحد خردکن فرستاده می‌شود (لاشه خودرو)

$$\theta_{n5} = 1 - \sum_{t=1}^{4} \theta_{nt} \qquad (۱۵)$$

متغیرهای تصمیم

X_j: متغیری صفرویک بوده که در صورت انتخاب مرکز جمع آوری j-ام برای استقرار، مقدار آن برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر منظور می‌شود.

Y_k: متغیری صفرویک بوده که در صورت انتخاب اوراقچی k-ام برای استقرار، مقدار آن برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر منظور می‌شود.

t_{1ij} : تعداد ELV حمل شده از نقطه تقاضای i-ام به مرکز جمع آوری j-ام توسط مالک نهایی خودرو در T

t_{2ik} : تعداد ELV حمل شده از نقطه تقاضای i-ام به اوراقچی k-ام توسط مالک نهایی خودرو در T

t_{3ik} : تعداد ELV حمل شده از نقطه تقاضای i-ام به اوراقچی k-ام توسط شبکه تولیدکننده در T

t_{4jk} : تعداد ELV حمل شده از مرکز جمع آوری j-ام به اوراقچی k-ام توسط شبکه تولیدکننده در T

t_{5kl} : تعداد ELV حمل شده از اوراقچی k-ام به واحد خردکن l-ام توسط شبکه تولیدکننده در T

u_j : ظرفیت تاسیس مرکز جمع آوری j-ام که متغیری وابسته بوده و باتوجه به میزان حمل و نقل ELV تعیین می‌شود.

v_k : ظرفیت تاسیس اوراقچی k-ام که متغیری وابسته بوده و باتوجه به میزان حمل و نقل ELV تعیین می‌شود.

۷-۲- ضمیمه دو

جدول(۳): نتایج آنالیز حساسیت

جواب بهینه	درصد تغییر					جواب بهینه	درصد تغییر				
	-20%	-10%	0	10%	20%		-20%	-10%	0	10%	20%
	α						C_u				
M	2	2	3	3	3	M	2	2	3	3	3
N	7	7	7	7	7	N	7	7	7	7	7
OFV	3068452	3046813	2914139	2711412	2677863	OFV	2795120	2855306	2914139	2972730	3031321
OFV Change (%)	5.30	4.55	0	-6.96	-8.11	OFV Change (%)	-4.08	-2.02	0	2.01	4.02
	H						C_w				
M	3	3	3	3	2	M	3	3	3	3	3
N	7	7	7	7	7	N	7	7	7	7	7
OFV	2908139	2911139	2914139	2917139	2919491	OFV	2526989	2720564	2914139	3107714	3301289
OFV Change (%)	-0.21	-0.10	0	0.10	0.18	OFV Change (%)	-13.29	-6.64	0	6.64	13.29
	L						W				
M	3	3	3	3	3	M	3	3	3	3	3
N	7	7	7	7	7	N	7	7	7	7	7
OFV	2886139	2900139	2914139	2928139	2942139	OFV	2526989	2720564	2914139	3107714	3301289
OFV Change (%)	-0.96	-0.48	0	0.48	0.96	OFV Change (%)	-13.29	-6.64	0	6.64	13.29
	f						MCC				
M	3	3	3	3	3	M	3	3	3	2	2
N	7	7	7	7	7	N	7	7	7	7	7
OFV	2910383	2912261	2914139	2916017	2917895	OFV	2904371	2909141	2914139	2916189	2916887
OFV Change (%)	**-0.13**	**-0.06**	0	**0.06**	**0.13**	OFV Change (%)	**-0.34**	**-0.17**	0	**0.07**	**0.09**
	g						MCD				
M	3	3	3	3	3	M	3	3	3	3	3
N	7	7	7	7	7	N	7	7	7	7	7
OFV	2873399	2893769	2914139	2934509	2954879	OFV	2911638	2912472	2914139	2915807	2917474
OFV Change (%)	-1.40	-0.70	0	0.70	1.40	OFV Change (%)	-0.09	-0.06	0	0.06	0.11

۸- مراجع

[۱] Barros A.I., Dekker R., Scholten V., A two-level network for recycling sand: A case study, European Journal of Operational Research, 110 (1998) 199-214

[۲] European Council, 2000 Directive 2000/53/EC of The European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles, Official Journal of the European Communities, 21.10.2000, 269 3442

[۳] Fandel G., Stammen M., A general model for extended strategic supply chain management with emphasis on product life cycles including development and recycling, Int. J. Production Economics, 89 (2004) 293–308

[۴] Ferrão P., Amaral J., The impact of EU legislation on ELV (End-of-Life Vehicles) processing infrastructures, the 5th International Conference on Technology Policy and Innovation, June 26-29 2001, Netherlands

[۵] Fleischmann M., Bloemhof-Ruwaard J.M., Dekker R., van der Laan E., van Nunen J.A.E.E., van Wassenhove L.N., Quantitative models for reverse logistics: A review, European Journal of Operational Research, 103 (1997) 1–17

[۶] Fleischmann M., Krikke H.R., Dekker R., Flapper S.D.P., A characterization of logistics networks for product recovery, Omega, 28 (2000) 653-666

[۷] Funazaki A., Taneda K., Tahara K., Inaba A., Automobile life cycle assessment issues at end-of-life and recycling, JSAE Review, 24 (2003) 381-386

[۸] Georgiadis P., Vlachos D., The effect of environmental parameters on product recovery, European Journal of Operational Research, 157 (2004) 449–464

[۹] Hammond R., Amezquita T., Bras B., Issues in the Automotive Parts Remanufacturing Industry – A Discussion of Results from Surveys Performed among Remanufactures, International Journal of Engineering Design and Automation – Special Issue on Environmentally Conscious Design and Manufacturing, Vol. 4, No. 1, pp 27-46 1998

[۱۰] Hu T.L., Sheu J.B., Huang K.H., A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes, Transportation Research Part E, 38 (2002) 457–473

[۱۱] Jayaraman V., Patterson R.A., Rolland E., The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures, European Journal of Operational Research, 150 (2003) 128–149

[۱۲] Johnson M. R., Wang M. H., Evaluation policies and automotive recovery options according to the European Union Directive on end-of-life vehicles (ELV), IMechE 2002 Proc Instn Mech Engrs Vol. 216, Part D: J Automobile Engineering, 723-739

[۱۳] Listes O., Dekker R., A stochastic approach to a case study for product recovery network design, European Journal of Operational Research, 160 (2005) 268–287

[۱۴] Louwers D., Kip B.J., Peters E., Souren F., Flapper S.D.P., A facility location allocation model for reusing carpet materials, Computers & Industrial Engineering, 36 (1999) 855-869

[۱۵] Marin A., Pelegrin B., The return plant location problem: Modelling and resolution, European Journal of Operational Research, 104 (1998) 375-392

[۱۶] Nagurney A., Toyasaki F., Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling, Transportation Research Part E, 41 (2005) 1–28

[۱۷] Staudinger J., Keoleian G., Management of End-of Life Vehicles (ELVs) in the US, Center for Sustainable Systems, University of Michigan, Report No. CSS01-01 March 2001

[۱۸] Ueno I., Wakimoto K., Okada T., Asanuma M., Hiroha H., Ariyama T., Development of new recycling process for ASR, JSAE Review, 23 (2002) 504–505

[۱۹] Williams H.P., Model Building in Mathematical Programming, Third Edition, 1993 John Wiley & Sons, p. 211

۹- زیرنویس ها

[1] End-of-Life
[2] Life Cycle
[3] Reuse
[4] Remanufacture
[5] Material Recycling
[6] Incineration
[7] Landfill
[8] End-of-Life Vehicle
[9] EU Directive
[10] Extended Producer Responsibility
[11] Reverse Logistics
[12] Reverse Distribution Channel
[13] Multitiered Equilibrium Model
[14] Stochastic Programming
[15] System Dynamics
[16] De-manufacturing
[17] Dismantling
[18] Manufacturer Network
[19] Context Diagram
[20] Depollution
[21] Hulk
[22] Shredder
[23] Automobile Shredder Residue
[24] Nonferrous metals separator
[25] Hazardous Materials
[26] Maximum Accessible Distance
[27] Truncate