

ارایه یک مدل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه فازی برای طراحی شبکه زنجیره

تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن عوامل محیط زیستی

محمد رضا فتحی^{*۱}

Reza.fathi@ut.ac.ir

احمد جعفر نژاد چقوشی^۲

حسین صفری^۳

عادل آذر^۴

تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۳

چکیده

زمینه و هدف: صنایع تولیدی از لحاظ قوانین تولیدی، نگرانی های محیط زیستی و منافع اقتصادی تحت فشار هستند. یک مدل زنجیره تامین، شبکه ای از تسهیلات و فعالیت هایی می باشد که در برگزیده فرآیندهای مربوط به تهیه مواد از تامین کنندگان، تولید و توسعه محصولات در مراکز تولید و در نهایت توزیع محصولات تولید شده در مقاصد نهایی مصرف می باشد. اما از آن جایی که اتخاذ تصمیمات استراتژیک و بلند مدت، مانند احداث تسهیلات در طول شبکه، سرمایه های مالی زیادی را به خود اختصاص می دهد لزوم دست یابی به برنامه بهینه در طراحی اجزا و تسهیلات شبکه زنجیره تامین بیش از پیش نمایان می شود. هدف اصلی این مقاله ارایه یک مدل برنامه ریزی ریاضی باشد که به دنبال حداقل کردن اثرات زیست محیطی در یک زنجیره تامین حلقه بسته باشد.

روش بررسی: محقق از طریق مطالعات کتابخانه ای و تهیه پرسش نامه به برآورد پارامترهای دارای عدم قطعیت و داده های مرتبط با آن پارامترهای مورد نظر پرداخته و سپس از طریق مصاحبه، نظرات خبرگان در مورد حدود و شکل تغییرات پارامترهای مورد نظر تصمیم گیری را جمع آوری کرده است. سپس یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه فازی که به دنبال حداقل کردن هزینه ها، حداقل کردن اثرات محیط زیستی و حداقل کردن زمان رسیدن محصول به مشتری می باشد، ارایه کرده است.

یافته ها: پس از حل مدل، مقادیر سه تابع هدف حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن اثرات محیط زیستی و حداقل کردن زمان رسیدن محصول به مشتری به ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت بدست آمدند. این مقادیر با استفاده از روش محدودیت افسیلون در نرم افزار GAMS بدست آمده اند. براساس نتایج بدست آمده، دو تابع هدف اقتصادی (هزینه) و محیط زیستی با یکدیگر در تضاد هستند. به

۱- استادیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی دانشگاه تهران، قم* (مسئول مکاتبات)

۲- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران

۳- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران

۴- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس، تهران

این معنا که حرکت هر یک به سمت مطلوب (ارضا بیش تر تابع هدف) مستلزم حرکت تابع هدف دیگر به سمت نامطلوب (ارضا کم تر) خواهد بود.

بحث و نتیجه گیری: در این پژوهش مدل برنامه ریزی ریاضی پیشنهادی با یک روش حل دقیق حل شده است که نتایج آن نشان دهنده مکان و ظرفیت تسهیلات، میزان تولید در مراکز تولید، تعیین تکنولوژی می باشند.

واژه های کلیدی: طراحی شبکه زنجیره تامین، برنامه ریزی ریاضی، عدم قطعیت، حلقه بسته.

A Fuzzy Multi-Objective Mathematical Programming Model for a Closed-loop Supply Chain Network Design by Considering Environmental Factors

Mohammad Reza Fathi^{1*}

Reza.Fathi@ut.ac.ir

Ahamad Jafarnejad Chaghooshi²

Hossein Safari³

Adel Azar⁴

Admission Date: October 25, 2016

Date Received: August 13, 2016

Abstract

Background and Objective: Most of industries in terms of production rules, environmental concerns and economic interests are under pressure. A supply chain model is a network of facilities and activities which involve processes related to procurement of materials from suppliers, production and product development in production centers and distribution of consumer products in final destination. Long-term strategic decisions such as construction of facilities in the network need financial assets and optimal program. Issue of designing a supply chain network has attracted lots of attention of many researchers during the recent years. The main objective of this paper is to present a mathematical programming model that seeks to minimize the environmental impact in a closed-loop supply chain.

Method: Researcher through library research and preparing a questionnaire to estimate parameters and data associated with the uncertainty of parameters and then through interviews, expert opinions about the limits and changes to the decision-making parameters have been collected. Then a fuzzy multi-objective mixed integer programming model is presented that model to minimize costs, minimize environmental impact and minimize the time of delivery of product.

Findings: After running the model, increasing objective function is to minimize the total cost, minimize environmental impact and minimizing the time the product reaches the customer contact temperature limits for different values were obtained. These values using Epsilon limitations in the software GAMS obtained.

Discussion and Conclusion: In this study, the proposed mathematical programming model is solved with an exact solution. The results showed the location and facility capacity and output in the manufacturing centers are determined.

Key words: design of supply chain network, Mathematical Programming, uncertainty, Closed-loop

1- Assistant Professor, Department of Management and Accounting, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran *(Correspondence Author)

2- Professor, Department of Management, University of Tehran, Iran

3- Professor, Department of Management, University of Tehran, Iran

4- Professor, Department of Management & Economic, Tarbiat Modares University, Iran

مقدمه

نوسازی همراه با دیگر عملیات های بازیابی و هم زمان در یک مجموعه صورت می گیرد. از مزایای آن می توان به استفاده مشترک از موجودی های شرکت و موجودی های حاصل از فرآیند بازیابی اشاره کرد. به طوری که اگر محصولات مرجوعی اوراق شده و قطعات قابل استفاده از آن ها به میزان بالایی باشد، آن قطعات و اجزا می توانند وارد موجودی های شرکت شده و با استفاده مجدد از آن ها در فرآیند تولید، از نیاز به موجودی کاسته شده و صرفه جویی حاصل گردد. مدیریت موثر زنجیره تامین حلقه بسته یکی از موارد حیاتی جهت موفقیت شرکت ها می باشد. از جمله دلایلی که اهمیت این موضوع را بیش از پیش افزایش داده است می توان به سه مورد اشاره نمود الف- قوانین دولتی مبنی بر کنترل اثرات محیط زیستی تولید محصولات و جمع آوری و بازیافت محصولات برگشتی، ب- چرخه عمر کوتاه محصولات و به تبع آن افزایش فعالیت های تامین و تولید محصولات و هزینه های ناشی از آن، ج- تکامل و ترقی فعالیت های تجارت الکترونیکی که منجر به بازگشت و یا تعویض محصولات توسط مشتریان می گردد (۲). با رشد سریع صنعتی شدن در دنیای امروزی، تأثیرات محیط زیستی و بوم‌شناختی بر محصولات، موضوعی بسیار مهم است. توجه صرف به تأثیرات محیط زیستی بر تصمیمات صنعتی و تبعات بوم‌شناختی آن موجب آسیب‌پذیری بیش‌تر انسان‌ها و دیگر موجودات زنده می‌شود و آن‌ها را با خطراتی همچون گرمای زمین و جو، سمی بودن انواع محیط، نقصان لایه‌ی ازن و کاهش منابع طبیعی تهدید می‌کند. بنابراین، اتخاذکنندگان تصمیم‌های صنعتی و خود این تصمیم‌ها نقش مهمی را در جلوگیری از آسیب‌های زیست محیطی ایفا می‌کنند (۳). ناگورنی^۲ (۴) معتقد است که هدف نهایی طراحی شبکه زنجیره تامین، موفقیت در جهت دست یابی به حداکثر سود و حداقل کردن هزینه ها در جهت برآورده کردن نیازهای مشتریان از طریق ارایه محصول با کیفیت بالا می باشد. جایارامان^۳ و همکاران (۵) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد

جامع ترین مساله استراتژیک در زنجیره تامین، طراحی یا پیکره‌بندی شبکه لجستیک است. مساله مکان یابی تسهیلات به عنوان حوزه پژوهشی مناسبی در پژوهش در عملیات قرار گرفته است. طوری که مقاله ها و کتب زیادی شاهدهی بر این ادعا است. در حقیقت توسعه مدیریت زنجیره تامین مستقل از پژوهش در عملیات شروع شد و گام به گام پژوهش در عملیات، در مدیریت زنجیره تامین وارد شد. به عنوان یک نتیجه، مدل- های مکان یابی تسهیلات به تدریج در زمینه تامین پیشنهاد شد و به این ترتیب حوزه کاربردی مفید و مورد علاقه ای مطرح شد که اخیراً ملو و همکارانش (۱) به مرور مدل های مکان یابی در زنجیره تامین پرداخته اند. مساله عمومی مکان یابی تسهیلات شامل مجموعه ای از مشتریان که به طور فضایی^۱ توزیع شده و مجموعه ای از تسهیلات برای پاسخ دهی به تقاضای مشتریان می باشد. به این ترتیب، طراحی استراتژیک شبکه زنجیره تامین می تواند تعیین موارد زیر را مشخص سازد:

- تعداد، مکان، ظرفیت و نوع کارخانه ها، انبارها، مراکز توزیع و دیگر تسهیلات مورد نیاز در شبکه لجستیک
- میزان محصولات تولیدی منتقل شده بین کارخانه ها، مراکز توزیع، تسهیلات برگشتی و مشتریان
- میزان محصولات نگهداری شده در انبارها تسهیلات زنجیره برای پاسخ گویی مشتریان در دوره های زمان آتی
- میزان محصولات تولیدی منتقل شده بین کارخانه ها، مراکز توزیع، تسهیلات برگشتی و مشتریان
- میزان محصولات نگهداری شده در انبارها و تسهیلات زنجیره برای پاسخ گویی به مشتریان در دوره های زمانی آتی

پیشینه پژوهش

مفهوم زنجیره تامین حلقه بسته اصلاح نسبتاً جدیدی است که مفاهیم اولیه آن از سال ۲۰۰۳ شکل گرفته و سیستمی است که در شرکت صنعتی فرآیندهای ساخت و ساخت مجدد یا

2- Nagurney

3- Jayaraman et al

1- Spatially

می‌گیرد. شی^۶ (۱۰) یک مدل برنامه ریزی مختلط عدد صحیح برای بهینه سازی شبکه های بازیافت ارایه نمود. هدف مدل مذکور مکان یابی و تخصیص تسهیلات جمع آوری و انهدام به همراه کمینه سازی هزینه های حمل و نقل، ایجاد تسهیلات جمع آوری، تسهیلات انهدام و تسهیلات بازیافت می باشد.

تعریف مساله و مطالعه موردی

مساله مورد بررسی در این پژوهش، طراحی شبکه زنجیره تامین برای شرکت شیشه سازی مفید می باشد. این شرکت به تولید انواع بطری ها و ظروف شیشه ای دارویی می پردازد. در ابتدای کار، محصول توسط سه خط تولیدی تولید می شوند. به خاطر تقاضای بالای مشتریان، در یک مرحله ظرفیت از ۵۰ تن در هر روز به ۷۰ تن افزایش پیدا کرد. در سال ۱۳۸۳، ایده به کار گرفتن کوره های جدید با ظرفیت ۱۵۰ تن در هر روز با سه خط تولید جدید در دستور کار قرار گرفت. شرکت شیشه سازی مفید هم اکنون دارای شش خط تولید مجزا می باشد که قابلیت ارایه محصولات به بازارهای داخلی و خارجی را دارد. محصولات تولیدی این شرکت عبارتند از شیشه های داروهای تزریقی^۷، شیشه های قطره چکان^۸، شیشه های داروهای شربت^۹ و شیشه های پرشدنی^{۱۰} می باشد. در مساله این پژوهش، طراحی شبکه با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست محیطی می باشد. در این شبکه که یک شبکه چند سطحی و چند محصولی می باشد، ابتدا محصولات در مراکز تولیدی تولید شده و سپس از طریق مراکز توزیع به مشتریان فرستاده می شوند، محصولاتی که مشتریان از آن ها رضایت ندارند برگشت داده می شوند و در مراکز جمع آوری نگهداری می شوند. در قسمت جمع آوری و بازرسی درصدی از محصولات بازگشتی به مراکز انهدام ارسال می گردند تا منهدم گردند. مابقی محصولات به دو شیوه مورد استفاده مجدد قرار می گیرند: (۱) شیشه های شکسته نشده در مراکز احیا یا تعمیر شسته می شوند و برخی از آنها که در حد نو می باشند از طریق مراکز توزیع مجدداً به

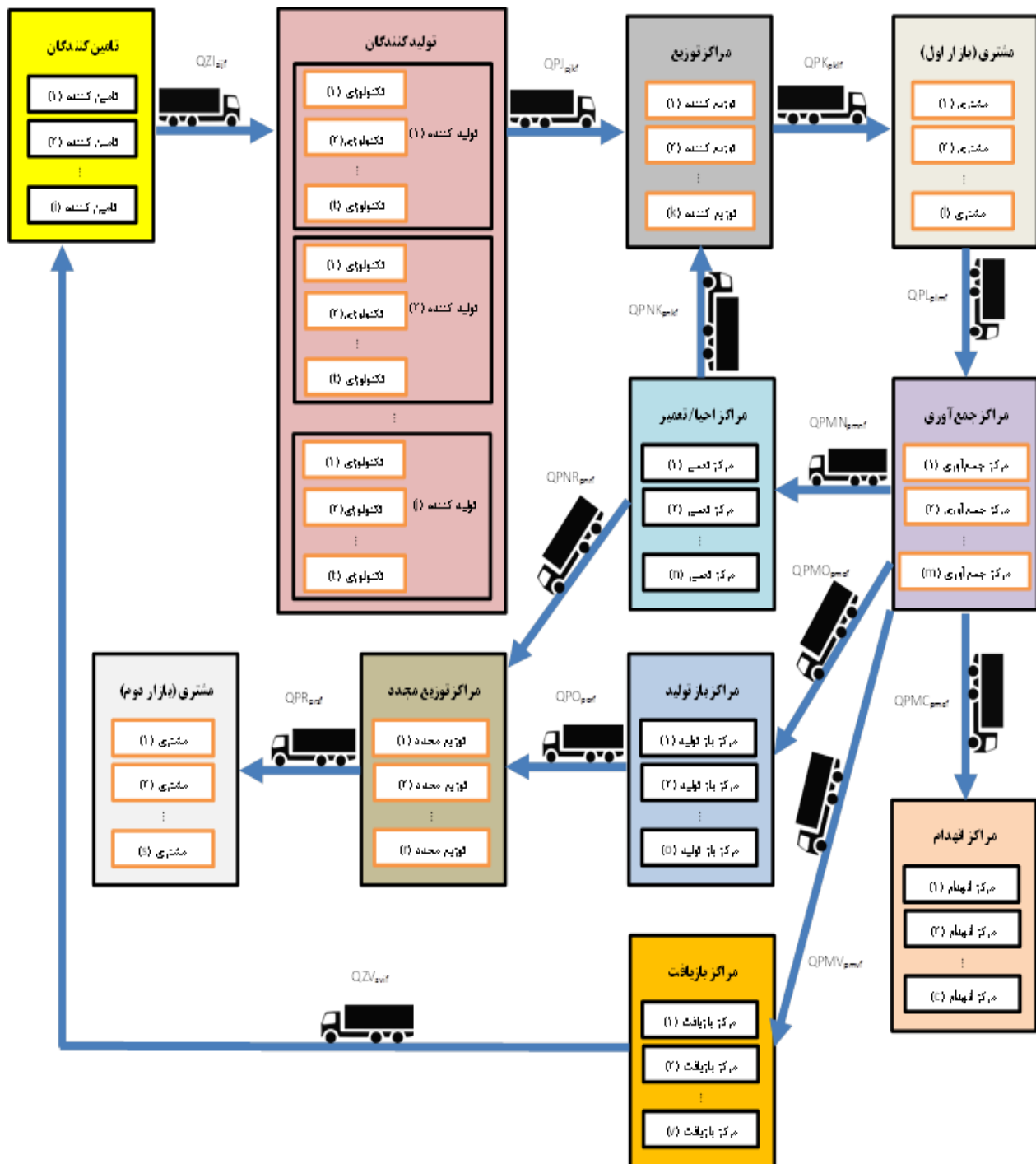
صحیح آمیخته برای طراحی شبکه لجستیک معکوس با هدف حداقل سازی هزینه ارایه دادند. در این مقاله تنها به فعالیت های احیا محصولات برگشتی پرداخته شده است. این کار جزو معدود مقالاتی است که به طراحی یک سیستم کششی^۱ در لجستیک معکوس مبتنی بر تقاضای مشتریان برای محصولات احیا شده می پردازد. ارس^۲ (۶) به ارایه یک مدل غیر خطی برای تعیین محل مراکز جمع آوری محصولات مصرف شده در یک شبکه ساده لجستیک معکوس پرداخته اند. این مدل توانایی تعیین قیمت خرید محصولات مصرف شده از دارندگان آن با هدف حداکثر کردن سود حاصله را دارد. پاکسوی و همکاران^۳ (۷) یک مدل سازی ریاضی چند هدفه در طراحی شبکه زنجیره تامین سبز تحت محدودیت ظرفیت برای کمینه سازی هزینه حمل و نقل در لجستیک مستقیم و معکوس، کمینه کردن انتشار کربن دی اکسید، کمینه سازی هزینه خرید و حداکثرسازی فرصت سود ارایه دادند. آن ها کربن دی اکسید آزاد شده از کامیون ها و هم چنین مقدار محصولات قابل بازیافت و همچنین یک هزینه جریمه برای جلوگیری از آزادسازی کربن دی اکسید و یک امتیاز برای مصرف کنندگان محصولات قابل بازیافت در نظر گرفتند. لوورز و همکاران^۴ (۸) یک مدل مکان یابی- تخصیص^۵ برای جمع آوری، بازسازی و توزیع مجدد فرش ارایه نمودند. در مدل ارایه شده هزینه های گوناگونی همچون هزینه خرید، هزینه حمل و نقل، هزینه های بازیافت، هزینه های ذخیره سازی، هزینه های انهدام ضایعات غیر قابل مصرف در نظر گرفته شده است. همچنین کاربرد آن در آمریکا و اروپا مورد بررسی قرار گرفته است. عالم تبریز و همکاران (۹) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته احتمالی برای طراحی شبکه لجستیک معکوس ارایه دادند. مدل ارایه شده در این پژوهش، چند محصولی و چند رده ای می- باشد که هم زمان، هزینه های حمل و نقل و احداث را در بر

6- Shih
7- Injectable
8- Dropper
9- Syrup bottle
10- Filling Mark Bottle

1- Pull
2- Aras et al
3- Paksoy et al
4- Louwers et al
5- Location-allocation

ارسال می گردند. پس همان طور که مطرح شد در جهت رو به سمت جلو محصولات تولید و بین مشتریان توزیع می گردند و در جهت رو به سمت عقب به یکی از مراکز بازیافت، احیا، باز تولید یا انهدام ارسال می گردند. شبکه زنجیره تامین مورد مطالعه در این پژوهش در قالب شکل ۱ نشان داده شده است.

مناطق مشتری ارسال می گردند و همچنین برخی از محصولات تعمیر و احیا شده که این قابلیت را ندارند که به مناطق مشتری ارسال گردند، از طریق مراکز توزیع مجدد به بازار دوم (محصولات دسته دوم تقریباً نو) ارسال می گردند. (۲) شیشه-های شکسته شده در مراکز بازیافت ابتدا شسته می شوند، خرد می گردند و مواد خام بدست آمده از آن ها به مراکز تامین



شکل ۱ - شبکه زنجیره تامین پیشنهادی مورد مطالعه برای شرکت شیشه سازی

Figure 1. Suggested supply chain network for glass-making company

مدل سازی مساله

مدل این تحقیق مبتنی بر شبکه نمایش داده شده در شکل ۱ می باشد. مدل حاضر یک مدل برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چند هدفه فازی است که در این قسمت اندیس ها، پارامترها، متغیرها و سپس مدل ریاضی مساله تشریح می گردد. در ادامه مفروضات مساله به صورت ذیل ارایه می گردد:

- مدل به صورت چند سطحی و چند محصولی می-باشد.
- جریان محصولات فقط بین تسهیلات متوالی متفاوت وجود دارد و جریان محصول بین تسهیلات مشابه امکان پذیر نیست.
- مکان و تعداد مشتریان بازار اول و دوم و همچنین تامین کنندگان ثابت و مشخص است.
- پارامترهایی نظیر ظرفیت، هزینه ها، تقاضا، نرخ تعمیر، باز تولید، انهدام، بازیافت، ظرفیت وسایل حمل و نقل، زمان های حمل محصول به صورت عدم قطعی در نظر گرفته شده است و از تئوری فازی جهت رفع عدم قطعیت استفاده شده است.
- کیفیت محصولات تعمیر شده برای فروش در بازار دوم که از طریق مراکز توزیع مجدد به بازار دوم می-رسد، متفاوت از محصولات جدید می باشد.
- کمبود در جواب گویی به تقاضای مشتریان اجازه داده می شود و هزینه ای برای تقاضای ارضا نشده در نظر گرفته می شود. این کمبود به صورت از دست رفته می باشد.
- مکان های مراکز بالقوه تولید، توزیع، توزیع مجدد، باز تولید، احیا یا تعمیر، بازیافت و انهدام مشخص است.
- تمامی برگشتی ها در مراکز جمع آوری جمع نمی-شوند و هزینه به عنوان جریمه برای برگشتی های جمع آوری نشده در نظر گرفته می شود.
- مراکز بازرسی، جداسازی و مرتب سازی در مرکز جمع آوری در نظر گرفته شده است.
- هنگام احداث هر مرکز تولیدی به طور بالقوه امکان استفاده از پنج نوع تکنولوژی ذوب وجود دارد. اما در عین حال بعد از احداث، تنها یک تکنولوژی به یک مرکز تولیدی تخصیص می یابد.
- موجودی در مراکز تولید، توزیع، توزیع مجدد و جمع آوری برای محصولات در نظر گرفته شده است.
- برای هر یک از مراکز قابل احداث، سه سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است.

مجموعه ها و اندیس ها

i	مجموعه مکان های ثابت برای تامین کنندگان $i=1,2,\dots,I$
j	مجموعه مکان های بالقوه مراکز تولید جهت احداث کردن $j=1,2,\dots,J$
k	مجموعه مکان های بالقوه مراکز توزیع جهت احداث کردن $k=1,2,\dots,K$
l	مجموعه مکان های ثابت برای مشتری های بازار اول $l=1,2,\dots,L$
m	مجموعه مکان های بالقوه مراکز جمع آوری و بازرسی جهت احداث کردن $m=1,2,\dots,M$
n	مجموعه مکان های بالقوه مراکز احیا یا تعمیر جهت احداث کردن $n=1,2,\dots,N$
o	مجموعه مکان های بالقوه مراکز باز تولید جهت احداث کردن $o=1,2,\dots,O$
v	مجموعه مکان های بالقوه مراکز بازیافت جهت احداث کردن $v=1,2,\dots,V$
c	مجموعه مکان های بالقوه مراکز انهدام جهت احداث کردن $c=1,2,\dots,C$
r	مجموعه مکان های بالقوه مراکز توزیع مجدد جهت احداث کردن $r=1,2,\dots,R$
s	مجموعه مکان های ثابت برای مشتری های بازار دوم $s=1,2,\dots,S$

p	مجموعه محصولات $p=1,2,\dots,P$
z	مجموعه مواد اولیه $z=1,2,\dots,Z$
h	مجموعه سطوح ظرفیت برای مکان های بالقوه $h=1,2,\dots,H$
f	مجموعه گزینه های بالقوه برای حمل و نقل $f=1,2,\dots,F$
t	مجموعه تکنولوژی های ذوب در مراکز تولید $t=1,2,\dots,T$

پارامترها و متغیرهای تصمیم

در این قسمت به علت محدودیت فضا برخی از پارامترها و متغیرها ارایه شده است.

\overline{MC}_{ptj}	هزینه تولید محصول p در مرکز تولید j با تکنولوژی ذوب t
\overline{RMC}_{po}	هزینه باز تولید هر واحد محصول p در مرکز باز تولید o
\overline{DISD}_{pc}	هزینه دفع هر واحد محصول p در مرکز دفع c
\overline{CI}_{pm}	هزینه جمع آوری و بازرسی محصول p در مرکز جمع آوری m
\overline{RECO}_{pn}	هزینه تعمیر هر واحد محصول p در مرکز تعمیر n
\overline{RECY}_{pv}	هزینه بازیافت هر واحد محصول p در مرکز بازیافت v
\overline{HC}_{pj}	هزینه نگهداری موجودی محصول p در مراکز تولید j
\overline{PCY}_p	هزینه جریمه برای تقاضای ارضا نشده محصول p
\overline{PC}_{zi}	هزینه خرید یا تهیه هر واحد ماده اولیه Z از تامین کننده i
\overline{RPC}_{pl}	هزینه خرید محصول برگشتی p از مشتری l
MAJ	ماکزیمم تعداد مراکز تولید جهت احداث
\overline{D}_{pl}	میزان تقاضا برای محصول p در مراکز مشتری l
\overline{R}_{pl}	تعداد برگشتی ها از مشتری l برای محصول p
\overline{SP}_{ps}	قیمت فروش محصول p در بازار دوم s
\overline{CAQ}_{jth}	ظرفیت تولید مراکز تولید j با تکنولوژی t و سطح ظرفیت h
\overline{TCK}_{zijf}	هزینه حمل هر واحد ماده اولیه Z از تامین کننده i به مراکز تولید j توسط وسیله حمل و نقل f
\overline{PER}_{pz}	نرخ بکارگیری ماده اولیه Z در تولید محصول p
\overline{RR}_{pl}	نرخ بازگشت محصولات استفاده شده p از مناطق مشتری l به مراکز جمع آوری m
\overline{RRM}_p	نرخ تولید مجدد محصولات استفاده شده p
\overline{FR}_{jht}	هزینه ثابت احداث مرکز تولید j با تکنولوژی t و سطح ظرفیت h
\overline{CAPL}_{fij}	ظرفیت وسیله حمل و نقل f برای حمل مواد اولیه از تامین کننده i به مرکز تولید j
\overline{EM}_{ptj}	میزان انتشار کربن به ازای تولید هر واحد محصول p در مراکز تولید j با تکنولوژی ذوب t
SEA	صرفه جویی محیط زیستی ناشی از استفاده مجدد از محصولات تعمیر شده
SEB	صرفه جویی محیط زیستی ناشی از استفاده مجدد از مواد اولیه بازیافت شده

\overline{DAM}_{jt}	کسری از محصولات تولید شده در مرکز تولید z با تکنولوژی t که به مشتریان آسیب می رساند
\overline{TT}_{zij}	زمان حمل ماده اولیه Z از مراکز تامین i به مراکز تولید z

متغیرهای تصمیم

QZI_{zijf}	میزان ماده اولیه حمل شده از تامین کننده i به مرکز تولید z توسط وسیله حمل و نقل f
QPR_{prsf}	میزان محصول حمل شده p از مرکز توزیع مجدد r به مرکز بازار دوم s توسط وسیله حمل و نقل f
QIC_{pk}	میزان موجودی محصول p در مراکز توزیع k
NNS_{lp}	تعداد تقاضای ارضا نشده مشتری l برای محصول p
NNY_{pl}	تعداد برگشتی های جمع آوری نشده برای محصول p از مشتری l

مدل ریاضی مساله

$$\begin{aligned} \text{Min } Z1 = & [\sum_j \sum_h \sum_t \overline{FR}_{jht} \cdot O_{jht} + \sum_k \sum_h \overline{FS}_{kh} \cdot R_{kh} + \sum_m \sum_h \overline{FT}_{mh} \cdot Q_{mh} + \sum_n \sum_h \overline{FU}_{nh} \cdot R_{nh} + \sum_o \sum_h \overline{FY}_{oh} \cdot S_{oh} + \sum_v \sum_h \overline{FW}_{vh} \cdot T_{vh} + \\ & \sum_c \sum_h \overline{FZ}_{ch} \cdot U_{ch} + \sum_r \sum_h \overline{FV}_{rh} \cdot V_{rh}] + [\sum_z \sum_i \sum_j \sum_f \overline{TC}_{kzijf} \cdot QZI_{zijf} + \sum_p \sum_j \sum_k \sum_f \overline{TC}_{pjkf} \cdot QPJ_{pjkf} + \sum_p \sum_k \sum_l \sum_f \overline{TC}_{pklf} \cdot QPK_{pklf} + \\ & \sum_p \sum_l \sum_m \sum_f \overline{TC}_{plmf} \cdot QPL_{plmf} + \sum_p \sum_m \sum_n \sum_f \overline{TC}_{pmnf} \cdot QPMN_{pmnf} + \sum_p \sum_m \sum_o \sum_f \overline{TC}_{pmof} \cdot QPMO_{pmof} + \\ & \sum_p \sum_m \sum_v \sum_f \overline{TC}_{pvmf} \cdot QPMV_{pvmf} + \sum_p \sum_m \sum_c \sum_f \overline{TC}_{pvcf} \cdot QPMC_{pvcf} + \sum_p \sum_n \sum_k \sum_f \overline{TC}_{pnkf} \cdot QPNK_{pnkf} + \sum_p \sum_n \sum_r \sum_f \overline{TC}_{pnrf} \cdot QPNR_{pnrf} \\ & + \sum_p \sum_r \sum_s \sum_f \overline{TC}_{prsf} \cdot QPR_{prsf} + \sum_p \sum_o \sum_r \sum_f \overline{TC}_{porf} \cdot QPO_{porf} + \sum_z \sum_v \sum_i \sum_f \overline{TC}_{zvif} \cdot QZV_{zvif}] + [\sum_p \sum_j \sum_l \overline{MC}_{ptj} \cdot QMP_{ptj} + \\ & \sum_p \sum_m \sum_o \sum_f \overline{RM}_{pof} \cdot QPMO_{pmof} + \sum_p \sum_m \sum_c \sum_f \overline{DIS}_{pc} \cdot QPMC_{pvcf} + \sum_p \sum_l \sum_m \sum_f \overline{CI}_{plm} \cdot QPL_{plmf} + \sum_p \sum_m \sum_n \sum_f \overline{REC}_{pnm} \cdot QPMN_{pmnf} + \\ & \sum_p \sum_m \sum_v \sum_f \overline{RECY}_{pvm} \cdot QPMV_{pvmf}] + [\sum_l \sum_p \overline{PCY}_{lp} \cdot NNS_{lp} + \sum_p \sum_l \overline{PCZ}_{pl} \cdot NNY_{pl}] + [\sum_p \sum_j \overline{HC}_{pj} \cdot QIA_{pj} + \sum_p \sum_k \overline{HC}_{pk} \cdot QIC_{pk} + \\ & \sum_p \sum_m \overline{HC}_{pm} \cdot QID_{pm} + \sum_p \sum_r \overline{HC}_{pr} \cdot QIJ_{pr}] + [\sum_z \sum_i \sum_j \sum_f \overline{PC}_{zi} \cdot QZI_{zijf} + \sum_p \sum_l \sum_m \sum_f \overline{RC}_{pl} \cdot QPL_{plmf}] - SCA \cdot \sum_p \sum_n \sum_k \sum_f QPNK_{pnkf} - \\ & SCB \cdot \sum_z \sum_v \sum_i \sum_f QZV_{zvif} - \sum_p \sum_r \sum_s \sum_f \overline{SP}_{prs} \cdot QPR_{prsf} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } Z2 = & [\sum_p \sum_t \sum_j \sum_h \overline{EM}_{ptj} \cdot O_{jht} + \sum_p \sum_n \sum_h \overline{ERECO}_{pn} \cdot R_{nh} + \sum_p \sum_o \sum_h \overline{ERM}_{po} \cdot S_{oh} + \sum_p \sum_v \sum_h \overline{ERECY}_{pv} \cdot T_{vh} + \sum_p \sum_c \sum_h \overline{EDIS}_{pc} \cdot U_{ch}] + \\ & [\sum_z \sum_i \sum_j \sum_f \overline{ETM}_{zijf} \cdot QZI_{zijf} + \sum_p \sum_j \sum_k \sum_f \overline{ETN}_{pjkf} \cdot QPJ_{pjkf} + \sum_p \sum_k \sum_l \sum_f \overline{ETO}_{pklf} \cdot QPK_{pklf} + \sum_p \sum_l \sum_m \sum_f \overline{ETP}_{plmf} \cdot QPL_{plmf} + \\ & \sum_p \sum_m \sum_o \sum_f \overline{ETQ}_{pmof} \cdot QPMO_{pmof} + \sum_p \sum_m \sum_c \sum_f \overline{ETR}_{pvcf} \cdot QPMC_{pvcf} + \sum_p \sum_m \sum_v \sum_f \overline{ETS}_{pvmf} \cdot QPMV_{pvmf} + \\ & \sum_p \sum_m \sum_n \sum_f \overline{ETT}_{pnmf} \cdot QPMN_{pmnf} + \sum_p \sum_n \sum_k \sum_f \overline{ETU}_{pnkf} \cdot QPNK_{pnkf} + \sum_p \sum_n \sum_r \sum_f \overline{ETV}_{pnrf} \cdot QPNR_{pnrf} + \sum_p \sum_o \sum_r \sum_f \overline{ETW}_{porf} \cdot QPO_{porf} + \\ & \sum_z \sum_v \sum_i \sum_f \overline{ETY}_{zvif} \cdot QZV_{zvif} + \sum_p \sum_r \sum_s \sum_f \overline{ETZ}_{prsf} \cdot QPR_{prsf}] + [\sum_p \sum_t \sum_j (1 - \overline{W}_{jt}) \cdot \overline{DAM}_{jt} \cdot QMP_{ptj}] - SEA \cdot \sum_p \sum_n \sum_k \sum_f QPNK_{pnkf} - \\ & SEB \cdot \sum_z \sum_v \sum_i \sum_f QZV_{zvif} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{Min } Zr = \sum_z \sum_i \sum_j \sum_f \overline{TT}_{zij} \cdot WZ_{zi} + \sum_p \sum_j \sum_k \sum_t \sum_h \sum_f \overline{TT}_{pjkh} \cdot O_{jht} + \sum_p \sum_k \sum_h \sum_l \sum_f \overline{TT}_{pkld} \cdot R_{kh} + \sum_p \sum_j \sum_t \sum_h \overline{TT}_{pjth} \cdot O_{jht} \quad (3)$$

تعمیر، بازتولید، بازیافت، دفع و توزیع مجدد حداکثر با یک سطح ظرفیت احداث شوند.

$$\sum_h P_{kh} \leq 1 \quad \forall k \quad (4)$$

محدودیت (۵) تضمین می کند که تنها یک سطح ظرفیت و یک تکنولوژی ذوب به هر مرکز تولید شده تخصیص یابد.

$$\sum_t \sum_h O_{jth} \leq 1 \quad \forall j \quad (5)$$

محدودیت (۵) ماکزیمم تعداد مراکز توزیع، تولید، جمع آوری، تعمیر، باز تولید، بازیافت، انهدام و توزیع مجدد که پتانسیل احداث را دارا می باشند محدود می کنند.

تابع هدف اول شامل حداقل سازی هزینه های کل می باشد عبارت (۱) فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می دهد. تابع هدف دوم شامل حداقل سازی اثرات محیط زیستی است. عبارت (۲) فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می دهد. هدف سوم شامل حداقل کردن زمان رساندن محصول به مشتری است. عبارت (۳) فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می دهد. در ادامه برخی از محدودیت های مدل پیشنهادی را به خاطر محدودیت فضا به صورت نمونه مورد بررسی قرار می دهیم. محدودیت (۴) تضمین می نمایند که مراکز توزیع، جمع آوری،

$$\sum_z QZI_{zif} \leq M \cdot A_{fij} \quad \forall i, j, f \quad (13)$$

محدودیت (۱۴) نشان می دهد که مراکز تولید برای تولید محصول به نسبتی از مواد اولیه که توسط تامین کنندگان فراهم می گردد، نیاز دارند.

$$\sum_f \sum_i \sum_j PER_{pzt} \cdot QZI_{zif} \geq \sum_t \sum_j QMP_{ptj} \quad \forall p, z \quad (14)$$

محدودیت (۱۵) تضمین می کند که برای هر ماده اولیه، مجموع جریان های خروجی از هر تامین کننده به تمامی مراکز تولید از ظرفیت تامین کننده تجاوز نمی کند.

$$\sum_z \sum_j \sum_f QZI_{zif} \leq \widehat{CAS}_i \quad \forall i \quad (15)$$

محدودیت (۱۶) حداکثر ظرفیت مجاز را برای مراکز تولید، توزیع، جمع آوری، تعمیر، باز تولید، بازیافت، انهدام و توزیع مجدد نشان می دهد.

$$\sum_p \sum_t QMP_{ptj} \leq \sum_h \sum_t O_{jth} \cdot \widehat{CAQ}_{jth} \quad \forall j \quad (16)$$

محدودیت (۱۷)، محدودیت تعادل موجودی برای مراکز تولید، توزیع، جمع آوری و توزیع مجدد را نشان می دهد.

$$QIA_{pj} = \sum_t QMP_{ptj} - \sum_k \sum_f QPJ_{pjkf} \quad \forall p, j \quad (17)$$

محدودیت (۱۸) بیان گر این است که جریان محصول رسیده به مشتریان از طریق مراکز توزیع حداکثر برابر با تقاضا خواهد بود.

$$\sum_k \sum_f QPK_{pkf} \leq \widehat{D}_{pl} \quad \forall p, I \quad (18)$$

محدودیت (۱۹) نشان دهنده ارتباط تقاضای مشتری با جریان محصولات بازگشتی از مشتریان به مراکز جمع آوری است.

$$\sum_m \sum_f QPL_{plmf} \leq \widehat{D}_{pl} \cdot \widehat{RR}_{pl} \quad \forall p, I \quad (19)$$

محدودیت (۲۰) تقاضای ارضا نشده مشتریان را مشخص می کند.

$$\widehat{D}_{pl} - \sum_k \sum_f QPK_{pkf} = NNS_{lp} \quad \forall p, I \quad (20)$$

محدودیت (۲۱) مقدار برگشتی های جمع آوری نشده را محدود می کند.

$$\widehat{R}_{pl} - \sum_m \sum_f QPL_{plmf} = NNY_{pl} \quad \forall p, I \quad (21)$$

محدودیت های (۲۲) و (۲۳) به ترتیب نشان دهنده محدودیت های ضروری منطقی روی متغیرهای تصمیم گسسته و پیوسته می باشند.

$$\sum_k \sum_h P_{kh} \leq MAK \quad (5)$$

محدودیت های (۶) محدودیت ظرفیت حمل جریان محصول بین مراکز مختلف را نشان می دهد.

$$\sum_z QZI_{zif} \leq A_{fij} \cdot \widehat{CAPL}_{fij} \quad \forall i, j, f \quad (6)$$

محدودیت های (۷) نشان می دهند که حداکثر یک نوع تسهیل برای انتقال جریان بین تسهیلات وجود دارد.

$$\sum_f A_{fij} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (7)$$

محدودیت (۸) نشان می دهد که جریان ورودی به مراکز جمع آوری و بازرسی بزرگتر و یا مساوی با جریان خروجی آن است.

$$\begin{aligned} \sum_l \sum_f QPL_{plmf} &\geq \sum_n \sum_f QPMN_{pmnf} + \\ \sum_o \sum_f QPMO_{pmof} &+ \sum_v \sum_f QPMV_{pmvf} \\ \sum_c \sum_f QPMC_{pmcf} &\forall p, m \end{aligned} \quad (8)$$

محدودیت (۹) نشان می دهد که مجموع محصولات تولید شده در مراکز تولیدی بزرگ تر و یا مساوی با جریان خروجی آن است.

$$\sum_t \sum_j QMP_{ptj} \geq \sum_k \sum_f \sum_j QPJ_{pjkf} \quad \forall p \quad (9)$$

محدودیت (۱۰) نشان می دهد که جریان ورودی به مراکز تعمیر یا احیا بزرگتر و یا مساوی با جریان خروجی آن است.

$$\sum_m \sum_f QPMN_{pmnf} \geq \sum_k \sum_f QPNK_{pkf} + \sum_r \sum_f QPNR_{pnr} \quad (10)$$

محدودیت (۱۱) نشان می دهند که مقدار انتقالی از مراکز جمع آوری به مراکز تعمیر، بازیافت، انهدام و بازتولید حداقل نسبتی از مقدار جریان ورودی به مرکز جمع آوری است.

$$\sum_n \sum_f QPMN_{pmnf} \geq \widehat{RRECO}_p \cdot \sum_1 \sum_f QPL_{plmf} \quad \forall p, m \quad (11)$$

محدودیت (۱۲) نشان می دهند که باید محصولی بین تسهیل مراکز مختلف برقرار شود تا وسیله ای برای حمل انتخاب گردد.

$$A_{fij} \leq \sum_z QZI_{zif} \quad \forall i, j, f \quad (12)$$

محدودیت (۱۳) تضمین می کنند که هیچ گونه حمل و نقلی بین مکان هایی که ارتباطی با یکدیگر ندارند، وجود نخواهد داشت. همچنین بیان می کنند که جریان فقط مجاز است که از طریق گزینه های حمل و نقل فعال در شبکه عبور کند.

$$A_{fij}, B_{fjk}, C_{fkl}, D_{flm}, E_{fmc}, G_{fmn}, H_{fmo}, F_{fmv}, I_{fnk}, K_{fnr}, L_{frs}, M_{for}, N_{fvi}, O_{jth}, P_{kh}, Q_{mh}, R_{nh}, S_{oh}, T_{vh}, U_{ch}, V_{rh}, WZ_{zi} \in \{0,1\} \quad (22) \forall p, i, j, k, m, c, n, o, v, r, s, t, h, z$$

$$QZI_{zijf}, QPJ_{pjkf}, QPK_{pklf}, QPL_{plmf}, QPMO_{pmof}, QPMC_{pmcf}, QPMV_{pmvf}, QPMN_{pmnf}, QPNK_{pnkf}, QPNR_{pnrf}, QPO_{porf}, QZV_{zvif}, QPR_{prsf}, QMP_{ptj}, QIC_{pk}, QID_{pm}, QIJ_{pr}, QIA_{pj}, NNS_{lp}, NNY_{pl} \geq 0, \quad (23) \forall, z, i, j, f, p, k, l, m, o, c, v, n, r, s, t$$

نتایج محاسباتی

بالقوه توزیع مجدد ($r=1, \dots, 4$)، چهار مرکز بازار دوم ($s=1, \dots, 4$)، چهار نوع محصول ($p=1, \dots, 4$)، چهار نوع ماده اولیه برای تولید محصولات ($z=1, \dots, 4$)، سه سطح ظرفیت ($h=1, 2, 3$) و دو نوع وسیله حمل و نقل ($f=1, 2$) می باشد. جدول (۱) نتایج حاصل از حل مدل قطعی کمکی با استفاده از روش خیمنز را به ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت (α) نشان می دهد.

در این قسمت به پیاده سازی مدل مطرح شده با استفاده از داده های شرکت شیشه سازی مفید می پردازیم. زنجیره تامین مورد بررسی دارای پنج تامین کننده ($i=1, \dots, 5$)، پنج مرکز بالقوه تولیدی ($j=1, \dots, 5$)، شش مرکز بالقوه توزیع ($k=1, \dots, 6$)، بیست خوشه مشتری ($l=1, \dots, 20$)، چهار مرکز بالقوه احیا یا تعمیر ($n=1, \dots, 4$)، سه مرکز بالقوه جمع آوری و بازرسی ($m=1, \dots, 3$)، دو مرکز بالقوه بازیافت ($v=1, 2$)، چهار مرکز بالقوه انهدام ($c=1, \dots, 4$)، چهار مرکز

جدول ۱- نتایج حاصل از حل مدل قطعی کمکی با روش خیمنز

Table 1. The results of solving model

α	مقدار تابع هدف اقتصادی (Z1)	مقدار تابع هدف محیط زیستی (Z2)	مقدار تابع هدف زمان رسیدن محصول (Z3)
۰/۱	۶۳۲۳۵۳۲	۵۴۶۸۷	۲۹۱۵
۰/۲	۶۳۵۴۵۶۵	۵۴۵۸۳	۲۹۱۵
۰/۳	۶۳۸۴۶۲۱	۵۳۷۶۵	۲۹۱۵
۰/۴	۶۳۹۵۱۶۴	۵۳۵۳۸	۲۹۱۵
۰/۵	۶۴۰۷۶۸۲	۵۲۹۸۳	۲۹۱۵
۰/۶	۶۴۱۱۳۵۸	۵۱۲۴۷	۲۹۱۵
۰/۷	۶۵۱۴۱۱۱	۵۰۵۰۵	۲۹۱۵
۰/۸	۶۵۳۲۱۲۳	۵۰۲۱۳	۲۹۱۵
۰/۹	۶۵۶۴۲۸۹	۵۰۱۴۱	۲۹۱۵
۱	۶۶۱۴۸۹۳	۵۰۰۲۳	۲۹۱۵

تضاد هستند. به این معنا که حرکت هر یک به سمت مطلوب (ارضا بیش تر تابع هدف) مستلزم حرکت تابع هدف دیگر به سمت نامطلوب (ارضا کم تر) خواهد بود.

نتیجه گیری

مدل مطرح شده در این مقاله دارای سه تابع هدف (۱) حداقل کردن هزینه کل، (۲) حداقل کردن اثرات محیط زیستی و (۳) حداقل کردن زمان رسیدن محصول به مشتریان می باشد. در

در جدول ۱، مقادیر سه تابع هدف حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن اثرات محیط زیستی و حداقل کردن زمان رسیدن محصول به مشتری به ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت نشان داده شده است. این مقادیر با استفاده از روش محدودیت افسیلون در نرم افزار GAMS بدست آمده اند. همان طور که از نتایج نمایش داده شده در جدول ۱ بر می آید، دو تابع هدف اقتصادی (هزینه) و زیست محیطی با یکدیگر در

- maximization and oligopolistic competition, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(3), 281-294.
5. Jayaraman, V., Guige, V., Srivastava, A. (1999). A closed loop logistics model for remanufacturing, *Journal of the operational research society*, 50, 497-508.
 6. Aras, N., Aksen, D. (2008). Locating collection centers for distance-and incentive-dependent returns. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 316-333.
 7. Paksoy, T., Bektas, T., Özceylan, E. (2010). Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 532-546.
 8. Louwers, D., Kip, B.J., Peters, E., Souren, F., Flapper, S.D.P. (1999). A facility location allocation model for reusing carpet materials, *Computers and industrial engineering*, 36, 855-869.
 9. AlamTabriz, A, Roghanian, E, Hossein Zadeh, M. (2011). Design and optimization of reverse logistics network under uncertainty conditions using Genetic Algorithm, *Journal of Industrial Management Outlook*, 1, 61-89. (In Persian)
 10. Shih, L.H. (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan, *Resources, conservation and recycling*, 32(1), 55-72.
 11. Schultman, F., Engels, B., Rentz, O. (2003). Closed loop supply chains for spent batteries, *Interfaces*, 33(6), 57-71.
- مورد تابع هدف هزینه به دلیل این که در این پژوهش سعی شده است تا تمامی تسهیلات و جریان بین آن ها در نظر گرفته شود و مدل جامعی ارائه گردد، اکثر هزینه ها در نظر گرفته شده است. تابع هدف هزینه شامل هزینه خرید (تهیه مواد اولیه از تامین کنندگان و هزینه خرید محصولات برگشتی از مشتریان)، هزینه جریمه (هزینه جریمه برای تقاضای ارضا نشده و هزینه جریمه محصول برگشتی جمع آوری نشده)، هزینه های عملیاتی (هزینه تولید، هزینه باز تولید، هزینه جمع آوری، احیا، بازیافت و هزینه انهدام)، هزینه موجودی (هزینه برای قسمت تولید، توزیع، توزیع مجدد و جمع آوری)، هزینه حمل و نقل یا انتقال جریان بین تسهیلات و هزینه ثابت راه اندازی می باشد. در تابع هدف دوم همواره سعی شده است تا اثرات محیط زیستی که به محیط زیست تاثیرات نامطلوبی می-گذارد، حداقل گردد. در این پژوهش حداقل کردن گاز کربن دی اکسید ناشی از عملیات درون تسهیلات و انتقال جریان بین تسهیلات به عنوان تابع هدف محیط زیستی در نظر گرفته شده است. تابع هدف سوم مدل همواره سعی در کاهش زمان رساندن محصول به مشتری دارد که یک تابع هدف خطی بدین منظور ارائه شده است.

Reference

1. Melo, M. T, S. Nickel and F. Saldanha-Gama. (2009). Facility Location and Supply Chain Management – A review, *European Journal of Operational Research*, 196(2), 401-412.
2. Vahdani, B. (2013). Locating of Recovery Facilities with Multiple Objectives and Reliability under Uncertainty Conditions, MSc Theses, College of Industrial Engineering Campus, University of Tehran. (In Persian)
3. Jafar Nejad, A, Morovati, A, Ataee, A (2012). Supply Chain Management and Logistics. Expand Science press. (In Persian)
4. Nagurney, A. (2010). Supply chain network design under profit