بهینه‌سازی زنجیره‌تأمین حلقه‌بسته چند سطحی، چند محصولی و چند دوره‌ای با هدف کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین (مطالعه موردی: شرکت آمادبهینه‌ساز)

مهدی سلطانی تهرانی*[۱]، مسعود مصدق خواه[۲]، حسینعلی حسن‌پور[۳]

دانشگاه جامع امام حسین(ع)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۲۰

چکیده

امروزه، توجه به لجستیک مستقیم و معکوس نقش بسیار مهمی در کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین ایفا می‌کند. در این مقاله به‌منظور ارائه یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته که شامل مراکز تأمین، تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و دفن و انهدام است از یک مدل خطی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط استفاده شده است. این مقاله حالت چند دوره‌ای و چند محصولی را در زنجیره تأمین چند سطحی در نظر گرفته و هزینه‌های پردازش نیز در مکان‌ها لحاظ شده است و کل کالاهای مرجوعی که قابلیت اصلاح دارند به مراکز تولید و توزیع منتقل می‌شوند تا در فرآیند لجستیک مستقیم به‌دست مصرف کننده برسند. هدف مدل کاهش هزینه‌های اجاره مراکز، هزینه‌های حمل و نقل بین مراکز و هزینه پردازش داخل مراکز می‌باشد. مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار CPLEX 12.3 در قالب یک مطالعه موردی حل گردیده است. مدل مربوطه براساس چند نمونه مسئله آزمایشی و همچنین براساس تعداد محصولات مختلف مورد تحلیل قرار گرفته و در پایان نتیجه‌گیری کلی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین حلقه بسته، لجستیک مستقیم و معکوس، برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، لجستیک یکپارچه

۱- مقدمه

هر زمانی که کالا یا کالاهایی، تولید یا توزیع، حمل یا انبار می‌شوند درباره نحوه انجام امور مربوط به آن، تصمیمات متعددی اخذ می‌شود. سازمان های مختلف دیگر نیز با تصمیمات دیگری مواجه هستند، از قبیل اینکه چه تعداد از اقلام و کالاها از انبارها خارج شده و به کجا انتقال می‌یابد. لجستیک معکوس به تمام فعالیت‌های لجستیکی در امر جمع‌آوری و رسیدگی به کالاهای مصرفی دست دوم، قطعات، کالا یا مواد به‌منظور تضمین کیفیت مطلوب اشاره می‌کند. قوانین زیست محیطی و منافع اقتصادی، آگاهی مصرف کنندگان و مسئولیت‌های اجتماعی در برابر محیط زیست از محرک‌های اساسی این حوزه می‌باشد[۱].

در قوانین موجود در کشورهای اروپایی، شرکت‌ها مسئول جمع‌آوری محصولات اسقاطی و برگشتی خود می‌باشند، زیرا در صورت عدم جمع‌آوری، احیا، بازیافت یا انهدام ایمن این محصولات، محیط‌زیست از آنها متضرر خواهد شد[۲]. مسائل بازاریابی، رقابتی و راهبردی[۳] و بهبود وفاداری مشتریان و فروش‌های بعدی[۴] نیز از انگیزه‌های فعالیت در زمینه لجستیک معکوس می‌باشد. بنابراین طراحی شبکه لجستیک معکوس فرآیندی ضروری است. تعاریف مختلفی از لجستیک معکوس وجود دارد. "لجستیک معکوس فرآیند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گرایش مهندسی لجستیک و زنجیره تأمین، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، نویسنده مسئول، پست الکترونیک: mehdisoltani1368@yahoo.com، نشانی: گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، پست الکترونیک: mmosdegh@ihu.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، پست الکترونیک: hahassan@ihu.ac.ir

کنترل کارا و مؤثر جریان ورودی و ذخیره‌سازی کالاهای دست دوم و اطلاعات مربوط به آنها در خلاف جهت زنجیره تأمین سنتی با هدف بازیابی ارزش یا دفع مناسب است"[۵]. انجمن اجرایی لجستیک معکوس آمریکا، لجستیک معکوس را به‌صورت زیر تعریف می‌کند: "R.L فرآیندی شامل طراحی، اجرا، کنترل مؤثر، مناسب و بهینه است که از لحاظ هزینه برای جریان مواد اولیه، موجودی‌ها، محصولات آماده و نیز اطلاعات هر بخش از نقطه مصرف تا نقطه اولیه تولید با هدف بازیابی، انتقال یا دورریز مناسب مواد و محصولات صورت می‌پذیرد[۶]. همچنین محصولات در پایان اجاره، با ضمانت و آسیب‌دیده در حمل یا ارسال نیز جزو محصولات برگشتی هستند. اگر این محصولات برگشتی به‌صورت کارآمد اداره و کنترل نشوند، آن‌گاه تولیدکنندگان تجهیزات اصلی، متحمل هزینه‌های بیشتری می‌شوند[۷]. در مبحث لجستیک معکوس، ابتدا باید اصول مطرح‌شده در تصمیمات تاکتیکی سازمان مشخص شود تا با کمک آن بتوان برای لجستیک معکوس نیز تصمیمات طراحی راهبردی اتخاذ کرد. در این راستا طراحی شبکه لجستیک به‌عنوان بخشی از برنامه‌ریزی زنجیره تأمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد و می‌تواند نقشی مثبت بر اهداف زنجیره تأمین به‌خصوص کاهش هزینه‌ها، سطح پاسخ‌گویی و کارایی داشته باشد[۸]. در طی سال‌های اخیر مقالات کمی در زمینه لجستیک مستقیم و معکوس یکپارچه ارائه شده است در این مقاله تمام مراکز مرتبط با لجستیک مستقیم و معکوس پوشش داده شده و مدلی کلی و بهینه ارائه شده است. در ادامه این مقاله به مرور ادبیات موضوع، تعریف مسئله، مدل‌سازی ریاضی و نتایج محاسباتی پرداخته می‌شود. در پایان نیز نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده ارائه می‌شود.

۲- مرور ادبیات

رمضانی[1] و همکاران[۹] یک مدل احتمالی چندهدفه برای مسئله طراحی شبکه لجستیک یکپارچه، تحت شرایط عدم قطعیت ارائه نمودند که اهداف مدل به‌صورت حداکثر رساندن سود، پاسخ‌گویی به مشتری و کیفیت در نظر گرفته شده است. شبکه مدل مربوطه شامل تأمین‌کنندگان، مراکز تولید، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز دفع می‌باشد.

امین و ژانگ[2][۱۰] نیز ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته با تابع هدف حداقل‌سازی هزینه کل توسعه دادند. سپس تولیدکنندگان و تکنولوژی پاک در مراکز جمع‌آوری مدل فوق را به‌منظور درنظر گرفتن عوامل زیست‌محیطی، شامل استفاده از مواد اولیه دوست‌دار محیط‌زیست، توسعه داده‌اند.

پیشوایی[3] و همکاران [۱۱] یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی را به‌صورت چند هدفه ارائه نمودند که به طراحی شبکه زنجیره تأمین در صنایع پزشکی تحت عدم قطعیت پرداخته است. مدل مربوطه دارای اهداف ناسازگار اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی بوده و از الگوریتم تجزیه بندرز برای حل پیچیدگی محاسباتی مدل ارائه‌شده استفاده شده است.

دمیرل[4] و همکاران[۱۲] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی را برای محصول چند جزئی ارائه نمودند. در این مدل سیاست قیمت بازار ثانویه و سیاست تشویقی بازگشت محصولات پیگیری می‌شود. مدل مربوطه به‌وسیله الگوریتم ژنتیک حل‌شده و کارایی آن با نتایج نرم‌افزار GAMS قیاس شده است.

بشیری و همکاران[۱۳] مسئله‌ای دو هدفه در یک محیط فازی را برای زنجیره‌تأمین بسته، با هدف کاهش هزینه‌های زنجیره‌تأمین مدل‌سازی کرده‌اند. همچنین از فن‌های تجزیه‌وتحلیل چند متغیره آماری به‌عنوان یکی از ارکان تشکیل‌دهنده تابع هدف برای طراحی زنجیره‌تأمین، استفاده نموده‌اند.

صحرائیان و همکاران[۱۴] یک مدل غیرقطعی در زنجیره‌تأمین حلقه بسته، ارائه نمودند که هدف اول این مدل، حداکثرسازی سود کل زنجیره و تابع هدف دوم، حداقل‌سازی استفاده از مواد خام است. بهینه‌سازی در مدل مذکور با الگوریتم ژنتیک صورت‌گرفته و با روش ε-Constraint به یافتن خط بهینه پارتو پرداخته شده است.

بشیری و همکاران[۱۵] به طراحی یک زنجیره تأمین حلقه بسته با مراکز جمع‌آوری چندبخشی پرداختند. در این مطالعه تقاضا و بازگشت، غیرقطعی و بر پایه سناریو در نظر گرفته شده و رویکرد مورد استفاده برای حل مسئله، الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیب شده با تقریب میانگین نمونه بوده است.

1- Ramezani

2- Amin & Zhang
3- Pishvaee
4- Demirel

صفار و همکاران[۱۶] به طراحی یک زنجیره‌تأمین حلقه‌بسته سبز پرداختند که در آن ریسک‌های عملیاتی به صورت خرابی در قسمت تأمین‌کنندگان و کارخانه در نظر گرفته شده است. در این مطالعه عدم قطعیت به کمک رویکرد فازی مطرح‌شده و مدل فازی دو هدفه ابتدا با روش خیمنز به مدل قطعی تبدیل‌شده و سپس با روش TH حل شده است. برای حل مدل در ابعاد بزرگ از NSGAII استفاده شده است.

وحدانی[1] و همکاران[۱۷] یک مدل بهینه‌سازی احتمالی فازی و غیردقیق در زمینه زنجیره‌تأمین حلقه‌بسته ارائه دادند. این مطالعه به حدقل‌سازی هزینه‌های کل شامل هزینه‌های ثابت مکان‌یابی تسهیلات دوسویه، مراکز دفن‌وانهدام و تسهیلات تولیدی ترکیبی و هزینه‌های حمل‌ونقل بین تسهیلات مختلف می‌باشد.

کریمی[2] و همکاران[۱۸] به ارائه یک مدل زنجیره‌تأمین حلقه‌بسته در حالت چندمحصولی و چند دوره‌ای تحت عدم قطعیت نرخ محصولات بازگشتی پرداختند. آنها در این مطالعه شرکت لبنیاتی کاله را مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی این مقاله تخمین نرخ بهینه تعدادی محصولات از قبیل ماست در چرخه تولید است.

صفری[3] و همکاران[۱۹] یک مدل بهینه‌سازی استوار ارائه نمودند که سه هدف هزینه کل، عوامل زیست‌محیطی از قبیل انتشار آلودگی و فاکتورهای اجتماعی از قبیل استخدام و ایجاد فرصت‌های شغلی را پیگیری می‌کند. به این منظور یک الگوریتم ژنتیک کارا برای تعیین راه‌حل‌های بهینه پارتو ارائه شده است. در ادامه مدل مربوطه با توجه به داده‌های صنعت فولاد حل شده است.

توکلی‌مقدم و همکاران[۲۰] مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلطی را برای طراحی یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس، با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره‌تأمین، در حالت تک محصولی و چندمحصولی ارائه نموده‌اند و برای حل مدل از نرم‌افزار لینگو بهره گرفته‌اند.

جهرمی و همکاران[۲۱] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای شبکه لجستیک حلقه‌بسته چند محصولی، چند سطحی و تحت شرایط عدم قطعیت عوامل متغیر ارائه نموده‌اند که با هدف حداکثر کردن سود حاصل از احداث تسهیلات، اثرات اجتماعی شبکه زنجیره‌تأمین و حداقل‌سازی اثرات زیست‌محیطی می‌باشد. همچنین برای حل از نرم‌افزار GAMS بهره گرفته‌اند.

غایب‌لو و همکاران[۲۲] به طراحی یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ۰ و ۱ دوهدفه برای شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس چندسطحی پرداختند. در این مطالعه مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه پارتو برای نشان دادن معاوضه بین توابع هدف سود و سبز بودن شبکه فراهم شده است.

سلطانی تهرانی و همکاران[۲۳] یک مدل دوهدفه شامل اهداف حداقل‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل و پردازش و همچنین حداقل‌سازی کربن‌دی‌اکسید منتشرشده را ارائه نموده‌اند. مدل مربوطه حالت چندمحصولی و چند دوره‌ای را به‌همراه محدودیت تولید کربن‌دی‌اکسید در داخل و بین مراکز در نظر می‌گیرد. مدل مربوطه به‌وسیله نرم‌افزار CPLEX 12.3 حل شده است.

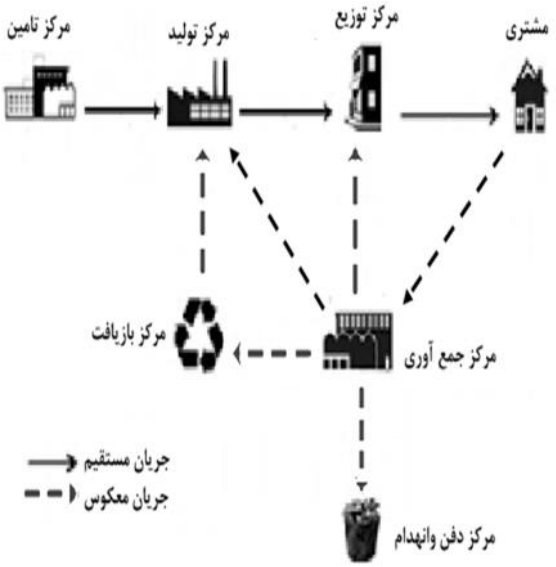
۳- تعریف مسئله

شبکه‌ای که در این مقاله استفاده‌شده یک شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم- معکوس چند سطحی و چند دوره‌ای است و می‌توان در صنایع مختلفی که قابلیت جمع‌آوری، بازیافت، انهدام، تولید مجدد و توزیع مجدد دارند استفاده کرد. به‌طور مثال می‌توان در صنعت بازیافت فلزات و مواد آهنی، کاغذ، زباله‌ها و تولید کودهای آلی و غیره بهره برد. در این شبکه مواد اولیه از تأمین‌کنندگان تهیه شده و وارد بخش تولید می‌شود. سپس کالاهای ساخته‌شده وارد بخش توزیع شده و در ادامه از محل توزیع کالاها برای مشتریان فرستاده می‌شود. در جریان لجستیک معکوس کالاهای بازگشتی از سوی مشتریان به محل جمع‌آوری منتقل می‌شود و در آنجا کالاها دسته‌بندی‌شده و کالاهایی که سطح مطلوبی از کیفیت را دارا هستند به عنوان کالای دست دوم وارد مراکز توزیع می‌شوند و کالاهایی که نیاز به تولید مجدد دارند وارد مراکز تولید جهت ساخت مجدد می‌شوند. کالاهایی که نیاز به بازیابی دارند وارد مراکز بازیافت می‌شوند و مواد اولیه مراکز تولید را فراهم می‌کنند و کالاهایی که جزء هیچ کدام از دسته‌های مربوطه قرار نگیرند وارد مراکز دفن و انهدام می‌شوند تا از محیط‌زیست به‌طرز مناسبی خارج شود. چون کالاها در چرخه لجستیک معکوس در چرخه لجستیک مستقیم وارد می‌شوند، لذا شبکه یک شبکه حلقه بسته خواهد بود. در

1- Vahdani
2- Karimi
3- Saffari

جریان معکوس، فرض بر این است که مشتریانی کـه اقـدام به خریـد کـالا نمـوده‌انـد، در همـان دوره زمـانی در مـورد برگرداندن یا عدم برگرداندن محصول استفاده شده تصـمیم می‌گیرند. جریان محصـولات در کانـال مسـقیم بـه‌صـورت کششی و وابسته به تقاضای مشتریان و در کانـال معکـوس به‌صورت فشاری و براساس بازگشت محصولات از مشـتریان است.

مدل به صورت تک هدفه، چند دوره‌ای و چند محصولی است.



شکل (۱): شبکه لجستیک مستقیم و معکوس در زنجیره‌تأمین بسته

مدل در نظر گرفته‌شده در این مسئله مدل توسعه‌یافتـه مقاله دکتر توکلی‌مقدم و همکاران[۲۰] می‌باشد که هزینـه پردازش در مراکز و حالت چند دوره‌ای به آن اضافه شـده و در ابعاد بزرگ حل شده است.

۳-۱- فرض های مدل

۱- ظرفیت تسهیلات محدود است.

۲- مقادیر کالاهای مرجوعی و تقاضای مشتریان قطعی است.

۳- فضای حل مسئله به‌صورت گسسته است.

۴- مشتریان محصولات نو و دست دوم را یکسان فـرض می‌کنند.

۵- مکـان تـأمین‌کننـدگان، تولیدکننـدگان و مشـتریان ثابت بوده ولـی مکـان توزیـع، جمـع‌آوری، بازیـابی و دفـن وانهدام ثابت نیست.

۶- محصولات دست دوم کیفیت پـایین‌تـری نسـبت بـه محصولات نو دارند.

۷- به تمام مشتریان پاسـخ داده شـده و تمـام کالاهـای مرجوعی نیز جمع‌آوری می‌شوند.

۸- محصولات وارد شده در مراکز در هر دوره زمـانی در همان دوره از مرکز مربوطه خـارج شـده و وارد دوره بعـدی نمی‌شوند.

۳-۲- مجموعه‌ها

$i \in I$ نقاط ثابت برای مراکز تأمین‌کنندگان

$j \in J$ نقاط ثابت برای مراکز تولیدکنندگان

$k \in K$ نقاط بالقوه برای مراکز توزیع

$l \in L$ نقاط ثابت برای مراکز مشتریان

$m \in M$ نقاط بالقوه برای مراکز جمع‌آوری

$p \in P$ نقاط بالقوه برای مراکز بازیافت

$n \in N$ نقاط بالقوه برای مراکز دفن وانهدام

$s \in S$ مجموعه محصولات

$t \in T$ مجموعه دوره‌های زمانی

۳-۳- پارامترها

Q_{slt} تقاضای محصول s از مشتری l در دوره t

W_{slt} میزان برگشتی محصول s از مشتری l در دوره t

Em_s نرخ برگشتی محصول s از مرکز مشتری l به مرکز جمع‌آوری m

Rj_s نرخ برگشتی محصول s از مرکز جمـع‌آوری m بـه مرکز تولیدکننده j

Tp_s نرخ برگشتی محصول s از مرکز جمـع‌آوری m بـه مرکز بازیافت p

An_s نرخ برگشتی محصول s از مرکـز جمـع‌آوری m بـه مرکز دفن و انهدام n

Zk_s نرخ برگشتی محصول s از مرکـز جمـع‌آوری m بـه مرکز توزیع k

F_{kt}^1 هزینه اجاره مرکز توزیع k در دوره t

F_{mt}^2 هزینه اجاره مرکز جمع‌آوری m در دوره t

F_{pt}^3 هزینه اجاره مرکز بازیافت p در دوره t

F_{nt}^4 هزینه اجاره مرکز دفن و انهدام n در دوره t

C_{sijt}^1 هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول s از مرکز تأمین i به مرکز تولید j در دوره t

C_{sjkt}^2 هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول s از مرکز تولید j به مرکز توزیع k در دوره t

C_{sklt}^3 هزینه جابه‌جایی هـر واحـد محصـول s از مرکـز توزیع k به مرکز مشتری l در دوره t

C^4_{slmt} هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول s از مشتری l به مرکز جمع‌آوری m در دوره t

C^5_{smpt} هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول s از مرکز جمع‌آوری m به مرکز بازیافت p در دوره t

C^6_{smnt} هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول s از مرکز جمع‌آوری m به مرکز دفن و انهدام n در دوره t

C^7_{smjt} هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول s از مرکز جمع‌آوری m به مرکز تولیدکننده j در دوره t

C^8_{smkt} هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول s از مرکز جمع‌آوری m به مرکز توزیع k در دوره t

C^9_{spjt} هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول s از مرکز بازیافت p به مرکز تولید j در دوره t

Ca^1_i ظرفیت مرکز تأمین‌کننده I

Ca^2_j ظرفیت مرکز تولیدکننده j

Cap_{1j} ظرفیت ساخت مجدد محولات رسیده از مرکز جمع‌آوری m در مرکز تولید j

Cap_{2j} ظرفیت ساخت مجدد محولات رسیده از مرکز بازیافت p در مرکز تولید j

Ca^3_k ظرفیت مرکز توزیع k

Cap_k ظرفیت محصولات مرجوعی در مرکز توزیع k

Ca^4_m ظرفیت مرکز جمع‌آوری m

Ca^5_p ظرفیت مرکز بازیافت p

Ca^6_n ظرفیت مرکز دفن و انهدام n

P^1_j کلیه هزینه‌های تولید هر واحد محصول در مرکز تولید j در هر دوره زمانی

P^2_k کلیه هزینه‌های پردازش هر واحد محصول در مرکز توزیع k در هر دوره زمانی

P^3_m کلیه هزینه‌های پردازش هر واحد محصول در مرکز جمع‌آوری m در هر دوره زمانی

P^4_p کلیه هزینه‌های بازیافت هر واحد محصول قابل بازیافت در مرکز بازیافت p در هر دوره زمانی

P^5_n کلیه هزینه‌های انهدام هر واحد محصول غیرقابل بازیافت در مرکز انهدام n در هر دوره زمانی

۳-۴- متغیرها

$Y^1_{kt}=1$ اگر مرکز توزیع k در دوره t اجاره شود وگرنه صفر است.

$Y^2_{mt}=1$ اگر مرکز جمع‌آوری m در دوره t اجاره شود وگرنه صفر است.

$Y^3_{pt}=1$ اگر مرکز بازیافت p در دوره t اجاره شود وگرنه صفر است.

$Y^4_{nt}=1$ اگر مرکز دفن و انهدام n در دوره t اجاره شود وگرنه صفر است.

X^1_{sijt} مقدار جریان محصول s از مرکز تأمین‌کننده I به مرکز تولیدکننده j در دوره t

X^2_{sjkt} مقدار جریان محصول s از مرکز تولید j به مرکز توزیع k در دوره t

X^3_{sklt} مقدار جریان محصول s از مرکز توزیع k به مشتری l در دوره t

X^4_{slmt} مقدار جریان محصول s از مرکز مشتری l به مرکز جمع‌آوری m در دوره t

X^5_{smpt} مقدار جریان محصول s از مرکز جمع‌آوری m به مرکز بازیافت p در دوره t

X^6_{smnt} مقدار جریان محصول s از مرکز جمع‌آوری m به مرکز دفن و انهدام n در دوره t

X^7_{smjt} مقدار جریان محصول s از مرکز جمع‌آوری m به مرکز تولید j در دوره t

X^8_{smkt} مقدار جریان محصول s از مرکز جمع‌آوری m به مرکز توزیع K در دوره t

X^9_{spjt} مقدار جریان محصول s از مرکز بازیافت p به مرکز تولید j در دوره t

۳-۵- مدل ریاضی مسئله

با استفاده از نمادهای فوق می‌توان مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه به‌کار گرفت که با هدف حداقل‌سازی هزینه‌ها به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned}\boldsymbol{minf} = {} & \textstyle\sum_k\sum_t F^1_{kt}Y^1_{kt} + \sum_m\sum_t F^2_{mt}Y^2_{mt} + \\ & \textstyle\sum_p\sum_t F^5_{pt}Y^5_{pt} + \sum_n\sum_t F^6_{nt}Y^6_{nt} + \\ & \textstyle\sum_s\sum_i\sum_j\sum_t C^1_{sijt}X^1_{sijt} + \\ & \textstyle\sum_s\sum_j\sum_k\sum_t (F^1_j + C^2_{sjkt})X^2_{sjkt} + \\ & \textstyle\sum_s\sum_k\sum_l\sum_t (F^2_k + C^3_{sklt})X^3_{sklt} + \\ & \textstyle\sum_s\sum_l\sum_m\sum_t (F^3_m + C^4_{slmt})X^4_{slmt} + \\ & \textstyle\sum_s\sum_m\sum_p\sum_t (F^4_p + C^5_{smpt})X^5_{smpt} + \\ & \textstyle\sum_s\sum_m\sum_n\sum_t (F^5_n + C^6_{smnt})X^6_{smnt} + \\ & \textstyle\sum_s\sum_m\sum_{mj}\sum_t (C^7_{smjt}X^7_{smjt}) + \\ & \textstyle\sum_s\sum_m\sum_k\sum_t (C^8_{smkt}X^8_{smkt}) +\end{aligned}$$

$$\sum_s \sum_p \sum_j \sum_t (C^9_{spjt} X^9_{spjt}) \quad (1)$$

$s.t$

$$\sum_k X^3_{sklt} = Q_{slt} \quad \forall s \in S, \forall l \in L, \forall t \in T \quad (2)$$

$$\sum_m X^4_{slmt} = W_{slt} \quad \forall s \in S, \forall l \in L, \forall t \in T \quad (3)$$

$$\sum_k X^8_{smkt} = Zk_s \sum_l X^4_{slmt} \; \forall s \in S, \forall m \in M, \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_j X^7_{smjt} = Rj_s \sum_l X^4_{slmt} \; \forall s \in S, \; \forall m \in M, \forall t \in T \quad (5)$$

$$\sum_p X^5_{smpt} = Tp_s \sum_l X^4_{slmt} \; \forall s \in S, \forall m \in M, \forall t \in T \quad (6)$$

$$\sum_n X^6_{smnt} = An_s \sum_l X^4_{slmt} \; \forall s \in S, \forall m \in M, \forall t \in T \quad (7)$$

$$\sum_j X^2_{sjkt} = \sum_l X^3_{sklt} - \sum_m X^8_{smkt} \quad \forall s \in S, \; \forall k \in K, \; \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_i X^1_{sijt} + \sum_m X^7_{smjt} + \sum_p X^9_{spjt} = \sum_p X^2_{sjkt} \quad \forall s \in S, \; \forall k \in K, \forall t \in T \quad (9)$$

$$\sum_m X^5_{smpt} = \sum_j X^9_{spjt} \quad \forall s \in S, \; \forall p \in P, \forall t \in T \quad (10)$$

$$\sum_s \sum_j X^1_{sijt} \leq Ca^1_i \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (11)$$

$$\sum_s \sum_k X^2_{sjkt} \leq Ca^2_j \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (12)$$

$$\sum_s \sum_l X^3_{sklt} \leq Ca^3_k Y^1_{kt} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (13)$$

$$\sum_s \sum_k Zk_s X^8_{smkt} + \sum_s \sum_j Rj_s X^7_{smjt} + \sum_s \sum_n An_s X^6_{smnt} + \sum_s \sum_p Tp_s X^5_{smpt} \leq Ca^4_{mt} Y^2_{mt} \quad \forall m \in M, \; \forall t \in T \quad (14)$$

$$\sum_s \sum_m X^7_{smjt} \leq Cap_{1j} \quad \forall j \in J, \; \forall t \in T \quad (15)$$

$$\sum_s \sum_m X^8_{smkt} \leq Cap_k \, Y^1_{kt} \quad \forall k \in K, \; \forall t \in T \quad (16)$$

$$\sum_s \sum_m X^6_{smnt} \leq Ca^6_n \, Y^4_{nt} \quad \forall n \in N, \; \forall t \in T \quad (17)$$

$$\sum_s \sum_m X^9_{smpt} \leq Ca^5_p \, Y^3_{pt} \quad \forall p \in P, \; \forall t \in T \quad (18)$$

$$\sum_s \sum_p X^9_{spjt} \leq Cap_{2j} \quad \forall p \in P, \; \forall t \in T \quad (19)$$

$$\sum_k Y^1_{kt} \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (20)$$

$$\sum_m Y^2_{mt} \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (21)$$

$$\sum_p Y^3_{pt} \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (22)$$

$$\sum_n Y^4_{nt} \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (23)$$

$$Rj_s + Zk_s + Tp_s + An_s = 1 \quad \forall s \in S \quad (24)$$

$$Y^1_{kt}, Y^2_{mt}, Y^3_{pt}, Y^4_{nt} \in (0,1) \quad (25)$$

$$X^1_{sijt}, X^2_{sjkt}, X^3_{sklt}, X^4_{slmt}, X^7_{smjt}, X^8_{smkt}, X^5_{smpt}, X^6_{smnt}, X^9_{spjt} \geq 0 \quad (26)$$

تابع هدف (۱) این مدل نشان‌دهنده حداقل‌سازی هزینه‌های جابه‌جایی و حمل و نقل محصولات در جریان مسقیم و معکوس و همچنین هزینه عملیات‌های داخلی مراکز و هزینه اجاره تسهیلات می‌باشد. محدودیت (۲) تضمین می‌کند که در جریان مستقیم تقاضای مشتریان پاسخ داده شود. محدودیت (۳) تضمین می‌کند در جریان برگشتی تمام کالاهای مرجوعی جمع‌آوری‌شده و به محل جمع‌آوری منتقل شود. محدودیت های (۴) تا (۷) تضمین می‌کنند کالاهای وارد شده به محل جمع‌آوری برابر کالاهای خارج‌شده از آن می‌باشند. محدودیت (۸) تضمین می‌کند کالاهای واردشده به مرکز توزیع برابر کالاهای خارج‌شده از آن می‌باشند. محدودیت (۹) تضمین می‌کند کالاهای واردشده به مرکز تولید برابر کالاهای خارج‌شده از آن می‌باشند. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند کالاهای وارد شده به محل بازیافت برابر کالاهای خارج شده از آن می‌باشند. محدودیت‌های (۱۱) تا (۱۹) تضمین می‌کنند که جریان فقط بین نقاطی در جریان باشد که در آن تسهیلی مستقر شده باشد و به ترتیب مربوط به محدودیت‌های ظرفیت مراکز تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع کننده، جمع‌آوری، ظرفیت محصولات مرجوعی (۱) مراکز تولید، ظرفیت محصولات مرجوعی مراکز توزیع، ظرفیت مراکز دفن وانهدام، بازیافت و ظرفیت محصولات مرجوعی (۲) مراکز تولید می‌باشند. محدودیت‌های (۲۰) تا (۲۳) تضمین می‌کنند که حداقل یکی از مراکز توزیع، جمع‌آوری، بازیافت، دفن و انهدام فعال باشند. محدودیت (۲۴) تضمین می‌کند مجموع ضرایب محصولات بازگشتی برابر ۱ باشد و محدودیت‌های (۲۵) و (۲۶) نوع متغیرهای مسئله را نشان می‌دهند.

۴- نتایج محاسباتی و ارائه مطالعه موردی

به‌منظور نشان دادن ویژگی‌های مدل و اجرایی کردن آن، مدل پیشنهادشده برای حل یک مثال کاربردی به‌کار گرفته شده است. شرکت آماد بهینه‌ساز مسئولیت کنترل و پیگیری یک زنجیره‌تأمین حلقه‌بسته را برای قطعات دفاعی در کشور بر عهده دارد. این شرکت در نظر دارد با اجاره مراکز (اجاره واحدهای تغییر کاربری داده شده) مرتبط با شرکت از قبیل توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و دفن و انهدام در بعضی از شهرهای کشور زنجیره‌تأمین خود را بهینه کند. در این زنجیره، مراکز تأمین خارج کشور و تولید از واحدهای زیرمجموعه شرکت می‌باشد. لذا شامل هزینه

اجاره نمی‌شود. ۱۰ نوع محصول کاربردی و پرمصرف از خودروهای سنگین باید برای تأمین تقاضای رده‌های متقاضی به‌صورت ماهیانه برنامه‌ریزی شود. تعدادی از نقاط در بعضی از شهرهایی که امکان اجاره واحدهای آنها مقدور بوده شناسایی شده‌اند که در ادامه توضیح داده می‌شوند. فرم اولیه این قطعات از ۱۰ تأمین‌کننده در کشور ترکیه خریداری شده و سپس این قطعات در ۶ تولیدکننده در شهر تبریز به فرم مناسب آنها تولید می‌شوند. سپس قطعات تولیدی به سمت ۸ مرکز توزیع در شهر تهران ارسال می‌شوند. متقاضیان قطعات مربوطه شامل ۱۵ شهر اهواز، کرمان، نیشابور، نجف‌آباد، شبستر، گنبد کاووس، یزد، مشهد، کرمانشاه، رشت، خرم‌آباد، قزوین، شهرکرد، تفرش و شیراز می‌باشند. همچنین قطعاتی که بعد از مدتی خراب شده و نیاز به تعمیر داشته یا قطعات دورریز هستند به سمت ۸ مرکز جمع‌آوری در شهر اصفهان ارسال می‌شوند و در آنجا به دسته‌بندی این قطعات پرداخته می‌شود. قطعاتی که به اصلاح جزئی نیاز دارند عیب آنها همان‌جا برطرف شده و سپس به سمت مراکز تولید و توزیع با توجه به قابلیت استفاده مجدد آنها فرستاده می‌شوند. قطعاتی که نیاز به بازیابی دارند به سمت ۶ مرکز بازیافت در شهر زنجان ارسال می‌شوند تا مواد اولیه کارخانه‌های تولیدی را تشکیل داده و قطعاتی که در هیچ‌کدام از این دسته‌ها قرار نگیرند جزء قطعات دورریز شناخته می‌شوند که باید به سمت ۷ مرکز دفن و انهدام در شهر قم ارسال شوند تا به طرز مناسبی از محیط‌زیست خارج شوند. شرکت آماد بهینه‌ساز درصدد است این زنجیره را به نحوی بهینه‌سازی نماید تا با انتخاب بهترین نقاط در شهرهای ذکر شده برای اجاره مراکز، با صرف کمترین هزینه بتواند پاسخ‌گویی مناسبی به رده‌های متقاضی داشته باشد. اطلاعات مربوط به این زنجیره در جدول (۱) نشان داده شده است. لازم به ذکر است مقادیر عوامل متغیر هزینه اجاره مراکز و حمل‌ونقل به ۱۰۰۰ ریال برای هر واحد می‌باشد.

جدول (۱): مقادیر اسمی عوامل متغیر مدل

نماد	محدوده	نماد	محدوده	نماد	محدوده	نماد	محدوده	نماد	محدوده
Q_{slt}	U[20و 25]	F_{kt}	U[10000و20000]	C_{sklt}	U[12و15]	Ca_i	U[800و1000]	Ca_p	U[400و500]
W_{slt}	U[8و10]	F_{mt}	U[30000و40000]	C_{slmt}	U[4و6]	Ca_j	U[1000و1500]	Ca_n	U[200و250]
Rj_s	U[0و1]	F_{pt}	U[8000و12000]	C_{smpt}	U[3و5]	Cap_{1j}	U[100و150]	P_j	U[20و25]
Tp_s	U[0و1]	F_{nt}	U[4000و8000]	C_{smnt}	U[5و7]	Cap_{2j}	U[100و150]	P_k	U[10و20]
An_s	U[0و1]	C_{sijt}	U[5و8]	C_{smjt}	U[7و9]	Ca_k	U[800و1000]	P_m	U[8,12]
Zk_s	U[0و1]	C_{sjkt}	U[8و10]	C_{smkt}	U[3و7]	Cap_k	U[100و150]	P_p	U[35و40]
				C_{spjt}	U[7و10]	Ca_m	U[1000و1200]	P_n	U[10و20]

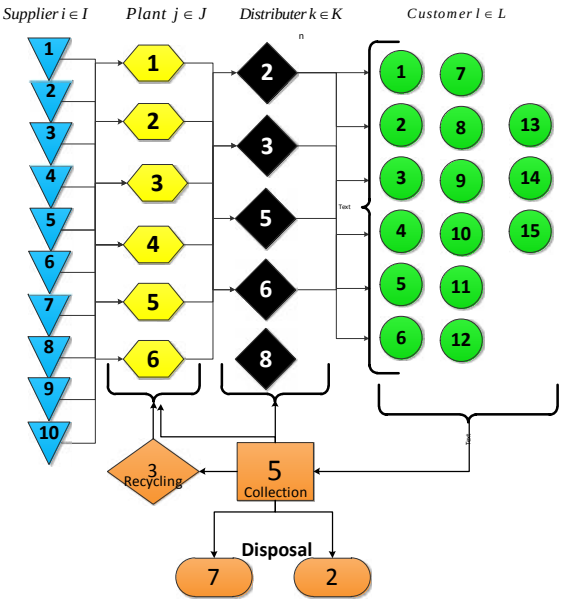
مدل مربوطه در نرم‌افزار CPLEX 12.3 برنامه‌نویسی‌شده و خروجی نرم‌افزار نشان داده شده است. تمام محاسبات به کمک رایانه با پردازش‌گر Pentium 4, 3.06 GHz 512 Mb of RAM در سیستم عامل ویندوز seven انجام شده است. نتایج حاصل از این محاسبات با ۱۰ نوع محصول در شکل(۲) نشان داده شده است. مقدار تابع هدف فوق در نرم‌افزار مربوطه برابر ۵۷۱۸۸۲۰۰۰ ریال می‌باشد که در مدت ۱/۱۷ ثانیه حل گردیده است. نقاط بهینه در شهرهای ذکر شده برای مراکز توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و دفن و انهدام به‌صورت زیر می‌باشد:

$Y(m=5)=1$ و $Y(k=2,3,5,6,8)=1$

$Y(p=3)=1$ و $(n=2,7)=1$ می‌باشد.

۴-۱- تحلیل حساسیت

مدل مربوطه به‌وسیله ۱۰ نمونه مسئله آزمایشی حل شده است که در هر کدام از این نمونه مسائل تعداد خاصی از مراکز بالقوه در شهرهای ذکر شده در نظر گرفته شده است. تعداد مراکز در هر نمونه مسئله در جدول (۲) نشان داده شده است. در جدول (۳) مقادیر تابع هدف و زمان حل نشان داده شده است. در نمودار (۱) مقادیر تابع هدف با یکدیگر مورد قیاس قرار گرفته است.



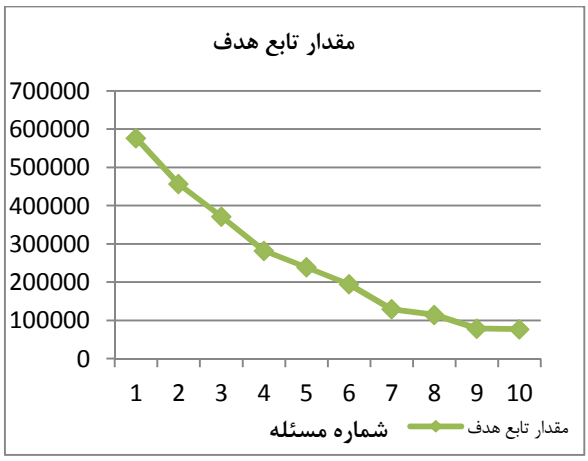
شکل (۲): شبکه زنجیره تأمین چند مرحله‌ای

جدول (۲): ابعاد مسائل آزمایشی تولیدشده

شماره مسئله	i	j	k	l	m	p	n	s	t
۱	۱۰	۶	۸	۱۵	۸	۶	۷	۱۰	۲
۲	۸	۵	۶	۱۳	۶	۵	۶	۹	۲
۳	۷	۵	۶	۱۲	۵	۴	۵	۸	۲
۴	۶	۴	۵	۱۰	۵	۳	۴	۷	۲
۵	۵	۴	۴	۹	۴	۳	۳	۶	۲
۶	۴	۳	۴	۸	۳	۲	۲	۵	۲
۷	۴	۲	۳	۶	۲	۲	۱	۴	۲
۸	۳	۲	۲	۵	۱	۲	۱	۳	۲
۹	۲	۲	۲	۴	۱	۲	۱	۲	۱
۱۰	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۱

جدول (۳): تابع هدف به‌ازای مسائل مختلف

شماره مسئله	مقدار تابع هدف	زمان حل	تعداد محدودیت‌ها	تعداد متغیرها
1	576682	2.25	1919	12030
2	456558.6	1.39	1393	6918
3	371486.8	0.16	1115	5093
4	281758	0.08	873	3322
5	238873.2	0.09	655	2127
6	194314	0.09	455	1202
7	129389.2	0.03	275	521
8	114664	0	163	223
9	78648	0	58	69
10	76993	0	27	18



نمودار (۱): تابع هدف به‌ازای تعداد مختلف محصولات

همان‌طورکه از نمودار (۱) مشخص است با کاهش تعداد مراکز تأمین، تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت، دفن و انهدام و تعداد مشتریان، هزینه‌های زنجیره که شامل هزینه‌های اجاره مراکز، هزینه‌های حمل و نقل بین مراکز و هزینه‌های پردازش داخلی مراکز می‌شود کاهش‌یافته، در نتیجه زمان حل آن نیز کاهش خواهد یافت. دلیل آن نیز کاهش فعالیت‌های داخل عناصر زنجیره و بین عناصر زنجیره تأمین است.

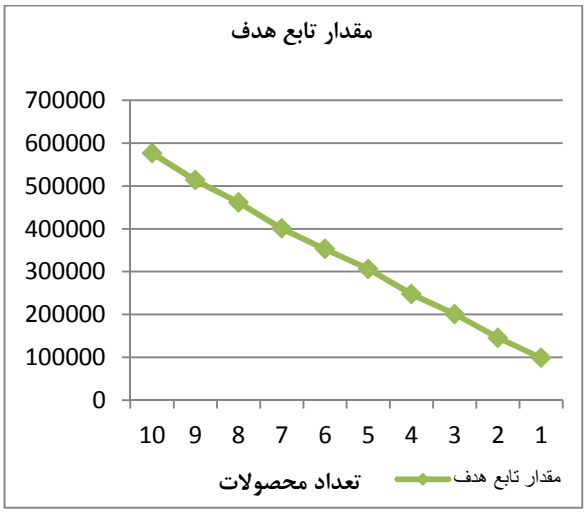
در جدول (۴) مقادیر تابع هدف و زمان حل به ازای ۱۰ محصول مختلف و با فرض ۱۰ مرکز تأمین، ۶ مرکز تولید، ۸ مرکز توزیع، ۱۵مشتری، ۸ مرکز جمع‌آوری، ۶ مرکز بازیافت و ۷ مرکز دفن و انهدام در شهرهای مربوطه حاصل شده است. همچنین در جدول (۵) نقاط بهینه برای اجاره مراکز در شهرهای ذکر شده را نشان می‌دهد و مقادیر تابع هدف و زمان حل به ازای هر تعداد محصول در نمودارهای (۲) و (۳) نشان داده است.

جدول (۴) تابع هدف به ازای تعداد محصولات مختلف

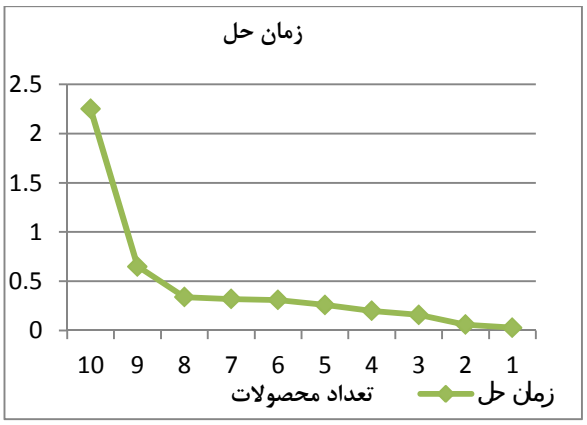
تعداد محصولات	مقدار تابع هدف	زمان حل	تعداد محدودیت‌ها	تعداد متغیرها
10	576682	2.25	1919	12030
9	513520	0.65	1739	10830
8	461618	0.34	1559	9630
7	400511	0.32	1379	8430
6	352849	0.31	1199	7230
5	306187	0.26	1019	6030
4	247525	0.2	839	4830
3	200863	0.16	659	3630
2	145324	0.06	479	2430
1	98662	0.03	299	1230

جدول (۵): مراکز بالقوه مستقرشده به‌ازای تعداد محصولات مختلف

تعداد محصولات	مراکز بالقوه			
	Ym	Yk	Yp	Yn
10	5	2,3,5,6,8	3	2,7
9	5	2,3,5,6	3	2,7
8	5	2,3,5,6	4	7
7	5	3,5,6	1	7
6	5	3,5,6	1	2
5	5	3,5,6	1	2
4	5	3,6	1	2
3	5	3,6	1	2
2	5	6	1	2
1	5	6	1	2



نمودار (۲): تابع هدف به‌ازای تعداد مختلف محصولات



نمودار (۳): زمان حل به‌ازای تعداد مختلف محصولات

همان‌طورکه از نمودار (۲) مشخص است مقادیر تابع هدف با کاهش تعداد محصولات کاهش می‌یابد و همین‌طور تعداد مراکز برای اجاره اعم از مراکز توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و دفن و انهدام نیز کاهش می‌یابد. دلیل آن این است که پردازش داخل مراکز و جریان بین مراکز کاهش یافته و با کاهش تعداد محدودیت‌ها و متغیرها زمان حل مدل نیز کاهش می‌یابد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مدل به‌منظور کارایی بیشتر زنجیره تأمین و جلوگیری از زیربهینگی هنگام طراحی جدا از هم شبکه لجستیک مستقیم و معکوس، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی یکپارچه زنجیره تأمین مستقیم- معکوس چند سطحی توسعه داده شده است که هدف از آن کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین می‌باشد. هزینه‌های در نظر گرفته‌شده در این مدل شامل هزینه‌های اجاره تسهیلات، هزینه‌های حمل و نقل محصولات بین مراکز و هزینه‌های پردازش داخلی مراکز می‌باشد. مدل در حالت چند محصولی، چند دوره‌ای و قطعی می‌باشد. مدل مربوطه در قالب یک مطالعه موردی ارائه‌شده و نقاط بهینه را برای اجاره مراکز توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و دفن و انهدام در شهرهای کشور مشخص می‌کند. همچنین مدل مورد نظر با گسترش تعداد مراکز بالقوه در زنجیره تأمین و افزایش تعداد محصولات در زنجیره تأمین مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد که با گسترش ابعاد مسئله یا تعداد محصولات هزینه‌های زنجیره تأمین به چه میزان افزایش می‌یابد و نقاط بهینه برای اجاره در چه مکان‌هایی می‌باشند. به‌منظور تحقیقات آتی می‌توان عدم قطعیت در تقاضا و عدم قطعیت در تقاضای محصولات بازگشتی و ارائه روش‌های حل فراابتکاری با کارایی مناسب را به‌منظور حل مدل اشاره نمود. همچنین می‌توان اهداف دیگری همچون کمترین زمان پاسخ‌گویی و افزایش سطح کیفیت محصولات خروجی را در مدل لحاظ نمود.

منابع

[1] Bagheri-neghad Z., Kazemzadeh R., Asadi R, ***"Identifying and ranking of success factors in automotive reverse logistics through interpretive structural modeling (ISM)"***. journrnal of Management Research in Iran, Vol. 17, No. 1, 2013.

[2] Meade L., Sarkis J., Presley A., ***"The theory and practice of reverse logistics"***. International Journal of Logistics Systems and Management, Vol. 3, 2007.

[3] Cruz-Rivera, R. and Ertel, J., ***"Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico"***. European Journal

of Operational Research, Vol. 196, PP. 930–939, 2009.

[4] Kannan, G., ***" Fuzzy approach for the selection of third party reverse logistics provider"***. Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics, Vol. 21, No. 3. PP. 397-416, 2009.

[5] Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, JM. and Wassenhove, L., ***"The impact of product recovery on logistics network design"***. Production and Operations Management, Vol. 10, No. 2, PP. 156-173, 2001.

[6] Lu,Z., Bostel,N., ***"A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities"***. Computers & Operations Research,34, 299–323, 2007.

[7] Pishvaee, M.S., Jolai, F. and Razmi, J., ***"A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design"***. Journal of Manufacturing Systems, Vol. 28, PP. 107-114, 2009.

[8] Chopra S., ***"Designing the distribution network in a supply chain"***. Transportation Research - Part E,Vol. 39, 2003.

[9] Ramezani, M. Bashiri, M. and Tavakkoli-Moghaddam, R., ***"A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level"***. Applied Mathematical Modelling., vol. 37, no. 1–2, pp. 328–344, 2013.

[10] Amin, S. H. and Zhang, G., ***"A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return"***. Applied Mathematical Modelling, Vol. 37 , No. 6, 4165-4176, 2013.

[11] Pishvaee, M.S. Razmi, J. and Torabi, S.A., ***"An accelerated Benders decomposition algorithm for sustainable supply chain network design under uncertainty:A case study of medical needle and syringe supply chain"***. Transportation Research Part E; Vol. 67: 14–38, 2014.

[12] Demirel. N, Özceylan. E, Paksoy. T, and Gökçen. H., ***"A genetic algorithm approach for ptimizati a closedloop supply chain network with crisp and fuzzy objectives"***. International Journal of Production Research., Vol. 52, No. 12, 3637–3664, 2014.

[۱۳] بشیری، م. شرافتی، م. ***"طراحی دو هدفه شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته با در نظر گرفتن معیارهای هم‌بسته در محیط فازی"***. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، سال اول، شماره اول، تابستان ۱۳۹۲.

[۱۴] صحرائیان، ر. طاهری مقدم، ع. ***"ارائه یک مدل CLSC غیرقطعی با رویکرد ترکیبی الگوریتم ژنتیک و ε-Constraint"***. نشریه مدیریت تولید و عملیات، دوره پنجم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۳.

[۱۵] بشیری، م. شیری، م. ***"طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری چندبخشی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با دو الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری"***. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، سال سوم، شماره پنجم، تابستان ۱۳۹۴.

[۱۶] صفار، م. شکوری گنجوی، ح. رزمی، ج. ***"طراحی یک زنجیره‌تامین حلقه‌بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک‌های عملیاتی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با الگوریتم فراابتکاری NSGAII"***. نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۹، شماره۱. تابستان ۱۳۹۴.

[17] Vahdani, B. Sharifi, M., ***"An Inexact-Fuzzy-Stochastic Optimization Model for a Closed Loop Supply Chain Network Design Problem"***. Journal of Optimization in Industrial Engineering.,Vol. 12, 7-16, May. 2013.

[18] Karimi, R. Ghezavati, V. Khalili Damghani, K., ***"Optimization of multi-product, multi-period closed loop supply chain under uncertainty in product return rate: case study in Kalleh dairy company"***. Journal of Industrial and Systems Engineering.,Vol. 8, 95-113, 2015.

[19] Saffari, H. Makui, A. Mahmoodian, V. Pishvaee, M., ***"Multi-objective robust optimization model for social responsible closed-loop supply chain solved by non-dominated sorting genetic algorithm"***. Journal of Industrial and Systems Engineering.,Vol. 8, 42-59, 2015.

[۲۰] توکلی‌مقدم، ر. امیدی رکاوندی، م. قدرت‌نما، ع. ***"مدل‌سازی ریاضی برای طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس"***. پژوهش‌های مدیریت در ایران،دوره۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲.

[۲۱] جهرمی، ح. فلاح‌نژاد، م. صادقیه، ا. احمدی یزدی، ا. ***"مدل بهینه‌سازی چندهدفه استوار در طراحی زنجیره‌تأمین حلقه بسته پایدار"***. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، سال اول، شماره۳. تابستان ۱۳۹۳.

[۲۲] غایب‌لو، س. تارخ م. ***"طراحی شبکه زنجیره‌تأمین مستقیم و معکوس سازگار با محیط‌زیست"***. نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۹، شماره۱. تابستان ۱۳۹۴.

[۲۳] سلطانی تهرانی،م. حسن‌پور، ح. رمضانی، س. ***"مدل بهینه‌سازی دوهدفه هزینه و کربن‌دی‌اکسید در زنجیره تأمین حلقه‌بسته"***. نشریه پژوهش‌های مدیریت در ایران، دوره ۱۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴.