Archive of SID

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۷)
دوره‌ی ۱-۳۴، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۳۳-۴۴

Original Article

طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته با اهداف اقتصادی، اجتماعی و کیفی و مفهوم فروش اینترنتی

وحید حاجی‌پور* **(استادیار)**
گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب
یاسمن جباری (کارشناس ارشد)
مجید اخگر (کارشناس ارشد)
گروه مهندسی صنایع، دانشگاه بوعلی سینا همدان

در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح به‌منظور بهینه‌سازی اهداف اقتصادی، اجتماعی و کیفی ارائه شده است. مدل پیشنهادی به‌صورت چندمحصولی و چندهدفه و به‌صورت حلقه‌بسته در شرایط عدم قطعیت طراحی شده است. در بخش اقتصادی تابع هدف، منطق فروش اینترنتی بر اساس راهبرد رفتاری مشتری مورد بررسی قرار گرفته و از طرفی نیز سود ناشی از اشتغال کارکنان هم اقتصادی و هم به نوعی مسئولیت‌پذیری اجتماعی تلقی شده است. در بخش لجستیک بازگشتی نیز مفهوم زیست‌محیطی و بازیافتی در فضای کاهش مواد معیوب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با توجه به پیچیدگی مدل پیشنهادی، الگوریتم ابتکاری گرسپ[1] چندهدفه برای حل مدل ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در معیارهای فاصله‌گذاری و زمان محاسباتی الگوریتم پیشنهادی عملکردی بهتر از NSGA-II داشته و در سایر معیارها عملکرد مشابهی با NSGA-II دارد.

واژگان کلیدی: طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته، بازیافت، فروش اینترنتی، بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم گرسپ.

hajipour.v@wtiau.ac.ir
jabbari.yasaman@gmail.com
akhgar.majid@gmail.com

۱. مقدمه

امروزه مدیریت زنجیره‌ی تامین (SCM)[2] به‌دلیل سرعت بالای جهانی‌شدن و افزایش سطح فنّاوری به‌صورت چشم‌گیری تغییر کرده است و فشارهای ناشی از رقابت، سازمان‌ها را مجبور به افزایش و بهبود همکاری در زنجیره‌ی تأمین کرده است که این همکاری‌ها موجب ترکیب فرایندهای مختلف می‌شود.[1] در این راستا، طراحی و ایجاد زنجیره‌ی تأمین یک تصمیم راهبردی است که چگونگی تبدیل مواد خام به محصول نهایی را مورد مطالعه قرار می‌دهد. این فرایندها طبق زنجیره‌ی تأمین کلاسیک (رو به جلو) شامل تأمین‌کننده‌ها، تولیدکننده‌ها، توزیع‌کننده‌ها، خرده‌فروش‌ها و مشتریان هستند.[2] این نوع تصمیمات راهبردی بر پایه‌ی جلب رضایت مشتری توسط مراکز خدمت‌دهی استوار است و پیچیدگی زنجیره‌هنگامی افزایش می‌یابد که مشتریان نیازهای گوناگونی را مطرح کنند. علاوه‌بر آن، محصول دریافتی باید ویژگی‌های متنوعی از قبیل قیمت، کیفیت، زمان تحویل، و خدمات پس از فروش داشته باشد. گاهی تراکم مشتریان در مکان‌های مختلف جغرافیایی باعث ایجاد مراکز تولیدی بیشتر در منطقه‌ی پرتراکم می‌شود. از طرفی دیگر، شرایطی بین کارخانه‌ها و مراکز توزیع برقرار است که باعث رقابت برای دستیابی به جلب رضایت مشتری می‌شوند که این نیازها تبدیل به اهداف زنجیره‌شده و در نتیجه طراحی و تصمیم‌گیری در سطح شبکه‌ی زنجیره از اهمیت زیادی برخوردار است.[3]

امروزه شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین به دو قسمت لجستیک رو به جلو (FL)[3] و لجستیک بازگشتی (RL)[4] تقسیم‌بندی می‌شود که ترکیب آن‌ها زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته (CLSC)[5] نام گرفته است. از طرف دیگر، زنجیره‌ی تأمین بازگشتی نیز شامل بخش‌هایی از قبیل مراکز جمع‌آوری، بازیافت، تعمیر، و دفع با هدف کمینه‌کردن میزان اتلاف مواد و محصولات در زنجیره‌است که قوانین دولتی تولیدکنندگان را مجبور به توجه بر پایان عمر محصولات (EOL)[6] و همچنین اجرای مسئولیت‌های اجتماعی در برابر محیط زیست می‌کند.[4] این مسئولیت اجتماعی در شرکت‌ها (CSR)[7] علاوه‌بر مسئولیت در برابر محیط زیست می‌تواند بر روی اشتغال‌زایی هم اثرگذار باشد. در واقع، زنجیره‌ی تأمین بازگشتی دارای ویژگی‌هایی از قبیل

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۵/۱۷، اصلاحیه ۱۳۹۶/۳/۲۹، پذیرش ۱۳۹۶/۴/۱۳.
DOI:10.24200/J65.2018.20064

www.SID.ir

Archive of SID

جلوگیری از اتلاف منابع، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، سودآوری از کالاهای دسته‌ی دوم، ایجاد رقابت و افزایش سطح کارایی از زنجیره است. در حالت کلی، زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته برای رسیدن به اهداف خود می‌تواند شرایط اقتصادی، رقابتی، کیفی، زیست‌محیطی، و اجتماعی را دنبال کند. مجمع جهانی توسعه با هدف دست‌یابی به آینده‌یی پایدار اقدامات خود را در سطوح جامعه بر روی تغییر شرایط فعالیت‌های صنعتی و الگوها در جهان با اهدافی از قبیل اقتصادی، اجتماعی، کیفی، و محیط زیستی در نظر گرفته است و سعی در اجرای آن دارد.[۵]

مدل پیشنهادی در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط (MINLP)[۸] است. اهداف مورد نظر شامل اهداف اقتصادی، اجتماعی، و کیفی است که در جهت رو به جلو شامل چهار سطح: مرکز تأمین، مرکز تولید، مرکز توزیع، و بازار اول و در جهت رو به عقب شامل شش سطح: مراکز پشتیبانی، مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت، مراکز دفع، مراکز توزیع مجدد، و مراکز بازار دسته دوم است. در این مقاله، شبکه‌یی با چندین محصول و چندین هدف به‌صورت هم‌زمان و حلقه‌بسته در شرایط یک‌دوره‌یی و عدم قطعیت ارائه می‌شود. در این راستا، تسهیلات ظرفیت معینی دارند و تعداد و مکان آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در قسمت اقتصادی تابع هدف، سود از سه منظر: ناشی از فروش معمولی، فروش اینترنتی، و اشتغال کارکنان در شرکت‌ها بررسی می‌شود. در فروش اینترنتی که مشتری محور است و دارای سه شکل فروش: قیمت اعلان‌شده[۹]، مزایده[۱۰]، مزایده و خرید مستقیم[۱۱] است به مراتب قیمت کالا کاهش می‌یابد؛ این امر به‌علت حذف هزینه‌ی سفارش‌دهی، کاهش هزینه‌ی انبار و سربار، و افزایش سرعت در ارائه‌ی خدمات است. منطق فروش اینترنتی بر اساس راهبرد رفتاری مشتری است. در حالی‌که مشتری منطقی فرض شده و در انتخاب نحوه‌ی خرید خود از مراکز توزیع چه اینترنتی و چه معمولی اختیار کامل دارد. از طرفی سود ناشی از اشتغال کارکنان هم هدفی اقتصادی و هم به نوعی مسئولیت‌پذیری اجتماعی تلقی می‌شود.

در قسمت لجستیک بازگشتی، که معمولاً به‌علت مفهوم محیط زیستی و بازیافتی بیان می‌شود، کاهش مواد معیوب را مشمول دو دسته‌ی مواد خام و محصولات دانستیم به طوری‌که در یک حلقه مواد خام از مرکز تولید (کارخانه‌ها) به مرکز بازیافت و درحلقه‌ی دیگر محصولات از بازار اول به مرکز بازیافت هدایت می‌شوند که این امر باعث کاهش بیش از پیش مواد معیوب، افزایش منابع، سودآوری، و استفاده‌ی مؤثرتر از آن‌ها می‌شود. در این امتداد مواد بازیافت‌شدنی که به‌صورت محصول‌اند با کیفیت پایین‌تر از بازار اول به‌صورت ارزان‌تر در بازار دوم برای افزایش سطح رضایت مشتری عرضه می‌شود. علاوه‌بر این‌ها در این مقاله به بررسی رقابت بین مراکز خدمت‌دهی به‌منظور افزایش جلب رضایت مشتری پرداخته‌ایم به گونه‌یی که با استفاده از مفهوم تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM)[۱۲]، مشتری بیشینه‌ی مطلوبیت مورد نظر خود را با توجه به معیارهای پشتیبانی، قیمت کالا، و کیفیت از بین محصولات موجود انتخاب و آن را از مرکز توزیع محصول خاص خریداری می‌کند. بدین‌صورت رقابت به‌علت تفاوت تقاضا از مراکز توزیع مختلف و درنتیجه تفاوت خرید از آنها شکل می‌گیرد.

۱.۱. پیشینه‌ی پژوهش

خلاصه‌یی از تحقیقات در این حوزه به‌منظور کشف شکاف تحقیقاتی و برجسته‌کردن نوآوری اصلی این تحقیق بیان می‌شود:

در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌یی در زمینه‌ی طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین انجام گرفته است. این مطالعات با به‌کارگیری مفاهیم ساده‌یی آغاز شد و با گذشت زمان شاهد پیشرفت و ترقی علم در این حوزه بوده‌ایم. این طراحی با انواع مدل‌های تک‌هدفه پایه‌گذاری شد و سپس به سمت مدل‌های چندهدفه پیشروی کرد. جن و همکاران[۶] و امیری[۷] یک مدل طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین تک‌هدفه‌ی رو به جلو را به‌منظور کمینه‌سازی هزینه‌ها با درنظرگرفتن دو سطح تولید و جمع‌آوری مطالعه کردند. در سال‌های اخیر جهت‌گیری مطالعات بیشتر به سمت و سوی مسائل بهینه‌سازی چندهدفه تغییر کرده است تا جایی که آلتیپارماک و همکاران[۸] با اهداف کمینه‌سازی هزینه در زنجیره‌ی تأمین رو به جلو، بالانس منابع و افزایش سطح رضایت مشتریان تحقیقات خود را گسترش دادند و الگوریتم ژنتیکی برای بهینه‌سازی زنجیره‌ی تأمین چندهدفه ارائه کردند. سلیم و ازکاراهان[۹] یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین رو به جلو طراحی کردند که علاوه‌بر درنظرگرفتن تابع هدف اقتصادی مفهوم کیفی نیز در این مقاله گنجانده شده بود. در ادامه، علاوه‌بر لجستیک رو به جلو از لجستیک رو به عقب که اغلب باعث بهبود میزان آلودگی، مقدار مواد خام، مدیریت ضایعات، و انجام قوانین دولتی در حوزه‌ی زنجیره می‌شود نیز در مقالات استفاده شد. پیشوایی و همکاران[۱۰] لجستیک بازگشتی را به‌طوری‌که از ادغام این دو نوع لجستیک، زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته ایجاد می‌شود، مورد مطالعه قرار دادند. زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته که از ترکیب زنجیره‌های رو به جلو و عقب تشکیل شده با درنظرگرفتن هزینه در دو مقاله‌ی سالما و همکاران[۱۱] و کو و اوانس[۱۲] طراحی شده است. همچنین السید و همکاران[۱۳] یک مدل زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته همراه با هدف بیشینه‌سازی سود را درنظر گرفتند. به‌مرور این مطالعات بیشتر به‌صورت زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته‌ی چندهدفه شکل گرفت تا زنجیره به دنیای واقعی نزدیک‌تر باشد و با چالش‌های موجود راحت‌تر مقابله کند که بر این اساس پیشوایی و همکاران[۱۴] یک مدل چندهدفه‌ی حلقه‌بسته طراحی کردند که شامل بیشینه‌سازی مفهوم مسئولیت‌پذیری اجتماعی در زنجیره بود. رمضانی و همکاران[۱۵] نیز مدل چندهدفه‌ی حلقه‌بسته‌یی را با تابع هدف کیفیت مدل کردند. موتا و همکاران[۳] مدل حلقه‌بسته‌یی چندهدفه شامل اهداف افزایش مسئولیت‌پذیری اجتماعی، افزایش اشتغال‌زایی، و افزایش کیفیت را ارائه کردند که این زنجیره هدف کاهش گازهای گلخانه‌یی را نیز به‌منظور ایجاد زنجیره‌ی تأمین سبز مدنظر قرار داده است.

مسئولیت‌پذیری علاوه‌بر محیط زیست می‌تواند در مراکز و تأسیسات با مسائلی همچون اشتغال‌زایی، حقوق کارکنان، ایمنی، و شرایط محل کار نیز مطرح شود. در حالت کلی، یک زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته می‌تواند اهداف اقتصادی، اجتماعی، رقابتی، و زیست‌محیطی را به‌طورهم‌زمان دنبال کند. پیشوایی و همکاران[۱۶] الگوریتمی برای زنجیره‌ی تأمین چندهدفه‌ی حلقه‌بسته‌ی سازگار با شرایط عدم قطعیت طراحی کردند که شامل تابع هدف اقتصادی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی بود. علاوه‌بر مطالعات ذکرشده، با گذشت زمان شاهد تأثیر چشم‌گیر اینترنت در جریان اطلاعات و مواد یک زنجیره‌ی تأمین بوده‌ایم؛ به‌گونه‌یی که با توجه به مفهوم فروش اینترنتی در قسمت توزیع، جیانگ و همکاران[۱۷] از مفهوم خرید و فروش اینترنتی و اثر متقابل روی مشتریان استفاده کردند. بنابراین در ساختار مدل پیشنهادی، با ایجاد پیوند مفهوم فروش اینترنتی و تأسیسات زنجیره به تأثیر مثبت این امر روی مشتری و بهینه‌سازی اهداف اشاره کردیم. مدل پیشنهادی در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط است که بیانگر یک شبکه‌ی حلقه‌بسته‌ی چندمحصولی با توابع هدف اقتصادی اجتماعی و کیفی است به‌طوری‌که از فروش اینترنتی استفاده شده و سود ناشی از اشتغال کارکنان به‌عنوان تابع هدف اقتصادی

www.SID.ir

Archive of SID

و اجتماعی نیز در نظر گرفته شده است. این زنجیره در این مقاله در جهت رو به جلو شامل سه سطح (مراکز تأمین، مراکز تولید، مراکز توزیع، و مشتریان دسته اول) و در مسیر رو به عقب شامل شش سطح (مراکز جمع‌آوری، مراکز پشتیبانی، مراکز بازیافت، مراکز دفع، مراکز توزیع مجدد، و مشتریان دسته دوم) است.

این تحقیق استفاده از مفهوم فروش اینترنتی در زنجیره‌ی تأمین را به‌صورت دقیق‌تر از سایر مقاله‌ها بررسی کرده و همچنین این نوع فروش را با درنظرگرفتن توابع هدف مختلف به‌خصوص استفاده از تابع هدف کیفی و اجتماعی بررسی کرده است که در پژوهش‌های پیشین به‌ندرت یافت می‌شود و همچنین استفاده از پشتیبانی به‌عنوان یکی از سطوح زنجیره این مقاله را از سایرین مجزا می‌کند و باعث می‌شود که مدل ریاضی طراحی‌شده به واقعیت موجود در دنیای صنعتی و رقابتی نزدیک‌تر باشد؛ زیرا مطالعات انجام‌شده بیشتر به‌صورت مسائل تک‌هدفه است و همچنین تعداد محدودی از سطوح زنجیره‌ی تأمین را مورد بررسی قرار داده‌اند. باتوجه به پیچیدگی ساختاری این نوع مدل‌های ریاضی، از رویکردهای مبتنی بر جست‌وجو می‌توان بهره جست. برای حل مدل ارائه‌شده و رسیدن به جواب‌های کارا در زمان معقول، یکی از رویکردهای کارای مبتنی‌بر جست‌وجو استفاده خواهد شد تا علاوه‌بر کیفیت جواب‌های خروجی در زمان معقولی این امر اتفاق بیفتد.

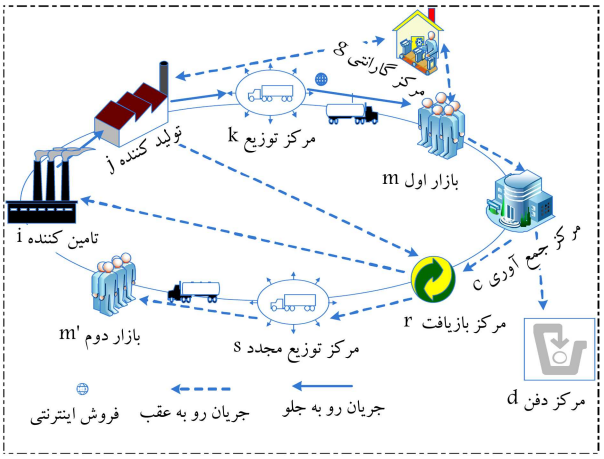
در ادامه ابتدا مسئله به‌تفصیل تشریح و مدل ریاضی مربوط ارائه می‌شود. سپس برای حل مدل پیشنهادی، الگوریتم ابتکاری گرسپ چندهدفه بر روی مسائل مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و با رویه‌های موجود در پژوهش‌ها مقایسه می‌شود. در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی در بخش انتهایی ارائه می‌شود.

۲. بیان مسئله

در این بخش، ابتدا مسئله بیان می‌شود. سپس فرضیات، شاخص‌ها، پارامترها، و متغیرهای تصمیم مسئله تعریف و در نهایت مدل ریاضی پیشنهادی به تفصیل تشریح می‌شود.

۱.۲. بیان مسئله

شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه در این مقاله یک شبکه‌ی حلقه‌بسته است که مراکز تأمین، مراکز تولید، مراکز توزیع، و مشتریان دسته اول در مسیر رو به جلو و مراکز جمع‌آوری، مراکز پشتیبانی، مراکز بازیافت، مراکز دفع، مراکز توزیع مجدد، و مشتریان دسته دوم در مسیر برگشت زنجیره است. در شبکه‌ی رو به جلو، مراکز تأمین مسئولیت تهیه‌ی مواد خام را بر عهده دارند که این مواد در مراکز تولید، تبدیل به محصولات نهایی‌شده و سپس به‌منظور توزیع و رفع نیاز مشتریان دسته اول به مراکز توزیع فرستاده می‌شوند که این مشتریان نیاز خود را به‌صورت خرید اینترنتی یا خرید معمولی برآورده می‌کنند. در مسیر رو به عقب در صورتی‌که محصولات توزیع‌شده توسط مشتریان دسته اول معیوب شوند به مراکز پشتیبانی برای تعمیر یا تعویض فرستاده می‌شوند. از طرفی محصولات بازگشتی از بازار دسته اول در مراکز جمع‌آوری بعد از عملیات بازرسی یا به مراکز دفع یا به مراکز بازیافت فرستاده می‌شوند. در مراکز بازیافت ضایعات مواد اولیه‌ی مراکز تولید به‌همراه محصولات برگشتی از مراکز جمع‌آوری یا به‌صورت مواد اولیه به مراکز تأمین فرستاده می‌شوند



شکل ۱. طرح‌واره‌ی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه.

یا در مراکز توزیع مجدد به‌صورت معمولی در اختیار مشتریان بازار دسته دوم قرار می‌گیرند.

از طرفی در زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه، مراکز توزیع محصولات خود را یا از طریق فروش معمولی یا فروش اینترنتی ارائه می‌دهند. هزینه‌یی که هر مشتری در قبال خرید کالا به‌صورت فروش اینترنتی پرداخت می‌کند شامل هزینه‌های پست، هزینه‌های عملیاتی، و قیمت خرید محصول است. در فروش اینترنتی توزیع‌کننده می‌تواند یکی از سه شکل فروش (قیمت اعلان‌شده، مزایده، مزایده و خرید مستقیم) را انتخاب کند. بسته به اینکه کدام روش فروش انتخاب می‌شود مشتری رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهد. در شکل قیمت اعلان‌شده اگر ارزش انتظاری مشتری بزرگ‌تر از یا مساوی با قیمت فروش تعیین‌شده در وبگاه باشد، محصول را خریداری می‌کند در غیر این‌صورت سایت را ترک می‌کند. در شکل مزایده اگر ارزش‌گذاری مشتری بزرگ‌تر یا مساوی با آستانه‌ی مشارکت باشد مشتری در مزایده شرکت می‌کند در غیر این صورت سایت را ترک می‌کند. در شکل مزایده و خرید مستقیم اگر ارزش‌گذاری مشتری بین آستانه‌ی مشارکت و آستانه‌ی خرید باشد مشتری وارد مزایده می‌شود و اگر بزرگ‌تر یا مساوی با آستانه‌ی خرید باشد برای خرید مستقیم اقدام می‌کند، در غیر این‌صورت سایت را ترک می‌کند. شکل ۱ طرح‌واره‌یی از شبکه زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲.۲. مفروضات

- در سیستم توزیع هم فروش معمولی و هم فروش اینترنتی در نظر گرفته شده است.
- هر توزیع‌کننده محصولاتش را یا به‌صورت اینترنتی یا معمولی به فروش می‌رساند.
- مدل به‌صورت چندسطحی و چندمحصولی است.
- مکان و تعداد مناطق مشتریان دسته‌ی اول و دوم، تأمین‌کنندگان، مراکز دفع، و مراکز پشتیبانی ثابت و مشخص است.
- کیفیت محصولات بازیافت‌شده برای فروش در بازار دسته دوم متفاوت از محصولات جدید است. ازین رو قیمت فروش آن‌ها نیز متفاوت در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

- مکان‌های مراکز بالقوه‌ی تولید، توزیع، جمع‌آوری، توزیع مجدد، و بازیافت مشخص است.
- تعداد تسهیلات قابل احداث و همچنین ظرفیت آن‌ها مشخص است.
- تقاضا به‌صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است.
- مقادیر هزینه‌های عملیاتی در هریک از تسهیلات و سایر هزینه‌های دیگر اعم از هزینه‌های حمل و نقل مشخص است.
- هزینه‌های خرید مربوط به فروش اینترنتی شامل هزینه‌های پست، عملیاتی، و قیمت محصول است.
- هزینه‌های حمل و نقل از مشتری به مرکز پشتیبانی و برعکس با هم برابرند و همچنین هزینه‌های حمل و نقل از پشتیبانی به تولیدکننده و برعکس نیز باهم برابرند.
- مراکز پشتیبانی ما هم شامل تعمیر و هم شامل تعویض است.
- فرض شده است در مراکز بازیافت هم عملیات مربوط به بازیافت و هم تولید مجدد انجام می‌شود.
- ضایعات مواد اولیه‌ی کارخانه‌ها برای بازیافت به مراکز بازیافت انتقال پیدا می‌کنند.
- در مراکز جمع‌آوری عملیات بازرسی نیز انجام می‌شود.
- مشتری و مراکز تولید و توزیع هیچ‌گونه محدودیتی در انتخاب مراکز خدمت‌دهی و خدمت‌گیری ندارند.
- در رویکرد فروش اینترنتی رفتار مشتری در انتخاب محصول منطقی و ایده‌آل فرض شده است.
- همه‌ی محصولات دارای خدمات پشتیبانی هستند.

۳.۲. شاخص‌ها و پارامترها

$i \in I$: مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای تأمین‌کنندگان؛

$m \in M$: مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای مشتریان بازار اول؛

$n \in N$: مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای مشتریان بازار دوم؛

$d \in D$: مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای مراکز دفع؛

$g \in G$: مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای مراکز پشتیبانی؛

$j \in J$: مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز تولید برای احداث؛

$k \in K$: مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز توزیع برای احداث؛

$c \in C$: مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز جمع‌آوری برای احداث؛

$s \in S$: مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز توزیع مجدد برای احداث؛

$r \in R$: مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز بازیافت برای احداث؛

$p \in P$: مجموعه‌ی محصولات؛

$e \in E$: مجموعه‌ی مواد اولیه؛

$h \in H$: مجموعه‌ی سطوح ظرفیت برای مکان‌های بالقوه؛

DP_{np}: قیمت فروش محصول p توزیع‌کننده‌ی مجدد k در بازار دسته دوم (فروش معمولی)؛

DE_{np}: تقاضای مشتری n از محصول p؛

LP_{kp}: میزان سود از دست‌رفته به ازای هر مشتری محصول p توزیع‌کننده k؛

FX_{jh}: هزینه‌ی ثابت احداث مرکز تولید j با ظرفیت h؛

FY_{kh}: هزینه‌ی ثابت احداث مرکز توزیع k با ظرفیت h؛

FH_{ch}: هزینه‌ی ثابت مرکز جمع‌آوری c با ظرفیت h؛

FO_{sh}: هزینه‌ی ثابت احداث مرکز توزیع مجدد s با ظرفیت h؛

FU_{rh}: هزینه‌ی ثابت احداث مرکز بازیافت r با ظرفیت h؛

SC_{ie}: هزینه‌ی تهیه‌ی هر واحد مواد اولیه e از تأمین‌کننده‌ی i؛

MC_{jp}: هزینه‌ی تولید هر واحد محصول p در مرکز تولید j؛

RMC_{rp}: هزینه‌ی تولید مجدد هر واحد محصول p در مرکز بازیافت r؛

DC_{kp}: هزینه‌ی توزیع و نگه‌داری هر واحد محصول p در مرکز توزیع k؛

CC_{cp}: هزینه‌ی آزمون هر واحد محصول p در مرکز جمع‌آوری c؛

DPC_{dp}: هزینه‌ی دفع هر واحد محصول p در مرکز دفع d؛

RDC_{sp}: هزینه‌ی توزیع مجدد هر واحد محصول p در مرکز توزیع مجدد s؛

RC_{rp}: هزینه‌ی بازیافت هر واحد محصول p در مرکز بازیافت r؛

RC_{re}: هزینه‌ی بازیافت هر واحد ماده‌ی خام p در مرکز بازیافت r؛

T_{ije}: هزینه‌ی حمل و خرید هر واحد ماده اولیه‌ی e از تأمین‌کننده i به‌مرکز تولید j؛

T_{jkp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p از تولیدکننده‌ی j به تولیدکننده‌ی k؛

T_{kmp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p از توزیع‌کننده‌ی k به مشتری m؛

T_{mcp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p از مشتری m به مرکز جمع‌آوری c؛

T_{cdp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p از مرکز جمع‌آوری c به مرکز دفع d؛

T_{crp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p از مرکز جمع‌آوری c به مرکز بازیافت r؛

T_{rsp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p از مرکز بازیافت r به مرکز توزیع مجدد s؛

T_{rip}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p از مرکز بازیافت r به مرکز تأمین i؛

T_{snp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p ازمرکز توزیع مجدد s به مشتری n؛

T_{gmp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p ازمرکز پشتیبانی g به مشتری m؛

T_{jgp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p ازمرکز تولید j به مرکز پشتیبانی g؛

T_{jrp}: هزینه‌ی حمل هر واحد محصول p ازمرکز تولید j به مرکز بازیافت r؛

hl_{kp}: هزینه‌یی که توزیع‌کننده‌ی k به‌دلیل ترک سایت برای محصول p متحمل می‌شود؛

h_{kp}: هزینه‌یی که توزیع‌کننده‌ی k به‌دلیل راه‌اندازی سیستم فروش اینترنتی برای محصول p متحمل می‌شود (هزینه‌های عملیاتی)؛

ca_i: بیشینه‌ی ظرفیت مرکز تأمین i؛

ca_{jh}: بیشینه‌ی ظرفیت مرکز تولید j با سطح ظرفیت h؛

ca_{kh}: بیشینه‌ی ظرفیت مرکز توزیع k با سطح ظرفیت h؛

ca_{ch}: بیشینه‌ی ظرفیت مرکز جمع‌آوری c با سطح ظرفیت h؛

ca_{sh}: بیشینه‌ی ظرفیت مرکز توزیع مجدد s با سطح ظرفیت h؛

ca_{rh}: بیشینه‌ی ظرفیت مرکز بازیافت r با سطح ظرفیت h؛

RT: نرخ بازگشت محصولات استفاده‌شده از بازار اول به مراکز جمع‌آوری؛

RD: نرخ دفع؛

RS: نرخ بازیافت؛

P_{jh}: سود حاصل از ایجاد هر فرصت شغلی در سطح h تولیدکننده‌ی j؛

P_{kh}: سود حاصل از ایجاد هر فرصت شغلی در سطح h توزیع‌کننده‌ی k؛

P_{sh}: سود حاصل از ایجاد هر فرصت شغلی در سطح h توزیع‌کننده‌ی مجدد s؛

P_{rh}: سود حاصل از ایجاد هر فرصت شغلی در سطح h بازیافت r؛

P_{ch}: سود حاصل از ایجاد هر فرصت شغلی در سطح h مرکز جمع‌آوری c؛

RR: نرخ بازگشت مواد اولیه از کارخانه به بازیافت؛

RM: نرخ تولید مجدد در بازیافت؛

www.SID.ir

Archive of SID

RI: نرخ تبدیل به ماده‌ی اولیه در بازیافت؛

RD_{jp}: نرخ معیوب‌بودن محصول p که توسط تولیدکننده‌ی j تولید می‌شود؛

RN_{kp}: نرخ تقاضای منفی (برگشت به مراکز پشتیبانی) محصول p از توزیع‌کننده k؛

JO_{jh}: تعداد کل فرصت‌های شغلی ایجادشده در صورت احداث مرکز تولید j با ظرفیت h است؛

JO_{kh}: تعداد کل فرصت‌های شغلی ایجادشده در صورت احداث مرکز توزیع k با ظرفیت h است؛

JO_{ch}: تعداد کل فرصت‌های شغلی ایجادشده در صورت احداث مرکز جمع‌آوری c با ظرفیت h است؛

JO_{sh}: تعداد کل فرصت‌های شغلی ایجاد شده در صورت احداث مرکزتوزیع مجدد s با ظرفیت h است؛

JO_{rh}: تعداد کل فرصت‌های شغلی ایجادشده در صورت احداث مرکز بازیافت r با ظرفیت h است؛

NX: بیشینه‌ی تعداد مراکز تولید برای احداث؛

NY: بیشینه‌ی تعداد مراکز توزیع برای احداث؛

NH: بیشینه‌ی تعداد مراکز جمع‌آوری برای احداث؛

NO: بیشینه‌ی تعداد مراکز توزیع مجدد برای احداث؛

NU: بیشینه‌ی تعداد مراکز بازیافت برای احداث؛

G_{kp}: تعداد مشتریان بالقوه محصول p در توزیع‌کننده‌ی k؛

α_{kp}: عامل وزنی نرمال‌شده‌ی قیمت محصول p موجود در توزیع‌کننده‌ی k؛

β_{kp}: عامل وزنی نرمال‌شده‌ی کیفیت محصول p موجود در توزیع‌کننده‌ی k؛

γ_{kp}: عامل وزنی نرمال‌شده‌ی پشتیبانی محصول p موجود در توزیع‌کننده‌ی k؛

θ_{oj}: عامل وزنی نرمال‌شده برای تعداد کل فرصت‌های شغلی.

۴.۲. متغیرهای تصمیم

Q_{ije}: تعداد ماده‌ی اولیه‌ی حمل‌شده‌ی e از مرکز تأمین i به مرکز تولید j؛

Q_{crp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مرکز جمع‌آوری c به مرکز بازیافت r؛

Q_{jkp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مرکز تولید j به مرکز توزیع k؛

Q_{kmp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مرکز توزیع k به مشتری m؛

QE_{kmp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مرکز توزیع k به مشتری m در فروش اینترنتی؛

Q_{rsp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مرکز بازیافت r به مرکز توزیع مجدد s؛

Q_{mcp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مشتری m به مرکز جمع‌آوری c؛

Q_{cdp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مرکز جمع‌آوری c به مرکز دفع d؛

Q_{snp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مرکز توزیع مجدد s به مشتری n؛

Q_{rie}: تعداد ماده خام حمل‌شده‌ی e از مرکز بازیافت r به مرکز تأمین i؛

Q_{gmp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مرکز پشتیبانی g به مشتری m؛

Q_{gjp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مرکز پشتیبانی g به مرکز تولید j؛

Q_{jgp}: تعداد محصول حمل شده p از مرکز تولید j به مرکز پشتیبانی g؛

Q_{mgp}: تعداد محصول حمل‌شده‌ی p از مشتری m به مرکز پشتیبانی g؛

QN_{gmp}: تعداد محصول تعویضی حمل‌شده‌ی p از مرکز پشتیبانی g به مشتری m؛

Q_{jre}: تعداد ماده خام حمل‌شده‌ی e از مرکز تولید j به مرکز بازیافت r؛

SP_{pk}: قیمت فروش محصول p توزیع‌کننده‌ی k در بازار دسته اول (فروش معمولی)؛

QV_{kp}: کیفیت تعیین‌شده‌ی محصول p در توزیع‌کننده‌ی k؛

GA_{kp}: پشتیبانی تعیین‌شده‌ی محصول p در توزیع‌کننده‌ی k؛

D_{kp}: تعداد مشتریان بالفعل محصول p در توزیع‌کننده‌ی k؛

X_{jh}: اگر مرکز تولید j با ظرفیت h احداث شود ۱، در غیر این صورت صفر؛

Y_{kh}: اگر مرکز توزیع k با ظرفیت h احداث شود ۱، در غیر این صورت صفر؛

H_{ch}: اگر مرکز جمع‌آوری c با ظرفیت h احداث شود ۱، در غیر این صورت صفر؛

O_{sh}: اگر مرکز توزیع مجدد s با ظرفیت h احداث شود ۱، در غیر این صورت صفر؛

U_{rh}: اگر مرکز بازیافت r با ظرفیت h احداث شود ۱، در غیر این صورت صفر؛

XF_{kp}: اگر توزیع‌کننده‌ی k برای محصول p، شکل فروش قیمت اعلان را در نظر بگیرد ۱، در غیر این صورت صفر؛

XA_{kp}: اگر توزیع‌کننده‌ی k برای محصول p، شکل فروش مزایده را در نظر بگیرد ۱، در غیر این صورت صفر؛

XB_{KP}: اگر توزیع‌کننده‌ی k برای محصول p، شکل فروش مزایده و خرید مستقیم را در نظر بگیرد ۱، در غیر این صورت صفر؛

YF_{KP}: اگر سایت فروش محصول p توزیع‌کننده‌ی k به‌شکل فروش قیمت اعلان‌شده برای خرید انتخاب شود (یعنی ارزش‌گذاری مشتری بزرگ‌تر از یا مساوی با قیمت فروش تعیین‌شده در سایت باشد) ۱، در غیر این صورت صفر؛

YA_{KP} : اگر سایت فروش محصول p توزیع‌کننده‌ی k به‌شکل فروش مزایده برای مزایده انتخاب شود (یعنی اگر ارزش‌گذاری مشتری بزرگ‌تر از یا مساوی با آستانه‌ی مشارکت باشد) ۱، در غیر این صورت صفر؛

YB_{KP}: اگر سایت فروش محصول p توزیع‌کننده‌ی k به‌شکل فروش مزایده و خرید مستقیم برای مزایده انتخاب شود (یعنی اگر ارزش‌گذاری مشتری بین آستانه‌ی مشارکت و آستانه‌ی خرید باشد) ۱، در غیر این صورت صفر؛

ZB_{KP}: اگر سایت فروش محصول p توزیع‌کننده‌ی k به‌شکل فروش مزایده و خرید مستقیم برای خرید مستقیم انتخاب شود (یعنی اگر ارزش‌گذاری مشتری بزرگ‌تر از یا مساوی با آستانه‌ی خرید باشد) ۱، در غیر این صورت صفر؛

LF_{kp}: اگر سایت فروش محصول p توزیع‌کننده‌ی k به‌شکل قیمت اعلان‌شده ترک شود ۱، در غیر این صورت صفر؛

LA_{KP}: اگر سایت فروش محصول p توزیع‌کننده‌ی k به‌شکل مزایده ترک شود ۱، در غیر این صورت صفر؛

LB_{KP}: اگر سایت فروش محصول p توزیع‌کننده‌ی k به‌شکل مزایده و خرید مستقیم ترک شود ۱، در غیر این صورت صفر؛

M_{kmp}: اگر نیاز مشتری m برای محصول p از طریق فروش اینترنتی توزیع‌کننده‌ی k تأمین شود ۱، و اگر از طریق فروش معمولی تأمین شود صفر؛

G_{kmp}: اگر محصول p که توسط مشتری m به مرکز پشتیبانی g فرستاده می‌شود، قابل تعمیر باشد ۱، و اگر قابل تعمیر نباشد و تعویض شود صفر؛

WE_K: اگر توزیع‌کننده‌ی k تصمیم به فروش اینترنتی بگیرد ۱، در غیر این صورت صفر؛

EPF_{KP}: بازده مورد انتظار توزیع‌کننده‌ی k از فروش محصول p به‌شکل قیمت اعلان‌شده در فروش اینترنتی؛

EPA_{KP}: بازده مورد انتظار توزیع‌کننده‌ی k از فروش محصول p به‌شکل مزایده در فروش اینترنتی؛

EPB_{KP}: بازده مورد انتظار توزیع‌کننده‌ی k از فروش محصول p به‌شکل مزایده و خرید مستقیم در فروش اینترنتی.

www.SID.ir

Archive of SID

۵.۲. مدل ریاضی پیشنهادی

مدل ریاضی مورد مطالعه از دسته مسائل برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط (MINLP) و چندمحصولی به همراه تابع چندهدفه‌ی حلقه‌بسته در شرایط تک دوره‌یی همراه با پارامترهایی به‌صورت عدم قطعیت است که شامل اهداف اقتصادی، اجتماعی، وکیفی است. در تابع هدف مدل ارائه‌شده مفاهیمی همچون سود ناشی از فروش اینترنتی و اشتغال‌زایی، زیان ناشی از فروش ازدست‌رفته و کمینه‌کردن میزان معیوب‌بودن محصولات تولیدی و توزیعی در نظر گرفته شده است. علاوه‌بر این در مدل ارائه‌شده انتخاب هر مشتری بر اساس معیارهای منحصر به فرد هر مشتری برای انتخاب محصول مورد نظر حائز اهمیت است به طوری‌که هر مشتری بنا بر پیش‌فرض و علایق ذهنی خود می‌تواند روی شاخص‌های پشتیبانی، قیمت، وکیفیت محصول ارزش‌گذاری کند و بیشترین مطلوبیت را برگزیند که این موضوع با یک محدودیت در مدل اعمال شده است. در قسمت مدل‌سازی این مقاله تا حدی مدل مقاله‌ی رمضانی و همکارانش[۱۵] توسعه داده شده و مفاهیم دیگری نیز اضافه شده است و آن را ملموس‌تر کرده به‌طوری‌که بیشتر از قبل در جهت لجستیک رو به عقب تأکید شده و همچنین از اثرات زنجیره بر روی اشتغال‌زایی نیروی انسانی صحبت شده و سعی در بهینه‌سازی خرید مشتری مثل تأسیس پشتیبانی، ایجاد بازار دسته دوم و راهی ارزان‌تر برای خرید، مانند خرید اینترنتی مورد استفاده قرارگرفته است. در مقاله‌ی جیانگ و همکاران[۱۷] از مفهوم خرید و فروش اینترنتی و اثر متقابل روی مشتریان صحبت شده است؛ تصمیم گرفتیم این مفهوم را با مدل در زنجیره‌ی تأمین ادغام کنیم و علاوه‌برایجاد پیوند این مفهوم و تأسیسات زنجیره به تأثیر مثبت این امر روی مشتری و بهینه‌سازی اهداف نیز اشاره کنیم. حال با توجه به نوآوری‌های گفته‌شده به بیان مدل ریاضی مسئله می‌پردازیم:

$$\text{Min} f_1 = \left(\begin{array}{l} \sum_{\forall j}\sum_{\forall k}\sum_{\forall p} RD_{jp}Q_{jkp} \\ +\sum_{\forall k}\sum_{\forall m}\sum_{\forall p}(Q_{kmp}(1-M_{kmp})) \\ +QE_{kmp}M_{kmp})RN_{kp} \end{array} \right) \quad (1)$$

$$\text{Max} f_2 = \left(\begin{array}{l} \sum_{\forall k}\sum_{\forall p}(EPF_{kp}XF_{kp} \\ +EPA_{kp}XA_{kp}+EPB_{kp}XB_{kp}) \\ -\sum_{\forall k}\sum_{\forall p} hl_{kp}(LF_{kp}+LA_{kp}+LB_{kp}) \\ -\sum_{\forall k}\sum_{\forall p} h_{kp}(XF_{kp}+XA_{kp}+XB_{kp}) \end{array} \right) + \theta_{JO} \left(\begin{array}{l} \sum_{\forall j}\sum_{\forall h} P_{jh}JO_{jh}X_{jh} + \sum_{\forall k}\sum_{\forall h} P_{kh}JO_{kh}Y_{kh} \\ +\sum_{\forall c}\sum_{\forall h} P_{ch}JO_{ch}H_{ch} + \sum_{\forall s}\sum_{\forall h} P_{sh}JO_{sh}O_{sh} \\ +\sum_{\forall r}\sum_{\forall h} P_{rh}JO_{rh}U_{rh} \end{array} \right) + \left(\sum_{\forall k}\sum_{\forall m}\sum_{\forall p} Q_{kmp}SP_{kp} + \sum_{\forall s}\sum_{\forall n}\sum_{\forall p} Q_{snp}DP_{np} \right) - \left(\sum_{\forall k}\sum_{\forall p}(G_{kp}-D_{kp})LP_{kp} \right) - \left(\begin{array}{l} \sum_{\forall j}\sum_{\forall h} FX_{jh}X_{jh} + \sum_{\forall k}\sum_{\forall h} FY_{kh}Y_{kh} \\ +\sum_{\forall c}\sum_{\forall h} FH_{ch}H_{ch} + \sum_{\forall s}\sum_{\forall h} FO_{sh}O_{sh} \\ +\sum_{\forall r}\sum_{\forall h} FU_{rh}U_{rh} \end{array} \right)$$

$$- \left(\begin{array}{l} \sum_{\forall i}\sum_{\forall j}\sum_{\forall e} SC_{ie}Q_{ije} + \sum_{\forall j}\sum_{\forall k}\sum_{\forall p} MC_{jp}Q_{jkp} \\ +\sum_{\forall k}\sum_{\forall m}\sum_{\forall p} DC_{kp}Q_{kmp} + \sum_{\forall r}\sum_{\forall s}\sum_{\forall p} RMC_{rp}Q_{rsp} \\ +\sum_{\forall m}\sum_{\forall c}\sum_{\forall p} CC_{cp}Q_{mcp} + \sum_{\forall c}\sum_{\forall d}\sum_{\forall p} DPC_{dp}Q_{cdp} \\ +\sum_{\forall s}\sum_{\forall n}\sum_{\forall p} RDC_{sp}Q_{snp} + \sum_{\forall c}\sum_{\forall r}\sum_{\forall p} RC_{rp}Q_{crp} \\ +\sum_{\forall j}\sum_{\forall r}\sum_{\forall e} RC_{re}Q_{jre} \end{array} \right)$$

$$- \left(\begin{array}{l} \sum_{\forall i}\sum_{\forall j}\sum_{\forall e} T_{ije}Q_{ije} + \sum_{\forall j}\sum_{\forall k}\sum_{\forall p} T_{jkp}Q_{jkp} \\ +\sum_{\forall k}\sum_{\forall m}\sum_{\forall p} T_{kmp}Q_{kmp} + \sum_{\forall m}\sum_{\forall c}\sum_{\forall p} T_{mcp}Q_{mcp} \\ +\sum_{\forall c}\sum_{\forall d}\sum_{\forall p} T_{cdp}Q_{cdp} + \sum_{\forall c}\sum_{\forall r}\sum_{\forall p} T_{crp}Q_{crp} \\ +\sum_{\forall r}\sum_{\forall s}\sum_{\forall p} T_{rsp}Q_{rsp} + \sum_{\forall r}\sum_{\forall i}\sum_{\forall p} T_{rip}Q_{rip} \\ +\sum_{\forall s}\sum_{\forall n}\sum_{\forall p} T_{snp}Q_{snp} + \sum_{\forall j}\sum_{\forall r}\sum_{\forall p} T_{jrp}Q_{jrp} \\ +2(\sum_{\forall j}\sum_{\forall g}\sum_{\forall p} T_{jgp}Q_{jgp}) + 2(\sum_{\forall g}\sum_{\forall m}\sum_{\forall p} T_{gmp}Q_{gmp}) \end{array} \right) \quad (2)$$

Subject to:

$$\sum_{\forall g}\sum_{\forall p} Q_{jgp} = \sum_{\forall g}\sum_{\forall p} Q_{gjp}; \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{\forall k}\sum_{\forall p} Q_{jkp} + \sum_{\forall r}\sum_{\forall e} Q_{jre} = \sum_{\forall i}\sum_{\forall e} Q_{ije}; \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{\forall r}\sum_{\forall e} Q_{jre} = \sum_{\forall i}\sum_{\forall e} Q_{ije}.RR; \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{\forall j} Q_{jkp} = \sum_{\forall m} Q_{kmp}(1-M_{kmp}) + \sum_{\forall m} QE_{kmp}M_{kmp}; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \quad (6)$$

$$\sum_{\forall k} Q_{kmp}(1-M_{kmp}) + \sum_{\forall k} QE_{kmp}M_{kmp} = DE_{mp}; \quad \forall m \in M, \quad p \in P \quad (7)$$

$$\sum_{\forall c} Q_{mcp} = DE_{mp}.RT; \quad \forall m \in M, \quad p \in P \quad (8)$$

$$\sum_{\forall g} Q_{mgp} = DE_{mp}.RN_{kp}; \quad \forall m \in M, \quad p \in P, \quad k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{\forall m}\sum_{\forall p} Q_{gmp}G_{gmp} + \sum_{\forall m}\sum_{\forall p} QN_{gmp}(1-G_{gmp}) = \sum_{\forall m}\sum_{\forall p} Q_{mgp}; \quad \forall g \in G \quad (10)$$

$$\sum_{\forall j}\sum_{\forall p} Q_{jgp} = \sum_{\forall m}\sum_{\forall p} QN_{gmp}; \quad \forall g \in G \quad (11)$$

$$\sum_{\forall d} Q_{cdp} = \sum_{\forall m} Q_{mcp}.RD; \quad \forall c \in C, \quad p \in P \quad (12)$$

$$\sum_{\forall r} Q_{crp} = \sum_{\forall m} Q_{mcp}.RS; \quad \forall c \in C, \quad p \in P \quad (13)$$

$$\sum_{\forall s} Q_{rsp} = \sum_{\forall c} Q_{crp}.RM; \quad \forall r \in R, \quad p \in P \quad (14)$$

$$\sum_{\forall i}\sum_{\forall e} Q_{rie} = \sum_{\forall c}\sum_{\forall p} Q_{crp}.RI + \sum_{\forall j}\sum_{\forall e} Q_{jre}.RI; \quad \forall r \in R \quad (15)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{\forall s} Q_{rsp} = \sum_{\forall n} \sum_{\forall p} Q_{snp}; \quad \forall s \in S \tag{۱۶}$$

$$\sum_{\forall s} Q_{snp} = DE_{np}; \quad \forall n \in N, \quad p \in P \tag{۱۷}$$

$$\sum_{\forall c} \sum_{\forall p} Q_{crp} + \sum_{\forall j} \sum_{\forall e} Q_{jre} = \sum_{\forall i} \sum_{\forall e} Q_{rie} + \sum_{\forall s} \sum_{\forall p} Q_{rsp}; \quad \forall r \in R \tag{۱۸}$$

$$\sum_{\forall m} Q_{mcp} = \sum_{\forall d} Q_{cdp} + \sum_{\forall r} Q_{crp}; \quad \forall c \in C, \quad p \in P \tag{۱۹}$$

$$D_{kp} = G_{kp} - \alpha_{kp} SP_{kp} - \beta_{kp} QV_{kp} - \gamma_{kp} GA_{kp}; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۰}$$

$$XF_{kp} + XA_{kp} + XB_{kp} = ۱; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۱}$$

$$XF_{kp} \le WE_k; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۲}$$

$$XA_{kp} \le WE_k; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۳}$$

$$XB_{kp} \le WE_k; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۴}$$

$$YF_{kp} \le XF_{kp}; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۵}$$

$$YF_{kp} + LF_{kp} = ۱; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۶}$$

$$YA_{kp} \le XA_{kp}; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۷}$$

$$YA_{kp} + LA_{kp} = ۱; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۸}$$

$$YB_{kp} \le XB_{kp}; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۲۹}$$

$$ZB_{kp} \le XB_{kp}; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۳۰}$$

$$YB_{kp} + ZB_{kp} + LB_{kp} = ۱; \quad \forall k \in K, \quad p \in P \tag{۳۱}$$

$$\sum_{\forall j} \sum_{\forall e} Q_{ije} \le Ca_i; \quad \forall i \in I \tag{۳۲}$$

$$\sum_{\forall k} \sum_{\forall p} Q_{jkp} + \sum_{\forall g} \sum_{\forall p} Q_{jgp} + \sum_{\forall r} \sum_{\forall p} Q_{jrp} \le \sum_{\forall h} Ca_{jh} X_{jh}; \quad \forall j \in J \tag{۳۳}$$

$$\sum_{\forall m} \sum_{\forall p} Q_{kmp}(۱ - M_{kmp}) + \sum_{\forall m} \sum_{\forall p} QE_{kmp} M_{kmp} \le \sum_{\forall h} Ca_{kh} Y_{kh}; \quad \forall k \in K \tag{۳۴}$$

$$\sum_{\forall m} \sum_{\forall p} Q_{mcp} \le \sum_{\forall h} Ca_{ch} H_{ch}; \quad \forall c \in C \tag{۳۵}$$

$$\sum_{\forall r} \sum_{\forall p} Q_{rsp} \le \sum_{\forall h} Ca_{sh} O_{sh}; \quad \forall s \in S \tag{۳۶}$$

$$\sum_{\forall c} \sum_{\forall p} Q_{crp} + \sum_{\forall j} \sum_{\forall e} Q_{jre} \le \sum_{\forall h} Ca_{rh} U_{rh} \quad \forall r \in R \tag{۳۷}$$

$$\sum_{\forall h} X_{jh} \le ۱; \quad \forall j \in J \tag{۳۸}$$

$$\sum_{\forall h} Y_{kh} \le ۱; \quad \forall k \in K \tag{۳۹}$$

$$\sum_{\forall h} H_{ch} \le ۱; \quad \forall c \in C \tag{۴۰}$$

$$\sum_{\forall h} O_{sh} \le ۱; \quad \forall s \in S \tag{۴۱}$$

$$\sum_{\forall r} U_{rh} \le ۱; \quad \forall r \in R \tag{۴۲}$$

$$\sum_{\forall j} \sum_{\forall h} X_{jh} \le NX \tag{۴۳}$$

$$\sum_{\forall k} \sum_{\forall h} Y_{kh} \le NY \tag{۴۴}$$

$$\sum_{\forall c} \sum_{\forall h} H_{ch} \le NH \tag{۴۵}$$

$$\sum_{\forall s} \sum_{\forall h} O_{sh} \le NO \tag{۴۶}$$

$$\sum_{\forall r} \sum_{\forall h} U_{rh} \le NU \tag{۴۷}$$

$$XF_{kp}, XA_{kp}, XB_{kp}, LF_{kp}, LA_{kp}, LB_{kp}, X_{jh}, Y_{kh}, H_{ch}, O_{sh}, U_{rh}, WE_k, YF_{kp}, YA_{kp}, YB_{kp}, ZB_{kp}, M_{kmp}, G_{kmp} \in \{۰, ۱\}; \quad \forall k, p, j, h, c, s, r, m \tag{۴۸}$$

$$Q_{ije}, Q_{jkp}, Q_{kmp}, QE_{kmp}, Q_{rsp}, Q_{mcp}, Q_{cdp}, Q_{snp}, Q_{crp}, Q_{jre}, Q_{gmp}, Q_{mgp}, Q_{jgp}, Q_{gjp}, QN_{gmp}, Q_{rie}, SP_{kp}, QV_{kp}, GA_{kp} \ge ۰, Int; \quad \forall i, j, e, k, p, d, g, n, h, c, s, r, m \tag{۴۹}$$

$$EPF_{kp}, EPA_{kp}, EPB_{kp} \ge ۰; \quad \forall k, p \tag{۵۰}$$

تابع هدف ۱ به‌منظور کمینه‌کردن تعداد محصولات معیوب تولیدی و توزیعی در بازار دسته اول است. ۲ بیشینه‌کردن سود به‌صورت درآمد منهای کل هزینه‌های زنجیره را نشان می‌دهد که پرانتز اول درآمد حاصل از فروش اینترنتی منهای هزینه‌های ناشی از آن است؛ پرانتزهای دوم و سوم به‌ترتیب سود ناشی از ایجاد فرصت‌های شغلی و فروش معمولی محصولات در بازارهای دسته اول و دوم را نشان می‌دهند. پرانتزهای چهارم، پنجم، ششم، و هفتم به‌ترتیب فروش ازدست‌رفته، هزینه‌های احداث، هزینه‌های عملیاتی، و هزینه‌های حمل و نقل را نشان می‌دهند. محدودیت‌های ۳ تا ۱۹ تعادل جریان‌های ورودی و خروجی به تسهیلات را نشان می‌دهند به‌طوری‌که مجموع جریان‌های ورودی به هرگره برابر است با مجموع جریان‌های خروجی از آن. محدودیت ۲۰ نشان می‌دهد که قیمت محصول، کیفیت محصول، و پشتیبانی محصول به‌عنوان عامل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نقش تعیین تعداد مشتریان بالفعل یک توزیع‌کننده را دارند و هر مشتری با توجه به بیشینه‌ی مطلوبیت کسب‌شده حق انتخاب محصول مورد نظر خود را دارد. محدودیت ۲۱ مشخص می‌کند که هر توزیع‌کننده برای فروش اینترنتی هر محصول فقط از یک شکل فروش می‌تواند استفاده کند. محدودیت‌های ۲۲ تا ۲۴ مربوط به انتخاب شکل فروش اینترنتی هر توزیع‌کننده هستند که بیان می‌کنند اگر توزیع‌کننده تصمیم به فروش اینترنتی بگیرد آنگاه می‌تواند یکی از شکل‌های فروش را طبق نظر خود انتخاب کند. محدودیت‌های ۲۵ و ۲۶ مربوط به شکل فروش قیمت اعلان‌شده هستند. محدودیت‌های ۲۷ و ۲۸ مربوط به شکل فروش مزایده و محدودیت‌های ۲۹ تا ۳۱ مربوط به شکل فروش مزایده و خرید مستقیم‌اند. محدودیت‌های ۳۲ تا ۳۴ نشان می‌دهند که جریان‌های خروجی از مراکز تأمین و مراکز تولید و توزیع از ظرفیت مراکز تجاوز نمی‌کند. محدودیت‌های ۳۵ تا ۳۷ نشان می‌دهند که جریان‌های ورودی به مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت، و توزیع مجدد، از ظرفیت مراکز تجاوز نمی‌کند. محدودیت‌های ۳۸ تا ۴۲ به‌ترتیب تضمین می‌کنند که مراکز تولید، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری، مراکز توزیع مجدد و بازیافت حداکثر با یک سطح ظرفیت

www.SID.ir

Archive of SID

احداث می‌شوند. محدودیت‌های ۴۳ تا ۴۷ به‌ترتیب بیشینه‌ی تعداد مراکز تولید، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری، مراکز توزیع مجدد و بازیافت که قابلیت احداث را دارند، محدود می‌کنند. محدودیت‌های ۴۸ تا ۵۰ مربوط به حدود متغیرهای تصمیم است.

۳. الگوریتم پیشنهادی

برای حل مدل پیشنهادی، الگوریتم ابتکاری گرسپ ارائه می‌شود. به‌منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی الگوریتم ژنتیک چندهدفه با آن مقایسه شده است.

۱.۳. الگوریتم گرسپ انفعالی چندهدفه

الگوریتم گرسپ یکی از الگوریتم‌های چند شروعی و مبتنی‌بر تکرار معروف است که توسط فیو و ریسندی[۱۸] معرفی شد. هر تکرار این روش از دو مرحله تشکیل شده است: مرحله‌ی ساخت که در این مرحله یک جواب از مسئله تولید می‌شود و مرحله‌ی جست‌وجوی محلی که با شروع از جواب مرحله‌ی اول یک جواب بهینه‌ی محلی به‌دست آورده می‌شود. بنابراین هر تکرار منجر به یک جواب بهینه‌ی محلی می‌شود که جواب نهایی بهترین جواب به‌دست‌آمده در تمام تکرارهاست. در مرحله‌ی اول الگوریتم یک جواب موجه از مسئله به‌دست می‌آید. به این معنا که جواب موجه مؤلفه به مؤلفه به‌دست می‌آید. مثلاً جواب موجه $\{P_۱, P_۳, P_۶\}$ با سه تکرار به‌دست آمده است، زیرا سه مؤلفه دارد. به‌بیان دیگر در هر تکرار از مرحله اول، فهرستی از تمام عناصری که می‌توانند به‌عنوان عنصری از جواب موجه انتخاب شوند تهیه و با ارزیابی آن‌ها توسط یک تابع، یکی از آن عناصر انتخاب می‌شود. آنگاه این فهرست تصحیح می‌شود و برای تکرار بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کار آن‌قدر ادامه می‌یابد تا یک جواب موجه کامل شود و هم‌زمان فهرست تهی شود.

فهرست نام‌برده به فهرست محدود کاندیداها[۱۳] یا فهرست بهترین عناصر[۱۴] معروف است. اعضای این فهرست زیرمجموعه‌یی از تمام عناصری هستند که می‌توانند به‌عنوان عنصری از جواب موجه انتخاب شوند با این شرط که حداقل مقدار تعیین‌شده برای تابع ارزیابی هر عنصر را کسب کنند. انتخاب از میان اعضای این فهرست به تصادف انجام می‌شود. شروع مرحله‌ی دوم الگوریتم منوط به داشتن یک جواب موجه است. در صورتی‌که جواب به‌دست‌آمده از مرحله‌ی اول موجه نباشد (مثلاً به‌دلیل وجود محدودیت) یک روش اصلاح[۱۵][۱۹] برای تبدیل جواب غیر موجه به موجه اعمال می‌شود. با اتمام مرحله‌ی اول یک جواب موجه از مسئله به‌دست آمده است. در مرحله‌ی دوم با کمک‌گرفتن از یک رویه‌ی جست‌وجوی محلی در همسایگی جواب مرحله‌ی اول جواب بهینه‌ی محلی حاصل می‌شود. با برقرارشدن شرط خاتمه اجرای الگوریتم متوقف و بهترین جواب کسب‌شده به‌عنوان جواب نهایی انتخاب می‌شود.

۱.۱.۳. تهیه‌ی فهرست محدودشده‌ی کاندیداها (RCL)

یکی از ویژگی‌های الگوریتم گرسپ سادگی آن است. این الگوریتم دو پارامتر اصلی دارد: یکی به معیار خاتمه مربوط است و دیگری به کیفیت عناصر موجود در فهرست محدود شده است. شرط پایان اجرای الگوریتم نیز تعداد تکرار تعیین شده است که باتوجه به کیفیت جواب‌های بهتر تعیین شود. با توجه به اینکه زمان هربار تکرار الگوریتم تقریباً با هم برابر است، زمان اجرای الگوریتم رابطه‌یی خطی با تعداد تکرارها خواهد داشت. به‌طور خلاصه بیشتربودن تکرارها به معنای زمان بیشتر اجرا و یافتن جواب بهتر خواهد بود. پارامتر دوم الگوریتم، تعیین تعداد اعضا در فهرست محدود شده است. این فهرست شامل بهترین عناصر است. بنابراین تعیین تعداد آن‌ها به معنای تعیین عناصر عضو خواهد بود. این کار با حضور یک تابع انجام می‌شود که به هر کدام از اعضا مقداری را تخصیص می‌دهد و بهترین‌ها انتخاب می‌شوند. فرض می‌کنیم E مجموعه‌ی تمام اعضای فهرست و $c(e)$ مطلوبیت مربوط به‌عضو e که عضوی از E است) باشد. همچنین فرض کنید $e^{\min}$ و $e^{\max}$ به‌ترتیب کمترین و بیشترین مطلوبیت مربوط به اعضای مجموعه‌ی E باشد.

اعضای فهرست محدودشده زیرمجموعه‌یی از E هستند که تعیین اعضای آن می‌تواند مبتنی‌بر تعداد (مثلاً ۴ عضو یا ۳۰٪ اعضا) یا مبتنی بر مقدار (مثلاً تمام اعضا با مطلوبیت حداقل پنج) باشد ولی از هر روشی که استفاده شود باید عضوی انتخاب شود که منجر به غیر موجه‌شدن جواب نشود. با فرض کمینه‌بودن تابع مذکور می‌توان با مبنا قراردادن بازه‌ی $[c^{\min}, c^{\min} + \alpha(c^{\max} - c^{\min})]$ اعضای مجموعه‌ی RCL را انتخاب کرد. در این رابطه α بین صفر و یک است. در صورتی‌که $\alpha = ۱$، تعداد اعضای فهرست بیشترین خواهد بود $(\mathrm{RCL} = E)$ و انتخاب عضو کاملاً تصادفی خواهد بود و برعکس زمانی‌که $\alpha = ۰$، تعداد اعضا در RCL کمترین و الگوریتم کاملاً حریصانه[۱۶] خواهد بود. از این‌رو α پارامتری برای کنترل میزان تصادفی‌بودن جواب‌ها خواهد بود. در صورتی‌که تابع هدف بیشینه‌کردن باشد رابطه‌ی $\{e \in E | c(e) \geq \alpha * c^{\max}\}$ کارا خواهد بود.

در این حالت هر چه α به صفر نزدیکتر باشد، الگوریتم تصادفی‌تر عمل می‌کند. برای نشان‌دادن اینکه مقدار α نقش مهمی در حل مسئله دارد یک تکرار الگوریتم (یافتن یک جواب موجه) را در نظر بگیرید. هر چه الگوریتم تصادفی‌تر عمل کند فاصله‌ی میان تابع هدف جواب به‌دست‌آمده از بهترین جواب این مرحله بیشتر می‌شود و در نتیجه زمان انجام جست‌وجوی محلی افزایش می‌یابد (کیفیت پایین جواب اولیه زمان جست‌وجوی محلی را افزایش می‌دهد).

۲.۱.۳. گرسپ انفعالی

پرایز و ریبیرو[۲۰] نشان دادند که مقادیر مختلف برای α در نهایت منجر به جواب‌های مختلفی از یک مسئله می‌شود و از این‌رو نسخه‌ی جدیدی از الگوریتم گرسپ به نام گرسپ انفعالی[۱۷] را پیشنهاد کردند. در این نوع گرسپ مقدار پارامتر α در طول اجرای الگوریتم دائماً با توجه به کیفیت جواب و به‌صورت زیر تغییر می‌کند:

فرض کنید $\omega = \{\alpha_۱, ..., \alpha_m\}$ فهرستی از تمام مقادیر ممکن برای α باشد. احتمال انتخاب هرکدام از مقادیر α، $(P_i; i = ۱, ..., m)$ در تکرار اول با هم برابر $(P_i = \frac{۱}{m}; i = ۱, ..., m)$ است. Z^* به‌عنوان بهترین جوابی که تاکنون کسب شده است و A_i میانگین جواب‌های به‌دست‌آمده با α_i باشد. در هر تکرار الگوریتم مقادیر P_i طبق رابطه‌ی ۵۱ تصحیح و استفاده می‌شود:

$$P_i = \frac{q_i}{\sum_{j=۱}^{m} q_j}; \qquad q_i = (\frac{Z^*}{A_i})^{\delta} \qquad (۵۱)$$

پارامتر δ برای کاهش یا افزایش اثرات هر P است. از فرمول مشخص است که مقادیر بیشتر برای q_i به معنای تناسب بیشتر مقدار α متناظر است؛ بنابراین در ارزیابی مقادیر α اعمال می‌شود. در تکرار اول تمام مقادیر q_i را ۱ بگیرید.

۳.۱.۳. نحوه‌ی نمایش مسئله

یک کروموزوم چندبخشی که بخش‌های آن در قالب بردارهایی به قرار ذیل است:

- مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای تأمین‌کنندگان؛
- مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای مشتریان بازار اول؛
- مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای مشتریان بازار دوم؛
- مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای مراکز دفع؛

www.SID.ir

Archive of SID

- مجموعه‌ی مکان‌های ثابت برای مراکز پشتیبانی؛
- مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز تولید برای احداث؛
- مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز توزیع برای احداث؛
- مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز جمع‌آوری برای احداث؛
- مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز توزیع مجدد برای احداث؛
- مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه مراکز بازیافت برای احداث؛
- مجموعه‌ی محصولات؛
- مجموعه‌ی مواد اولیه؛
- مجموعه‌ی سطوح ظرفیت برای مکان‌های بالقوه.

به‌منظور رمزگشایی ساختار جواب، برای متغیرهای صفر و یک، ابتدا ژن‌ها به‌صورت تصادفی بین صفر و یک مقداردهی و سپس با توجه به ساختار کلید تصادفی[18] مرتب می‌شوند و در نهایت بسته به موقعیت اولیه‌ی هر ژن و یک عدد تصادفی تولیدشده که نشان‌دهنده‌ی تعداد متغیرها با مقدار یک است، مقادیر صفر یا یک برای ژن‌های مرتب‌شده تخصیص می‌یابد. برای رمزگذاری و رمزگشایی مسئله از ساختار مرجع[21] استفاده شده است. متغیرهای پیوسته‌ی مسئله نیز بین صفر تا حد بالای تعریف شده مقداردهی می‌شوند.

۴.۱.۳. نحوه‌ی ارزیابی الگوریتم

در این بخش برای ارزیابی جواب‌ها رتبه‌بندی جمعیت با استفاده از دو مفهوم مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها و فاصله‌ی ازدحامی انجام می‌شود. در مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها رتبه‌بندی جمعیت براساس نامغلوب‌ها با استفاده از مفهوم غلبه‌صورت می‌گیرد. به‌طورکلی برای مرتب‌کردن جمعیتی با اندازه‌ی n براساس سطوح نامغلوب‌ها، هر جواب با تمام جواب‌های دیگر موجود در جمعیت مقایسه می‌شود تا مغلوب‌بودن یا نبودن جواب مشخص گردد. در نهایت مجموعه‌یی از جواب‌ها وجود دارد که هیچ کدام غالب و مغلوب همدیگر نمی‌شوند؛ پس این جواب‌ها اولین مرز از مرزهای نامغلوب را تشکیل می‌دهند. برای تعیین جواب‌های موجود در مرزهای بعدی، جواب‌های موجود در مرز اول به‌طور موقت نادیده گرفته می‌شود و فرایند دوباره تکرار می‌شود. این فرایند تا زمانی‌که تمام جواب‌ها درون مرزهای نامغلوب قرار بگیرند ادامه می‌یابد.[22]

از طرفی برای تخمین تراکم جواب اطراف یک جواب خاص در جمعیت، متوسط فاصله‌ی این جواب از هر دو جواب مجاور براساس مقادیر اهداف محاسبه می‌شود و این مقدار، فاصله‌ی ازدحام نامیده می‌شود. برای محاسبه‌ی فاصله ازدحامی یک جواب خاص موجود در یک مرز بزرگترین مستطیلی را درنظر می‌گیریم که آن جواب خاص درون مستطیل و دو جواب مجاور در دو سمت آن جواب رأس‌های مستطیل باشند و مجموع یک طول و یک عرض آن را به‌عنوان فاصله‌ی ازدحامی برای آن جواب خاص به‌دست می‌آوریم. برای محاسبه‌ی فاصله‌ی ازدحامی ابتدا باید افراد جمعیت بر اساس مقدار هر تابع هدف به‌صورت صعودی مرتب شوند. سپس جواب‌های موجود در ابتدا و انتهای هر مرز (جواب‌های با بیشترین و کمترین مقدار تابع هدف) مقدار فاصله‌ی ازدحامی بینهایت به خود می‌گیرند. در این الگوریتم، $n[j]_{\text{distance}}$ نشان‌دهنده‌ی مقدار تابع هدف mام برای iامین عضو مجموعه‌ی n است.[22] یک جواب با مقدار کمتر فاصله‌ی ازدحامی بیان‌کننده‌ی تراکم بیشتر جواب در اطراف آن جواب است. بنابراین مطلوب است برای مرحله‌ی بعد جواب‌هایی انتخاب شوند که در ناحیه با تراکم کمتر یا به عبارتی دارای فاصله‌ی ازدحامی بیشتر هستند. زیرا با این کار تنوع و پراکندگی در جواب‌های به‌دست آمده بیشتر می‌شود.

۲.۳. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)

یکی از الگوریتم‌های اولیه‌ی چندهدفه در پژوهش‌های مسائل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA) است که یکی از الگوریتم‌های تکاملی است که به‌منظور حل مسائل چندهدفه به‌کار می‌رود. این الگوریتم بر اساس الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل چندهدفه توسعه داده شد.[21] معایب الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نظیر عدم نخبه‌گرایی، نیاز به تعیین پارامترهای اشتراک‌گذاری، و پیچیدگی‌های محاسباتی برای مرتب‌سازی نامغلوب‌ها منجر به معرفی الگوریتم توسعه‌یافته‌ی ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب معروف به NSGA-II شد.[22]

در این مقاله از الگوریتم NSGA-II برای حل مسئله‌ی مورد مطالعه و مقایسه‌ی آن با نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. پارامترهای الگوریتم شامل اندازی جمعیت برابر ۵۰، احتمال تقاطع برابر ۰/۸، احتمال جهش ۰/۳، و تعداد تکرار الگوریتم ۱۰۰ هستند. عملگر تقاطع و جهش بر اساس عملگر تقاطع یکنواخت پیوسته و عملگر جهش جانشینی است و در نهایت یک روش انتخاب مسابقه‌یی صفر و یک به‌عنوان راهبرد انتخاب به‌کار است.[23] فلوچارت الگوریتم NSGA-II در شکل ۲ نشان داده شده است.

۴. تجزیه و تحلیل و مقایسات

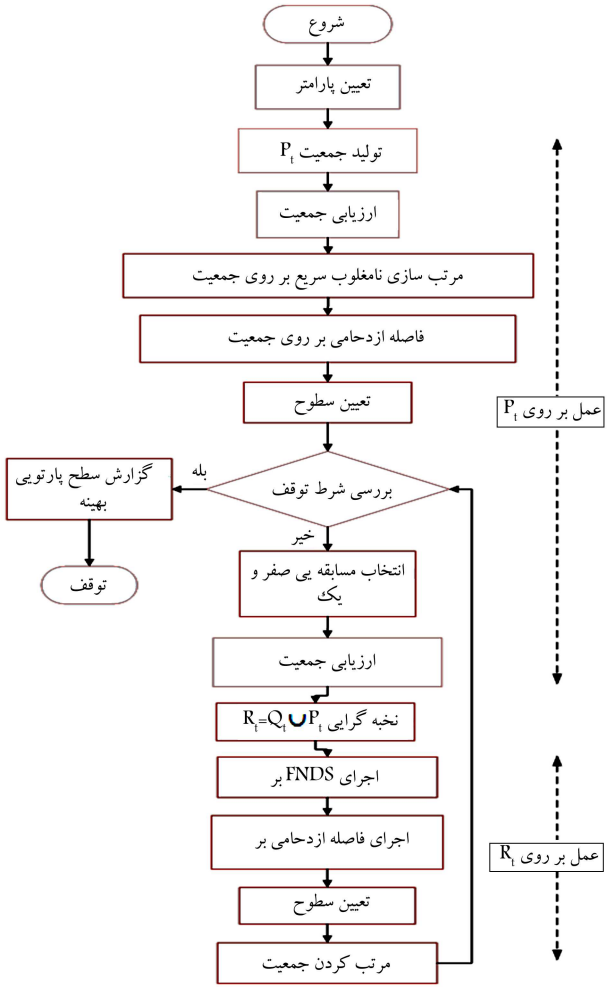
برای بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی، در این بخش، به مقایسه‌ی عملکرد دو الگوریتم فرا‌ابتکاری MOGRASB و NSGA-II پرداخته شده است. الگوریتم‌های پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB کد شده و آزمایش‌ها در رایانه‌یی با RAM ۲ GHz و ۸ گیگابایتی اجرا شده‌اند. به‌منظور ارزیابی و مقایسه‌ی نتایج، آزمایش‌ها برای ۱۰ مسئله که در جدول ۱ نشان داده شده‌اند، انجام شده است. سپس مسائل نمونه با استفاده از دو الگوریتم حل شده‌اند.

جدول ۱. مسائل آزمایشی تولیدشده.

شماره‌ی مسئله	تعداد تأمین‌کنندگان	تعداد محصولات	تعداد مراکز توزیع	اعداد مراکز بازیافت
۱	۲	۱	۱	۱
۲	۲	۳	۲	۱
۳	۴	۵	۳	۲
۴	۴	۱۰	۳	۲
۵	۵	۱۰	۵	۳
۶	۵	۲۰	۵	۳
۷	۱۰	۲۰	۱۰	۴
۸	۱۰	۳۰	۱۰	۴
۹	۱۰	۵۰	۱۲	۵
۱۰	۲۰	۱۰۰	۱۵	۵

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. فلوچارت NSGA-II.

برای بررسی عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی، چهار معیار در نظرگرفته شده‌اند:[۲۴]

۱. تعداد جواب‌های پارتویی (NOS)؛

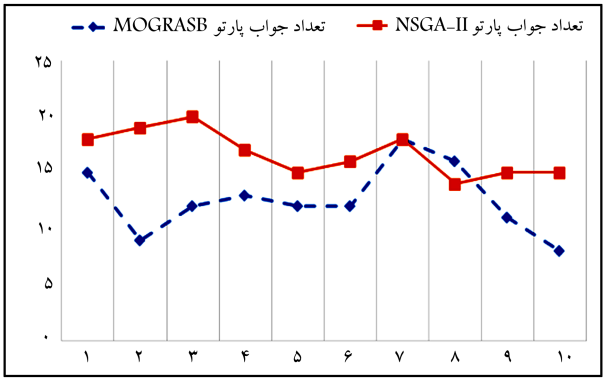
۲. فاصله (Spacing)؛

۳. میانگین فاصله از جواب ایده‌آل (MID)؛

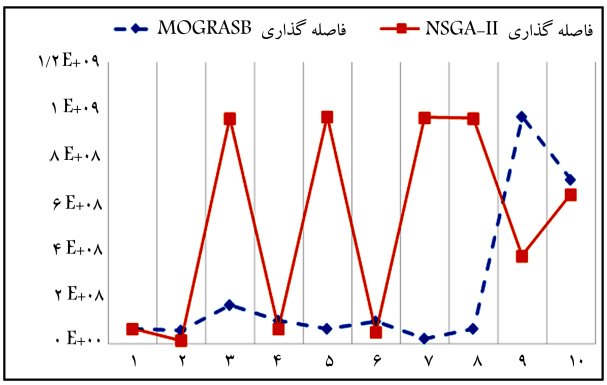
۴. زمان محاسبه (بر حسب ثانیه) (Time).

نتایج حاصل برای معیارهای مذکور برای الگوریتم‌های پیشنهادی در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همچنین الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس مقادیر جواب‌های به‌دست‌آمده مقایسه شده‌اند که نتایج حاصل در شکل‌های ۳ تا ۶ قابل مشاهده است. با توجه به شکل‌های حاصل، مشاهده می‌شود که الگوریتم عملکرد نسبتاً بهتری با توجه به معیار فاصله‌گذاری و زمان حاصل می‌کند در حالی‌که با درنظرگرفتن سایر معیارها دو الگوریتم عملکرد نسبتاً یکسانی دارند.

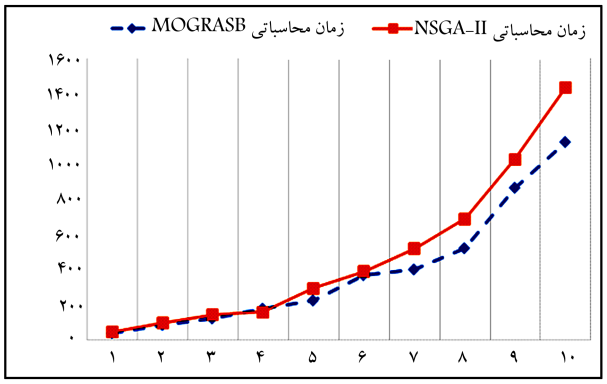
با توجه به مقایسات گرافیکی انجام‌شده و خروجی نتایج الگوریتم‌ها الگوریتم گرسپ چندهدفه کارایی مناسبی برای حل مدل پیچیده‌ی ارائه‌شده را دارد که این امر به‌علت حلقه‌ی اصلی الگوریتم و رویکرد کاربرپسند آن است. همان‌طور که شکل‌های ۳ تا ۶ نشان می‌دهند الگوریتم از سرعت همگرایی بالایی برخوردار است و جواب‌های پارتوی حاصل انحراف کمتری دارند.



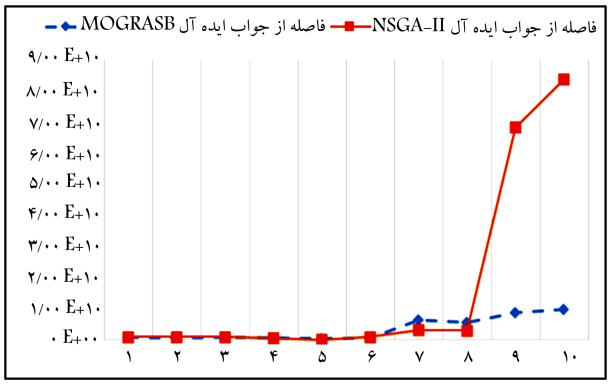
شکل ۳. مقایسه‌ی دو الگوریتم بر اساس معیار تعداد جواب پارتو.



شکل ۴. مقایسه‌ی دو الگوریتم بر اساس معیار فاصله‌گذاری.



شکل ۵. مقایسه‌ی دو الگوریتم بر اساس معیار زمان محاسباتی.



شکل ۶. مقایسه‌ی دو الگوریتم بر اساس معیار فاصله از جواب ایده‌آل.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نتایج محاسباتی اجرای دو الگوریتم بر روی مسائل آزمایشی (فاصله‌گذاری، فاصله از جواب ایده‌آل).

شماره‌ی مسئله	فاصله‌گذاری		فاصله از جواب ایده‌آل	
	MOGRASB	NSGA-II	MOGRASB	NSGA-II
۱	$۶/۵۲E+۰۷$	$۶/۵۲E+۰۷$	$۹/۶۹E+۰۸$	$۹/۸۷E+۰۸$
۲	$۵/۶۴E+۰۷$	$۱/۴۲E+۰۷$	$۶/۵۲E+۰۸$	$۹/۶۹E+۰۸$
۳	$۱/۶۵E+۰۸$	$۹/۶۲E+۰۸$	$۹/۸۶E+۰۸$	$۹/۸۶E+۰۸$
۴	$۹/۸۶E+۰۷$	$۶/۴۹E+۰۷$	$۶/۳۲E+۰۸$	$۶/۸۵E+۰۸$
۵	$۶/۵۲E+۰۷$	$۹/۶۹E+۰۸$	$۴/۲۲E+۰۸$	$۹/۵۸E+۰۷$
۶	$۹/۵۷E+۰۷$	$۴/۹۲E+۰۷$	$۶/۹۸E+۰۸$	$۹/۹۰E+۰۸$
۷	$۲/۳۰E+۰۷$	$۹/۶۴E+۰۸$	$۶/۵۸E+۰۹$	$۳/۲۱E+۰۹$
۸	$۶/۵۸E+۰۷$	$۹/۶۲E+۰۸$	$۵/۶۹E+۰۹$	$۳/۱۷E+۰۹$
۹	$۹/۶۹E+۰۸$	$۳/۷۶E+۰۸$	$۸/۸۷E+۰۹$	$۶/۸۳E+۱۰$
۱۰	$۶/۹۹E+۰۸$	$۶/۳۷E+۰۸$	$۹/۸۴E+۰۹$	$۸/۳۷E+۱۰$

جدول ۳. نتایج محاسباتی اجرای دو الگوریتم بر روی مسائل آزمایشی (تعداد جواب پارتو، زمان محاسباتی).

شماره‌ی مسئله	زمان محاسباتی		تعداد جواب پارتو	
	MOGRASB	NSGA-II	MOGRASB	NSGA-II
۱	۳۶/۲۵	۴۶/۲۵	۱۵	۱۸
۲	۸۵/۳۶	۹۶/۶۵	۹	۱۹
۳	۱۲۳/۵۵	۱۴۵/۳۶	۱۲	۲۰
۴	۱۷۸/۶۹	۱۵۹/۳۶	۱۳	۱۷
۵	۲۲۵/۳۶	۲۹۶/۳۵	۱۲	۱۵
۶	۳۶۹/۴۰	۳۹۱/۰۲	۱۲	۱۶
۷	۳۹۸/۶۶	۵۲۰/۸۱	۱۸	۱۸
۸	۵۲۲/۸۲	۶۹۰/۹۶	۱۶	۱۴
۹	۸۶۳/۳۵	۱۰۲۸/۳۳	۱۱	۱۵
۱۰	۱۱۲۵/۶۵	۱۴۳۶/۸۰	۸	۱۵

۵. نتیجه‌گیری

این تحقیق، یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین با چندین محصول و چندین هدف را به‌صورت حلقه‌بسته در شرایط عدم قطعیت ارائه کرد. در ساختار مسئله، تسهیلات ظرفیت معینی دارند و تعداد و تصمیمات مکان‌یابی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند. در بخش اقتصادی تابع هدف، منطق فروش اینترنتی براساس راهبرد رفتاری مشتری بررسی شده و از طرفی نیز سود ناشی از اشتغال کارکنان هم از منظر اقتصادی و هم به نوعی مسئولیت‌پذیری اجتماعی تلقی شده است. در بخش لجستیک بازگشتی نیز مفهوم زیست‌محیطی و بازیافتی در فضای کاهش مواد معیوب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برای حل مدل ارائه‌شده یک الگوریتم گرسپ انفعالی چندهدفه برای حل مدل ارائه شد. به‌منظور اثبات کارایی مدل ارائه‌شده با الگوریتم ژنتیک چندهدفه مقایسه شد. نتایج بیانگر کارایی الگوریتم گرسپ چندهدفه‌ی پیشنهادی برای حل مسئله‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته‌ی این تحقیق است.

پانوشت‌ها

1. greedy randomized adaptive search procedures (GRASP)
2. supply chain management
3. forward logistics
4. reverse logistics
5. closed loop supply chain
6. end of life
7. corporate social responsibility
8. mixed integer non-linear programming
9. posted price
10. pure auction
11. buy-price auction
12. multiple attribute decision making
13. restricted candidate list (RCL)
14. elite solutions
15. repair procedure
16. greedy
17. reactive GRA
18. random key

www.SID.ir

Archive of SID

منابع (References)

1. Madenas, N., Tiwari, A., Turner, C.J. and Woodward, J. "Information flow in supply chain management: A review across the product lifecycle", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, **7**(4), pp. 335-346 (2014).
2. Chopra, S. and Meindl, P., *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, 6th, Edition, Pearson Prentice Hall Pub (2016).
3. Mota, B., Gomes, M.I., Carvalho, A. and Barbosa-Povoa, A.P. "Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning", *Journal of Cleaner Production*, **105**, pp. 14-27 (2015).
4. Govindan, K., Soleimani, H. and Kannan, D. "Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future", *European Journal of Operational Research*, **240**(3), pp. 603-626 (2015).
5. Jahromi, H.Z., Fallahnezhad, M.S., Sadeghiyeh, A. and Ahmadi Yazdi, A. "A Robust multi objective optimization model for sustainable closed-loop supply chain network design", *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, **2**(3), pp. 93-111 (2014).
6. Gen, M., Altiparmak, F. and Lin, L. "A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding", *OR Spectrum*, **28**(3), pp. 337-354 (2006).
7. Amiri, A. "Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure", *European Journal of Operational Research*, **171**(2), pp. 567-576 (2006).
8. Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Paksoy, T. "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks", *Computers & Industrial Engineering*, **51**(1), pp. 196-215 (2006).
9. Selim, H. and Ozkarahan, I. "A supply chain distribution network design model: An interactive fuzzy goal programming-based solution approach", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **36**(3-4), pp. 401-418 (2008).
10. Pishvaee, M., Kianfar, K. and Karimi, B. "Reverse logistics network design using simulated annealing", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **47**(1-4), pp. 269-281 (2010).
11. Salema, M.I., Póvoa, A.P.B. and Novais, A.Q. "A warehouse-based design model for reverse logistics", *Journal of the Operational Research Society*, **57**(6), pp. 615-629 (2005).
12. Ko, H.J. and Evans, G.W. "A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs", *Computers & Operations Research*, **34**(2), pp. 345-366 (2007).
13. El-Sayed, M., Afia, N. and El-Kharbotly, A. "A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk", *Computers & Industrial Engineering*, **58**(3), pp. 423-431 (2010).
14. Pishvaee, M.S., Farahani, R.Z. and Dullaert, W. "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design", *Computers & Operations Research*, **37**(6), pp. 1100-1112 (2010).
15. 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*, **37**(1-2), pp. 328-344 (2013).
16. 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: Logistics and Transportation Review*, **67**(0), pp. 14-38 (2014).
17. Jiang, Z.-Z., Fang, S.-C., Fan, Z.-P. and Wang, D. "Selecting optimal selling format of a product in B2C online auctions with boundedly rational customers", *European Journal of Operational Research*, **226**(1), pp. 139-153 (2013).
18. Feo, T.A. and Resende, M.G. "Greedy randomized adaptive search procedures", *Journal of Global Optimization*, **6**(2), pp. 109-133 (1995).
19. Gendreau, M. and Potvin, J.Y., *Handbook of Metaheuristics*, Second Edition,Springer, New York (2010).
20. Prais, M. and Ribeiro, C.C. "Parameter variation in GRASP implementations", In *Extended Abstracts of the Third Metaheuristics International Conference*, pp. 375-380 (1999).
21. Srinivas, N. and Deb, K. "Multi-objective function optimization using non-dominated sorting genetic algorithms", *Evolutionary Computation*, **2**(3), pp. 221-248 (1995).
22. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T. "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, **6**, pp. 182-197 (2002).
23. Haupt, R.L. and Haupt, S.E., *Practical Genetic Algorithms*, 2nd Ed., John Wiley & Sons (2004).
24. Hajipour, V., Zanjirani Farahani, R. and Fattahi, P. "Bi-objective vibration damping optimization for congested location-pricing problem", *Computers & Operations Research*, **70**, pp.87-100 (2016).

www.SID.ir