طراحی چند هدفه شبکه زنجیره تأمین با رویکرد الگوریتم ژنتیک

محسن نوتاش[1*]، مصطفی زندیه[2]، بهروز درّی[3]

۱. کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه شهید بهشتی
۲. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی
۳. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی

دریافت: ۱۳۹۳/۳/۲٤ پذیرش:۱۳۹۳/۱۲/۲٦

چکیده

طراحی شبکه زنجیره تأمین از اساسی‌ترین مسائل مطرح در سازمان‌هاست، به‌خصوص سازمان‌هایی که در سطح بین‌المللی فعالیت می‌کنند. بهینه‌سازی این شبکه منجر به مدیریت کارا و مؤثر عملیات کل زنجیره تأمین می‌شود. طراحی شبکه تعداد، موقعیت، ظرفیت، نوع تسهیلات شبکه، مسیرهای توزیع، حمل مواد و محصولات از تأمین‌کننده تا مشتری و برعکس را مشخص می‌کند. این پژوهش روش حل جدیدی براساس الگوریتم‌های فرا ابتکاری MOGA و NSGAII برای یافتن مجموعه‌ای از جواب‌های پارتو بهینه ارائه می‌دهد. مسئله طراحی دو هدفه شبکه لجستیک یکپارچه، مجموعه‌ای از جواب‌های جایگزین را جهت توانمند ساختن تصمیم‌گیرندگان پیشنهاد می‌کند. نظر به اینکه در این تحقیق، سطح سرویس از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، از این رو مدلسازی براساس برآورده شدن تمام تقاضای مشتریان انجام شده است.

اهداف مورد نظر برای بهینه‌سازی شبکه شامل کمینه‌سازی هزینه کل و بیشینه‌سازی استفاده متوازن از ظرفیت تسهیلات شبکه است که منجر به کاهش زمان در سرویس‌دهی به مشتریان (افزایش سطح سرویس) می‌شود. به این ترتیب نه مسئله آزمایشی از کوچک تا بزرگ طراحی شد و برای مقایسه کیفیت جواب‌های پارتو به دست آمده از الگوریتم‌ها، هفت معیار مطرح در فضای چند هدفه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که جواب‌های تولیدی به‌وسیله الگوریتم NSGAII از کیفیت بالاتری برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: لجستیک یکپارچه، بهینه‌یابی چند هدفه، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم NSGAII.

* نویسندهٔ مسؤول مقاله: E-mail: Notash.mohsen@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

چند سال اخیر ظهور فناوری‌های نوین و ایجاد تحولات عظیم در بازارهای جهانی، مدیریت زنجیره تأمین را بیش از پیش ضروری ساخته است، به نحوی که سازمان‌های مختلف برای ایجاد و حفظ موقعیت و جایگاه رقابتی خود، ناگزیر به استفاده از مدیریت زنجیره تأمین می‌باشند. زنجیره تأمین مجموعه‌ای از تسهیلات، موجودی‌ها، مشتریان، محصولات و روش‌های کنترل موجودی، خرید و توزیع می‌باشد که تأمین‌کنندگان را به مشتریان وصل می‌کند و با تولید مواد خام به‌وسیله تأمین‌کننده شروع می‌شود و با مصرف محصول به‌وسیله مشتری خاتمه پیدا می‌کند. در این جریان کالاها بین تأمین‌کننده و مشتری از چندین مرحله عبور می‌کند و هر مرحله ممکن است شامل تسهیلات متعددی باشد [۱، صص ۵۸۱-۵۹۸].

با جهانی شدن بازار محصولات و رشد اقتصاد جهانی، سازمان‌ها برای بقای خود نیازمند مکانیزم‌های جدید و به روزی شدند که بتواند الزامات آنها را تأمین کنند. در سال‌های اخیر سازمان‌ها دریافتند که به منظور حفظ مشتریان و توسعه بازار خود ملزم به افزایش کیفیت و کاهش قیمت محصول به صورت همزمان هستند. در گذشته شبکه زنجیره تأمین از بخش‌های مختلفی تشکیل شده بود که هر کدام فعالیت مستقلی داشتند و اهداف جداگانه‌ای را دنبال می‌کردند که گاهاوقات این اهداف با یکدیگر در تضاد بودند. از این رو نیاز به مکانیزمی برای یکپارچه‌سازی این اهداف و کارکردها بود. مدیریت زنجیره تأمین چنین یکپارچگی را برای سازمان‌ها دست یافتنی می‌کند [۲، صص۱۹۷-۲۱۶].

در دهه‌های گذشته، توجه روزافزونی به بازارها و مدل‌های کاری لجستیک معکوس (RL)[1] و زنجیره تأمین حلقه بسته (CLSC)[2] معطوف شده است. این امر تا حدی به دلیل درک اهمیت روزافزون، محصولات و فناوری ایجاد شده در محل پایان زنجیره‌های تأمین یک طرفه عمومی و تأثیر قوانین سبز به‌ویژه در اروپا است.

۲-ادبیات موضوع

انجمن مدیریت لجستیک (CLM) تعریف غیرنظامی از لجستیک، به این شرح بیان کرده است: «لجستیک بخشی از فرایند زنجیره تأمین است که برنامه‌ریزی، اجرا، کنترل مؤثر، کارای جریان

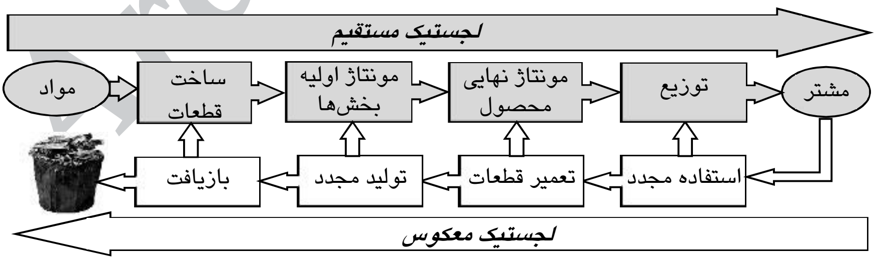
www.SID.ir
Archive of SID

و انبارش کالاها، خدمات و اطلاعات مرتبط را از نقطه مبدأ تا نقطه مصرف به عهده دارد تا نیازمندی‌های مشتری برآورده شود».

بر اساس تعریف کریستوفر در سال ۲۰۰۵، لجستیک فرایند مدیریت استراتژیک تهیه، حرکت و ذخیره‌سازی مواد، قطعات و موجودی به پایان رسیده (و جریان اطلاعات مربوط به آن) از طریق سازمان و کانال بازاریابی آنها است، به گونه‌ای که سوددهی فعلی و آینده از طریق اجرای سفارشات مقرون به صرفه حداکثر شود [۳].

در دهه‌های اخیر، لجستیک معکوس تأثیر اقتصادی شگرفی روی صنعت و جامعه داشته است. این تأثیر را هم می‌توان به عنوان یک زیان برای شرکت در نظر گرفت که باید اجتناب شود و هم به عنوان یک مزیت رقابتی با قابلیت بالقوه برای کسب سهم بازار تلقی کرد. فرصت استفاده مجدد از محصولات و مواد مصرف شده، منجر به ایجاد جریانی به صورت بازگشتی از مشتریان به سمت تولیدکنندگان می‌شود. مدیریت این جریان مواد برخلاف جریان زنجیره تأمین سنتی، ماهیت و دغدغه مفهوم نوظهور لجستیک معکوس می‌باشد [٤، صص ۲٦۹-۲۸۱].

لجستیک معکوس یک رابطه بین بازار محصولات استفاده شده و بازار جدید ایجاد می‌کند. وقتی این دو بازار بر هم منطبق شوند شبکه حلقه بسته نامیده می‌شوند [٥، صص ۳٦۱-۳۸٦]. لجستیک حلقه بسته به عنوان یک سیستم کلی است بدون تقسیم به دو قسمت مجزای لجستیک رو به جلو و لجستیک معکوس [٦، صص ۱٤۰-۱۲۳]. در شکل ۱ نحوه ارتباط شبکه مستقیم و معکوس طی فرایند لجستیک یکپارچه مشخص شده است.



شکل ۱ شبکه لجستیک یکپارچه (مستقیم و معکوس)

Archive of SID

www.SID.ir

طراحی شبکه نیازمند مشخص کردن تعداد و جایابی تسهیلات در جهت انجام امور لجستیک است. همچنین باید تعیین کند که چه موجودی با چه میزان و در کجا نگهداری شود و در چه محلی باید تحویل مشتری شود تا از این روش اقدام به طراحی و تعیین حمل‌ونقل در شبکه کند [۷].

یانگ و همکاران [۸، صص ۴۵۸-۴۶۶] در سال ۲۰۱۱ به مطالعه و بررسی میزان مقاومت[۳] استراتژی‌های مختلف زنجیره تأمین در شرایط گوناگون می‌پردازد. برای این منظور از روش شبیه‌سازی شده بازی نوشابه[۴]، روش تاگوچی[۵] و همچنین روش تصمیم‌گیری چند معیاره[۶]، فناوری رتبه‌بندی چند شاخصه‌ای ساده[۷]، تاپسیس[۸] و تحلیل رابطه GRA[۹] استفاده کرده‌اند.

در سال ۲۰۱۱ چن سبلی [۹] مسئله طراحی شبکه لجستیک معکوس (RLND)[۱۰] شامل تسهیلات جمع‌آوری و بازرسی، احیا و انهدام را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته (MILP)[۱۱] در نظر گرفته است. به دلیل اینکه این مسئله به گروه NP-Hard تعلق دارد، یک روش حل ابتکاری برای آن ارائه شد. سپس با الگوریتم ژنتیک مقایسه و برتری الگوریتم پیشنهادی اثبات گردید. در این مسئله هدف کمینه‌سازی هزینه کل شبکه لجستیک معکوس پیشنهادی می‌باشد.

کانان[۱۲] و همکارانش [۱۰، صص۶۵۵-۶۷۰] در سال ۲۰۱۰ یک مدل شبکه‌ای زنجیره تأمین بسته چند مرحله‌ای چند محصولی برای مطالعه کاربرد بهینه کالاهای بازگشتی ارائه کردند که در آن تصمیماتی در مورد تدارکات، تولید، توزیع، بازیافت و انهدام اتخاذ می‌شود. این مدل یک مدل MILP با هدف کمینه‌سازی هزینه کل می‌باشد که برای حل آن یک الگوریتم ژنتیک ابتکاری توسعه داده شده است.

وانگ[۱۳] و سو[۱۴] [۱۱، صص۳۷۶-۳۸۹] در سال ۲۰۱۰ یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای طراحی شبکه لجستیک حلقه‌بسته که شامل تأمین‌کنندگان، کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع و مراکز اسقاط می‌باشد، ارائه دادند. تابع هدف این مدل کمینه‌سازی هزینه شبکه لجستیک است که شامل هزینه ثابت تأسیس تسهیلات، هزینه حمل‌ونقل مواد و هزینه پردازش در تسهیلات می‌باشد. همچنین الگوریتمی ژنتیک بر مبنای درخت گسترده[۱۵] با استفاده از نمایش کدگذاری تعیین‌کننده[۱۶] برای این مدل توسعه داده شد.

www.SID.ir
Archive of SID

قجاوند [۱۲] در سال ۲۰۱۱ یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته با هدف حداقل‌سازی هزینه‌ها ارائه داد. این شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس[۱۷] (IFRLN) چند مرحله‌ای شامل تولید، توزیع، مناطق مشتری، جمع‌آوری و بازرسی، بازیافت و انهدام با ظرفیت‌های چند سطحی می‌باشد. مناطق مشتریان از قبل معین و ثابت فرض شده است و تمام تقاضا مشتریان برآورده میشود. با توجه به اینکه مدل ارائه شده به دسته NP-Hard تعلق داشت، سه الگوریتم فرا ابتکاری شامل الگوریتم ممتیک، الگوریتم جستجوی محلی متغیر و الگوریتم فرایند گروهی برای حل مدل به کار گرفته شدند. نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم ممتیک (MA) از نظر کارایی و الگوریتم فرایند گروهی (TPA) از نظر اثربخشی عملکرد بهتری نسبت به بقیه الگوریتم‌ها دارند و در مقابل الگوریتم (VNS) از نظر کارایی و اثربخشی بدترین عملکرد را میان الگوریتم‌ها دارد.

یادگاری در سال ۲۰۱۱ [۱۳] به حل مدل چند سطحی غیر خطی با استفاده از روش‌های فراابتکاری می‌پردازد که در نتیجه آن مکان‌های مناسب برای تأسیس تسهیلات جدید و همچنین میزان جریان مواد بین لایه‌ها تعیین می‌شوند. الگوریتم‌های استفاده شده در این پژوهش عبارتند از الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم ژنتیک اصلاحی (MOGA)، الگوریتم شبیه‌سازی ذوب (SA) و الگوریتم ترکیبی (Hybrid). نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ترکیبی از لحاظ کارایی و اثربخشی نسبت به الگوریتم‌های دیگر، برتری دارد.

۳- بیان مسئله

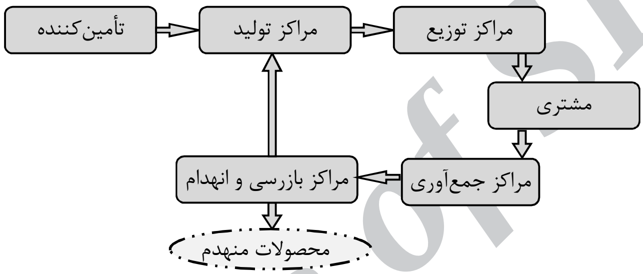
مسئله مورد نظر در این پروژه، طراحی شبکه لجستیک یکپارچه است. در این مسئله، شبکه لجستیک شامل هفت مرحله می‌باشد و تسهیلات موجود در شبکه شامل سطوح تأمین‌کننده، مراکز تولید، مراکز توزیع‌کننده، مشتری، مراکز جمع‌آوری، مراکز بازرسی و انهدام می‌باشند. در این مسئله مراکز تولید پس از خرید مواد اولیه و تبدیل آن به محصولات نهایی، آنها را به سیستم توزیع می‌فرستند و سپس از راه مراکز توزیع محصولات برای مشتریان ارسال می‌شوند. درصدی از محصولات به دلایل مختلف مانند خرابی و... از مشتریان به مراکز جمع‌آوری- که اولین حلقه در شبکه معکوس می‌باشند- ارسال می‌شوند. این محصولات پس از ارسال به مراکز بازرسی و انهدام در صورت قابل تعمیر بودن به مراکز تولید فرستاده شده و بعد از تعمیر دوباره به شبکه لجستیک وارد می‌شوند که آن گاه برای پاسخگویی به نیاز مشتریان از آنها استفاده

Archive of SID

www.SID.ir

می‌شود. در صورتی که محصولات موجود در مراکز بازرسی و انهدام قابل تعمیر نباشند در همان جا منهدم شده و از شبکه خارج می‌شوند. در این مدل فرض بر این است که کیفیت محصول تعمیر شده برابر محصولی است که برای اولین بار تولید می‌شود.

در شکل ۲ شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس مورد نظر ارائه شده است.



شکل ۲ مدل شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس

لازم به ذکر است که در مدل پیشنهادی تقاضای مشتریان قطعی بوده و محصول برگشتی از سمت مشتری معادل ۱۰ درصد تقاضا می‌باشد. همچنین از این مقدار محصول بازگشتی، نیمی بعد از بازرسی به مراکز تولید برگشته و بعد از انجام تعمیر در مراکز تولید به سیستم برگشت داده می‌شوند و دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین نیمی دیگر از محصولات برگشتی که قابل تعمیر نمی‌باشند، بعد انهدام از شبکه خارج می‌شوند.

با توجه به اینکه در برخی سیستم‌ها مانند سیستم‌های نظامی یا صنایع حساس (از جمله پزشکی، دارویی و...) سطح سرویس در درجه اول اولویت می‌باشد و رویکرد این طرح نیز چنین سیستم‌هایی می‌باشد، در این طرح مدل به گونه‌ای طراحی شده است که تمام تقاضا برآورده شود.

اهداف مورد نظر در این طرح که باید با درنظر گرفتن برآورده شدن تمام تقاضا، بهینه شوند، عبارتند از:

۱– کمینه‌سازی هزینه کل شبکه لجستیک یکپارچه که شامل هزینه ثابت احداث مراکز تولید، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز بازرسی و انهدام، هزینه‌های متغیر خرید مواد اولیه،

Archive of SID
www.SID.ir

پژوهش‌های مدیریت در ایران ـــ

$$\min F1 = \sum_{k=1}^{nP} cP_k \times stP_k + \sum_{j=1}^{nDC} cDC_j \times stDC_j + \sum_{t=1}^{nG} cG_t \times stG_t + \sum_{v=1}^{nIN} cIN_v \times stIN_v$$
$$+ \sum_{s=1}^{nS}\sum_{k=1}^{nP} cf1_{sk} \times f1_{sk} + \sum_{k=1}^{nP}\sum_{j=1}^{nDC} cf2_{kj} \times f2_{kj} + \sum_{j=1}^{nDC}\sum_{i=1}^{nC} cf3_{ji} \times f3_{ji}$$
$$+ \sum_{i=1}^{nC}\sum_{t=1}^{nG} cf4_{it} \times f4_{it} + \sum_{t=1}^{nG}\sum_{v=1}^{nIN} cf5_{tv} \times f5_{tv} + \sum_{v=1}^{nIN}\sum_{k=1}^{nP} cf6_{vk} \times f6_{vk}$$
$$+ \sum_{v=1}^{nIN} cf7_v \times f7_v \qquad (1)$$

$$\min F2 = r_{10}.\left[\sum_{k\epsilon OP}\left[\left(\sum_{j\epsilon ODC} f2_{kj}/D_k\right) - \left(\sum_{k\epsilon OP}\sum_{j\epsilon ODC} f2_{kj}\Big/\sum_{k\epsilon OP} D_k\right)\right]^2 \Big/ |OP|\right]^{\frac{1}{2}}$$

www.SID.ir

$$+r_{2}\cdot\left[\sum_{j\in ODC}\left[\left(\sum_{i=1}^{nC} f3_{ji} / W_j\right)-\left(\sum_{j\in ODC}\sum_{i=1}^{nC} f3_{ji} \Big/ \sum_{j\in ODC} W_j\right)\right]^{2} \Big/ |ODC|\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$+r_{3}\cdot\left[\sum_{t\in OG}\left[\left(\sum_{v\in OIN} f5_{tv}/G_t\right)-\left(\sum_{t\in OG}\sum_{v\in OIN} f5_{tv} \Big/ \sum_{t\in OG} G_t\right)\right]^{2} \Big/ |OG|\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$+r_{4}\cdot\left[\sum_{v\in OIN}\left[\left(\sum_{t\in OG} f5_{tv}/IN_v\right)-\left(\sum_{t\in OG}\sum_{v\in OIN} f5_{tv} \Big/ \sum_{v\in OIN} IN_v\right)\right]^{2} \Big/ |OIN|\right]^{\frac{1}{2}} \quad (۲)$$

S.t.

$$\sum_{k=1}^{nP} f1_{sk} \le U_s \qquad \forall\ s \qquad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{nDC} f2_{kj} \le D_k \times stP_k \qquad \forall\ k \qquad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{nC} f3_{ji} \le W_j \times stDC_j \qquad \forall\ j \qquad (۵)$$

$$\sum_{v=1}^{nIN} f5_{tv} \le G_t \times stG_t \qquad \forall\ t \qquad (۶)$$

$$\sum_{t=1}^{nG} f5_{tv} \le IN_v \times stIN_v \qquad \forall\ v \qquad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^{nDC} f3_{ji} = d_i \qquad \forall\ i \qquad (۸)$$

$$\sum_{s=1}^{nS} f1_{sk} = 0/95 \times \sum_{j=1}^{nDC} f2_{kj} \qquad \forall\ k \qquad (۹)$$

$$\sum_{k=1}^{nP} f2_{kj} = \sum_{i=1}^{nC} f3_{ji} \qquad \forall\ j \qquad (۱۰)$$

$$0/1 \times \sum_{j=1}^{nDC} f3_{ji} = \sum_{t=1}^{nG} f4_{it} \qquad \forall\ i \qquad (۱۱)$$

www.SID.ir

پژوهش‌های مدیریت در ایران ـــ

$$\sum_{i=1}^{nC} f4_{it} = \sum_{v=1}^{nIN} f5_{tv} \qquad \forall\ t \qquad (12)$$

$$0/5 \times \sum_{t=1}^{nG} f5_{tv} = \sum_{k=1}^{nP} f6_{vk} \qquad \forall\ v \qquad (13)$$

$$0/5 \times \sum_{t=1}^{nG} f5_{tv} = f7_{v} \qquad \forall\ v \qquad (14)$$

$$\sum_{v=1}^{nIN} f6_{vk} = 0/05 \times \sum_{j=1}^{nDC} f2_{kj} \qquad \forall\ k \qquad (15)$$

$$stP_k, stDC_j, stG_t, stIN_v = \{0, 1\} \qquad \forall\ k \qquad (16)$$

$$f1_{sk}, f2_{kj}, f3_{ji}, f4_{it}, f5_{tv}, f6_{vk}, f7_{v} \geq 0 \qquad \forall\ s,k \qquad (17)$$

عبارت (۱) تابع هدف اول را –که مربوط به کمینه‌سازی هزینه کل شبکه لجستیک می‌باشد – مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که این هزینه‌ها شامل هزینه‌های احداث و راه‌اندازی مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری و بازرسی و انهدام، هزینه خرید مواد اولیه، هزینه حمل و نقل کالا بین سطوح مختلف شبکه و هزینه انهدام کالاهای برگشتی غیر قابل اصلاح می‌باشد. همچنین عبارت (۲) تابع هدف دوم مدل می‌باشد که به استفاده متوازن از ظرفیت تسهیلات احداث شده در طول شبکه شامل مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری و بازرسی و انهدام می‌باشد. هدف دوم منجر به کاهش زمان در سرویس‌دهی و برآورده شدن سریع تقاضای مشتریان (افزایش سطح سرویس) می‌شود.

عبارت (۳) نشان‌دهنده محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان در شبکه لجستیک است. عبارت‌های (٤) الی (۷) به‌ترتیب مشخص‌کننده محدودیت ظرفیت مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری و بازرسی و انهدام احداث شده در مدل می‌باشد. محدودیت (۸) برآورده شدن تمام تقاضای مشتریان را تضمین می‌کند. عبارات (۹) الی (۱۵) محدودیت توازن جریان در گره‌های موجود در شبکه می‌باشد (توازن جریان ورودی و خروجی شبکه). محدودیت (۱۱) نشان‌دهنده ده درصد

Archive of SID

www.SID.ir

محصول بازگشتی از مشتری (۱۰ درصد تقاضا) به شبکه لجستیک معکوس می‌باشد. همچنین محدودیت (١٤) مشخص می‌کند که نیمی از محصول بازگشتی (معادل ٥ درصد از کل تقاضای محصول) قابل تعمیر و اصلاح نمی‌باشد و منهدم می‌شود.

عبارت (١٦) مشخص‌کننده متغیرهای صفر و یک به منظور احداث یا عدم احداث مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری و بازرسی و انهدام می‌باشد. همچنین عبارت (۱۷) محدودیت‌های غیر منفی بودن جریان‌های بین سطوح مختلف شبکه لجستیک می‌باشد.

۵- الگوریتم‌های تکاملی استفاده شده

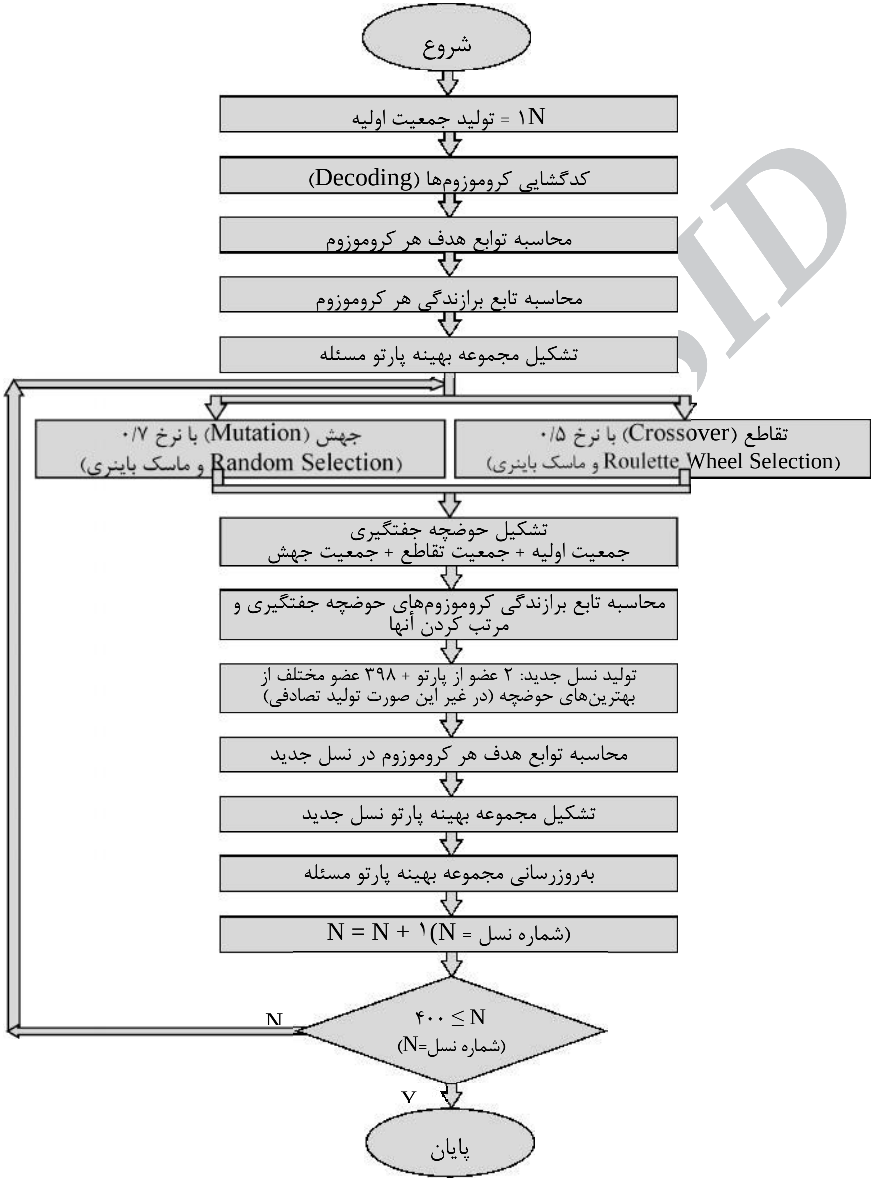
با توجه به اینکه الگوریتم‌های تکاملی بسیاری وجود دارند، پس از بررسی ادبیات موضوع، الگوریتم‌های تکاملی موجود و روش محاسباتی هر یک از آنها و در نظر گرفتن الگوریتم‌های که پیش از این برای این مسئله توسعه یافته‌اند، برای حل مسئله مورد نظر از دو الگوریتم فرا ابتکاری استفاده شده است. اولین الگوریتم، الگوریتم ژنتیک چند هدفه (MOGA) و الگوریتم دوم، الگوریتم ژنتیک با رویکرد مرتب‌سازی غیر مغلوب‌ها (NSGAII) می‌باشد.

در این دو الگوریتم تعداد جمعیت برابر ٤٠٠، نرخ تقاطع و جهش به‌ترتیب برابر ۰/۵ و ۰/۷ است. همچنین زمان اجرا برای هر دو الگوریتم برابر و حدود ۳۷۰۰ ثانیه می‌باشد که برای الگوریتم MOGA معادل ٤٠٠ نسل و الگوریتم NSGAII معادل ۱۰۰ نسل است.

فرایند کامل این دو الگوریتم به صورت فلوچارت در شکل‌های ۳ و ٤ ارائه شده است. در ادامه فرایندهای اصلی استفاده شده در این دو الگوریتم شرح داده می‌شود.

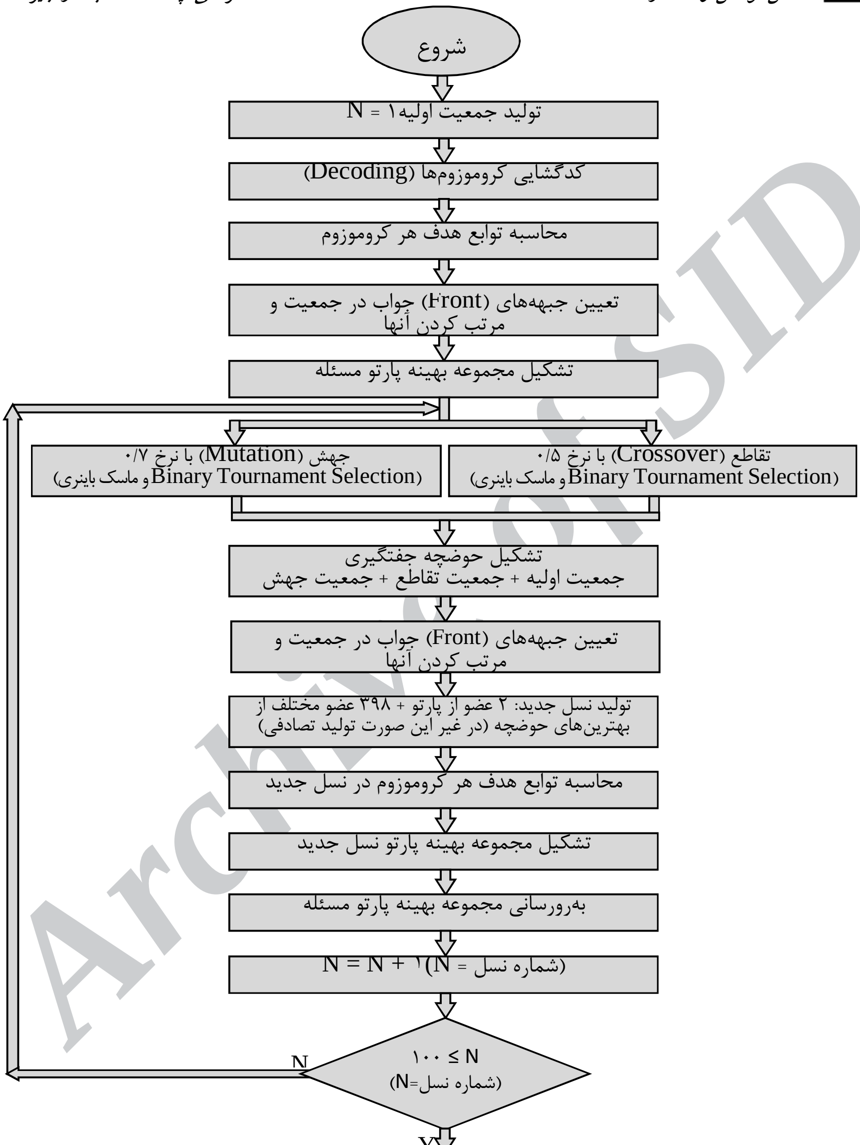
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳ فلوچارت الگوریتم MOGA

www.SID.ir



شکل ۴ فلوچارت الگوریتم NSGAII

Archive of SID
www.SID.ir

۵-۱-کدگذاری جواب

در این مطالعه از کدگذاری براساس اولویت[۱۹] – که بـه‌وسـیله جـن و چنـگ (۲۰۰۰) [۱٤] ایجـاد شد- استفاده شده است. آنها این روش کدگذاری را با موفقیت در مسـئله کوتـاه‌تـرین مسـیر و مسئله برنامه‌ریزی پروژه به کـار گرفتنـد. توسـعه ایـن سـاختار کدگـذاری بـرای طراحـی چنـد محصولی و چند مرحله‌ای شبکه زنجیره تـأمین بـه‌وسـیله آلتیپارمـاک، جـن و لـین (۲۰۰٦) [۲، صص ۱۹۷-۲۱٦] ارائه شد. در این روش، یـک ژن در کرومـوزم بـه‌وسـیله دو عامـل توصـیف می‌شود: محلـی کـه ژن در سـاختار کرومـوزم دارد و ارزشـی کـه یـک ژن دارد. در کدگـذاری براساس اولویت، محل یک ژن برای نشان دادن گره استفاده می‌شـود (منبـع یـا انبـار در شـبکه حمل‌ونقل) و ارزش برای نشان دادن اولویـت گـره متنـاظر در سـاخت درخـت از بـین کاندیـدها استفاده می‌شود [۲، صص۱۹۷-۲۱٦].

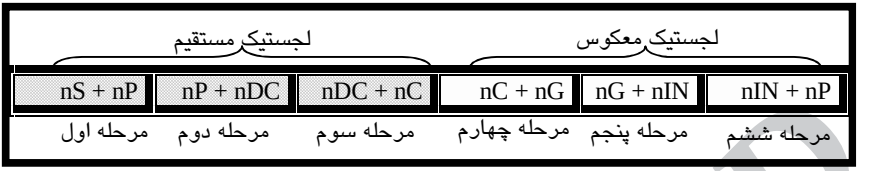
در مسئله حمل‌ونقل، کروموزم شامل اولویت‌های منابع و انبارها برای تعیین درخت حمـل و نقل می‌باشد و طول آن برابر مجموع تعداد منابع (|K|) و انبارها (|J|) است (|J|+|K|).

۵-۲-نمایش کروموزوم

نحوه نمایش یکی از موارد مهم است که بر عملکرد الگوریتم ژنتیک تأثیر می‌گـذرد. یـک راه حـل برای مسئله با فهرستی از پارامترها نشان داده می‌شـود کـه بـه آنهـا کرومـوزوم[۲۰] یـا ژنـوم[۲۱] می‌گویند. کروموزوم‌ها به طـور معمـول بـه صـورت یـک رشـته سـاده از داده‌هـا نمـایش داده می‌شوند.

در الگوریتم ژنتیک چند هدفه مورد نظر برای نمایش کروموزوم‌هـا، از روش نمـایش جـواب کدگذاری به روش اولویت‌محور استفاده می‌شود. بنابراین هر کروموزوم (جـواب) شـامل شـش بخش است که هر بخش نشاندهنده جریان بـین دو سـطح متـوالی در شـبکه لجسـتیک یکپارچـه می‌باشد. بخش‌های اول تا سوم کروموزوم مربوط به فرایند لجستیک مسـتقیم در شـبکه اسـت. بخش‌های چهارم تا ششم کروموزوم مربوط به فرایند لجستیک معکوس در شبکه می‌باشـد. در شکل ۵ نحوه نمایش کروموزوم ارائه شده است.

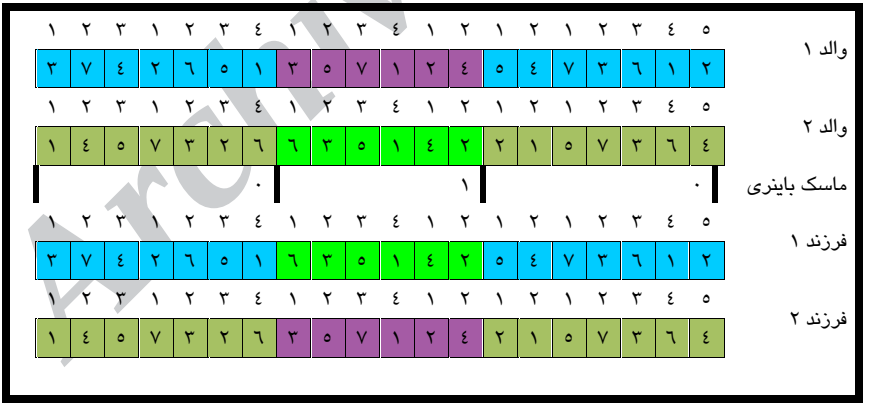
www.SID.ir



شکل ۵ نمایش کروموزوم

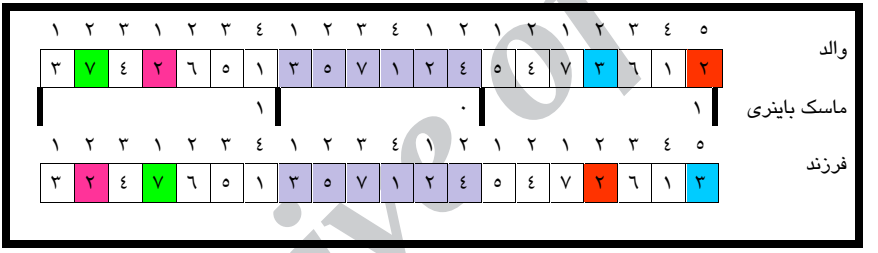
۵-۳-اپراتور تقاطع

اپراتور تقاطع برای کشف فضای جدید جواب عمل می‌کند. این اپراتور جابه‌جایی بخش‌هایی از رشته‌ها بین والدین انتخاب شده را انجام می‌دهد. در الگوریتم MOGA از اپراتور تقاطع براساس انتخاب چرخ رولت[۲۲] بر پایه تقاطع یکسان و در الگوریتم NSGAII از اپراتور تقاطع براساس انتخاب تورنامنت باینری[۲۳] استفاده شده است. در این اپراتور هر بخش فرزند به طور تصادفی و با شانس یکسان از بین بخش‌های والدین انتخاب می‌شود. این اپراتور از ماسک باینری[۲۴] (دوتایی) استفاده می‌کند. در شکل ٦ عملکرد این اپراتور مشخص می‌باشد.



شکل ۶ اپراتور تقاطع

www.SID.ir
Archive of SID

پژوهش‌های مدیریت در ایران ـــ


شکل ۷ اپراتور جهش

۵-۵- مکانیزم انتخاب

در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، جمعیت ابتدایی به صورت تصادفی تولید شده و مجموعه بهینه پارتو به‌وسیله جواب‌های غیر مغلوب در جمعیت اولیه ساخته می‌شود. این مجموعه به‌وسیله افراد جدید به دست آمده به‌وسیله اپراتور ژنتیک در هر نسل به روز می‌شود. در این مطالعه، استراتژی انتخاب $\mu+\lambda$ به عنوان مکانیزم انتخاب به کار گرفته شده است. در این استراتژی μ و λ به‌ترتیب تعداد والدین و فرزندان را که حوضچه جفتگیری در نسل جاری را تشکیل دادند و برای بقا رقابت می‌کنند، نشان می‌دهد. بعد از انتخاب دو فرد به صورت تصادفی از مجموعه بهینه پارتو به عنوان جواب‌های نخبه و قرار دادن در جمعیت، بقیه جمعیت به‌وسیله ۲-μ فرد مختلف از بهترین‌های حوضچه جفتگیری انتخاب می‌شوند. اگر ۲-μ فرد مختلف در حوضچه

Archive of SID
www.SID.ir

جفتگیری وجود نداشت، جای خالی با تولید تصادفی افراد پر می‌شود.

۶- تحلیل نتایج

در این پژوهش به منظور بررسی و مقایسه الگوریتم‌های فرا ابتکاری مورد نظر و بررسی کیفیت جواب‌های به دست آمده از هفت معیار استفاده شده است. این هفت معیار عبارتند از:

۱. **سطح پوشش** (CS): سطح پوشش که به نوعی مهم‌ترین معیار می‌باشد، درواقع نشان‌دهنده نسبت تعداد جواب‌های پارتوی غیر مغلوب یک الگوریتم به تعداد کل جواب‌های پارتوی آن الگوریتم در مقایسه با مجموعه جواب پارتو الگوریتم رقیب می‌باشد. هر چه این معیار بیشتر باشد و به یک نزدیک‌تر شود، کیفیت جواب‌های الگوریتم بالاتر است.

۲. **تعداد جواب پارتو** (NP): این معیار هرچه بیشتر باشد، نشان‌دهنده کیفیت بهتر جواب‌های الگوریتم است. درواقع هر چه تعداد جواب‌های پارتو بیشتر باشد، گزینه‌های بیشتری برای انتخاب در اختیار مدیران قرار می‌دهد و باعث توانمند ساختن تصمیم‌گیرندگان برای ارزیابی تعداد بیشتری از جواب‌های جایگزین[۲۶] می‌شود.

۳. **یکنواختی** (S): این معیار، یکنواختی در پراکندگی جواب‌ها در مجموعه پارتو را نشان می‌دهد. هر چه این مقدار کمتر باشد، پراکندگی جواب‌ها به صورت یکنواخت‌تر بوده و جواب‌ها دارای کیفیت بهتری می‌باشند.

٤. **بیشترین گستردگی** (MD): معیار گسترگی برابر فاصله اقلیدسی بین توابع هدف اولین و آخرین جواب در مجموعه پارتو می‌باشد. هر چه این مقدار بیشتر باشد، کیفیت جواب‌های مجموعه پارتو بهتر می‌باشد.

٥.**متوسط فاصله از نقطه‌ایده‌آل** (MID): این شاخص میانگین فاصله اقلیدسی توابع هدف جواب‌ها را تا مبدأ مشخص می‌کند. از آن جایی که دو تابع هدف کمینه‌سازی می‌باشد، هرچه این متوسط فاصله از نقطه ایده‌آل کمتر باشد، کیفیت جواب‌های پارتو بالاتر است.

٦. **متوسط فاصله از نقطه ایده‌آل اصلاح شده** (MMID): با توجه به اینکه معیار MID به تنهایی نمی‌تواند به خوبی کیفیت یک مجموعه جواب پارتو را نشان دهد، از MMID نیز استفاده شد. همان طور که مشخص است در صورتی که یک مجموعه پارتو گستردگی زیادی داشته

www.SID.ir
Archive of SID

باشد، مقدار MID آن مجموعه بالا خواهد رفت. در MMID برای مقایسه دو مجموعه پارتو، میزان MID دو مجموعه را در یک گستردگی یکسان بررسی می‌کنیم.

۷.**مدت زمان پردازش** (T): برای اینکه بتوانیم کیفیت جواب‌ها و اثربخشی الگوریتم‌ها را با هم مقایسه کنیم، لازم است که مدت زمان پردازش هر دو الگوریتم برابر باشد. به این منظور تعداد نسل در الگوریتم MOGA معادل ٤٠٠ و در الگوریتم NSGAII برابر ۱۰۰ می‌باشد. این تعداد نسل در الگوریتم‌ها به طور متوسط معادل ۳۷۰۰ ثانیه است.

۶-۱- اجرای الگوریتم

در این قسمت به مقایسه عملکرد دو الگوریتم فرا ابتکاری توسعه داده شده، از نظر کیفیت مجموعه جواب‌های بهینه پارتو[27] پرداخته شده است. هر یک از الگوریتم‌ها، روی ۹ نمونه مسئله آزمایشی با اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ، هر کدام به تعداد ٦ بار اجرا شده و پس از هر اجرا، نتایج به دست آمده مربوط به مجموعه بهینه پارتو نهایی و ۷ معیار ارزیابی ثبت شده است. الگوریتم‌ها با استفاده از نرم‌افزار *MATLAB 7.8.0.347 (R2009a)* کدگذاری شده‌اند. مسائل روی کامپیوتر با پردازشگر *Core2 Duo CPU, 1/80GHz* و حافظه اصلی *2/00 GB* و با استفاده از سیستم عامل *Windows 7 Ultimate* اجرا شده‌اند. به منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری دقیق، از روش آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شده است.

در برای ارزیابی و مقایسه معیارها، فرض صفر تساوی و فرض یک عدم تساوی معیار در نتایج به‌دست آمده از دو الگوریتم می‌باشد؛ به عبارت دیگر فرضیه‌ای زیر باید آزمون شود.

$$\begin{cases} H_0: \mu_1(A) = \mu_2(A) & (۱۸) \\ H_1: \mu_1(A) \neq \mu_2(A) & (۱۹) \end{cases}$$

در فرضیه بالا $\mu_1(A)$ میانگین معیار بررسی شده A در الگوریتم اول و $\mu_2(A)$ میانگین همان معیار در الگوریتم دوم می‌باشد. در ادامه به منظور آزمون این فرضیه در تمام معیارها از آماره آزمون t استفاده شده است. سطح پذیرش قابل قبول در این پژوهش α=٪۵ می‌باشد. به عبارت دیگر مقدار *P- Value* بالاتر از ۵ درصد باعث رد شدن فرض H_0 می‌شود.

برای محاسبه *P-Value* در همه معیار (به غیر از CS و MMID) به علت اینکه تعداد داده‌ها (٥٤ داده) بیش از ۳۰ می‌باشد، از توزیع نرمال[28] و در معیارهای CS و MMID به علت

www.SID.ir

اینکه تعداد داده‌ها (۹ داده) کمتر از ۳۰ می‌باشد، از توزیع T[۲۹] استفاده شده است.

۶-۲-نتایج حاصل از اجرا

وضعیت دو الگوریتم در ارتباط با ۷ معیار بررسی شده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ مقایسه دو الگوریتم MOGA و NSGAII

ردیف	معیار	*P-Value*	الگوریتم برتر
۱	سطح پوشش (CS)	۰٪	NSGAII
۲	تعداد جواب پارتو (NP)	۰٪	NSGAII
۳	یکنواختی (S)	۰٪	NSGAII
٤	بیشترین گستردگی (MD)	۹٪	–
٥	متوسط فاصله از نقطه ایده‌آل (MID)	۲٪	MOGA
٦	متوسط فاصله از نقطه ایده‌آل اصلاح شده (MMID)	۹٦٪	–
۷	مدت زمان پردازش	۱۷٪	–

براساس جدول بالا الگوریتم NSGAII در معیارهای سطح پوشش، تعداد جواب پارتو و یکنواختی نسبت الگوریتم MOGA برتری معناداری دارد، در حالی که الگوریتم MOGA تنها در معیار MID دارای برتری است و این برتری در معیار MMID دیده نمی‌شود. از این رو با توجه به اهمیت بالای معیارهای سطح پوشش، تعداد جواب پارتو و یکنواختی و در نظر داشتن این موضوع که معیار MID به تنهایی قادر تعیین کیفیت جواب‌ها نمی‌باشد و همچنین عدم تفاوت معنادار در معیار MMID بین دو الگوریتم، در نتیجه برتری الگوریتم NSGAII در طراحی شبکه لجستیک یکپارچه دو هدفه مشخص می‌باشد. همچنین الگوریتم NSGAII با توجه به ارائه تعداد بالای جواب‌های جایگزین، باعث توانمند ساختن مدیران در اتخاذ تصمیم‌ها و برنامه‌ریزی بلندمدت جهت افزایش بهره‌وری شبکه لجستیک می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

۷-پیشنهاد برای تحقیقات آینده

با توجه به مطالب ذکر شده، در تحقیقات **آینده** می‌توان حوزه‌های گسترش مدل مسئله و رویکرد حل مسئله مورد توجه قرار گیرند. حوزه گسترش مدل مسئله شامل آن دسته از موضوعاتی است که به عنوان فرضیه در این تحقیق در نظر گرفته شده است و رویکرد حل مسئله شامل توسعه و یا ترکیب الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگر می‌باشد، از جمله:

- توسعه مدل‌های طراحی یکپارچه چند هدفه برای شبکه‌های چند محصولی[۳۰].
- در نظر گرفتن اهدافی مانند میزان پایداری شبکه می‌تواند مفید باشد.
- در نظر گرفتن عدم قطعیت به صورت فازی و احتمالی برای ورودی‌های مدل
- در کنار توابع هدف مطرح شده، تابع هدف دیگری مثل مینیمم کردن تابع جریمه[۳۱] تصمیم‌ها را می‌توان همراه با مقادیر غیرقطعی تقاضا در نظر گرفت.
- به‌کارگیری الگوریتم‌های دیگری مثل جستجوی ممنوع[۳۲]، جستجوی پراکنده[۳۳]، الگوریتم جستجوی مبتنی بر همسایگی متغیر[۳٤] و یا الگوریتم ممتیک[۳۵] می‌تواند مفید باشد.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Reverse Logistics (RL)
2. Closed Loop Supply Chain (CLSC)
3. Robustness
4. Beer Game
5. Taguchi
6. MCDM: Multiple Criteria Decision Making
7. SMART: Simple Multiple Attribute Rating Technology
8. TOPSIS: Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution
9. GRA: Grey Relational Analysis
10. Revers Logistic Network Design
11. Mixed Integer Linear Programming
12. Kannan
13. Wang
14. Hsu
15. Spanning Tree
16. Determinant Encoding Representation
17. Integrated Forward/Reverse Logistics Network (IFRLN)
18. Mixed Integer Nonlinear Programming

Archive of SID

www.SID.ir

19. Priority-Based Encoding
20. Chromosome
21. Genome
22. Roulette Wheel Selection
23. Binary Tournament Selection
24. Binary Mask
25. Random Selection
26. Alternative Solution
27. Pareto Optimal Solution
28. Normal Distribution
29. T Distribution
30. Multi Commodity
31. Penalty
32. Tabu Search
33. Scatter Search
34. Variable Neighborhood Search
35. Memetic

۹- منابع

[1] Sabri E.H., Beamon B.M.; "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design"; *Omega*, Vol. 28, 2000, pp.581–598.

[2] Altiparmak F., Gen M., Lin L., Paksoy T.; "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks"; *Computers and Industrial Engineering*, 2006, Vol. 51, pp.197–216.

[3] Christopher M.; "Logistics and Supply Chain Management"; FT Prentice Hall, London, 2005.

[4] Pishvaee M., Kianfar K., Karimi B.; "Reverse logistics network design using simulated annealing"; *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 47, 2010, pp. 269-281.

[5] Salema M. I., Barbosa-Póvoa A. P., Novais A.Q.; "A strategic and tactical model for closed-loop supply chains"; *Estoril*, Portugal: EURO Winter Institute on Location and Logistics, 2007, pp.361–386.

[6] Chopra S.; "Designing the distribution network in a supply chain"; *Transport Res*

Archive of SID

www.SID.ir

Part E, Vol. 39, 2003, pp.123–140.

[7] Javanmard H.; "Logistics management of integration supply process"; *Virayesh Publication*, Tehran: 2004.

[8] Yang T., Wen Y.F., Wang F.F.; "Evaluation of robustness of supply chain information-sharing strategies using a hybrid taguchi and Multiple-criteria decision making method"; *International Journal of Production Economics*, Vol. 134, 2011, pp.458–466.

[9] Chensebli A., Zandieh M.; "Reverse logistics network design Using water-flow like algorithm"; MSc. thesis, Department of Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, 2011.

[10] Kannan G., Sasikumar P., Devika K.; "A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling"; *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 34, 2010, pp.655–670

[11] Wang H.F., Hsu H.W.; "A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm"; *Computers & Operations Research*, Vol. 37, 2010, pp.376–389

[12] ghojavad H., Zandieh M.; "Using metaheuristic algorithms in the Integration Model of Goods Distribution Logistics Network"; *MS Thesis, Faculty of Management*, Shahid Beheshti University, Tehran: 2011.

[13] Yadegari E., Zandieh M.; "Using metaheuristic algorithms in the Closed-loop Network Design Model"; MSc. thesis, Faculty of Management, Shahid Beheshti University, Tehran: 2011.

[14] Gen M., Cheng R.; "Genetic Algorithms and Engineering Optimization"; Wiley, NewYork, 2000.

Archive of SID

www.SID.ir