نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

IERPS نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال چهارم، شماره هشتم، پاییز و زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۱۴۷-۱۶۳

www.ier.basu.ac.ir

ارائه الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب جهت حل مدل دو هدفه مسأله‌ی حمل‌ونقل- مکان‌یابی- مسیریابی با در نظر گرفتن تقاضای غیرقطعی

محبوبه هنرور[1,*]، مهدی خلیلی[2]

۱. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد.

۲. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۳/۰۷/۱۰

پذیرش ۱۳۹۵/۱۰/۲۷

کلمات کلیدی:

مسأله‌ی حمل‌ونقل- مکان یابی- مسیریابی چند محصولی

برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای

الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب

روش محدودیت اپسیلون

خلاصه

مدیریت مؤثر عملیات توزیع و پخش کالاهای تولیدی نقش بسیار مهمی را در موفقیت و افزایش سطح رقابت یک سازمان تولیدی ایفا می‌کند. مسأله‌ی مکان‌یابی- مسیریابی، مسأله‌ای است که در آن دو موضوع تعیین مراکز توزیع محصول و تشکیل مسیرهای وسایل نقلیه به صورت همزمان در نظر گرفته شده است. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی دومرحله‌ای و یک روش حل فرا ابتکاری برای مسأله‌ی حمل‌ونقل- مکان‌یابی- مسیریابی ارائه شده است. مشتری‌ها امکان سفارش محصولات متفاوت را دارند. محصولات مختلف می‌بایست از مراکز توزیع اصلی با ظرفیت محدود به مراکز توزیع فرعی باز شده منتقل شوند و از آنجا بین مشتری‌ها توزیع شوند. مسأله‌ی مذکور با دو هدف کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم و بیشینه‌سازی تقاضای برآورده شده‌ی مشتری‌ها یا به عبارت دیگر ماکزیمم نمودن میزان کل تقاضای ارسالی به مشتریان توسعه داده شده است. به دلیل پیچیدگی بالای این مسأله از نسخه‌ی دوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب برای حل آن استفاده می‌شود. پارامترهای اولیه این الگوریتم با روش تاگوچی تنظیم می‌شوند. نتایج محاسباتی نشان‌دهنده‌ی کارایی روش حل پیشنهادی برای حل مسائل در ابعاد مختلف است.

۱- مقدمه

موضوع طراحی و تحلیل شبکه‌های توزیع یکی از تصمیمات حیاتی هر سازمان است. دلیل اهمیت این موضوع این است که هزینه‌های توزیع جزء یکی از عمده‌ترین هزینه‌های هر سازمان به شمار می‌رود. یکی از جنبه‌های مهم طراحی شبکه‌های توزیع تعیین مکان تسهیلاتی مانند انبارها، مراکز توزیع و غیره است. مدل‌های کلاسیک مکان‌یابی تسهیلات فرض می‌کنند که از هر تسهیل به هر مشتری (مشتری،خرده‌فروش و غیره) به شکل مستقیم و با هزینه‌ی مشخصی خدمت‌رسانی کرده و به همان تسهیل برمی‌گردیم. در عمل، این حالت برای مواردی مناسب است که تقاضای هر مشتری به اندازه‌ی ظرفیت یک وسیله‌ی نقلیه باشد. درحالی‌که در بسیاری از کاربردهای واقعی تقاضای مشتری‌ها کمتر از ظرفیت وسیله‌ی نقلیه است و چندین مشتری از یک مسیر مشترک خدمت می‌بینند و هزینه‌های توزیع وابسته به ترتیب خدمت‌رسانی به مشتری‌ها در هر مسیر می‌باشد. در این حالت برای اعمال صحیح هزینه‌های توزیع بر مدل‌های مکان‌یابی، باید مسائل مکان‌یابی و مسیریابی همزمان حل شوند [۱]. مسأله‌ی مکان‌یابی- مسیریابی Location-Routing Problem (LRP) مبحث نسبتاً جدیدی است که از ترکیب دو مؤلفه‌ی اصلی سیستم لجستیک یعنی مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی وسایل نقلیه به وجود آمده است. اهمیت تلفیق این دو مسأله از آنجا مشخص می‌شود که بهینه‌سازی جداگانه‌ی دو مسأله‌ی مکان‌یابی و مسیریابی لزوماً منجر به بهینگی مسأله‌ی LRP نخواهد شد [۲]. شرایط معمول مسأله LRP بدین صورت است که مکان‌های کاندیدا برای استقرار انبارها (مراکز توزیع جزئی) معین

* نویسنده مسئول. محبوبه هنرور

تلفن: ۰۳۵-۳۱۲۳۲۳۴۵؛ پست الکترونیکی: mhonarvar@yazd.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

هستند. تعدادی مشتری نیز در نقاط مشخص مستقر هستند که آماده‌ی دریافت خدمت (محصول) از انبارها هستند. کار خدمت‌رسانی به مشتری‌ها توسط ناوگانی از وسایل نقلیه صورت می‌گیرد که موظفند تور خود را از انبار آغاز نموده و بعد از تحویل محصول یا ارائه خدمات به مشتری‌ها، به همان انبار بازگردند.

ایده‌ی ترکیب مکان‌یابی انبار و مسیریابی وسایل نقلیه به حدود ۵۰ سال قبل برمی‌گردد. در آن زمان وابستگی این دو مسأله به یکدیگر مشخص شده اما بهینه‌سازی و محاسبات کامپیوتری برای مواجه شدن با مسأله‌ی ترکیبی به اندازه کافی توسعه نیافته بود [۳]. برای اولین بار، مارانزانا [۴] در پژوهش خود عنوان نمود که مکان‌یابی کارخانه‌ها، انبارها و در حالت کلی نقاط عرضه‌ای که بایستی به مشتریان سرویس‌رسانی کنند، معمولاً تحت تأثیر هزینه‌های حمل‌ونقل قرار می‌گیرد. سپس صالحی و رند [۲] با تعدادی مسأله استاندارد، اثرات نادیده گرفتن تورهای وسایل نقلیه هنگام مکان‌یابی انبارها را نشان دادند. در واقع آن‌ها در نمونه مسائل مربوطه نشان دادند که اگر دو فاز مکان‌یابی و مسیریابی مستقل از یکدیگر انجام شوند، هزینه‌های مربوطه از حالتی که این دو فاز (با بازخورد اطلاعات به یکدیگر) به‌صورت هم‌زمان حل شوند، بیشتر خواهد بود. LRP کاربردهای متنوعی در بسیاری از مسائل واقعی از قبیل توزیع محصولات و مواد غذایی [۵]، تحویل روزنامه و مرسولات پستی [۶]، کاربردهای نظامی [۷]، امدادرسانی در مواقع اضطراری [۸]، جمع‌آوری زباله [۹] و بسیاری از موارد دیگر دارد. مروری بر کارهای انجام شده در زمینه‌ی LRP و کاربردهای آن را می‌توان در ناجی و صالحی [۱۰] و پرودهون و پرینس [۱۱] مشاهده کرد.

در این مقاله مسأله‌ی حمل‌ونقل- مکان‌یابی- مسیریابی[1] که بسطی از مسأله‌ی LRP دو رده‌ای[2] است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرض می‌شود که محصولات ابتدا به صورت مستقیم از کارخانه‌ها (مراکز توزیع اصلی) به انبارها (مراکز توزیع فرعی) باز شده انتقال‌یافته و سپس از انبارهای باز شده به مشتری‌ها منتقل می‌شوند (هر وسیله نقلیه یک انبار را ترک می‌کند، به مجموعه‌ای از مشتری‌ها خدمت می‌دهد و مجدداً به همان انبار برمی‌گردد). انبارها و وسایل نقلیه مورد استفاده برای خدمت‌رسانی به مشتری‌ها ظرفیت محدودی دارند که سبب می‌شود انتقال تمامی محصولات از یک انبار و با یک وسیله‌ی نقلیه به مشتری‌ها امکان‌پذیر نباشد.

در اکثر پژوهش‌های موجود در ادبیات LRP فرض شده است که داده‌های مسأله قطعی و در دسترس بوده و در آینده دچار تغییر نخواهد شد. این امر سبب ایجاد جواب‌هایی برای مسأله می‌گردد که ممکن است بهینه نبوده و لذا هزینه‌های زیادی را در آینده تحمیل سیستم نمایند. در مدل‌های برنامه‌ریزی احتمالی برخی از پارامترها غیرقطعی هستند و هریک از این پارامترهای غیرقطعی به صورت یک متغیر تصادفی در مدل برنامه‌ریزی لحاظ می‌گردد. توزیع احتمال هر یک از این متغیرهای تصادفی مفروض است و پس از معرفی مجموعه سناریوها، احتمال وقوع هر سناریو به کمک آن‌ها مشخص می‌گردد. یکی از مهمترین مدل‌های برنامه-ریزی احتمالی، مدل برنامه‌ریزی احتمالی دو مرحله‌ای[3] است که در آنها برخی از تصمیمات یا اقدامات بعد از رفع عدم قطعیت داده‌ها آشکار می‌شوند و مجموعه تصمیمات به دو گروه تقسیم می‌شوند [۱۲]:

۱- آن دسته از تصمیماتی که قبل از دریافت اطلاعات کامل باید اتخاذ گردند، تصمیمات مرحله‌ی اول[4] و دوره‌ای که در آن این تصمیمات اتخاذ می‌شود، مرحله اول نامیده می‌شوند.

۲- آن دسته از تصمیماتی که بعد از دریافت اطلاعات کامل باید اتخاذ گردند، تصمیمات مرحله‌ی دوم[5] و دوره‌ای که در آن این تصمیمات اتخاذ می‌شود، مرحله دوم نامیده می‌شوند. این نوع تصمیمات هم به تصمیمات اتخاذ شده در مرحله‌ی اول و هم به سناریوهای مختلفی که رخ داده است، وابسته می‌باشد.

برای اولین بار لاپورته و همکاران [۱۳] در سال ۱۹۸۹ مسأله LRP در حالت احتمالی را مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها مسأله مربوطه را مدل‌سازی کرده و یک حل دقیق برای ابعاد کوچک ارائه نموده‌اند. مت و زابینسکی [۱۴] از روش برنامه‌ریزی تصادفی برای ذخیره‌سازی و توزیع تجهیزات پزشکی در شرایط بحرانی مختلف استفاده کردند و مدلی برای انتخاب محل ذخیره‌سازی تجهیزات پزشکی و سطوح موجودی مورد نیاز برای هر نوع تجهیز پزشکی توسعه داده‌اند. با توجه به حوادث مورد انتظار و شدت آن‌ها، مدل مورد بررسی در مرحله‌ی اول سیاست بهینه‌ی انتخاب انبارها و سطح موجودی هر یک و در مرحله دوم مجموعه‌ای از تصمیمات و اقدامات (recourse) در مورد برنامه‌های حمل‌ونقل برای سناریوهای مختلف مربوط به حادثه را تعیین می‌کند.

مسأله LRP، یک مسأله ناچندجمله‌ای سخت است (یکی مربوط به مسأله مکان‌یابی و دیگری مسأله مسیریابی وسیله نقلیه)، یعنی زمان حل مسأله با زیاد شدن تعداد مشتری‌ها و انبارهای کاندید از تابع چندجمله‌ای[6] پیروی نمی‌کند. بنابراین حل مسأله در ابعاد بزرگ با روش‌های دقیق، سخت و تقریباً غیرممکن است [۱۵]. به همین سبب از روش‌های ابتکاری و فرابتکاری برای حل مسأله در ابعاد بزرگ استفاده می‌شود. تحقیقات اندکی به حل این مسأله با روش های دقیق و ارائه حد پایین پرداختند. به عنوان مثال کار لاپورته و نوبرت [۱۶] جزء اولین تلاش‌ها برای حل LRP بود که یک روش شاخه و کران برای حل مسأله در حالتی که فقط یک انبار باید باز شود، ارائه دادند. البرداو همکاران [۱۷] دو حد پایین برای LRP با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت برای انبارها و لحاظ نکردن محدودیت ظرفیت برای وسایل نقلیه (هر انباری که باز می‌شود یک مسیر دارد) به دست آوردند. اخیراً بلنگر و همکاران [۱۸] از الگوریتم شاخه و

1. Transportation Location Routing Problem (TLRP)
2. Two-echelon location-routing problem(LRP-2E)

3. Two-stage stochastic programming
4. First Stage Decisions
5. Second Stage Decision
6. Non-polynomial deterministic

Archive of SID

www.SID.ir

کران برای حل این مسأله استفاده کردند. راه حل مورد استفاده توسط بالداکی و همکاران [۱۹] LRP را به مجموعه محدودی از مسأله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه چند انباره تجزیه کرده و بر اساس روش برنامه‌ریزی پویا حد پایین مناسبی به دست آورد. مسائلی با ۲۰۰ مشتری و بین ۱۰ تا ۱۴ انبار با روش اخیر قابل حل می‌باشد. دربل و همکاران [۲۰] مسأله با چندین انبار ظرفیت‌دار و یک وسیله‌ی نقلیه بدون محدودیت ظرفیت برای هر انبار را در نظر گرفتند و به منظور پیدا کردن جواب مؤثر برای تصمیمات همزمان مکان‌یابی و مسیریابی از ترکیب الگوریتم ژنتیک و جستجوی محلی تکرارشونده[1] استفاده کردند. در واقع ایده‌ی اصلی ترکیب این دو الگوریتم بهبود جواب‌های حاصل از الگوریتم ژنتیک با استفاده از ILS است. ستاک و همکاران [۲۱] مساله مکان یابی- مسیریابی چند دپویی ظرفیت دار با برداشت و تحویل همزمان و بارهای برش یافته را مورد بررسی قرار دادند و دو روش فراابتکاری برای حل مساله پیشنهاد داده‌اند. الگوریتم پیشنهادی اول مبتنی بر الگوریتم ژنتیک پیوسته و گسسته و الگوریتم دوم بر اساس ترکیب دو روش ژنتیک گسسته و الگوریتم تجمعی ذرات می‌باشد. تحلیل نتایج آزمایشات در این مقاله نشان‌دهنده کارایی بیشتر اروش دوم می‌باشد. جعفری و صادقی [۲۲] از الگوریتم‌های جستجوی ممنوع و انجماد تدریجی برای حل مسئله مکانیابی- مسیریابی چندبخشی باز استفاده کردند و با استفاده از مثال‌های عددی برتری الگوریتم انجماد تدریجی نسبت به الگوریتم جستجوی ممنوع را نشان داده‌اند. حسینی و خلجی [۲۳] از الگوریتم مورچگان برای حل مسئله مکان‌یابی- مسیریابی با در نظر گرفتن ظرفیت و تنوع وسایل نقلیه استفاده کردند.

همواره بهینه‌سازی بر مبنای هزینه یا سود همراه با محدودیت‌های ظرفیت، بیشترین کاربرد را برای طراحی شبکه تأمین داشته است. با این وجود، در مدیریت استراتژیک زنجیره‌ی تأمین دیدگاه جامع‌تری مورد نیاز است که اهدافی همچون قابلیت اطمینان، انعطاف-پذیری، زمان حمل‌ونقل و غیره را نیز در برگیرد. لونگ و همکاران [۲۴] یک مسأله‌ی مکان‌یابی-مسیریابی برای کارخانه اتانول صنعتی در شمال شرقی تایلند را با سه هدف کمینه کردن هزینه‌های احداث و حمل‌ونقل، کمینه کردن مقدار گازهای گلخانه‌ای ساطع شده از فرآیندهای حمل‌ونقل و تولید اتانول و حداقل-سازی ریسک‌های اجتماعی در نظر گرفتند و مسأله‌ی چندهدفه را با تبدیل واحد اهداف به واحد مالی به یک مسأله‌ی تک هدفه تبدیل کردند. سپس مسأله مورد نظر با استفاده از دو الگوریتم فراابتکاری ILS و جستجوی همسایگی متغیر[2] بر روی سه مثال با اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ حل شده است. نتایج محاسباتی نشان‌دهنده‌ی سرعت محاسباتی و دقت بالاتر الگوریتم VNS نسبت به الگوریتم ILS برای حل ابعاد مختلف مسأله است. مارتینز و همکاران [۲۵] مدل TLRP با دو هدف حداقل کردن هزینه‌های توزیع و متعادل شدن حجم کاری برای وسایل نقلیه در مرحله‌ی مسیریابی را توسعه دادند و مدل پیشنهادی را با دو الگوریتم فراابتکاری جستجوی ممنوعه‌ی پراکنده برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه غیرخطی[3] و نسخه‌ی دوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب[4] حل کردند.

در این تحقیق با فرض اینکه الزامی برای خدمت‌دهی به تمامی مشتری‌ها وجود ندارد، یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی دومرحله‌ای در حالت دو هدفه و چندمحصولی برای مسأله‌ی حمل‌ونقل- مکان‌یابی - مسیریابی با تقاضای غیرقطعی ارائه شده است که در آن هدف اول به کمینه کردن هزینه‌های کلی سیستم حمل‌ونقل و هدف دوم به بیشینه‌سازی تقاضای خدمت داده شده می‌پردازد. در واقع در این مدل دو هدفه، دو تابع هدف داریم که در خلاف جهت هم عمل می کنند و مدل ارائه شده تلاش می‌کند تا توازنی میان هزینه‌های کلی سیستم و میزان تقاضای پوشش داده شده، برقرار کند. برای حل مسأله مطرح شده، روش‌هایی از دو طیف متفاوت مورد استفاده قرار گرفته است. نخستین روش حل مورد استفاده، روش محدودیت اپسیلون می‌باشد. این روش سعی می-کند که با لحاظ کردن تمایلات تصمیم‌گیرنده و گنجاندن آن در روش حل و با رویکردهای مشخصی مسأله‌ی چندهدفه را به یک مسأله‌ی تک‌هدفه تبدیل کرده و به حل آن بپردازد. دومین روش حل مورد استفاده، الگوریتم NSGA-II می‌باشد. این الگوریتم تکاملی در گروه روش‌های برخورد مستقیم برای حل مسائل چندهدفه جای می‌گیرد. روش‌های برخورد مستقیم نسبت به روش‌های کلاسیک برای حل مسائل چندهدفه از این جهت برتری دارند که این روش‌ها مسأله بهینه‌سازی چندهدفه را واقعاً به صورت چندهدفه حل می‌نمایند و در هر بار اجرا مجموعه‌ای از جواب‌ها را به دست می‌آورند.

ساختار ادامه این مقاله به این صورت است که ابتدا در بخش دوم، به تعریف پارامترها و متغیرها پرداخته و بر اساس آن مدل برنامه-ریزی احتمالی دومرحله‌ای تشریح می‌گردد. در بخش سوم جزییات ارائه شده در مورد روش حل بیان گردیده است. در بخش چهارم برای آزمایش و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، از تست‌های کامپیوتری استفاده شده و در نهایت بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی اختصاص می‌یابد.

۲- مدلسازی و تعریف مسأله

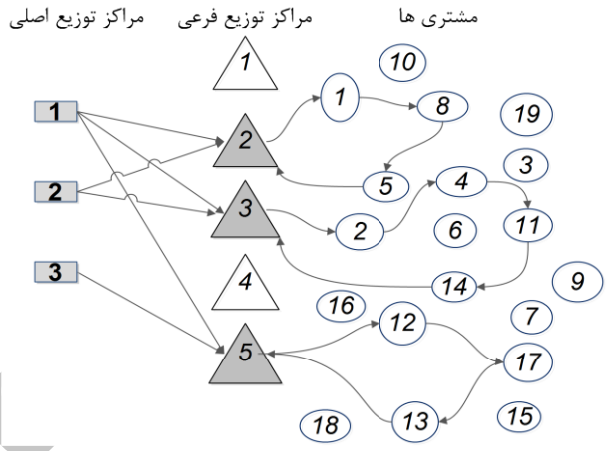
مدل حمل‌ونقل-مکان‌یابی-مسیریابی به این صورت توصیف می‌شود: مجموعه‌ای از مشتری‌ها با تقاضای مشخص را در نظر بگیرید که تقاضای مشتری i ام از محصول a ام و برای سناریوی ω برابر با $d_{ia}(\omega)$ واحد است. تقاضای تعدادی از مشتری‌ها باید از طریق مراکز توزیع واسطه (انبارها) برآورده شوند. اگر به مشتری خاصی خدمت داده شود باید تقاضای آن مشتری از تمامی کالاهای درخواستی آن مشتری را کاملاً برآورده کرد. کالاها ابتدا از مراکز

1. Iterative local search(ILS)
2. Variable neighborhood search (VNS)
3. Non-Linear Scatter Tabu Search Procedure
4. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)

Archive of SID

www.SID.ir

توزیع اصلی (کارخانه‌ها) به انبارهای باز شده، منتقل شده و سپس از آنجا بین مشتری‌ها توزیع می‌شوند. هر مرکز توزیع اصلی p ام حداکثر می‌تواند e_{pa} واحد از محصول a ام عرضه کند. تعدادی مکان برای احداث انبارها کاندیدا هستند که هر مکان j، هزینه‌ی ثابت باز شدن f_j و ظرفیتی به‌اندازه‌ی b_{ja} برای محصول a ام دارد. نمونه‌ای از مسأله‌ی مورد نظر در شکل (۱) نشان داده شده است. مسأله به دو سطح توزیع که از طریق انبارها با یکدیگر ارتباط دارند، تقسیم می‌شود. سطح اول، سطح حمل‌ونقل نامیده می‌شود و نشان‌دهنده‌ی انتقال محصولات از مراکز توزیع اصلی به انبارهای باز شده است. سطح دوم، سطح مسیریابی نامیده می‌شود و نشان‌دهنده‌ی انتقال محصولات از انبارهای باز شده به مشتری‌هاست.



شکل (۱): توصیفی از مسأله‌ی مورد نظر

با توجه به تصمیم‌گیری ایستا در مدل، تصمیم‌گیری در مدل به دو مرحله تقسیم‌بندی می‌شود: تصمیمات مرحله‌ی نخست که قبل از به وقوع پیوستن تقاضا و مشخص شدن آن و با توجه به مقادیر احتمال آن در آینده اتخاذ می‌شوند و شامل تعیین مراکز توزیعی که باید احداث شوند و تخصیص تعدادی مشتری به مراکز باز شده می باشد و تصمیم‌های مرحله‌ی دوم که بعد از به وقوع پیوستن تقاضا و به ازای مقادیر مشخص تقاضا اتخاذ می‌شوند و شامل تعیین مقدار قابل انتقال از هر محصول از کارخانه‌ها به مراکز احداث شده و تعیین مسیر عبوری وسایل نقلیه در مرحله‌ی مسیریابی می‌باشد.

سایر مفروضات مسأله به صورت زیر ارائه می‌شوند:

فرض می‌شود استراتژی سازمان به‌گونه‌ای است که اگر انباری باز شد و مشتری‌هایی به آن تخصیص داده شدند. این مشتری‌ها با تغییر سناریوها از طریق همان انبار خدمت داده می‌شوند.

هر مشتری تقاضای مشخصی از هر محصول دارد به طوری که مقادیر تقاضای هر مشتری از هر محصول با توجه به سناریوهای مختلفی که اتفاق می‌افتد، متغیر است.

حمل‌ونقل صورت گرفته بین مراکز توزیع اصلی و انبارها، انبارها و مشتری‌ها و مشتری‌ها با یکدیگر دارای هزینه مشخصی می‌باشد.

خدمت‌دهی به برخی از مشتری‌ها می‌تواند صورت نگیرد. اما اگر به مشتری خاصی خدمت داده شود، باید نیاز آن مشتری از تمامی محصولات درخواستی آن مشتری را کاملاً برآورده کرد.

فضای مسأله به صورت گسسته در نظر گرفته می‌شود و مختصات مشتری‌ها و کارخانه‌ها، موقعیت‌های مشخص و ثابتی دارند.

محل احداث انبارها از بین تعدادی نقاط کاندید در فضای گسسته انتخاب می‌شود.

تعداد انبارهای کاندید و مکان استقرار آن‌ها در ابتدای افق برنامه‌ریزی مشخص است.

وسایل نقلیه ناهمگن و دارای ظرفیت‌های محدودی هستند.

امکان حمل‌ونقل وسایل نقلیه بین انبارها وجود ندارد.

بر اساس فرضیات مطرح‌شده، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مسأله به صورت زیر تعریف می‌شوند:

۲-۱- معرفی اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل

مجموعه‌ها:

P: مجموعه کارخانه‌های موجود $p \in P$

J: مجموعه مکان‌های بالقوه برای احداث انبار $j \in J$

I: مجموعه مشتری‌ها $i \in I$

A: مجموعه برای کالاها $a \in A$

K: مجموعه برای وسایل نقلیه $k \in K$

Ω: مجموعه برای سناریوهای ممکن $\omega \in \Omega$

پارامترها:

b_{ja}: ظرفیت انبار j ام برای محصول a ام

f_j: هزینه‌ی ثابت احداث انبار j ام

$p(\omega)$: احتمال سناریوی ω

$d_{ia}(\omega)$: تقاضای مشتری i ام از محصول a ام برای سناریوی ω

Q_k: ظرفیت وسیله نقلیه k به واحد حجم

v_a: حجم هر قلم کالای a به صورت بسته‌بندی شده

e_{pa}: ظرفیت عرضه کارخانه p ام از محصول a ام

τ_{ij}: فاصله‌ی سفر از مشتری یا انبار i به مشتری یا انبار j

T: حداکثر مسافت قابل طی توسط وسایل نقلیه در مرحله‌ی مسیریابی

c_{ij}: هزینه‌ی سفر از مشتری یا انبار i به مشتری یا انبار j

c_{pja}: هزینه‌ی واحد فرستادن محصول a ام از کارخانه p ام به انبار jام

N: تعداد گره مشتری‌ها

متغیرهای تصمیم:

متغیرهای تصمیم مربوط به مرحله‌ی اول

y_j: متغیر صفر و یک عدم احداث یا احداث یک انبار در مکان بالقوه انبار jام

z_{ij}: متغیر صفر و یک عدم تخصیص یا تخصیص مشتری i ام به انبار jام

Archive of SID

www.SID.ir

متغیرهای تصمیم مربوط به مرحله‌ی دوم

$w_{pja}(\omega)$: مقدار محصول a ام قابل انتقال از کارخانه p به انبار j برای سناریوی ω.

$x_{ijk}(\omega)$: متغیر صفر و یک گذشتن یا نگذشتن مسیر وسیله‌ی نقلیه‌ی k ام از گره i ام به گره j ام برای سناریوی ω

$u_{ik}(\omega)$: متغیر کمکی برای حذف زیر تورهای مسیر وسیله نقلیه k

مدل برنامه‌ریزی دومرحله‌ای ارائه شده به صورت زیر خواهد بود:

$$Min\ Z_1 = \sum_{j\in J} f_j y_j + \sum_{\omega\in\Omega} p(\omega)\left[\sum_{p\in P}\sum_{j\in J}\sum_{a\in A} c_{pja}.w_{pja}(\omega) + \sum_{i\in I\cup J}\sum_{j\in I\cup J}\sum_{K\in K} c_{ij}x_{ijk}(\omega)\right] \quad (۱)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{\omega\in\Omega} p(\omega)\left[\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{a\in A} d_{ia}(\omega)Z_{ij}\right] \quad (۲)$$

مقید به محدودیت‌های:

$$\sum_{j\in J} w_{pja}(\omega) \le e_{pa} \qquad \forall\, p\in p, a\in A, \omega\in\Omega \quad (۳)$$

$$\sum_{p\in P} w_{pja}(\omega) \le b_{ja}y_j \qquad \forall\, j\in J, a\in A, \omega\in\Omega \quad (۴)$$

$$\sum_{p\in P} w_{pja}(\omega) = \sum_{i\in I} d_{ia}.z_{ij} \qquad \forall a\in A, j\in J, \omega\in\Omega \quad (۵)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{j\in I\cup J} x_{jik}(\omega) \le 1 \qquad \forall i\in I, \omega\in\Omega \quad (۶)$$

$$\sum_{\substack{j\in I\cup J\\ j\ne i}} x_{ijk}(\omega) - \sum_{\substack{j\in I\cup J\\ j\ne i}} x_{ijk}(\omega) = 0 \qquad \forall k\in K, i \in I\cup J, \omega\in\Omega \quad (۷)$$

$$\sum_{j\in I\cup J}\sum_{i\in I}\sum_{a\in A} d_{ia}(\omega).v_a.x_{ijk}(\omega) \le Q_k\ \forall k\in K, \omega\in\Omega \quad (۸)$$

$$\sum_{i\in I\cup J}\sum_{\substack{j\in I\cup J\\ i\ne j}} \tau_{ij}\, x_{ijk}(\omega) \le T \qquad \forall k\in K, \omega\in\Omega \quad (۹)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} x_{ijk}(\omega) \le 1 \qquad \forall k\in K, \omega\in\Omega \quad (۱۰)$$

$$-z_{ij} + \sum_{u\in I\cup J} x_{uik}(\omega) + \sum_{v\in I\cup J} x_{jvk}(\omega) \le 1 \quad \forall i\in I, j\in j, k\in K, \omega\in\Omega \quad (۱۱)$$

$$\sum_{j\in J} z_{ij} = \sum_{l\in I\cup J}\sum_{k\in K} x_{lik} \qquad i\in I, \omega\in\Omega \quad (۱۲)$$

$$u_{ik}(\omega) - u_{i'k}(\omega) + N.x_{ii'k}(\omega) \le N-1 \quad \forall i\in I, i'\in I, K\in K, \omega\in\Omega, i\ne i' \quad (۱۳)$$

$$w_{pja}(\omega)\ge 0, u_{ik}(\omega)\ge 0 \quad z_{ij}\in\{0,1\},\quad y_j\in\{0,1\}, x_{ijk}(\omega)\in\{0,1\} \quad (۱۴)$$

در مدل فوق رابطه (۱) بیانگر تابع هدف اول مدل می‌باشد که قسمت اول آن مربوط به هزینه‌ی ثابت گشایش انبارها است و با عنایت به این فرض که این تصمیم، در رده‌ی تصمیمات بلندمدت سازمان قرار داده می‌شود، از سناریوهای مختلف تقاضا متأثر نمی‌شود. قسمت‌های دوم و سوم رابطه‌ی (۱) به ترتیب شامل هزینه‌های حمل‌ونقل از کارخانه به انبارهای بالقوه و هزینه‌ی انتقال از انبارها به مشتری‌ها و بین مشتری‌ها است و با توجه به اینکه این تصمیمات تحت تأثیر عدم قطعیت موجود در پارامتر تقاضا قرار می‌گیرند، با ضرب احتمال سناریوهای مختلف در مقادیر مورد انتظار برای آن سناریوها به دست می‌آیند. رابطه‌ی (۲) بیانگر تابع هدف دوم مدل می‌باشد که مقدار مورد انتظار از تقاضای برآورده شده را حداکثر می‌سازد. رابطه‌ی (۳) برای سناریوهای مختلف، ظرفیت کالاهای خروجی از هر کارخانه را محدود می‌سازد. رابطه‌ی (۴) نشان می‌دهد برای سناریوهای متفاوت تعداد کالاهایی که از کارخانه‌های مختلف به هر انبار منتقل می‌شوند، باید کمتر یا مساوی با ظرفیت آن انبار باشد. رابطه‌ی (۵) به ازای سناریوهای مختلف تعادل جریان در انبارها (برابر بودن جریان ورودی با خروجی) را برقرار می‌سازد. رابطه‌ی (۶) سبب می‌شود که به ازای سناریوهای متفاوت هر مشتری با یک وسیله نقلیه خدمت بگیرد یا هر مشتری یک پیش‌نیاز داشته باشد (در صورتی که به مشتری مورد نظر خدمت‌رسانی شود). رابطه (۷) هر وسیله‌ی نقلیه را ملزم می‌کند تا از همان گره‌ای که به آن وارد شد، خارج شود و روند حرکتی وسیله‌ی نقلیه را حفظ می‌کند. رابطه (۸) بیانگر محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه است و بیان می‌کند که برای سناریوهای مختلف تقاضا، حجم کل کالاهایی که به هر وسیله‌ی نقلیه اختصاص می‌یابند، نباید از حجم وسیله‌ی نقلیه بیشتر باشد. رابطه‌ی (۹) حداکثر طول مسیر هر وسیله‌ی نقلیه را محدود می‌سازد. رابطه‌ی (۱۰) بیان می‌کند که اگر از یک وسیله نقلیه استفاده شود، باید آن را به یک انبار اختصاص داد یا یک وسیله نقلیه نمی‌تواند به چند انبار تخصیص داده شود. رابطه‌ی (۱۱) بیان می‌کند که برای هر سناریو مشتری می‌تواند به یک انبار اختصاص یابد اگر وتنها اگر بین مشتری j و انبار i یک وسیله نقلیه وجود داشته باشد. رابطه (۱۲) ارتباط بین متغیرهای تصمیم مربوط به هر مشتری را برای سناریوهای مختلف مشخص می‌سازد و بیان می‌کند در صورتی که به یک مشتری با یک پیش‌نیاز خدمت‌رسانی شود، به آن مشتری با یک انبار خدمت داده شود.. رابطه (۱۳) محدودیت حذف زیرتور می‌باشد و سبب حذف زیرتور هر مسیر به ازای سناریوهای مختلف می‌شود. رابطه‌های (۱۴) نیز نوع متغیرهای تصمیم‌گیری را مشخص می‌سازند.

۳- روش حل

در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فوق، حل دقیق مسأله در ابعاد بزرگ به دلیل وجود محدودیت حذف زیرتور، امکان‌پذیر نیست. با توجه به مورد مذکور و نیز ناچندجمله‌ای سخت بودن مسأله به حل آن در مقیاس کوچک با روش محدودیت اپسیلون و به وسیله‌ی

Archive of SID

www.SID.ir

نرم‌افزار GAMS v24.1.2-CPLEX SOLVER و مقایسه‌ی نتایج آن با نتایج حاصل از الگوریتم $NSGA-II$ پیشنهادی و حل مسأله در مقیاس‌های بزرگتر به وسیله‌ی الگوریتم $NSGA-II$ پیشنهادی می‌پردازیم.

۳-۱- روش محدودیت اپسیلون

در این روش از بین تابع هدف‌های مختلف، یکی انتخاب می‌شود و سایر تابع هدف‌ها با در نظر گرفتن مقادیری که تصمیم‌گیرنده تعیین می‌کند، به محدودیت تبدیل می‌شوند. با این کار مسأله به یک مدل برنامه‌ریزی خطی یک‌هدفه تبدیل شده و از طریق روش‌های معمول برنامه‌ریزی عدد صحیح، حل می‌شود. برای دستیابی به جواب‌های کارا برای مدل این تحقیق روش محدودیت اپسیلون به شکل زیر عمل می‌کند:

$$\begin{aligned} &Min\ Z_1 \\ &s.t. \\ &z_2 \geq \varepsilon \\ &Eqs.(3)-(14) \end{aligned} \qquad (۱۵)$$

عبارت (۱۵) به این مفهوم است که با قرار دادن تابع هدف دوم مدل در محدودیت‌ها و حل مدل با تابع هدف اول و با تغییر مقادیر ε جواب‌های کارای متفاوتی به دست می‌آید. در این روش ما از پیچیدگی فضای هدف کم کرده و به پیچیدگی فضای جواب اضافه می‌کنیم. این کار موجب افزایش محدودیتهای مسأله و پیچیده‌تر شدن آن نسبت به مسأله‌ی اصلی می‌شود. مشکل دیگر این روش تخمین مناسب ε است. که ممکن است با تخمین نادرست آن جواب شدنی برای مسأله وجود نداشته باشد. در این مقاله از روش بروب و همکاران [۲۶] برای تعیین اپسیلون استفاده شده است. در روش آنها از مقدار تابع هدف دوم برای تعیین ε در مرحله بعدی استفاده می شود.

۳-۲- الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (نسخه دوم)

گلدبرگ [۲۷] اولین فردی بود که تعمیم مفهوم برازندگی به مسائل چند هدفه را ارائه داد. او از مفهوم رتبه‌بندی نامغلوب پاسخها استفاده کرده و الگوریتم را در تکرارهای متوالی به سمت مجموعه جواب‌های پاراتو نزدیک کرد. ایده گلدبرگ در مفهوم مجموعه‌ی پاراتو، توسط دب و سیرنیواس به طور مستقیم به کار برده شد [۲۸]. در واقع با به کارگیری ایده ارجحیت جواب‌های نامغلوب و اختصاص برازش بیشتر به آنها الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب به وجود آمد. الگوریتم NSGA-II یکی از الگوریتم های شاخص و پرکاربرد در زمینه بهینه سازی چندهدفه است. پس از ارائه نسخه اول این الگوریتم در سال ۱۹۹۵، در سال ۲۰۰۲، معرفی‌کنندگان این الگوریتم، برای فراهم نمودن تنوع و گوناگونی در جواب‌های بهینه پاراتو، یک مکانیسم نخبه‌گرا براساس اهمیت دادن به صف‌های نامغلوب تحت عنوان الگوریتم NSGA-II ارائه دادند. در این قسمت به تشریح جزئیات الگوریتم ارایه شده می‌پردازیم.

نحوه نمایش جواب

هر الگوریتم فراابتکاری تکراری نیاز به ساختاری برای نمایش (کدگذاری) راه‌حل‌ها دارد. کدگذاری تأثیر بسیار مهمی بر کارایی و اثربخشی هر متاهیوریستیکی دارد و یک مرحله‌ی مهم در طراحی یک متاهیوریستیک محسوب می‌گردد. نحوه‌ی نمایش پاسخ به شکل دو بردار و یک ماتریس برای نمایش ارسال‌ها از کارخانه‌ها به انبارها می‌باشد. در بردار اول، مشتری‌هایی که هر وسیله‌ی نقلیه باید به آنها رسیدگی کند، از سایر وسایل نقلیه مجزا شده است. برای مسأله با n مشتری و m وسیله‌ی نقلیه، یک ترتیب بهم ریخته از اعداد ۱ تا n+m می‌تواند یک پاسخ شدنی از مسأله موردنظر باشد. به عنوان مثال برای ۷ مشتری و ۳ وسیله‌ی نقلیه اعداد بهم ریخته از ۱ تا ۱۰ نشان داده شده در شکل (۲) می‌تواند یک پاسخ شدنی از مسأله مورد نظر باشد:

۵	۹	۶	۲	۱۰	۱	۳	۸	۴	۷

شکل (۲): نمونه‌ای از نمایش جواب تخصیص مشتری ها به وسایل نقلیه

بطوری‌که عددهای {۸ و ۹ و۱۰} که بزرگتر از شماره مشتری‌ها هستند بعنوان جداکننده مشتری‌ها می‌باشند و تخصیص مشتری‌ها به وسایل نقلیه را نشان می‌دهند. مشتری‌های قبل از هر جداکننده نیز ترتیب خدمت‌دهی به مشتری‌های مربوط به آن وسیله‌ی نقلیه را نشان می‌دهد. در صورتی که مشتری یا مشتری‌هایی بعد از آخرین جدا کننده قرار داده شود به این معنی است که به آن مشتری یا مشتری‌ها خدمت داده نمی‌شود. بعنوان مثال در اینجا به ترتیب مشتری ۵ با وسیله‌ی نقلیه‌ی اول، مشتری‌های {۶ و ۲} با وسیله‌ی نقلیه‌ی دوم و مشتری‌های {۱ و ۳} با وسیله‌ی نقلیه‌ی سوم خدمت داده می‌شوند. و به مشتری‌های {۴ و ۷} خدمت داده نمی‌شود. (توجه به این نکته ضروریست که اگر دو یا چند جدا کننده در یک رشته پشت سر هم قرار داده شوند نشانگر این است که وسیله نقلیه اول جداکننده فعال و وسیله یا وسیله‌های بعدی غیرفعال هستند و از آنها استفاده نمی‌شود به عنوان مثال اگر اعداد ۹ و ۱۰ به ترتیب پشت سر هم قرار داده شوند نشان‌دهنده‌ی این است که یکی از وسایل نقلیه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.). به این ترتیب می‌توان هم تخصیص مشتری‌ها به وسایل نقلیه و ترتیب خدمت‌دهی به هر مشتری توسط هر وسیله‌ی نقلیه را نشان داد.

در بردار دوم برای تخصیص وسایل نقلیه به انبارها از رشته سطری به هم ریخته از اعداد استفاده شد. به طور مثال شکل (۳) تخصیص تصادفی سه وسیله‌ی نقلیه به ۵ انبار را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

وسیله نقلیه سوم	وسیله نقلیه دوم	وسیله نقلیه اول
۱	۲	۲

شکل (۳): تخصیص وسایل نقلیه به انبارها

که در این حالت وسایل نقلیه‌ی ۱ و ۲ به انبار ۲ و وسیله‌ی نقلیه‌ی سوم به انبار ۱ اختصاص داده شده است و انبارهای ۳ و ۴ و ۵ غیر فعال می‌باشند. قسمت سوم جواب، ماتریس ارسال‌ها از کارخانه‌ها به انبارها می باشد که به صورت نمونه برای ۳ کارخانه و ۵ انبار و ۲ نوع محصول به صورت زیر خواهد شد:

محصول ۱					
	انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	انبار ۴	انبار ۵
کارخانه ۱	۲۳	۱۰	۰	۰	۰
کارخانه ۲	۱۱	۳۱	۰	۰	۰
کارخانه ۳	۷	۵	۰	۰	۰

محصول ۲					
	انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	انبار ۴	انبار ۵
کارخانه ۱	۲۶	۳۴	۰	۰	۰
کارخانه ۲	۱۵	۱۲	۰	۰	۰
کارخانه ۳	۵	۱۰	۰	۰	۰

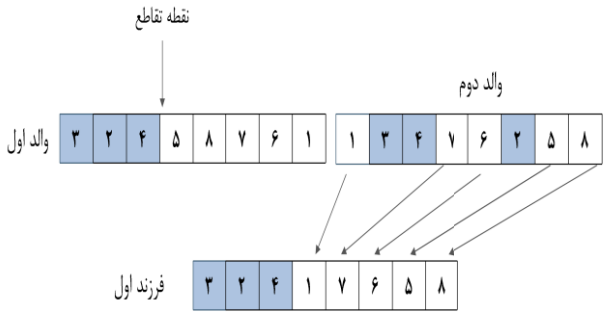
شکل (۴): ماتریس ارسال‌ها از کارخانه‌ها به انبارها

ایجاد جواب اولیه

متداول‌ترین روش برای تولید جواب اولیه، تولید جواب تصادفی به دلیل سرعت اجرا و نیز ایجاد تنوع در جوابها است. به این ترتیب که در ابتدای اجرای الگوریتم یک جواب تصادفی تولید و مقدار تابع هدف را نیز برای آن محاسبه می‌کنیم.

عملگر تقاطع

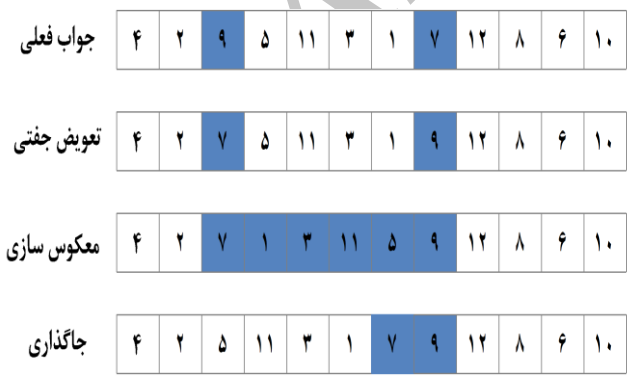
عملگرهای تقاطع مختلفی در ادبیات الگوریتم ژنتیک وجود دارند که عملکرد مناسبی از خود به نمایش می‌گذارند. اما با توجه به ساختار خاص مسائل مرتبط با مسیریابی وسایل نقلیه و وجود روابط پیش‌نیازی و عدم تکرار ژن‌های موجود در یک کروموزوم، استفاده از اکثر این عملگرها موجب غیرموجه بودن فرزندان تولید شده می‌شود و این اتفاق معمولاً در بعد اول کروموزوم اول (که نشان‌دهنده‌ی ترتیب خدمت‌رسانی به مشتری‌هاست) روی می‌دهد. یکی از عملگرهای تقاطعی که در عین کارا بودن، موجه بودن جواب‌های حاصله را نیز تضمین می‌کند، عملگر تقاطع ترتیب محور است. در این تحقیق از عملگر تقاطع ترتیب محور [۲۰] استفاده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده، یک نقطه برشی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. قسمت ابتدایی کروموزوم عیناً بدون تغییر از والد به فرزند متناظر منتقل شده و ژنهای دیگر به همان ترتیبی که در والد دیگر (والد غیر متناظر) وجود دارند از چپ به راست به کروموزوم فرزند منتقل می‌شوند (فرزند دوم هم به همین صورت به دست می‌آید).



شکل (۵): عملگر تقاطع مورد استفاده

عملگر جهش

در این مقاله از سه عملگر جهش تعویض جفتی(جابجایی)، معکوس سازی و جاگذاری برای ایجاد همسایگی در قسمت مسیریابی استفاده شده است،که یکی از آنها به تصادف انتخاب و بر روی جواب مربوطه اعمال می شود. عملگر تعویض جفتی جواب فعلی و دو درایه از آن را می‌گیرد و جواب جدید را با تعویض مکان این دو درایه به وجود می‌آورد. عملگر معکوس سازی جواب فعلی و دو درایه از آن را می‌گیرد و جواب جدید را با تعویض مکان آن دو درایه و مرتب‌سازی درایه‌های میانی در خلاف جهت دارایه‌های جواب اصلی به وجود می‌آورد. عملگر جایگذاری نیز مکان درایه اول جواب فعلی را با مکان درایه دوم جواب فعلی انتقال داده و سایر درایه‌ها را از چپ به راست مرتب می‌کند (حالت برعکس نیز می‌تواند اتفاق بیفتد). برای ایجاد همسایگی در ماتریس ارسال‌ها از کارخانه به انبار نیز یک عدد نرمال تصادفی از ده درصد دامنه‌ی جواب را به تعدادی از اعداد ماتریس که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، اضافه یا کم کرده و ماتریس جدیدی به دست می‌آید. نحوه عملکرد این عملگرها در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): سه عملگر جهش مورد استفاده در قسمت مسیریابی

Archive of SID

www.SID.ir

ماتریس ارسال قبل از جهش (محصول ۱)					
	انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	انبار ۴	انبار ۵
کارخانه ۱	۲۳	۱۰	۰	۰	۰
کارخانه ۲	۱۱	۳۱	۰	۰	۰
کارخانه ۳	۷	۵	۰	۰	۰
ماتریس ارسال بعد از جهش (محصول ۱)					
	انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	انبار ۴	انبار ۵
کارخانه ۱	۲۳	۱۰	۰	۰	۰
کارخانه ۲	۱۱	۳۵	۰	۰	۰
کارخانه ۳	۳	۵	۰	۰	۰

شکل (۷): عملگر جهش مورد استفاده برای ماتریس ارسال‌ها از کارخانه‌ها به انبارها

مرتب‌سازی اعضای جمعیت

مفهوم غلبه: در شرایطی که دستیابی به بهترین جواب امکان‌پذیر نباشد، جداسازی جواب‌هایی که بهتر از سایرین هستند، موجب کاهش گزینه‌های تصمیم‌گیری برای تصمیم‌گیرنده می‌شوند. مفهوم غلبه، زمانی اهمیت پیدا می‌کند که بخواهیم با مسأله به صورت مستقیم برخورد کنیم و به وسیله‌ی روش‌های هوشمند مثل NSGA–II به حل مسأله بپردازیم. در مسائل چند هدفه یک جواب موجه وقتی به وسیله‌ی جواب موجه دیگر مغلوب می‌شود که حداکثر بر مبنای تمامی اهداف به خوبی جواب موجه اول باشد و دست کم براساس یک تابع هدف بدتر از جواب موجه اول باشد. یک مسأله‌ی کمینه‌سازی با m تابع هدف را در نظر بگیرید. جواب x در صورتی به جواب y غلبه می‌کند که:

$$x \prec y \mid \forall_i: f_i(x) \le f_i(y) \; and \; \exists_j: f_j(x) < f_j(y) \qquad (۱۶)$$

که $f_i(x)$ و $f_i(y)$ به ترتیب مقادیر تابع هدف‌های i ام مرتبط با جواب‌های x و y هستند. عبارت بالا به این مفهوم است که همه‌ی تابع هدف‌های مربوط به جواب x کوچکتر یا مساوی تابع هدف متناظر مربوط به جواب y باشند. یعنی y از هیچ نظر بهتر از x نباشد. و x حداقل از یک نظر اکیداً بهتر از y باشد. جواب‌های نامغلوب، جواب بهینه‌ی پاراتو نیز نامیده می‌شود.

برای هر جوابی مانند P با توجه به تعریف جواب‌های نامغلوب یک شمارنده N_p که نشان‌دهنده‌ی تعداد دفعات مغلوب شدن P به وسیله‌ی سایر اعضای جمعیت و یک مجموعه S_p که شامل اعضایی از جمعیت که توسط P مغلوب می‌شوند، ایجاد می‌شود. تمامی اعضای جمعیت دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و مقادیر N_p و S_p برای آن‌ها محاسبه می‌شود. با توجه به این مقادیر رتبه‌ی مجموعه اعضای جمعیت تعیین می‌شود.

برای مقایسه‌ی اعضای جمعیت در الگوریتم NSGA–II، اگر با رتبه‌بندی اعضا نسبت به هم نتوان آنها را با یکدیگر مقایسه کرد، برای تعیین برتری اعضا نسبت به یکدیگر به یک معیار ثانویه نیازمندیم که این معیار ثانویه فاصله‌ی ازدحامی[1] (نظم) نامیده می‌شود. برای محاسبه‌ی فاصله‌ی ازدحامی، ابتدا اعضای جمعیت به ازای هر یک از تابع هدف‌ها به صورت صعودی مرتب می‌شوند. سپس مقدار فاصله‌ی ازدحامی را برای جواب‌های اول و آخر مجموعه‌ی مرتب شده بینهایت در نظر گرفته و برای سایر جواب‌ها نیز با توجه به نسبت اختلاف جواب‌های مجاور و جواب اول و آخر محاسبه می‌شود. این محاسبات برای تمامی تابع هدف‌ها تکرار شده و مقدار فاصله‌ی ازدحامی برای هر عضو جمعیت از جمع مقادیر فواصل مربوط به هر تابع هدف محاسبه می‌شود. هر چه مقدار فاصله‌ی ازدحامی برای یک عضو جمعیت بیشتر باشد، نشان‌دهنده‌ی پوشش فاصله‌ی بیشتری توسط عضو مورد نظر است (یعنی جواب در ناحیه‌ی خلوت‌تری قرار دارد) و بیانگر این نکته است که این جواب بیشتر از سایر جواب‌ها به ایجاد تنوع در جمعیت کمک می‌کند.

در پایان با توجه به دو معیار غلبه و فاصله‌ی ازدحامی اعضای جمعیت دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و جمعیت مرتب‌سازی می‌شود. فلوچارت این الگوریتم در شکل (۷) نشان داده شده است.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی کیفیت و پراکندگی الگوریتم‌های فرابتکاری چند-هدفه، شاخص‌های مختلفی وجود دارند. در این مقاله از سه شاخص که در ادامه به توضیح آنها پرداخته می‌شود، استفاده می‌کنیم.

تعداد جواب‌های نامغلوب پیدا شده یا شاخص کیفیت[2]: این شاخص به مقایسه کیفیت جواب‌های پاراتوی به دست آمده توسط هر روش می‌پردازد و بیانگر تعداد جواب‌های نامغلوب یافت شده توسط هر روش می‌باشد [۲۹].

فاصله از نقطه‌ی ایده‌آل[3]: این شاخص، بیانگر نزدیکی بین جواب-های پاراتو و نقطه‌ی ایده‌آل می‌باشد. که به صورت زیر محاسبه می-شود [۳۰].

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^{N} c_i}{N} \;, \qquad c_i = \sqrt{(f_{1i}^2 - f_1^*)^2 + (f_{2i}^2 - f_2^*)^2} \qquad (۱۷)$$

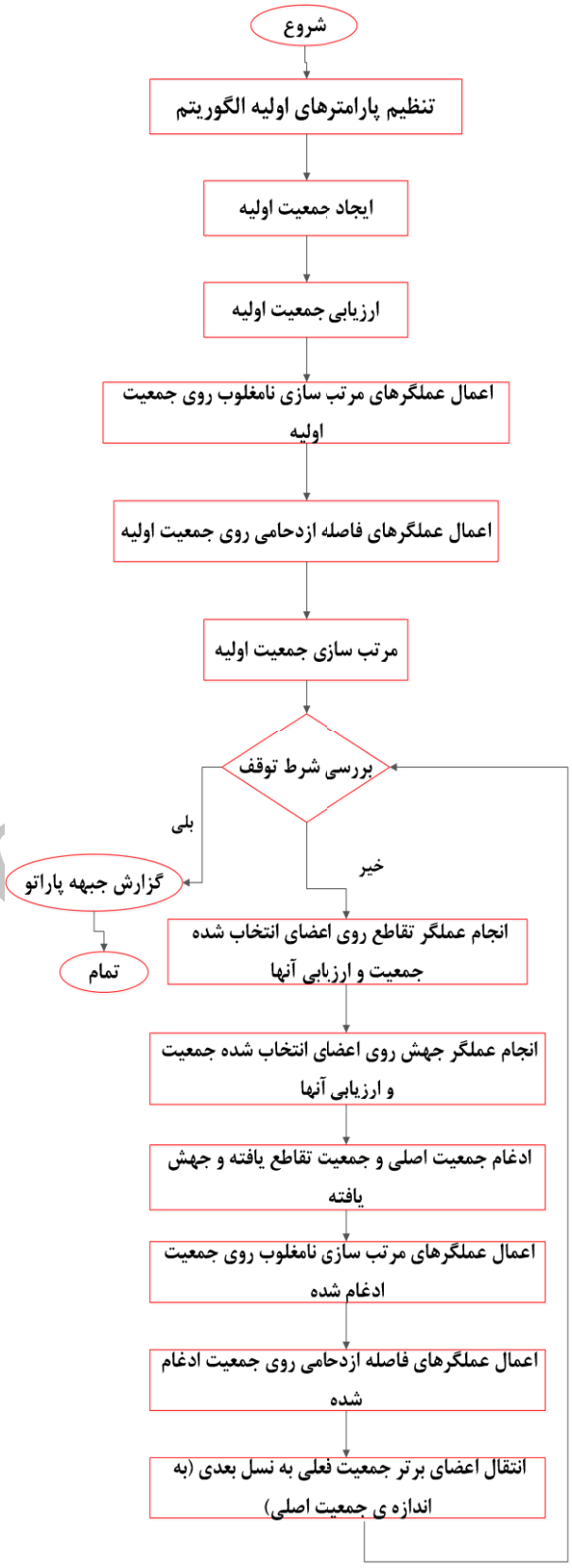
در رابطه‌ی (۱۷) منظور از f_{mi} مقدار m امین تابع هدف در جواب i ام و N تعداد جواب‌ها در مجموعه بهینه پاراتو است. مقادیر کمتر این معیار نشان‌دهنده‌ی کیفیت بهتر جواب‌هاست.

پراکندگی[4]: از این شاخص برای تعیین میزان پراکندگی جواب‌های نامغلوب بر روی مرز بهینه استفاده می‌شود. شاخص پراکندگی به صورت زیر محاسبه می‌گردد [۳۱]:

1. Crowding Distance
2. Quality Metrics (QM)
3. Mean Ideal Distance (MID)
4. Diversity Metrics

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۸): فلوچارت الگوریتم *NSGA-II*

$$DM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(MID - c_i)^2}{N-1}} \qquad (۱۸)$$

هر چه این معیار بزرگتر باشد، جواب‌های تولید شده توسط الگوریتم پراکندگی بیشتری دارند.

تنظیم پارامترهای الگوریتم *NSGA-II*

برای تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II از روش تاگوچی استفاده شده است. در یک طراحی پارامتر کارا هدف اول شناسایی و تنظیم فاکتورهایی است که تغییرات متغیر پاسخ را حداقل می‌رساند و هدف بعدی شناسایی فاکتورهای قابل کنترل و غیر قابل کنترل می‌باشد. هدف نهایی روش تاگوچی پیدا کردن ترکیب بهینه‌ی مقدار فاکتورهای قابل کنترل می‌باشد [۳۲]. برای الگوریتم NSGA-II پیشنهادی پارامترهای نرخ تقاطع، نرخ جهش مورد استفاده در قسمت مسیریابی (نرخ جهش ۱) و نرخ جهش برای ماتریس انتقال از کارخانه به انبار (نرخ جهش ۲)، باید تنظیم شوند. برای هر یک از فاکتورهای ورودی با توجه به تحقیقات قبلی و با سعی و خطا سه سطح انتخاب شده است. جدول ۱ سطوح انتخابی پارامترهای NSGA-II را نشان می‌دهد.

براساس جدول استاندارد تاگوچی، با در نظر گرفتن ۳ فاکتور ۳ سطحی می‌توان از دو طرح L9 و L27 استفاده نمود که ما در این قسمت از طرح L9 به دلیل ساده‌تر بودن و محاسبات کمتر استفاده می‌کنیم. ابتدا معیارهای MID و DM برای آزمایش‌های مختلف اندازه‌گیری شده و سپس این معیارها با استفاده از انحراف درصد نسبی[1] بی‌مقیاس شدند:

$$\text{RPD} = \frac{\left|\text{بهترین جواب} - \text{هر جواب}\right| * 100}{\text{بهترین جواب}} \qquad (۱۹)$$

جدول (۱): سطوح انتخابی پارامترهای *NSGA-II*

سطح / پارامتر	پایین	متوسط	بالا
	۱	۲	۳
نرخ تقاطع(A)	۰/۶	۰/۸	۰/۹
نرخ جهش ۱(B)	۰/۱	۰/۲	۰/۴
نرخ جهش ۲(C)	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲

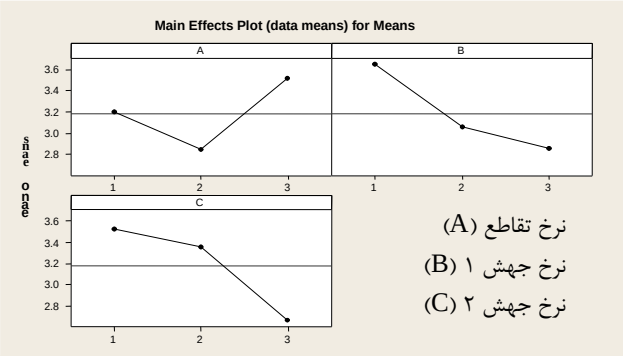
در فرمول (۱۹) باید توجه داشت که برای معیار MID کوچکترین مقدار تولید شده برابر با بهترین جواب قرار داده شده و برای DM بزرگترین جواب تولید شده برابر با بهترین جواب قرار داده می‌شود. و این دو معیار با ضرب شدن در وزن‌های مربوط به یک معیار تبدیل می‌شوند.

شکل (۸) نشان‌دهنده‌ی میانگین پاسخ برای هر ترکیب است. از آن‌جایی که مقادیر کمتر پاسخ مورد توجه قرار می‌گیرد، ترکیبات مناسب براساس عامل میانگین پاسخ عبارتند از:

نرخ تقاطع : ۰/۸ ، نرخ جهش ۱: ۰/۴، نرخ جهش ۲: ۰/۲

1. Relative Percentage Deviation (RPD)

Archive
www.SID.ir



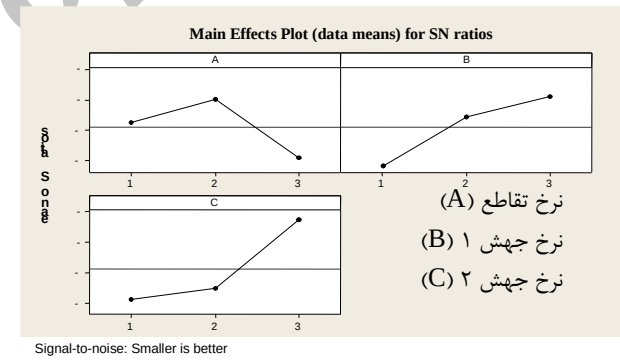
شکل (۹): مقایسه میانگین پاسخ‌ها

شکل (۹) نشان‌دهنده‌ی عامل استواری جواب برای هر ترکیب است. عامل استواری جواب نشان‌دهنده‌ی قدرت عوامل در نظر گرفته شده برای کمینه کردن تغییر پذیری در فرایند با کنترل سایر عوامل غیر قابل کنترل، می‌باشد. از این رو هر چه میزان استواری یک ترکیب بالاتر باشد، آن ترکیب مناسب‌تر خواهد بود. براین اساس ترکیبات مناسب براساس عامل استواری عبارتند از:

نرخ تقاطع : ۰/۸ ، نرخ جهش ۱: ۰/۴، نرخ جهش ۲: ۰/۲

با توجه به اینکه دو عامل ارائه شده برای ترکیبات مختلف پارامترها در یک جهت عمل می‌کنند و نتایج یکسانی دارند، سطوح انتخابی پارامترها به صورت زیر می‌باشد:

نرخ تقاطع : ۰/۸ ، نرخ جهش ۱: ۰/۴، نرخ جهش ۲: ۰/۲



شکل (۱۰): مقایسه استواری جواب‌ها

علاوه بر تنظیم پارامترهایی که در قسمت فوق مورد بررسی قرار گرفت برای اجرای الگوریتم اندازه جمعیت مورد استفاده و شرط توقف نیز باید تنظیم شوند. با افزایش اندازه جمعیت الگوریتم به جستجوی نقاط بیشتری از فضای جواب می‌پرازد و کیفیت و پراکندگی جواب‌ها افزایش می‌یابد اما چنانچه در مسأله‌ای تعداد اعضای جمعیت ۱۰ برابر شود، زمان یا حافظه‌ی مورد نیاز برای حل مسأله ۱۰۰ برابر می‌شود. از این رو برای الگوریتم پیشنهادی اندازه جمعیت ۲۵ در نظر گرفته شده است. با افزایش تعداد تکرارهای الگوریتم به مدل اجازه داده می‌شود تا فرصت کافی برای حل داشته باشد و در نتیجه مقادیر بزرگتر این پارامتر منجر به نتایج بهتری می‌شوند اما باید توجه شود که با انتخاب مقادیر بزرگتر تعداد تکرار الگوریتم زمان حل افزایش می‌یابد. برای الگوریتم $NSGA-II$ پیشنهادی تعداد ۵۰۰ تکرار در نظر گرفته شده است و الگوریتم پس از رسیدن به ۵۰۰ تکرار متوقف می‌شود.

۴- نتایج محاسباتی

در این قسمت برای آزمایش و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی از تست‌های کامپیوتری استفاده شد. مدل ریاضی مسأله در نرم‌افزار GAMS v24.1.2- CPLEX SOLVER و الگوریتم NSGA-II پیشنهادی در نرم‌افزار MATLAB R2013a کدنویسی و تحت سیستمی با مشخصات CPU:Corei3,2.4GHz و 4GB RAM اجرا شدند. برای آزمایش مدل، از نمونه‌ی ایجاد شده به وسیله‌ی پرینس و دیگران [۳۳] که شامل ۳۰ نمونه‌ی مختلف از LRP با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت برای وسایل نقلیه می‌باشد، استفاده شده است. که در آن تقاضای مشتری‌ها از هر محصول به صورت عدد صحیح پیوسته و در بازه‌ی ۱۱تا ۲۰، ظرفیت وسایل نقلیه بین ۷۰۰ تا ۲۰۰۰، مختصات مشتری‌ها و انبارها به صورت عدد صحیح پیوسته و در بازه‌ی صفر تا ۱۰۰ و هزینه‌ی حمل و نقل نیز با ضرب عدد ۱۰۰ در ماتریس فاصله‌ها و گرد کردن آن به سمت بالا به وجود آمدند (لازم به ذکر است ظرفیت انبارها و وسایل نقلیه با افزایش ابعاد مسأله، افزایش داده می‌شوند). با توجه به گستردگی بیشتر این تحقیق برای تقاضای مشتری‌ها از محصولات مختلف ۴ سنایو با احتمال ۰/۲۵ ایجاد کرده‌ایم. مقادیر عددی سایر داده‌های ورودی مسأله و نحوه‌ی تولید آنها در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): مقادیر سایر داده‌های مسأله برای تولید مسأله نمونه

پارامترها	نحوه‌ی تولید آنها
ظرفیت انبارها از هر محصول	discrete.U [500,700]
ماتریس هزینه‌ی انتقال واحد محصول از کارخانه‌ها به انبارها	discrete.U [50,200]
aحجم هر قلم محصول	discrete.U [5,10]
ظرفیت عرضه مرکز p ام از محصول a ام	discrete.U [800,1000]
حداکثر طول مسیر	discrete.U [8000,12000]
هزینه‌ی ثابت احداث انبار j ام	discrete.U [80000,120000]

با حل مدل احتمالی برای یک مثال عددی، با روش محدودیت اپسیلون و به ازای مقادیر متفاوت پارامتر ε جواب‌های کارای متفاوتی به دست می‌آید که نتایج حاصله در جدول (۳) نشان داده شده است. به دلیل زیادی تعداد جواب‌ها (گزینه‌های تصمیم مختلفی که تصمیم‌گیرنده می‌تواند از بین آن‌ها با توجه به علایق و سطح بودجه خود یکی را برگزیند) به عنوان مثال به تفسیر جوابی که در جدول (۳) به دور آن خط کشیده شده است، می‌پردازیم. هزینه‌های صورت گرفته‌ی حاصل از حل مدل احتمالی دومرحله‌ای برای جواب فوق ۱۸۷۳۰۹/۵۷۰ واحد پولی و تقاضای برآورده شده ۳۰۲/۲۵۰ واحد می‌باشد. انبار ۱ باز شده و به مشتری‌های ۷،۶،۴،۲،۱ خدمت‌رسانی

Archive of SID

www.SID.ir

می‌شود (متغیرهای تصمیم مرحله‌ی اول). برای سناریوی اول وسیله‌ی نقلیه‌ی چهارم، برای سناریوی دوم و چهارم وسایل نقلیه‌ی اول و سوم و برای سناریوی سوم وسیله‌ی نقلیه‌ی اول مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین مسیرهای طی شده‌ی وسایل نقلیه برای سناریوهای مختلف در شکل (۱۱) و مقدار قابل انتقال از محصولات مختلف از کارخانه‌ها به انبارهای باز شده در جدول (۴) نشان داده شده است (متغیرهای تصمیم مرحله‌ی دوم).

به منظور کاهش محاسبات و مقایسه‌ی نتایج با در نظر گرفتن تنها یک سناریو با احتمال یک در مدل مطرح شده به یک مدل برنامه‌ریزی قطعی دست می‌یابیم. ابعاد مسأله به صورت I.J.K.P.A مشخص شده است که I تعداد مشتری، J تعداد انبارها، K تعداد وسایل نقلیه، P تعداد کارخانه‌ها و A تعداد انواع کالاها است. نتایج حاصل از الگوریتم $NSGA-II$ و روش محدودیت اپسیلون در هر مسأله آزمایشی در جدول (۵) و شکل (۱۲) مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج جدول (۵) نشان‌دهنده‌ی برتری نسبی روش محدودیت اپسیلون از لحاظ معیار MID و DM بر الگوریتم $NSGA-II$ در ابعاد کوچک مسأله، برتری الگوریتم $NSGA-II$ از لحاظ معیار QM بر روش محدودیت اپسیلون و نزدیکی جواب حاصل از دو روش با افزایش ابعاد مسأله است. براساس نتایج جدول (۵) با افزایش ابعاد مسأله، به علت وجود محدودیت حذف زیرتورهای هر مسیر، زمان رسیدن به جواب بهینه به صورت نمایی افزایش می‌یابد. به طوری که برای مسائل بزرگتر از مقیاس ۱۵ مشتری و ۴ مکان کاندید برای احداث انبار، امکان رسیدن به جواب بهینه با محدودیت زمانی کمتر از ۲ ساعت وجود ندارد. در حالی که با مقایسه‌ی جواب حاصل از الگوریتم $NSGA-II$ و جواب حاصل از روش محدودیت اپسیلون می‌توان دریافت که این الگوریتم برای حل مسائل با ابعاد مختلف بسیار کارا عمل می‌کند. در شکل (۱۲) نیز جبهه‌ی پاراتوی به دست آمده از الگوریتم $NSGA-II$ و روش محدودیت اپسیلون برای ۶ مساله اولیه طراحی شده و برای دو تابع هدف در کنار یکدیگر نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که از این شکل قابل ملاحظه است تعدادی از نقاط به دلیل برابر بودن مقادیر دو تابع هدف حاصل از دو روش بر یکدیگر منطبق شده‌اند.

جدول (۳): نتایج حاصل از حل مدل

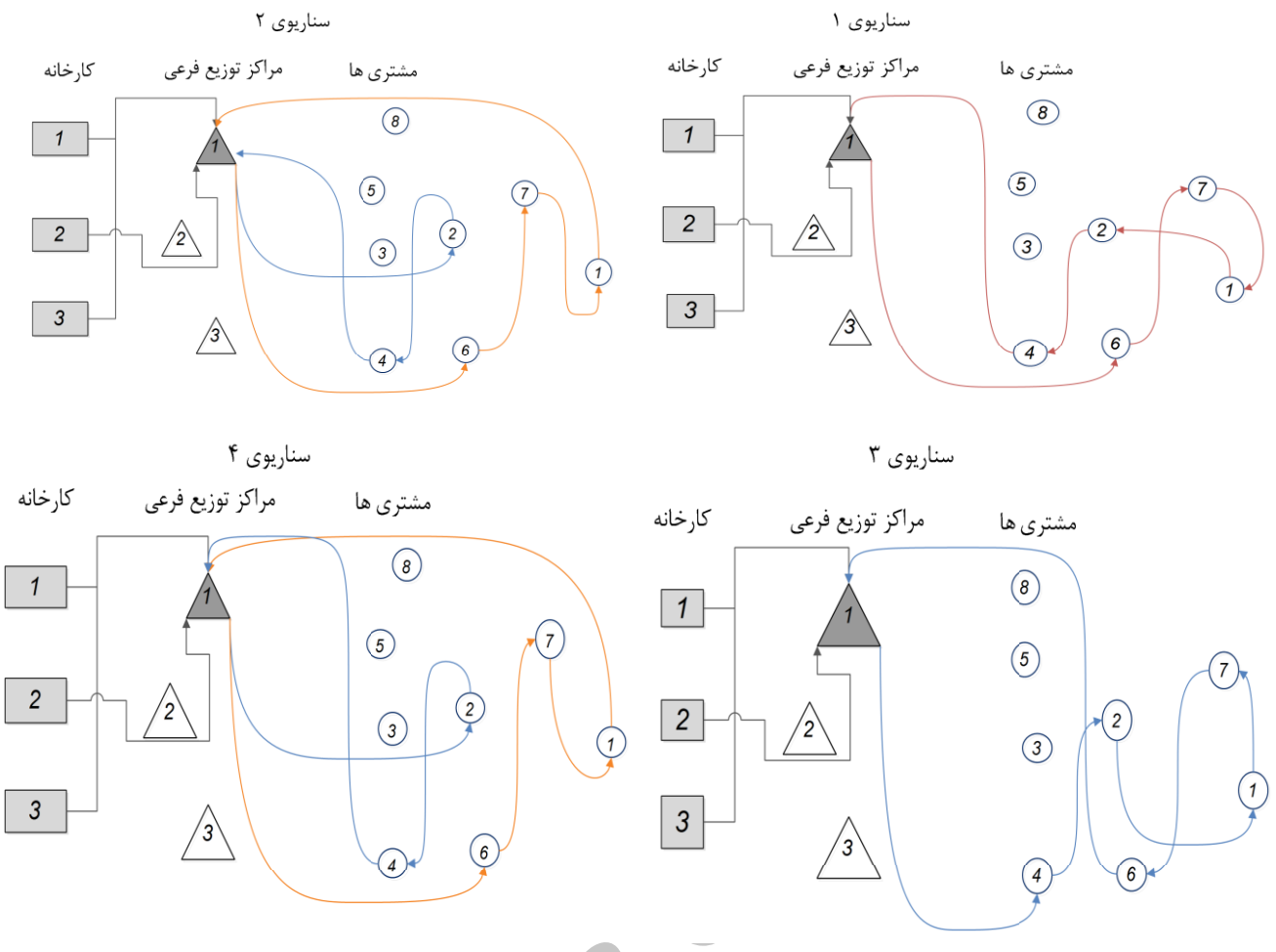
مشتری‌های خدمت داده شده	انبار احداث شده	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول	ε
-	-	۰	۰	۰
۱	۲	۵۸/۷۵۰	۹۷۶۷۴/۱۵۰	۱
۴	۳	۶۱/۵۰۰	۱۲۱۸۴۹/۵۲۰	۵۹/۷۵۰
۶	۱	۶۳/۲۵۰	۱۲۲۰۶۰/۱۳۰	۶۲/۵۰۰
۱,۶	۱	۱۲۲	۱۲۹۲۴۳/۳۱۰	۶۴/۲۵۰
۶و۷	۱	۱۲۶/۲۵۰	۱۳۱۸۲۷/۴۲۰	۱۲۳
۱,۶,۷	۱	۱۸۵	۱۳۶۹۰۲/۲۸۰	۱۲۷/۲۵۰
۱,۲,۶,۷	۱	۲۴۰/۷۵۰	۱۵۴۱۵۴/۰۹۰	۱۸۶
۱,۵,۶,۷	۲	۲۴۲/۲۵۰	۱۸۴۷۸۲/۱۴۰	۲۴۱/۷۵۰
۱,۲,۴,۶,۷	۱	۳۰۲/۲۵۰	۱۸۷۳۰۹/۵۷۰	۲۴۳,۲۵۰
۱,۴,۶,۷,۸	۳	۳۰۶	۲۰۳۸۹۷/۹۱۰	۳۰۳/۲۵۰
۱,۲,۴,۶,۷,۸	۲	۳۶۴/۲۵۰	۲۲۰۱۹۹/۷۵۰	۳۰۷
۱,۳,۴,۶,۷,۸	۳	۳۶۵/۲۵۰	۲۳۰۱۳۸/۹۷۰	۳۶۵/۲۵۰
۱,۲,۳,۴,۶,۷,۸	۱	۴۲۱	۲۲۱۹۳۱/۸۸۰	۳۶۶/۲۵۰
۱,۲,۳,۴,۵,۶,۷,۸	۲	۴۷۸/۲۵۰	۲۴۳۷۵۲/۱۸۰	۴۲۲

جدول (۴): مقدار قابل انتقال از محصولات مختلف از کارخانه‌ها به انبارهای باز شده

کارخانه	محصول / انبار	سناریوها			
		۱	۲	۳	۴
۱	۱.۲	۷۴	۵۹	۷۷	۶۷
	۱.۴	۸۷	۷۳	۸۳	۷۴
۲	۱.۳	۷۱	۷۶	۹۰	۸۷
۳	۱.۱	۷۷	۷۹	۷۵	۶۰

Archive of SID

www.SID.ir



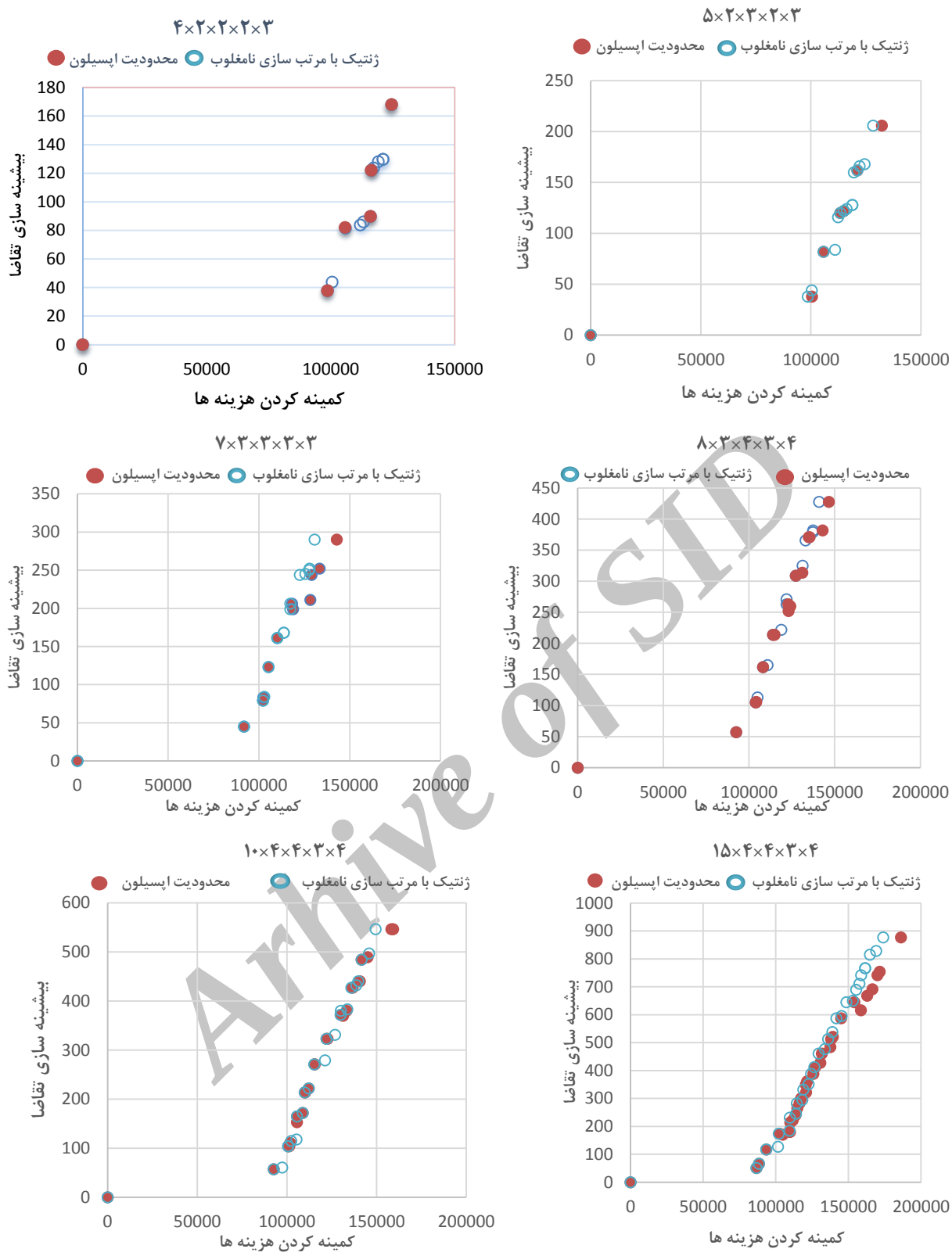
شکل (۱۱): مسیرهای طی شده‌ی وسایل نقلیه برای سناریوهای مختلف

جدول (۵): مقایسه روش محدودیت اپسیلون و الگوریتم *NSGA-II*

روش	ε – constraint			NSGA- II		
ابعاد مسأله I.J.K.P.A	QM	MID	DM	QM	MID	**DM**
۴×۲×۲×۲×۳	۰	۹۸۷۵۲	۳۹۷۴۱	۰	۱۰۵۰۶۹	۳۲۴۹۷
۵×۲×۳×۲×۳	۰	۹۹۵۲۶	۳۸۵۶۱	۳	۱۰۷۸۸۶	۲۹۸۵۲
۷×۳×۳×۳×۳	۳	۱۰۵۴۲۹	۳۹۵۲۸	۴	۱۰۷۴۰۸	۳۰۵۲۶
۸×۳×۴×۳×۴	۳	۱۱۴۱۴۲	۳۳۷۷۲	۸	۱۱۲۸۰۲	۳۳۰۲۸
۱۰×۴×۴×۳×۴	۶	۱۱۶۶۷۵	۳۰۸۳۳	۱۴	۱۱۵۲۴۷	۲۹۶۵۰
۱۵×۴×۴×۳×۴	۴	۱۲۵۱۴۴	۲۷۲۴۰	۳۵	۱۲۷۷۹۵	۳۴۱۶۵
۳۰×۵×۶×۴×۶	–	–	–	–	۱۴۴۵۸۱۳	۸۴۱۳۴۰
۵۰×۶×۷×۵×۶	–	–	–	–	۲۳۸۲۱۶۷	۱۴۳۷۳۷۴
۱۰۰×۶×۸×۶×۸	–	–	–	–	۶۹۷۴۵۹۱	۳۵۷۸۴۸۷
۲۰۰×۸×۱۰×۸×۱۰	–	–	–	–	۱۸۵۴۱۸۹۱	۸۳۰۹۸۹۲

Archive

www.SID.ir



شکل (۱۲): مقایسه مقادیر دو تابع هدف حاصل از روش محدودیت اپسیلون و الگوریتم *NSGA-II*

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله به بررسی مسأله‌ی حمل‌ونقل-مکان‌یابی- مسیریابی در حالت دو هدفه، در شرایط عدم قطعیت تقاضا و با در نظر گرفتن محدودیتهای حداکثر ظرفیت وسایل نقلیه و حداکثر طول مسیر پرداخته شد و برای این مسأله با فرض اینکه الزامی برای خدمت-رسانی به تمامی مشتری‌ها وجود ندارد، یک مدل ریاضی ارائه گردید که هدف آن در مرحله‌ی اول تعیین مراکزی که باید احداث شوند و تخصیص مشتری‌ها به این مراکز باز شده و سپس در مرحله‌ی دوم

Arhive of SID

www.SID.ir

تشکیل تورهای مناسب وسایل نقلیه و مقادیر قابل انتقال از مراکز توزیع اصلی به انبارهای باز شده بود. مدل ارائه شده در این تحقیق می‌تواند در تعیین طرح مناسب برای توزیع کالاها و مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد. از آن‌جایی که مدل ارائه شده دارای پیچیدگی بسیار بالایی بود، برای حل آن از نسخه دوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب استفاده شد. و نتایج آن در ابعاد کوچک با روش محدودیت اپسیلون مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده‌ی کارایی مناسب الگوریتم ارائه شده برای حل مسائل مختلف بوده است. با توجه به نتایج حاصل و شناسایی خلأهای تحقیقاتی موجود زمینه‌هایی همچون بررسی مدل‌های پویا و در نظر گرفتن تصمیمات مربوط به ارزش زمانی پول در هر دوره به منظور تصمیم‌گیری مناسب، در نظر گرفتن رضایت مشتری با لحاظ کردن پنجره‌ی زمانی در مدل و استفاده از سایر روش‌های فراابتکاری و مقایسه‌ی نتایج آن-ها با الگوریتم پیشنهادی به منظور انجام تحقیقات آتی پیشنهاد می-شود.

مراجع

[1] Karaoglan, I., Altiparmak, F., Kara, I., Dengiz, B. (2012). "The location-routing problem with simultaneous pickup and delivery: Formulations and a heuristic approach", Omega, 40: 465-477.

[2] Salhi, S., Rand, G.K. (1989). "The effect of ignoring routes when locating depots", European Journal of Operational Research, 39: 150-156.

[3] Boventer, E. (1961). "The relationship between transportation costs and location rent in transportation problems", Journal of Regional Science, 3: 27-40

[4] Maranzana, F. (1964). "On the location of supply points to minimize transport costs". OR, 261-270

[5] Aksen, D., Altinkemer, K. (2008). "A location-routing problem for the conversion to the "click-and-mortar" retailing: The static case", European Journal of Operational Research, 186: 554-575.

[6] Madsen, O.B. (1983). "Methods for solving combined two level location-routing problems of realistic dimensions, European Journal of Operational Research, 12:295-301.

[7] Murty, K.G., Djang, P.A. (1999). "The US Army national guard's mobile training simulators location and routing problem", Operations Research, 47(2): 175-182

[8] Rath, S., Gutjahr, J. (2014). "A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief, Computers & Operations Research, 42: 25-39

[9] Kulcar, T. (1996). "Optimizing solid waste collection in Brussels", European Journal of Operational Research, 90: 71-77.

[10] Nagy, G., Salhi, S. (2007). "Location-routing: Issues, models and methods", European Journal of Operational Research, 177: 649-672.

[11] Prodhon, C., Prins, C. (2014). "A Survey of Recent Research on Location-Routing Problems", European Journal of Operational Research, In Press.

[12] Birge, J.R.. Louveaux, F. (2011). "Introduction to stochastic programming", Springer.

[13] Laporte, G., Louveaux, F., Mercure, H. (1989). "Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems", European Journal of Operational Research, 39(1): 71-78.

[14] Mete, H.O., Zabinsky, Z.B. (2010). "Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster managemen", International Journal of Production Economics, 126(1): 76-84.

[15] Michael, R.G., Johnson, D.S. (1979). Computers and Intractability: A guide to the theory of NP-completeness, WH Freeman & Co, San Francisco

[16] Laporte, G., Nobert, Y. (1981). An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location, European Journal of Operational Research, 6: 224-226.

[17] Albareda-Sambola, M., Díaz, J.A., Fernández, E. (2005). A compact model and tight bounds for a combined location-routing problem, Computers & Operations Research, 32: 407-428.

[18] Belenguer, J.-M., Benavent, E., Prins, C., Prodhon, C., Wolfler Calvo, R. (2011). A branch-and-cut method for the capacitated location-routing problem, Computers & Operations Research, 38: 931-941.

[19] Baldacci, R., Mingozzi, A. Wolfler Calvo, R. (2011). An exact method for the capacitated location-routing problem, Operations Research, 59: 1284-1296.

[20] Derbel, H., Jarboui, B., Hanafi, S., Chabchoub, H. (2012). Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem, Expert Systems with Applications, 39: 2865-2871.

[۲۱] ستاک، مصطفی؛ عزیزی، وحید، کریمی، حسین. (۱۳۹۳). مسأله مکان‌یابی مسیریابی چنددپویی ظرفیت‌دار با برداشت و تحویل همزمان و بارهای برش‌یافته: مدلسازی و حل ابتکاری، پژوهشهای مهندسی صنایع در سیستمهای تولید، ۲(۴): ۶۷-۸۱.

[۲۲] جعفری، عزیزاله، صادقی سروستانی، آیلین. (۱۳۹۳). مدلسازی مسئله مکانیابی- مسیریابی باز با تحویل چندبخشی و حل آن با استفاده از الگوریتم انجماد تدریجی، پژوهشهای مهندسی صنایع در سیستمهای تولید، ۲(۳): ۶۱-۴۷

[۲۳] حسینی، سید محمدحسن، خلجی علیایی، سهیلا. (۱۳۹۴). مدل‌سازی ریاضی مسأله مکان‌یابی- مسیریابی با در نظر گرفتن ظرفیت، تنوع و محدودیت تردد وسایل حمل و نقل و توسعه یک مدل حل مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان، پژوهشهای مهندسی صنایع در سیستمهای تولید، ۳(۵): ۹۱-۱۰۵.

[24] Kachitvichyanukul, V., Luong, H., Pitakaso, R., (2012). "A Comparison of ILS and VNS Heuristics for Multi-stages and Multi-objectives Location-routing Problem", Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference.

[25] Martínez-Salazar, I., Molina, J., Ángel-Bello, F., Gómez, T., Caballero, R. (2014). "Solving a bi-objective Transportation Location Routing Problem by metaheuristic algorithms", European Journal of

Arhive of SID

www.SID.ir

Operational Research, 234: 25-36.
[26] Berube, F. J., Gendreau, M., Potvin, J. (2009), "An exact ε-constraint method for bi-objective combinatorial optimization problems: Application to the Traveling Salesman Problem with Profits: European Journal of Operational Research, 194: 39-50.
[27] Goldberg, D.E. (1989). "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning".
[28] Deb, K., et al. (2002). "A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II", Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 6: 182-197.
[29] Schaffer, J.D. (1985). "Multiple Objective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithms, in Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms", L. Erlbaum ssociates Incorporated, 93-100.
[30] Zitzler, E., Thiele, L. (1999). "Multi objective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach" Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 3: 257-271
[31] Behnamian, J., Fatemi Ghomi, S., Zandieh, M. (2009). "A multi-phase covering Pareto-optimal front method to multi-objective scheduling in a realistic hybrid flowshop using a hybrid metaheuristic", Expert Systems with Applications, 36: 11057-11069.
[32] Taguchi, G. (1986). "Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes".
[33] Prins, C., Prodhon, C., Wolfler-Calvo, R. (2004). Nouveaux algorithmes pour le problème de localisation et routage sous contraintes de capacité, MOSIM.

Arhive of SID

www.SID.ir

Arhive of SID

www.SID.ir

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2017 Volume 4. No.8. pp.147-163
www.ier.basu.ac.ir

Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm for Bi-Objective Transportation Location Routing Problem under Demand Uncertainty

M. Honarvar [1,*], M. Khalili[1]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 01 October 2014
Accepted 16 January 2017

***Keywords*:**

Multi-product Transportation Location Routing Problem
two-stage stochastic programming
Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
Epsilon-Constraint method

ABSTRACT

Effective management of distribution of manufactured goods plays an important role in the success and increasing of competition' levels in manufacturing organization. Location routing problem is a problem in which location of distribution center and vehicle routing are considered simultaneously. In this paper, a two-stage stochastic programming model and a meta-heuristic approach are presented for the Transportation Location Routing Problem. Customers can order different products. Capacitated central centers transport different products to open intermediary Distribution Centers (IDCs) and then these products are distributed from IDCs between the customers. A bi-objective optimization model is developed. Two objectives, minimization of the overall costs and maximization of the total served demand, are addressed. Due to the high complexity of the problem, we use the Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm to solve the problem. The initial parameters of this algorithm is set with Taguchi method. Computational results show the effectiveness of the proposed solution method to solve problems in different dimensions.

Archive of SID

[*] Corresponding author. Mahboobeh Honarvar
Tel.: 035-31232345; *E-mail address: mhonarvar@yazd.ac.ir*

www.SID.ir