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 ۱۳۳-۱۴۵

www.ier.basu.ac.ir

بهینه‌سازی دو هدفه برای مسئله‌ی مکان‌یابی - مسیریابی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و هزینه فازی

نجمه بهرامپور[۱]، رضا توکلی مقدم[۲]، ناصر شهسواری‌پور[۳،*]

۱. دانش‌آموخته کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد سلامی، واحد تهران جنوب، تهران.

۲. استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران.

۳. دانشیار مهندسی صنایع، دانشگاه ولی‌عصر (عج)، رفسنجان، کرمان.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۳/۰۹/۲۵

پذیرش ۱۳۹۵/۰۳/۰۸

کلمات کلیدی:

مسئله مکان‌یابی- مسیریابی

قابلیت اطمینان

خرابی

الگوریتم کرم شبتاب

NSGA-II، هزینه فازی

خلاصه

مسائل مکان‌یابی- مسیریابی جهت تحویل کالا در شرایط اضطراری دارای اهمیت فراوانی هستند. این مقاله، به بررسی و حل مسئله‌ی مکان‌یابی- مسیریابی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان می‌پردازد که قابلیت اطمینان به صورت احتمال وقوع خرابی‌ها در نظر گرفته می‌شود. مسئله به صورت مدلی دو هدفه شامل حداقل کردن هزینه و حداکثر کردن قابلیت اطمینان مدلسازی می‌شود که حداکثر کردن قابلیت اطمینان به صورت حداقل کردن هزینه‌های خرابی مورد انتظار بیان می‌شود. احتمال وقوع خرابی‌ها به صورت سه خرابی مراکز یا تسهیلات، خرابی در مسیرهای ارتباطی و خرابی وسایل نقلیه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه میزان هزینه سفر به متغیرهای زیادی وابسته است و تخمین دقیق آن امکان‌پذیر نمی‌باشد از این رو میزان هزینه با استفاده از متغیرهای زبانی خبرگان به صورت فازی مطرح می‌شود. از آنجا که این مسئله یک مسئله NP-hard است لذا از الگوریتم‌های فراابتکاری جهت حل و بهینه‌سازی استفاده می‌شود. ابتدا الگوریتم کرم شبتاب گسسته‌ی دو هدفه ارائه و سپس مسئله با دو الگوریتم کرم شبتاب و NSGA-II حل می‌شود و در پایان کارایی این دو الگوریتم به وسیله‌ی مجموعه‌ای کامل از مثال‌ها با اندازه‌های کوچک تا بزرگ مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم کرم شبتاب گسسته دو هدفه دارای شاخص DM بهتری هستند اما در مورد دو شاخص MID عملکرد الگوریتم کرم شبتاب تنها برای مسائل با اندازه کوچک تا متوسط مناسب است و با بزرگ شدن مسئله کارایی خود را از دست می‌دهد.

۱- مقدمه

یکی از محرک‌های اصلی در طراحی زنجیره‌ی تأمین سیستم لجستیک زنجیره‌ی تأمین است که طراحی دقیق آن موجب بهره‌وری و سودآوری می‌شود [۱]. در سال‌های اخیر طراحی سیستم لجستیک یکپارچه جز اهداف اولیه بسیاری شرکت‌ها بوده است زیرا هزینه‌های لجستیک بخش زیادی از هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند و با طراحی دقیق یک زنجیره‌ی تأمین می‌توان این هزینه‌ها را کاهش داد.

شبکه توزیعی که در انتهای زنجیره قرار دارد به این دلیل که شامل ارسال تعداد زیادی کالا به مشتریان است نیز حائز اهمیت است. طراحی چنین شبکه‌ای موجب مسائل بهینه‌سازی ترکیبی می‌گردد که در آن تصمیمات تعیین نقاط توزیع و تعیین مسیر وسایل نقلیه به‌طور همزمان انجام شود. در این مسئله تصمیمات مربوط به استقرار مراکز، تعداد وسایل نقلیه استقراریافته به این مراکز، تخصیص مشتریان به مراکز و تصمیمات مربوط به ترتیب خدمت‌دهی مشتریان گرفته می‌شود. در مسئله‌ی مکان‌یابی- مسیریابی تصمیمات در دو سطح استراتژیک و تاکتیکی به‌طور

* نویسنده مسئول: ناصر شهسواری‌پور

تلفن: ۰۳۴۳۱۳۱۲۳۸۵؛ پست الکترونیک: shahsavari_n@alum.sharif.edu

www.SID.ir

همزمان گرفته می‌شوند. تصمیمات استراتژیک معمولاً تنها یکبار گرفته‌شده و امکان به وجود آوردن تغییرات در آن وجود ندارد و نیاز به هزینه‌های زیاد سرمایه‌گذاری دارند که تصمیمات مربوط به مکان‌یابی در حیطه‌ی تصمیمات استراتژیک قرارگرفته است. تصمیمات مربوط به مسیریابی مربوط به تصمیمات تاکتیکی هستند و در تعداد دفعات بیشتری گرفته‌شده و امکان تغییر در آن‌ها وجود دارد [۲].

در یک مسئله مکان‌یابی-مسیریابی بخش‌های مختلف آن همواره در معرض خرابی قرار دارند به وجود آمدن خرابی در بخش‌های آن موجب از بین رفتن قابلیت اطمینان می‌گردد. چنانچه خرابی‌های ممکن در مسئله مکان‌یابی- مسیریابی در نظر گرفته شود معادل با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان برای آن شبکه است. عوامل وقوع خرابی به دو دسته‌ی انسانی و طبیعی تقسیم‌بندی شده‌اند عوامل انسانی مواردی از قبیل جنگ، حملات تروریستی و دلایل طبیعی مانند سیل، زلزله و دیگر بلاهای طبیعی هستند [۳].

تاکنون مسئله مکان‌یابی- مسیریابی از جنبه‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است که همواره این بخش از زنجیره تحت تأثیر خطرهایی قرار دارد و شکست در هر بخش آن موجب خسارات جبران‌ناپذیری در زنجیره می‌گردد به عنوان مثال اگر مسئله نجات جان انسان‌ها در هنگام وقوع شرایط اضطراری جهت رساندن کمک‌های اولیه به آنان باشد در صورت اختلال در سیستم ممکن است نجات جان تعداد زیادی به خطر افتد. در حال حاضر مسئله قابلیت اطمینان به نگرانی عمومی تبدیل‌شده است و این مسئله در بخش‌های مختلف زنجیره مورد بررسی قرارگرفته است، تعداد مطالعات در زمینه قابلیت اطمینان و مکان‌یابی زیاد است اما تعداد اندکی از محققان نیز به در نظر گرفتن این موضوع در مسیریابی اشاره کرده‌اند و تاکنون به بررسی بحث قابلیت اطمینان در هر دو زمینه یعنی موضوع مکان‌یابی- مسیریابی پرداخته نشده است. با در نظر گرفتن بحث قابلیت اطمینان می‌توان سیستمی را طراحی کرد که از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشد و از پس تغییرات متناسب با رخداد خرابی‌ها در هر بخش از سیستم برآید. هدف از این تحقیق پر کردن شکاف موجود در زمینه قابلیت اطمینان در یک سیستم مکان‌یابی-مسیریابی و مدل‌سازی و ارزیابی این مدل می‌باشد.

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه مسائل مکان‌یابی-مسیریابی انجام شده است. Min و همکاران [۴] و پس از آن Nagy و Salhi[۵] طبقه‌بندی جامعی بر روی ادبیات مسائل مکان‌یابی-مسیریابی بر اساس روش‌های حل و ساختار مسئله ارائه کرده‌اند و آخرین طبقه‌بندی توسط Prodhon و Prins[۶] ارائه شده است. با بررسی این تقسیم‌بندی‌ها می‌توان دید جامعی در مورد ادبیات مربوط به مسائل مکان‌یابی-مسیریابی داشت. مسئله‌ی مکان‌یابی- مسیریابی به صورت مجموعه‌ای از مسائل مکان‌یابی و مسیریابی و برنامه‌ریزی مکان با در نظر گرفتن جنبه‌های مسیریابی است [۷].

با در نظر گرفتن محدودیت‌های مختلف مدل‌های ریاضی متفاوتی برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی ارائه‌شده است. Geoffrion و Graves[۸] مدلی برای یک سیستم توزیع چند محصولی دومرحله‌ای ارائه کردند که در آن ابتدا محصولات از کارخانه به مراکز توزیع و از آنجا به سمت مشتریان فرستاده‌شده و هدف مسئله به صورت حداقل کردن کل هزینه‌های سیستم در نظر گرفته شده بود. Perl و Daskin[۷] نیز مدلی برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی انبارها ارائه کردند و در مدل آن‌ها به دلیل اینکه محدودیتی در اندازه‌ی ناوگان حمل و نقل وجود ندارد لزومی به در نظر گرفتن هزینه ثابت آن در مدل نبود. Wu و همکاران [۹] نیز مدلی برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی را با در نظر گرفتن هزینه ثابت وسایل نقلیه ارائه کردند. با در نظر گرفتن محدودیت‌های خاصی از قبیل برداشت و تحویل،امکان برش تقاضا می‌توان این مدل‌ها را به واقعیت نزدیک کرد [۵۳].

مسائل موجود در ادبیات موضوع بر اساس نوع تابع هدف به دو صورت تک هدفه و چند هدفه تقسیم‌بندی شده‌اند. در مسائل تک هدفه تابع هدف به صورت حداقل کردن هزینه‌ها در نظر گرفته شده است و در مسائل چندهدفه معمولاً تابع هدف اولیه حداقل کردن هزینه‌ها و اهداف ثانویه به مواردی از قبیل حداقل کردن اثرات زیست‌محیطی [۱۰]، حداقل کردن فاصله سفر اضافی [۱۱]، حداقل کردن میزان تقاضای پوشش داده شده [۱۲]، حداقل کردن ریسک برای افرادی که در نزدیکی دفع مواد زائد هستند [۱۳] و بیشینه کردن سطح خدمت [۳] می‌توان اشاره کرد.

طبق طبقه‌بندی Prodhon و Prins[۶] روش‌های حل مسائل مکان‌یابی-مسیریابی به چهار دسته تقسیم شده‌اند که عبارتند از: دقیق، ابتکاری، فراابتکاری و ریاضی-ابتکاری. روش‌های حل دقیق قابلیت کاربرد در مسائل با اندازه کوچک را داشته و تاکنون از روش‌هایی از قبیل صفحات برش[۱][۱۴]، شاخه-برش[۲][۱۵]، شاخه-برش-هزینه[۳][۱۶] و شاخه-کران[۱۷] استفاده شده است. طبق تقسیم‌بندی Nagy و Salhi[۵] روش‌های ابتکاری عبارتند از :ترتیبی مبتنی بر خوشه‌بندی ، مبتنی بر تکرار و سلسله مراتبی.

روش‌های فراابتکاری قابلیت کاربرد در مسائل با اندازه‌های بزرگ را داشته و این روش‌ها ممکن است که منجر به تولید جواب بهینه نشوند اما قابلیت به دست آوردن جوابی در نزدیکی جواب بهینه را دارا هستند. تاکنون از روش‌های فراابتکاری زیادی برای حل این مسائل استفاده شده است که برخی از این روش‌های استفاده شده عبارتند از: تبرید شبیه‌سازی‌شده [۱۸]، جستجوی ممنوع [۱۹]، جستجوی محلی تکراری [۲۰]، جستجوی محلی تکراری–ژنتیک[۴] [۲۱]، جستجوی همسایگی متغیر[۲۲]، روش جستجوی حریصانه

1. Cutting Plane
2. Branch - and - Cut
3. Branch-Cut- and-Price
4. Genetic-Iterative Local Search

Archive of SID

www.SID.ir

(GRASP)[۲۳]، کاهش همسایگی متغیر[۱][۲۴]، الگوریتم ممتیک [۲۵] و کلونی مورچه چندگانه[۲۶].

از روش‌های ترکیبی ریاضی-ابتکاری نیز به منظور حل مسائل استفاده شده است اولین روش ریاضی ابتکاری به نام LRGTS[۲] توسط Prins و همکاران[۲۷]معرفی شد که این روش ترکیبی از روش‌های آزادسازی لاگرانژ و جستجوی ممنوع است. Contrado[۲۸] نیز روشی ارائه کرد که ترکیبی از الگوریتم جستجو حریصانه و برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح است [۲۸].

پارامترهای موجود در مسئله‌ی مکان‌یابی-مسیریابی به دو صورت قطعی و یا غیرقطعی هستند. از آنجا که پیش‌بینی دقیق شرایط و پارامترها امری ناممکن و غیرواقعی است از این رو در ادبیات موضوع عدم قطعیت در پارامترهای مسئله بررسی شده است. برخی از عدم قطعیت‌های بررسی شده عبارتند از: مواردی از قبیل عدم قطعیت در تقاضا و تأمین که ناشی از کارایی و رفتار مشتریان است. از دیگر موارد عدم قطعیت در یک سیستم می‌توان به عدم قطعیت در تولید، توزیع، جمع‌آوری، زمان‌های تحویل و هزینه‌های تولید اشاره کرد [۲۹]. پارامترهای عرضه، تقاضا و زمان‌های سفر می‌توانند به صورت احتمالی از توزیعی معین و یا به صورت فازی در نظر گرفته شده باشند [۱۱, ۳۰، ۳۲].

تاکنون مسئله‌ی مکان‌یابی-مسیریابی داری کاربرد وسیعی در دنیای واقعی بوده است برخی از این کاربردها عبارتند از: کمک‌رسانی سازمان‌های امداد [۱۲]، دفع زباله‌های خطرناک صنعتی [۱۳]، توزیع مواد غذایی [۳۳, ۳۴]، توزیع روزنامه [۳۵].

بحث قابلیت اطمینان و خرابی تاکنون از منظرهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در این قسمت ادبیات مربوط به قابلیت اطمینان در زنجیره تأمین، مکان‌یابی و مسیریابی بیان شده است. مفهوم قابلیت اطمینان برگرفته از تئوری قابلیت اطمینان شبکه است که در آن به محاسبه، برآورد و یا حداکثر کردن احتمال متصل بودن یک شبکه می‌پردازد(معمولاً شبکه‌های مخابراتی و برق توسط گراف بیان می‌شوند) و وقوع خرابی در این شبکه‌ها منجر به خرابی، انسداد و شلوغی می‌گردد[۳۶]. در دنیای واقعی مثال‌هایی از توقف سیستم و بر هم خوردن نظام حاکم بر سیستم وجود دارد از جمله این موارد حادثه ۱۱ سپتامبر است که پس از وقوع این حادثه بخش عظیمی از فرایندهای اقتصادی و اداری به دلیل توقف برج‌های دوقلو دچار توقف شد یا زلزله تایوان در سال ۱۹۹۹ نیز شوک عظیمی به بازار قطعات نیمه‌هادی وارد کرد[۳۷].

نخستین مطالعه مربوط به بحث قابلیت اطمینان و مکان‌یابی در رساله‌ی دکتری Snyder[۳۸] است و Snyder و Daskin[۳۶] نیز مدل‌هایی برای قابلیت اطمینان در مسائل مکان‌یابی ارائه کرده و یک مثال کاربردی از بحث قابلیت اطمینان و بحث مکان‌یابی را که منجر به هزینه‌های گزاف مالی شده است را بیان کرده‌اند. آن‌ها مدل‌هایی بری مسائل PMP و UFLP ارائه کردند در مدل آن‌ها تنها احتمال وقوع خرابی در تسهیلات بررسی شده است و تسهیلات به دو گروه خراب شدنی و خراب نشدنی تقسیم‌بندی شده‌اند و مشتریان دارای تخصیص‌های اولیه و پشتیبان هستند در این مدل تنها وقوع خرابی در مراکز در نظر گرفته شده است و تابع هدف در این مدل به صورت حداقل کردن هزینه‌های خرابی بیان شده است. مدل به صورت دو هدفه ارائه شده است هدف اول حداقل کردن هزینه‌ها و هدف دوم بصورت حداقل کردن هزینه‌های مورد انتظار خرابی بیان شده است و مدل با آزاد سازی لاگرانژ حل شده است.

بخش زیادی از مطالعات به بحث قابلیت اطمینان در مدل‌های پوششی و حداکثر پوششی برای مکان‌یابی آمبولانس‌ها پرداخته شده است. در این مدل‌ها یک تسهیل تا زمانی در دسترس است که تماسی با وی برقرار نشده است و به محض شروع خدمت‌دهی به یک مشتری از لیست وسایل در دست خارج می‌شود؛ بنابراین در این مسائل هدف آن است که به نحوی مکان‌یابی و تخصیص انجام شود که حداکثر پوشش دهی برای مشتریان صورت گیرد Lim[۳۹] و همکاران [۴۰] مکان‌یابی تسهیلات با در نظر گرفتن ۲ نوع تسهیل، یکی ارزان با قابلیت اطمینان پایین و دیگری گران با قابلیت اطمینان بالا را بیان کرده‌اند و احتمال وقوع خرابی در تسهیلات در نظر گرفته‌اند و مدل ریاضی برای مسئله در حالتی که "محکم سازی تسهیلات"[۳] مطرح باشد ارائه کردند. این مفهوم به معنی استفاده از برنامه‌های حفاظتی مختلف است و هر مشتری دارای تخصیص‌های اولیه و پشتیبان است.

Berman و همکاران [۴۱] نیز مسئله مکان‌یابی p-میانه را با در نظر گرفتن وقوع خرابی در شبکه بررسی کرده‌اند که نقطه بهینه به احتمال خرابی تسهیلات به شدت وابسته است و با افزایش احتمال خرابی، تسهیلات متمرکزتر و شلوغ‌تر شده است. آن‌ها نشان دادند که با توجه به خاصیت مجانبی مسئله p-میانه در حالتی که احتمال از کارافتادگی یا خرابی صفر باشد به سمت مسئله p-میانه همگرا است. آن‌ها همچنین مسئله را در بدترین حالت بررسی کرده و هدف در این مسئله نیز به صورت حداقل کردن هزینه حمل و نقل وزن‌دار-تقاضا بیان شده است.

Cui و همکاران[۴۲] مدل تقریبی پیوسته برای مکان‌یابی تسهیلات غیرظرفیت‌دار با هزینه ثابت با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان با دو هدف حداقل کردن هزینه‌های اولیه و هزینه‌های مورد انتظار حمل و نقل ارائه کرده‌اند و در نهایت مدل با الگوریتم آزادسازی لاگرانژ Costumer –Designed حل شده است.

Miao و همکاران [۴۳] قابلیت اطمینان را در مورد مسئله کمک‌رسانی سازمان‌های امداد بررسی کرده مسئله را در محیط فازی و متغیرها در یک محیط پویا در نظر گرفته شده‌اند و روشی جهت ارزیابی قابلیت اطمینان در زنجیره‌ی تأمین ارائه کرده‌اند. Vahdani

1. Variable Neighborhood Descent
2. Lagrangian Relaxation-granular Tabu Search
3. Co–Located

Archive of SID

www.SID.ir

و همکاران [۲۹] نیز قابلیت اطمینان را در زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته در صنعت فولاد تحت شرایط عدم قطعیت بیان کردند و در مدل مذکور تنها امکان وقوع خرابی در مراکز جمع‌آوری در نظر گرفته شده است.

Sanso و همکاران [۴۴] قابلیت اطمینان در مدل‌های مسیریابی با هدف حداقل کردن هـزینه را بررسی کرده‌اند در مدل آن‌ها احتمال خرابی در مسیرهای ارتباطی و گره‌ها در نظر گرفته شده است و حدود بالا و پایین برای قابلیت اطمینان محاسبه شده است و با روش شاخه و کران مدل حل شده است. Li و همکاران [۴۵] بحث خرابی در وسایل نقلیه در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی در نظـر گرفته‌اند. در مدل آن‌ها در صورت خرابی وسایل نقلیه در صورتی که وسیله نقلیه دیگری در مرکز باشد جهت ادامه‌ی خدمت‌دهی ارسال می‌شود و در غیر این صورت تقاضا مشتری از دست می‌رود. هدف به صورت حداقل کردن مجموع هزینه‌های عملیاتی، از دست دادن تقاضا و شکست بیان شده است.

Wang و همکاران [۴۶] نیز مدلی برای مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه با درنظرگرفتن خرابی وسایل نقلیه ارائه و مدل به صورت مدلی دو هدفه با دو هدف حداقل کردن زمان تحویل و حداقل کردن هزینه ارائه کرده‌اند و از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ به منظور حل استفاده کرده‌اند.

همچنین Mu و همکاران [۴۷] مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه را با در نظر گرفتن خرابی وسایل نقلیه در حین عملیات تحویل به‌گونه‌ای که ادامه‌ی عملیات تحویل ادامه یابد با هدف حداقل کردن هزینه بررسی کرده‌اند.به این معنی که تخصیص مجدد برای مشتریان در صورت شکست یک وسیله نقلیه انجام می‌شود و هدف به صورت حداقل کردن تعداد وسایل نقلیه و حداقل کردن کل مسیر طی شده توسط وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است و از روشی ابتکاری برای حل استفاده کرده‌اند.

Helander و همکاران [۴۳] به بررسی مسئله مکان‌یابی مسیریابی حمل مواد خطرناک صنعتی پرداختند و هدف حداقل کردن تعداد مورد انتظار تصادفات در حمل مواد خطرناک صنعتی است آن‌ها قابلیت اطمینان را به صورت وقوع احتمال تصادف در مسئله در نظر گرفته و قابلیت اطمینان در این مسئله را نیز به معنی انجام یک سفر بدون تصادف است Ukkusuri و Yushimito[۴۸] نیز لجستیک زنجیره‌ی تأمین کمک‌های بشردوستانه پس از وقوع حوادث را بررسی کردند و سعی در کاهش ریسک در ارسال این کمک‌ها داشته‌اند. آن‌ها تنها به بررسی مکان‌هایی جهت نگهداری موجودی به عنوان یک مسئله مکان‌یابی-مسیریابی پرداخته‌اند و هدف در مسئله تعیین این مکان‌ها جهت نگهداری موجودی و مسیریابی جهت ارسال کمک است. در مسئله‌ی بررسی شده جنس شکست خرابی در حمل است به این معنی که نتوان به مشتریان سرویس‌دهی را انجام داد.

با توجه به بررسی ادبیات موضوع و شکاف موجود در بحث قابلیت اطمینان در مسئله‌ی مکان‌یابی-مسیریابی و این‌که تاکنون تمامی جنبه‌های شکست در مسیر، وسایل نقلیه و مراکز به‌طور همزمان در نظر گرفته نشده است در این مقاله به این موضوع پرداخته شده است. مسئله به صورت دو هدفه با دو هدف حداقل کردن هزینه و حداکثر کردن قابلیت اطمینان در قالب حداقل کردن هزینه‌های مورد انتظار خرابی ارائه شده است. با توجه به NP-hard بودن مسئله تحقیق از الگوریتم‌های فراابتکاری به منظور حل استفاده شده است. ابتدا الگوریتم کرم شبتاب گسسته چند هدفه‌ای به منظور ارائه مجموعه جواب پاراتو ارائه و مسئله با الگویتم کرم شبتاب و الگوریتم NSGA-II حل و کارایی این دو الگوریتم در حل مسئله تحقیق با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به این‌که تخمین دقیق هزینه‌ها در دنیای واقعی با متغیرهای زیادی روبرو می‌شود لذا در این مقاله با استفاده از متغیرهای زبانی از اعداد فازی مثلثی برای هزینه‌ها استفاده شده است و از روش شعاع ژیراسیون به منظور مقایسه اعداد فازی استفاده شده است.

ساختار ادامه‌ی مقاله به این صورت است که ابتدا در بخش دوم تعریف مسئله و بیان دقیق مدل ریاضی با شرح دقیق متغیرها، پارامترها و محدودیت‌های مسئله پرداخته شده است. به منظور حل مسئله از دو الگوریتم کرم شبتاب و NSGA-II استفاده شده است که نحوه‌ی نمایش جواب، ایجاد حرکت و فاصله بین دو کرم شبتاب در بخش سوم ارائه شده است. در بخش چهارم مسائل نمونه برای تحقیق بیان شده و سپس نتایج محاسباتی الگوریتم کرم شبتاب و NSGA-II بر اساس شاخص‌هایی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای تحقیقات آتی نیز در بخش پنجم بیان شده است.

۲- تعریف مسئله و مدل‌سازی

در این قسمت به بیان دقیق مسئله و اهداف مسئله پرداخته می‌شود، سپس متغیرها و پارامترهای مسئله معرفی و پس از آن مدلسازی ریاضی انجام می‌شود و محدودیت‌ها و توابع هدف نیز معرفی می‌شوند.

۲-۱- تعریف مسئله

در یک شبکه زنجیره‌ی تأمین مراکز توزیع، وسایل نقلیه و مسیرهای ارتباطی همواره در معرض خرابی قرار دارند و ممکن است از سرویس‌دهی به مشتریان خارج شوند. در این تحقیق سه نوع خرابی مراکز توزیع یا تسهیلات، وسایل نقلیه و مسیرهای ارتباطی در مسئله مکان‌یابی-مسیریابی در نظر گرفته شده است که متناسب با هریک از نوع خرابی‌ها به سیستم هزینه‌ای اضافی به عنوان هزینه مورد انتظار خرابی تحمیل شده است.

به منظور محاسبه هزینه‌های مورد انتظار خرابی از هزینه‌های حمل و نقل استفاده شده است. مراکز توزیع موجود در مسئله به دو نوع خراب شدنی و خراب نشدنی تقسیم‌بندی شده‌اند. هر یک از مراکز توزیع خراب شدنی ممکن است با احتمال q دچار خرابی

Arnive of SID

www.SID.ir

شوند(احتمال خرابی برای همه‌ی مراکز توزیع یکسان فرض شده است) و بروز خرابی‌ها در مراکز توزیع از یکدیگر مستقل است و ممکن است چندین مرکز توزیع به‌طور همزمان دچار خرابی شوند. هنگام وقوع خرابی در یک مرکز توزیع مشتریانی که از آن مرکز توزیع خدمت دریافت می‌کنند باید از مرکز توزیع دیگری که سالم است خدمت دریافت کنند.

اگر میزان تقاضای مشتری i توسط یک مرکز خراب نشدنی u ارضا شود در این صورت هزینه‌ای به سیستم تحمیل می‌گردد که این هزینه متناسب با فاصله طی شده است (می‌توان آن را به عنوان هزینه‌ی فرصت از دست رفته نیز در نظر گرفت در صورتی که مشتری از یک مرکز توزیع خراب نشدنی خدمت دریافت کند). هزینه ثابت تأسیس برای مراکز توزیع خراب نشدنی صفر در نظر گرفته شده است و به این منظور که حتماً این مراکز تأسیس شوند مقدار $z_u = 1$ نیز در نظر گرفته شده است. در صورتی که I مرکز توزیع افتتاح شده باشند هر مشتری دارای I سطح تخصیص است.

چنانچه یک مشتری در یک سطح به مرکز توزیع خراب نشدنی تخصیص یابد در این صورت در سایر سطوح نیازی به تخصیص پشتیبان ندارد. اگر مشتری در یک سطح تخصیص از یک مرکز توزیع خدمت دریافت کند به این معنی است که در سطوح قبلی با احتمال q^r شکست رخ داده و احتمال وقوع پیروزی در این سطح برابر $(1-q)$ است و این احتمال پیروزی چنانچه به مرکز توزیع خراب نشدنی تخصیص‌یافته باشد برابر با ۱ است.

در هنگام وقوع خرابی در وسایل نقلیه در این صورت به هزینه‌های مسیر آن وسیله‌ی نقلیه درصد هزینه‌ای به‌اندازه‌ی δ اضافه شده است که این افزایش در هزینه برابر با هزینه اضافی پرداخت شده به منظور کرایه یک وسیله نقلیه دیگر برای ادامه‌ی خدمت دهی است. در صورت وقوع خرابی در مسیر، وسیله نقلیه باید مسیر دیگری را برای ادامه‌ی مسیر انتخاب کند، هر مسیر دارای احتمال خرابی می‌باشد. هر چه احتمال خرابی مسیر بیشتر باشد باید هزینه خرابی بیشتر باشد و اگر احتمال ۱ باشد حتماً نمی‌توان از آن مسیر رفت پس برای مدل‌سازی باید مسیری که احتمال خرابی آن زیاد است آن مسیر هزینه بزرگی داشته باشد تا انتخاب نشود؛ یعنی هرچه احتمال خرابی بیشتر شود هزینه متناظر با آن به‌طور نمایی افزایش یابد به طوری که برای احتمال ۱ هزینه خیلی زیادی تولید کند که آن مسیر انتخاب نشود. بدین منظور ضریبی برای افزایش هزینه انتخاب شده است که با افزایش احتمال خرابی این ضریب به‌طور نمایی افزایش یابد.

۲-۲- مدلسازی

متغیرها و پارامترهای مسئله عبارتند از:

J: مجموعه مشتریان (با اندیس j)

I: مجموعه مراکز توزیع کاندید

K: مجموعه وسایل نقلیه (با اندیس k)

d_j: تقاضای مشتری در مکان j

O_i: هزینه ثابت افتتاح مرکز توزیع i

$\widetilde{c_{ij}}$: هزینه حمل و نقل فازی بین دو نقطه i و $j (i,j \in I \cup J)$

N: تعداد مشتریان

d_{ij}: مسافت بین دو گره i و j

v_i: ظرفیت مرکز توزیع i

Q_k: ظرفیت وسیله‌ی نقلیه (مسیر) k

F_k: هزینه ثابت استفاده از وسیله نقلیه k

q: احتمال خرابی مرکز توزیع

p_{ij}: احتمال خرابی مسیر ارتباطی بین دو گره i و j

pr_k: احتمال خرابی وسیله نقلیه k

متغیرهای مسئله عبارتند از:

$$x_{ijkr} = \begin{cases} 1 & \text{اگر در سطح تخصیص } r \text{ وسیله نقلیه } k \text{ از گره } i \text{ به گره } j \text{ برود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{اگر در مکان کاندید } i \text{ مرکز توزیعی تأسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$y_{ijr} = \begin{cases} 1 & \text{اگر مشتری } j \text{ به مرکز توزیع } i \text{ در سطح } r \text{ تخصیص یابد} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

u_{jkr}: متغیر کمکی برای حذف زیرتورها

مدل ریاضی

$$\text{Min } w_1 = \sum_{i\in I} z_i o_i + \sum_{k\in K} F_k \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} x_{ijk0} + \sum_{i\in v}\sum_{j\in v}\sum_{k\in K} x_{ijk0}\widetilde{c_{ij}} \quad (۱)$$

$$w_{21} = \sum_{r=0}\sum_{i\in((I\cap F)\cup J),}\sum_{j\in((I\cap F)\cup J)}\sum_{k\in K} q^r(1-q)x_{ijkr}\widetilde{c_{ij}} + \sum_{r=0}\sum_{i\in((I\cap NF)\cup J),}\sum_{j\in((I\cap NF)\cup J)}\sum_{k\in K} q^r x_{ijkr}\widetilde{c_{ij}} \quad (۲)$$

$$w_{22} = \sum_{k\in K}\sum_{i\in V\cap F}\sum_{j\in V\cap F} \delta p_{rk} x_{ijk0}\widetilde{c_{ij}} \quad (۳)$$

$$w_{23} = \sum_{i\in V}\sum_{j\in V\cap F}\sum_{k\in K} -\frac{p_{ij}}{ln(p_{ij})} x_{ijk0}\widetilde{c_{ij}} \quad (۴)$$

$$\text{Min } w_2 = w_{21} + w_{22} + w_{23} \quad (۵)$$

s.t.

$$\sum_{i\in V}\sum_{k\in K} x_{ijkr} = 1 \qquad \forall j \in J, r = 0,\dots,|I|-1 \quad (۶)$$

$$\sum_{i\in V}\sum_{j\in J} d_j x_{ijkr} \le Q_k \qquad \forall k \in K, r = 0,\dots,|I|-1 \quad (۷)$$

$$U_{lkr} - U_{jkr} + N x_{ljkr} \le N - 1 \qquad \forall l,j \in J, k \in K, r = 0,\dots,|I|-1 \quad (۸)$$

$$\sum_{j\in V} x_{ijkr} - \sum_{j\in V} x_{jikr} = 0 \qquad \forall i \in V, \forall k \in K, r = 0,\dots,|I|-1 \quad (۹)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{je J} x_{ijkr} \le 1 \qquad \forall k \in K, r = 0,\dots,|I|-1 \quad (۱۰)$$

$$\sum_{r=0}^{|I|-1}\sum_{j\in J} d_j y_{ijr} \le p_i z_i \qquad \forall i \in I \quad (۱۱)$$

$$\sum_{j\in J} y_{ijr} + \sum_{j\in NF}\sum_{s=0}^{r-1} y_{ijs} = 1 \qquad \forall j \in J, r = 0,\dots,|I|-1 \quad (۱۲)$$

Arhive of SID

www.SID.ir

$$\sum_{m\in V} x_{imkr} + \sum_{m\in V} x_{mjkr} \le 1 + y_{ijr} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall r \in \{0, \dots, |I| - 1\} \qquad (۱۳)$$

$$z_{NF} = 1 \qquad (۱۴)$$

$$z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \qquad (۱۵)$$

$$y_{ijr} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, r = 0,..|I| - 1 \qquad (۱۶)$$

$$x_{ijkr} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, r = 0,..|I| - 1 \qquad (۱۷)$$

$$u_{jkr} \ge 0 \quad \forall j \in J, k \in K, r = 0, \dots., |I| - 1 \qquad (۱۸)$$

تابع هدف اول مجموع کل هزینه‌ها در حالتی است که هیچ خرابی رخ نمی‌دهد، که قسمت اول این تابع هدف مربوط به محاسبه هزینه‌های ثابت احداث مراکز توزیع است، قسمت دوم آن مربوط به محاسبه هزینه‌های ثابت استفاده از وسایل نقلیه است و قسمت سوم نیز محاسبه هزینه‌های حمل و نقل است. تابع هدف دوم حداقل کردن هزینه‌های مورد انتظار خرابی است که از سه قسمت تشکیل شده است در قسمت اول، رابطه (۲) به محاسبه‌ی هزینه مورد انتظار خرابی در حالتی که مراکز توزیع دچار خرابی یا شکست می‌شوند پرداخته شده است، هر مشتری دارای تخصیص اولیه و تخصیص‌های پشتیبان است در قسمت اول این رابطه تنها مراکز توزیع خراب شدنی و در قسمت دوم مراکز توزیع خراب نشدنی در نظر گرفته شده‌اند.

در قسمت دوم، رابطه (۳) هزینه خرابی وسایل نقلیه محاسبه شده و این هزینه تنها در سطح صفر در نظر گرفته شده است. در رابطه (۴) هزینه‌های خرابی در مسیرهای ارتباطی و این هزینه نیز تنها در سطح صفر محاسبه شده است. تابع هدف دوم، رابطه (۵) مجموع هزینه‌های خرابی است محدودیت (۶) تضمین می‌کند که هر مشتری در هر سطح تخصیص تنها بر روی یک مسیر قرار گرفته باشد و محدودیت (۷) مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه است که مجموع کل میزان تقاضای یک مسیر از کل ظرفیت آن وسیله‌ی نقلیه فراتر نرود. محدودیت (۸) برای حذف زیر تورها است که از مجموعه تورهایی که فقط از مجموعه‌ی مشتریان عبور کند جلوگیری می‌کند. محدودیت (۹) تضمین می‌کند که هر وسیله نقلیه پس از ورود به یک گره از آن خارج شود. محدودیت (۱۰) به این معناست که در هر مسیر تنها یک مرکز توزیع قرار داشته باشد. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که میزان تقاضای تخصیص داده شده به هر مرکز توزیع از مجموع ظرفیت آن مرکز فراتر نرود.

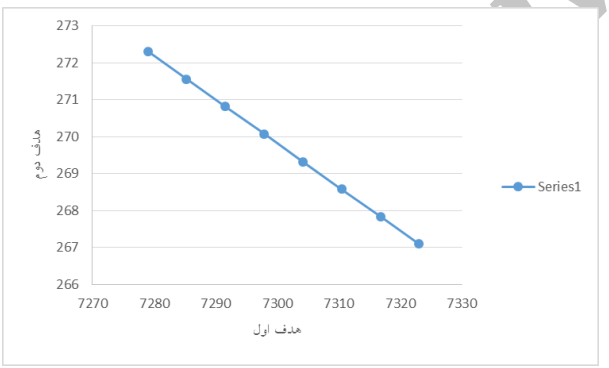
محدودیت (۱۲) به این معناست که هر مشتری در هر سطح باید به یک تسهیل تخصیص داده شده باشد مگر آنکه آن مشتری قبل از آن به یک تسهیل خراب نشدنی تخصیص‌یافته باشد. محدودیت (۱۳) بیان می‌کند که اگر $k \in K$ هم گره مشتری $j \in J$ و هم گره مرکز توزیع $i \in I$ را ترک کند آنگاه مشتری $j \in J$ باید به تسهیل $i \in I$ در سطح r تخصیص یابد. این محدودیت متغیرهای مسیریابی وسایل نقلیه را به متغیرهای تخصیص مربوط می‌کند.محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که مرکز خراب نشدنی حتماً تأسیس شود و محدودیت‌های (۱۵) تا (۱۸) متغیرهای تصمیم مسئله هستند.

۳- حل مسئله

برای نشان دادن اعتبار مدل‌سازی مسئله چند مثال مختلف با اندازه‌ی کوچک با نرم‌افزار گمز و روش اپسیلون-محدودیت حل شده‌اند و مقدار بهینه مربوط به هر یک از توابع هدف آورده شده است نتایج در جدول (۱) نشان داده شده‌اند. با توجه به زیاد بودن تعداد متغیرها و محدودیت‌های مسئله، تنها روش‌های دقیق و نرم‌افزارهایی مانند گمز قابلیت حل این مسئله با اندازه کوچک را دارند و با افزایش اندازه ابعاد مسئله نمی‌توان با چنین روش‌هایی به حل این مسائل پرداخت، از این رو از الگوریتم کرم شبتاب با استفاده از مفهوم مرتب کردن ناچیرهو الگوریتم NSGA-II[1]به منظور حل استفاده شده است.جبهه پاراتو برای یک مثال هم با استفاده از روش اپسیلون محدودیت در شکل (۱) آورده شده است.

جدول (۱): نتایج حل با گمز

مثال	W_1	W_2
۱	۷۲۹۵.۷۱	۲۲۶.۱۵۸
۲	۷۳۰۰.۰۲	۲۳۵.۰۱۶
۳	۷۳۰۵.۰۸	۲۳۷.۱۵۳
۴	۷۳۲۳.۰۱	۲۷۲.۳۱



شکل (۱): جبهه پاراتو مثال

۳-۱ - الگوریتم کرم شبتاب

الگوریتم کرم شبتاب (FA) یکی از ابزارهای مهم در زمینه هوش گروهی به شمار می‌آید و کاربردهای وسیعی در زمینه‌های مختلف بهینه‌سازی دارد این الگوریتم اولین بار توسط Yang[۴۹] مطرح و بکار گرفته شد و الهام گرفته از رفتار کرم‌های شبتاب است. کرم‌های شبتاب در مناطق آب و هوایی گرم و در آسمان شب ظاهر می‌شوند و

1. Non dominated sorting genetic algorithm

Archive of SID

www.SID.ir

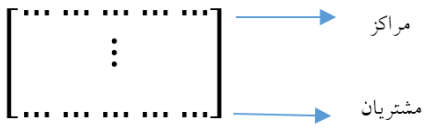
در طبیعت بیش از ۲۰۰۰ گونه کرم شبتاب وجود دارد. کرم‌های شبتاب با استفاده از مکانیزم‌هایی شیمیایی انرژی ذخیره شده در خود را به صورت الگوهایی از نور از خود ساطع می‌کنند که به آن‌ها فلش نیز گفته می‌شود، نوع الگوی فلش نیز برای گونه‌های مختلف معمولاً یکسان نیست. کرم‌های شبتاب تنها به الگوهای گونه‌های خود پاسخ می‌دهند. در فرایند جذب کرم شبتاب به سمت کرم شبتاب دیگری که از بین مجموعه موجود فلش قوی‌تری داشته باشد جذب می‌شود. شدت نور فلش در این الگوریتم متناسب است با مقدار تابع هدفی که باید بهینه شود.

این مسئله قابلیت ارائه نوع جدید از الگوریتم‌ها را به وجود آورده است که از این ویژگی کرم‌های شبتاب به منظور ارائه الگوریتم کرم شبتاب استفاده شده است. یک سری کرم شبتاب مصنوعی در نظر گرفته شده که هریک دارای میزان برازندگی هستند که این میزان برازندگی برابر با همان میزان جذابیت هر کرم شبتاب است. در اینجا کرم شبتاب با جذابیت بیشتر کرم شبتاب با جذابیت کمتر را به سمت خود جذب کرده به این معنی که جواب‌های ضعیف‌تر در مسئله به سمت جواب‌های قوی‌تر مسئله حرکت می‌کنند. در یک مسئله حداکثرسازی شدت نور می‌تواند با مقدار تابع هدفی که باید بهینه شود متناسب باشد. با توجه به چندهدفه بودن مسئله الگوریتم کرم شبتاب گسسته دو هدفه‌ای[1] ارائه شده است، به این صورت که برای به دست آوردن مرز بهینه پاراتو از روش مرتب‌سازی ناچیره و فاصله ازدحامی به منظور مقایسه جواب‌ها و با توجه به فازی بودن پارامتر هزینه از روش شعاع ژیراسیون به منظور رتبه‌بندی و مقایسه اعداد فازی استفاده شده است.

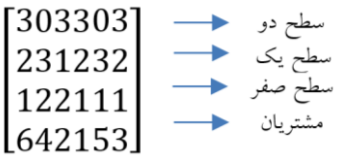
۳-۲- نحوه نمایش جواب‌ها

یکی از فاکتورهای مهم در هر الگوریتم بیان جواب‌های مسئله به‌گونه‌ای است که بتوان الگوریتم را با آن اجرا نمود، نحوه‌ی نمایش هر کرم شبتاب در مسئله‌ی مکان‌یابی-مسیریابی به صورت ماتریس است که در شکل (۲) نمایش داده شده است. از این شیوه نمایش جواب در الگوریتم NSGA-II نیز برای بیان هر جواب استفاده شده است. نحوه نمایش جواب به صورت ماتریسی در نظر گرفته شده است که در این ماتریس اعداد سطر آخر نشان‌دهنده‌ی شماره‌ی مشتریان است. از سطر اول تا سطر ماقبل آخر نیز سطوح تخصیص را نشان می‌دهد.

به عنوان مثال یک جواب ممکن برای مسئله‌ای با ۲ مرکز توزیع خراب شدنی و یک مرکز خراب نشدنی در شکل (۳) نشان داده شده است. سطر اول نشان‌دهنده‌ی تخصیص در سطح دوم است سطر بعدی تخصیص در سطح اول و سطر آخر تخصیص در سطح صفر است. اعداد تمامی سطرها با سطر آخر در ارتباط است به این معنی که اگر سطر اول و سطر آخر را با در نظر گرفتن شماره‌ی ستون‌ها در نظر بگیریم این را نشان می‌دهد که هر مشتری در هر سطح به کدام مرکز تخصیص‌یافته است. به عنوان مثال در ماتریس زیر در سطح صفر مشتری ۶ به مرکز توزیع ۱، مشتری ۴ به مرکز ۲، مشتری ۲ به مرکز ۲ و مشتری‌های ۱،۵ و ۳ به مرکز ۱ تخصیص‌یافته است. ترتیب مسیر خدمت دهی برای مشتریان نیز به ترتیب ارائه شده برای هر مرکز توزیع در سطر آخر است شکل (۴) به عنوان مثال ترتیب برای مرکز ۱ در حالتی که هیچ مرکزی دچار خرابی نشده است برابر است با ۱، ۶ و ۵. در صورتی که یک مشتری در یک سطح به مرکز توزیع خراب نشدنی تخصیص یابد در سایر سطوح نیازی به تخصیص پشتیبان ندارد . عدد صفر به این معناست که در این سطح تخصیص انجام نشده است.



شکل (۲): نمایش جواب



شکل (۳): نمایش یک جواب نمونه

$$\begin{bmatrix} 6 & 1 & 5 & 3 \\ 4 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

شکل (۴): نمایش یک مسیر نمونه در سطح صفر

۳-۳- شدت نور، فاصله و حرکت

از آنجا که مسئله تحقیق دارای دو تابع هدف است از این رو هر کرم شبتاب دارای دو پارامتر مختلف برای نشان دادن میزان شدت نور خود دارد. از این رو دو پارامتر مختلف شدت نور متناسب با معکوس میزان هر یک از توابع هدف برای هر کرم شبتاب است. با توجه به اینکه شدت نور در مسئله دارای دو مقدار است از این رو به منظور مقایسه جواب‌ها از روش رتبه‌بندی به روش مرتب‌سازی ناچیره و فاصله ازدحامی استفاده شده است.

$$I_1 = \frac{1}{object_1}, I_2 = \frac{1}{object_2} \qquad (۱۹)$$

یکی از پارامترهای مهم در الگوریتم کرم شبتاب، فاصله‌ی بین دو کرم شبتاب است که در مسائل بهینه‌سازی پیوسته این مقدار با استفاده از فاصله‌ی اقلیدسی بین دو جواب به دست می‌آید. به منظور ارائه روشی مناسب به منظور محاسبه میزان فاصله بین دو کرم شبتاب از مفهوم بکار برده شده در الگوریتم کرم شبتاب برای مسئله‌ی فروشنده دوره‌گرد که توسط Jati و همکاران[۴۳] ارائه شده، استفاده شده است. در این روش میزان فاصله به‌گونه‌ای محاسبه شده است که میزان فاصله بین دو جواب در صورتی که

1. Non-Dominated Sorting Firefly Algorithm

Arhive of SID

www.SID.ir

بیشتر از ۱۰ باشد میزان $e^{-\gamma r^2}$ به سمت صفر میل می‌کند به این معنی که در صورتی که فاصله از ۱۰ بیشتر باشد کرم شبتابی که در این فاصله قرار دارد دارای جذابتی نزدیک به صفر است. روش ارائه شده برای مسئله‌ی تحقیق به این صورت است که ابتدا پارامتری به نام M محاسبه شده است. مقدار M بین هر دو جواب به‌دست‌آمده برابر است با میزان تفاوت‌هایی که ماتریس مسیر یک کرم شبتاب در یک سطح با دیگری در همان سطح دارد. ابتدا برای هر سطح ماتریس مسیر به‌دست‌آمده و سپس از سطر اول تا سطر آخر ماتریس رویه‌ای تکرار شده است بدین صورت ابتدا دو درایه i و j را در ماتریس مسیر اول در نظر گرفته سپس درایهi در ماتریس مسیر دوم پیدا شده و عدد بعد از آن نیز خوانده شده، چنانچه این دو (ماتریس $[i\ j]$ و ماتریس $[i\ next(i)]$) با هم برابر نباشند به تفاوت‌های دو ماتریس (M)، ۱ واحد اضافه می‌گردد و این رویه تا بررسی تمامی درایه‌های ماتریس اول ادامه می‌یابد سپس همین رویه برای بقیه سطوح انجام می‌شود. چنانچه تعداد سطوح با هم برابر نباشد تنها مقایسه به اندازه‌ی تعداد سطوح یکسان انجام می‌شود و سپس مقدار فاصله بین دو جواب از فرمول زیر محاسبه شده است [۵۰].

$$r = round\left(\frac{M}{\text{تعداد مراکز توزیع}\times\text{تعداد مشتریان}} + \frac{\text{تعداد تفاوت بین سطوح}}{\text{حداکثر تعداد سطوح}}\right)*10 \qquad (۲۰)$$

برای حرکت کرم شبتاب با شدت نور ضعیف‌تر (e_1) به سمت کرم شبتاب با شدت نور بیشتر (e_1) ابتدا عدد تصادفی تولید می‌شود و سپس به تعداد عدد تولید شده تغییرات در کرم شبتاب جهت نزدیک شدن به دیگری انجام می‌شود. جهت ایجاد یک تغییر در کرم شبتاب ابتدا نقطه‌ای به‌طور تصادفی در نظر گرفته می‌شود که این نقطه شماره ستون کرم شبتاب اولیه را می‌دهد به‌عنوان‌مثال اگر عدد تصادفی تولید شده برابر با ۲ باشد در این صورت جواب به‌دست‌آمده مشتری شماره ۴ است که به ترتیب سطوح به مراکز ۲ و ۳ تخصیص‌یافته است. سپس عدد ۴ را در بین مشتریان در ماتریس کرم شبتاب دومی پیدا کرده و مسیر بعد از آن در سطح صفر و اینکه به کدام مراکز توزیع تخصیص‌یافته است از طریق ماتریس مسیر مربوط به آن معین شده است. که اگر به عنوان مثال در اینجا ۴ به ۱ رفته و به مراکز توزیع ۱، ۲ و ۳ اختصاص دارد. ابتدا ۴ را در ماتریس (e_1) یافته و ستون‌های ماقبل آن را با ستون‌های ماقبل ۴ در (e_1) چک شده چنانچه اعداد متوالی مانند هم باشند در این صورت این اعداد چسبیده به (e_1) را در نظر می‌گیریم، چنانچه چنین اعدادی یافت نشوند تنها عدد ۴ را در نظر گرفته و آن را به مرکز توزیع ۱، ۲ و ۳ تخصیص می‌دهیم. سپس ۱ را در (e_1) یافته به مراکز توزیع ۱، ۲ و ۳ تخصیص داده و ستون‌های متوالی بعد از آن را با بعد از ۲ در ماتریس (e_2) چک می‌شود و این اعداد چسبیده به ۱ معین می‌شود. حال با تغییر مکان ۴ و ۲ آن‌ها را به نحوی در ماتریس جدید قرار می‌دهیم که ۱ بعد از ۴ قرار گیرد. در شکل‌های (۵) الی (۸) این جابجایی‌ها نشان داده شده است.

$$e_1 = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 3 & 3 & 0 & 3 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 6 & 4 & 2 & 1 & 5 & 3 \end{bmatrix}$$

شکل(۵): یافتن نقطه تصادفی در e_1

$$e_1 = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 & 3 & 0 & 3 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 6 & 4 & 2 & 1 & 5 & 3 \end{bmatrix}$$

شکل(۶): تغییر اعضای ستون‌ها متناسب با e_2

$$e_2 = \begin{bmatrix} 303330 \\ 132223 \\ 221112 \\ 524136 \end{bmatrix}$$

شکل(۷): یافتن۴و عدد بعد آن در e_2

$$e_1 = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 & 3 & 0 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 1 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 6 & 4 & 1 & 2 & 5 & 3 \end{bmatrix}$$

شکل(۸): شکل تغییریافته‌ی e_1

۴- مسائل نمونه

در این بخش برای برخی از پارامترها در مسائل نمونه از مجموعه مثال‌های عددی Prodhon[۵۱] برای مسئله‌ی مکان‌یابی-مسیریابی استفاده شده است. مرکز توزیع خراب نشدنی نیز به صورت یک مرکز در تمامی مثال‌ها فرض شده است. پارامتر هزینه حمل و نقل به‌طور فازی در نظر گرفته شده است. همچنین برای سایر پارامترهایی که به مدل برای بحث قابلیت اطمینان مقادیری در نظر گرفته شده است. احتمال خرابی هر مرکز توزیع به‌طور تصادفی از بازه‌ی (۰.۰۳ و ۰.۰۰۱) انتخاب شده و این احتمال برای تمامی مراکز یکسان و احتمالات خرابی در مراکز توزیع از یکدیگر مستقل هستند. احتمال وقوع خرابی در وسایل نقلیه نیز به‌طور

تصادفی از بازه‌ی (۰.۵و۰) انتخاب و برای تمامی وسایل نقلیه به دلیل همگن بودن سیستم حمل و نقل یکسان در نظر گرفته‌شده است و احتمال وقوع شکست یا خرابی در مسیرهای ارتباطی و بین هر دو گره موجود در شبکه نیز بین هر دو گره متفاوت و به‌طور تصادفی از توزیع یکنواخت انتخاب شده است. ابتدا به منظور داشتن مجموعه‌ای کامل از مثال‌ها این مقادیر به صورت تصادفی تولید شده‌اند و سپس به عنوان مثال در الگوریتم مورد استفاده قرار گرفته‌اند قابل ذکر است از مثال‌های یکسان برای حل الگوریتم‌ها

Arnive of SID

www.SID.ir

استفاده شده است.تعداد مراکز توزیع از ۲ تا ۳۵ و تعداد مشتریان نیز از ۸ تا ۳۵۰ در نظر گرفته شده است.. مسائل به سه دسته کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم‌بندی شده‌اند که مسائل با تعداد کمتر از ۴۰ مشتری جز مسائل کوچک، کمتر از ۸۰ مسائل متوسط و بیشتر از این تعداد در دسته مسائل بزرگ هستند.

۴-۱ - نتایج محاسباتی

از روش سطوح پاسخ یا RSM[1] به منظور تنظیم پارامترهای مؤثر بر الگوریتم‌ها استفاده شده است و برای مقایسه کارایی الگوریتم‌ها از سه شاخص استفاده شده است.

اولی شاخص فاصله است که یکنواختی توزیع جواب‌های پاراتو در فضای حل را نشان می‌دهد. شاخص دیگر شاخص گوناگونی[2] است که نشان‌دهنده‌ی وسعت جواب‌های پاراتو یک الگوریتم است و هرچه این شاخص بیشتر باشد الگوریتم بهتر است و سومین شاخص نیز فاصله از نقطه ایده‌آل[3] که این شاخص برابر با فاصله‌ی نقاط پاراتو الگوریتم مورد بررسی از نقطه ایده‌آل است. نحوه‌ی محاسبه این شاخص‌ها در روابط(۲۱) تا (۲۳) آورده شده است.

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}|\bar{d}-d_i|}{(n-1)\bar{d}} \quad (۲۱)$$

$$DM = \sqrt{\left(\frac{max f_{1i} - min f_{1i}}{f_{1.total}^{max} - f_{1.total}^{min}}\right)^2 + \left(\frac{max f_{2i} - min f_{2i}}{f_{2.total}^{max} - f_{2.total}^{min}}\right)^2} \quad (۲۲)$$

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\left(\frac{f_{1i}-f_1^{best}}{f_{1,total}^{max}-f_{1,total}^{min}}\right)^2 + \left(\frac{f_{2i}-f_2^{best}}{f_{2,total}^{max}-f_{2,total}^{min}}\right)^2}}{n} \quad (۲۳)$$

نتایج اجرای الگوریتم‌ها در جدول شماره (۲) آورده شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۹ تا نشان داده شده است; جواب‌ها در الگوریتم کرم شبتاب در اکثر موارد دارای شاخص DM بهتری هستند به این معنا که تنوع جواب‌های بهتر و بیشتری دارد اما در مورد دو شاخص MID عملکرد الگوریتم کرم شبتاب گسسته[4] تنها برای مسائل با اندازه کوچک تا متوسط مناسب است و با بزرگ شدن مسئله کارایی خود را از دست می‌دهد و با بزرگ شدن مسئله میزان این شاخص در الگوریتم کرم شبتاب بیشتر می‌شود. در مورد شاخص SM نیز الگوریتم NSGA-II الگوریتم دارای شاخص بهتری و سرعت اجرای آن نیز نسبت به کرم شبتاب بهتر است. از نظر زمان لازم برای اجرای الگوریتم نیز سرعت NSGA-II بیشتراست. در جدول (۲) ابتدا تست نرمال بودن انجام شده است و سپس در جدول (۳) آزمون فرض آماری جهت مقایسه روش‌های فوق آورده شده است، آزمون‌های زیر در نرم‌افزار MINITAB انجام شده است و سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شده است.

جدول (۲): تست نرمال بودن

شاخص	P-value	نتیجه
شاخص DM	0.096	نرمال
شاخص MIDدر مسائل کوچک تا متوسط	0.228	نرمال
شاخص MIDدر مسائل متوسط و بزرگ	0.102	نرمال
شاخص SMدر مسائل کوچک تا متوسط	0.056	نرمال
شاخص SMدر مسائل کوچک و متوسط	0.310	نرمال

جدول (۳): نتایج آزمون

فرض H_0	آماره آزمون t	P-value	نتیجه
شاخص DM در الگوریتمNSGAII کمتر از NSDFA است	-3.56	0.99	فرض H0 رد نمی‌شود
شاخص MID در الگوریتم NSGAII در مسائل کوچک تا متوسط بیشتر از NSDFA است.	0.51	0.690	فرض H0 رد نمی‌شود
شاخص MID در الگوریتم NSGAII در مسائل متوسط و بزرگ بیشتر از NSDFA است.	-3.58	0.002	فرض H0 رد می‌شود
شاخص SM در الگوریتم NSGAII در مسائل کوچک تا متوسط کمتر از NSDFA است.	-1.64	0.93	فرض H0 رد نمی‌شود
شاخص SM در الگوریتم NSGAII در مسائل متوسط و بزرگ کمتر از NSDFA است.	-2.8	0.992	فرض H0 رد نمی‌شود

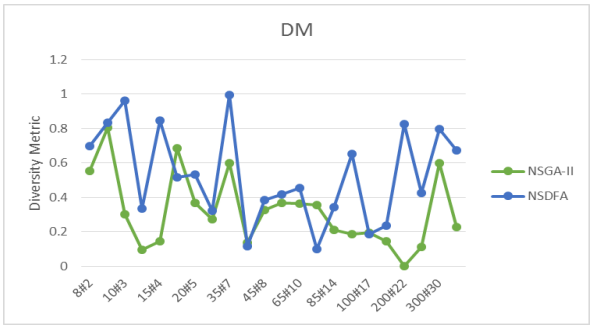
جدول (۴): نتایج اجرا با الگوریتم‌ها

شماره مسئله	DM		MID		SM	
	NSGA-II	NSDFA	NSGA-II	NSDFA	NSGA-II	NSDFA
۸#۲	۰.۵۵۵	۰.۶۹۷	۰.۳۱۹	۰.۴۰۱	۰.۹۴۵۶	۰.۷۲۵
۱۰#۲	۰.۸۰۵	۰.۸۳۴۵	۰.۳۲۲	۰.۲۸۷	۰.۶۴۷۳	۰.۷۸۵
۱۰#۳	۰.۳۰۳	۰.۹۶۲	۰.۳۴۲	۰.۲۷۳	۰.۸۶۰۲	۱.۷۹۹
۱۵#۳	۰.۰۹۸	۰.۳۳۵	۰.۳۵۹	۰.۰۶۰	۰.۶۳۳۶	۰.۸۸۱
۱۵#۴	۰.۱۴۸	۰.۸۵۰	۰.۰۴۸	۰.۲۹۲	۰.۶۵۸۸	۰.۹۴۴
۲۰#۴	۰.۶۸۶	۰.۵۱۸	۰.۳۲۴	۰.۲۳۰	۰.۹۲۳۶	۱.۰۲۱
۲۰#۵	۰.۳۷۰	۰.۵۳۴	۰.۱۵۷	۰.۲۴۷	۱.۳۹۱۶	۱.۵۷۰
۳۰#۶	۰.۲۷۲	۰.۳۲۳	۰.۰۸۸	۰.۰۴	۱.۱۷۹	۱.۰۰۱
۳۵#۷	۰.۵۹۸	۰.۹۹۵	۰.۱۲۹	۰.۱۰۵	۰.۶۸۸۳	۰.۸۴۴
۴۰#۸	۰.۱۳۶	۰.۱۱۵	۰.۰۹۵	۰.۰۱۷	۰.۸۶۹۲	۲.۰۳۵
۴۵#۸	۰.۳۲۸	۰.۳۸۶	۰.۰۴۷	۰.۱۲۱	۱.۲۵۸	۱.۳۰۶
۵۵#۹	۰.۳۷۱	۰.۴۱۷	۰.۰۶۳	۰.۱۸۴	۱.۱۹۷	۱.۵۰
۶۵#۱۰	۰.۳۶۴	۰.۴۵۶	۰.۰۶۵	۰.۱۱۷	۱.۰۵۴	۱.۷
۷۵#۱۲	۰.۳۵۵	۰.۱۰۲	۰.۰۷۴	۰.۱۶۰	۱.۱۴۲	۱.۳۷۷
۸۵#۱۴	۰.۲۱۲	۰.۳۴۴	۰.۰۹۳	۰.۲۰۴	۰.۹۱۱	۰.۹۹۶
۹۰#۱۵	۰.۱۸۶	۰.۶۵۵	۰.۰۷۹	۰.۴۱۴	۱.۳۵۷	۰.۹۷۴
۱۰۰#۱۷	۰.۱۹۵	۰.۱۸۹	۰.۰۲۹	۰.۰۱۶	۰.۱۵۲	۱
۱۵۰#۲۰	۰.۱۴۵	۰.۲۳۷	۰.۰۵۰	۰.۱۴۶	۰.۷۵۸	۰.۷۰۳
۲۰۰#۲۲	۰.۰۰۳	۰.۸۲۵	۰.۰۴۲	۰.۵۷۱	۰.۶۷۵	۰.۹۲۲
۲۵۰#۲۵	۰.۱۱۲	۰.۴۲۷	۰.۳۹۵	۰.۴۹۵	۰.۵۴۱۶	۱.۲۷۹
۳۰۰#۳۰	۰.۶۰۱	۰.۷۹۶	۰.۱۸۶	۰.۵۰۱	۱.۱۷۱	۱.۲۸۸
۳۵۰#۳۵	۰.۲۲۸	۰.۶۷۴	۰.۰۹۴	۰.۶۵۳	۱.۰۹۱	۱.۳۲

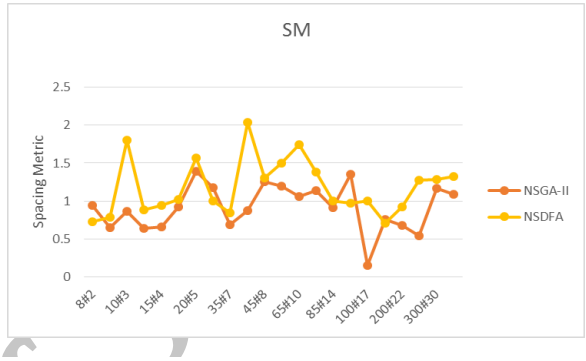
1. Response Surface Methodology
2. Diversification Metric
3. Mean Ideal Distance
4. Non-Dominated Sorting Firefly Algorithm

Archive of SID

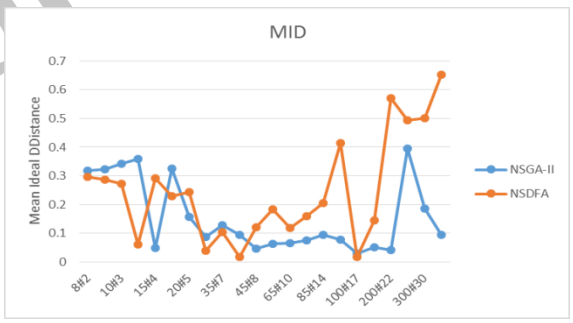
www.SID.ir



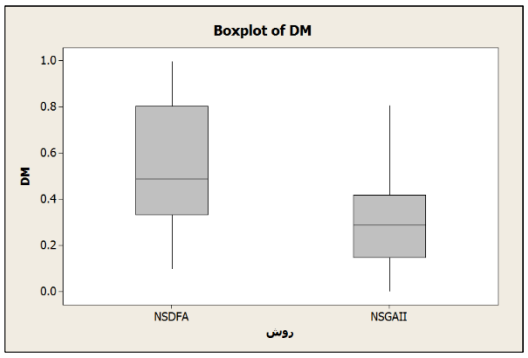
شکل(۹): مقایسه دو الگوریتم بر اساس شاخص DM



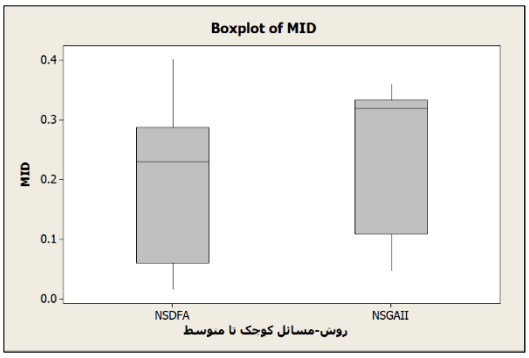
شکل(۱۰): مقایسه دو الگوریتم بر اساس شاخص **SM**



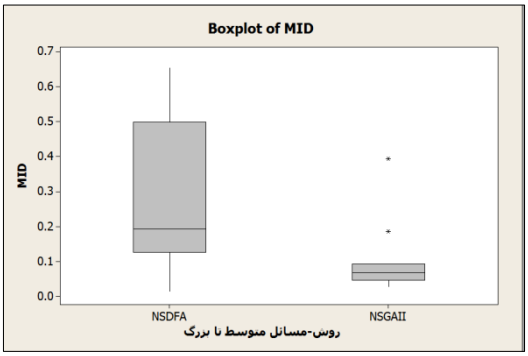
شکل(۱۱): مقایسه دو الگوریتم بر اساس شاخص MID



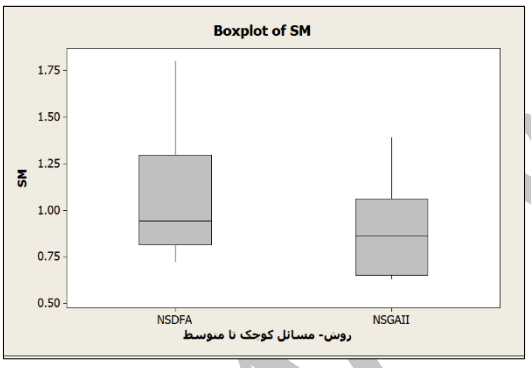
شکل(۱۲): نمودار جعبه‌ای DM



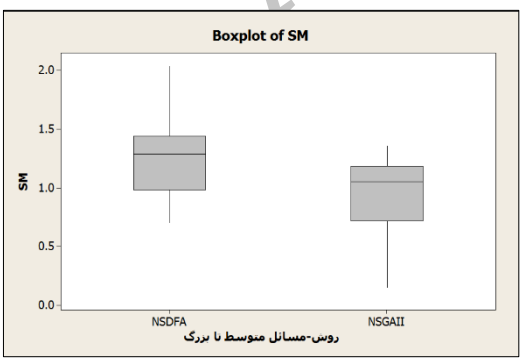
شکل(۱۳): نمودار جعبه‌ای MIDبرای مسائل کوچک



شکل(۱۴): نمودار جعبه‌ای MID مسائل متوسط و بزرگ



شکل(۱۵): نمودار جعبه‌ای SM مسائل کوچک



شکل(۱۶): نمودار جعبه‌ای SMمسائل متوسط و بزرگ

Archive of SID

www.SID.ir

۵- نتیجه‌گیری

مسئله مکان‌یابی-مسیریابی تاکنون از منظرهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است و چنانچه موضوع تحویل کالا با قابلیت اطمینان بالا به مشتری مطرح باشد بحث قابلیت اطمینان نیز به موضوع مهمی در این زمینه است. به عنوان مثال چنانچه مسئله تحویل کالاهای اضطراری در هنگام وقوع شرایط خاصی مانند بلاهای طبیعی یا انسانی باشد این موضوع دارای اهمیت زیادی است و باید کالا با حداکثر قابلیت اطمینان به مشتری تحویل شود. در این مقاله بحث قابلیت اطمینان در قالب در نظر گرفتن خرابی‌های ممکن در مسیرهای ارتباطی، وسایل نقلیه و مراکز توزیع بیان شده است و هزینه‌ها به صورت فازی در نظر گرفته شده است.

مدلی ریاضی با دو هدف حداقل کردن هزینه و حداکثر کردن قابلیت اطمینان در قالب حداقل کردن هزینه‌های مورد انتظار خرابی ارائه شده است. به دلیل NP-hard بودن مسئله تحقیق و دو هدفه بودن آن به منظور به دست آوردن مجموعه جواب بهینه پاراتو از دو الگوریتم NSGA-II و کرم شبتاب استفاده شده است. با توجه به دو هدفه بودن مسئله، الگوریتم کرم شبتاب گسسته دو هدفه‌ای بیان شده است و از روش مرتب‌سازی ناجیره و فاصله ازدحامی به منظور مرتب کردن جواب‌ها به منظور ارائه مجموعه جواب‌های پاراتو استفاده شده است. سپس کارایی دو الگوریتم مذکور با سه پارامتر مختلف مورد بررسی قرار گرفته است نتایج نشان داده است الگوریتم کرم شبتاب گسسته دو هدفه دارای DM بهتری هستند اما در مورد دو شاخص MID عملکرد الگوریتم کرم شبتاب تنها برای مسائل با اندازه کوچک تا متوسط مناسب است و با بزرگ شدن مسئله کارایی خود را از دست می‌دهد و با بزرگ شدن مسئله میزان این شاخص در الگوریتم کرم شبتاب بیشتر می‌شود.

مراجع

[1] Ahmadi Javid, A., Azad, N. (2010). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 46(5): 582-597.

[2] Ghaffari-Nasab, N., Ahari, S.G., Ghazanfari, M. (2013). A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands. Scientia Iranica, 20(3): 919-930.

[3] Hassan-Pour, H., Mosadegh-Khah, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2009). Solving a multi-objective multi-depot stochastic location-routing problem by a hybrid simulated annealing algorithm. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 223(8): 1045-1054.

[4] Min, H., Jayaraman, V., Srivastava, R.(1998). Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. European Journal of Operational Research, 108(1): 1-15.

[5] Nagy, G., Salhi, S. (2007). Location-routing: Issues, models and methods. European Journal of Operational Research, 177(2): 649-672.

[6] Prodhon, C., Prins, C. (2014). A Survey of Recent Research on Location-Routing Problems. European Journal of Operational Research 238(1): 1-17.

[7] Perl, J., Daskin, M. S. (1985). A warehouse location-routing problem. Transportation Research Part B: Methodological, 19(5): 381-396.

[8] Geoffrion, A. M., Graves, G. W. (1974). Multicommodity distribution system design by Benders decomposition. Management science. 20(5): 822-844.

[9] Wu, T.-H., Low, C., Bai, J.-W. (2002). Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems. Computers & Operations Research, 29(10): 1393-1415.

[10] Govindan, K., Jafarian, A. Khodaverdi, R., Devika, K. (2014). Two-echelon multiple-vehicle location–routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. International Journal of Production Economics 152: 9-28.

[11] Ghaffari-Nasab, N., Jabalameli, M. S., Aryanezhad, M. B., Makui, A. (2013). Modeling and solving the bi-objective capacitated location-routing problem with probabilistic travel times. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 67(9-12): 2007-2019.

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

[13] Samanlioglu, F. (2013). A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem. European Journal of Operational Research, 2013. 226(2): 332-340.

[14] Laporte, G., Nobert, Y., Pelletier, P. (1983). Hamiltonian location problems. European Journal of Operational Research, 12(1): 82-89.

[15] Belenguer, J.-M., Benavent, E., Prins, C., Prodhon, C., Calvo, R. W. (2011). A branch-and-cut method for the capacitated location-routing problem. Computers & Operations Research, 38(6): 931-941.

[16] Contardo, C., Gendron, B., Cordeau, J.-F. (2011). A branch-and-cut-and-price algorithm for the capacitated location-routing problem.: CIRRELT.

[17] Laporte, G., Nobert, Y., Taillefer, S. (1988). Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems. Transportation science, 22(3): 161-172.

[18] Hashemi Doulabi, S. H., Seifi, A. (2013). Lower and upper bounds for location-arc routing problems with vehicle capacity constraints. European Journal of Operational Research, 224(1): 189-208.

[19] 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(3): 407-428.

[20] Derbel, H., Jarboui, B., Hanafi, S., Chabchoub. H. (2010). An iterated local search for solving a location-routing problem. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 36: 875-882.

[21] 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(3): 2865-2871.

[22] Jarboui, B., Derbel, H., Hanafi, S., Mladenović, N. (2013). Variable neighborhood search for location

Archive of SID

www.SID.ir

routing. Computers & Operations Research, 40(1): 47-57.
[23] Prins, C., Prodhon, C., Calvo , R.W. (2006). Solving the capacitated location-routing problem by a GRASP complemented by a learning process and a path relinking. 4OR, 4(3): 221-238.
[24] Jabal-Ameli, M., Aryanezhad, M., haffari-Nasab, N. G. (2011). A variable neighborhood descent based heuristic to solve the capacitated location-routing problem. International Journal of Industrial Engineering Computations, 2(1): 141-154.
[25] Prins, C., Prodhon, C., Calvo, R.W. (2006). A memetic algorithm with population management (MA| PM) for the capacitated location-routing problem, in Evolutionary computation in combinatorial optimization. Springer. 183-194.
[26] Ting, C.-J., Chen C.-H. (2013). A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem. International Journal of Production Economics, 141(1): 34-44.
[27] Prins, C., Prodhon, C., Ruiz, A., Soriano, P., Calvo, R. W. (2007). Solving the capacitated location-routing problem by a cooperative Lagrangean relaxation-granular tabu search heuristic. Transportation Science, 41(4): 470-438.
[28] Contardo, C., Cordeau, J.-F., Gendron, B. (2014). A GRASP+ILP-based metaheuristic for the capacitated location-routing problem. Journal of Heuristics, 2014. 20(1): 1-38.
[29] Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Jolai, F., Baboli, A. (2013). Reliable design of a closed loop supply chain network under uncertainty: An interval fuzzy possibilistic chance-constrained model. Engineering Optimization, 45(6): 745-765.
[30] Albareda-Sambola, M., Fernández, E., Laporte, G. (2007) Heuristic and lower bound for a stochastic location-routing problem. European Journal of Operational Research, 179(3): 940-955.
[31] Fazel Zarandi, M. H., Hemmati, A., Davari, S., Turksen, B. (2013). Capacitated location-routing problem with time windows under uncertainty. Knowledge-Based Systems, 37: 480-489.
[32] Cui, G. B., Li, Y. J. (2007). Combined location routing and inventory problem with fuzzy demand in logistics system. Control and Decision, 22(9): 1000.
[33] Watson-Gandy, C., Dohrn, P. (1973). Depot location with van salesmen—a practical approach. Omega, 1(3): 321-329.
[34] De Angelis, V., Nikoi C., Mecoli. MStorchi G,. (2007). Multiperiod integrated routing and scheduling of World Food Programme cargo planes in Angola. Computersand Operations Research, 34: 1601–15.
[35] Jacobsen, S. K., Madsen, O. B. (1980). A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem. European Journal of Operational Research, 5(6): 378-387.
[36] Snyder, L. V., Daskin, M. S. (2005). Reliability models for facility location: the expected failure cost case. Transportation Science, 39(3): 400-416.
[37] Papadakis, I. S., Ziemba, W. T. (2001). Derivative effects of the 1999 earthquake in Taiwan to US personal computer manufacturers, in Mitigation and Financing of Seismic Risks: Turkish and International Perspectives, Springer. 261-276.
[38] Snyder, L. V. (2003). Supply chain robustness and reliability: Models and algorithms. Ph.D. dissertation, Northwestern University, Department of Industrial Engineering & Management Sciences.
[39] ReVelle, C., Hogan. K. (1989). The maximum availability location problem. Transportation Science, 23(3): 192-200.
[40] Lim, M., Daskin, M. S., Bassamboo, A., Chopra, S. (2010). A facility reliability problem: formulation, properties, and algorithm. Naval Research Logistics (NRL), 57(1): 58-70.
[141Berman, O., Krass, D., Menezes, M. B. (2007). Facility reliability issues in network p-median problems: strategic centralization and co-location effects. Operations Research, 55(2): 332-350.
[42] Cui, T., Ouyang, Y., Shen, Z.-J.M. (2010). Reliable facility location design under the risk of disruptions. Operations research, 58(4-part-1): 998-1011.
[43] Helander, M.E., Melachrinoudis, E. (1997). Facility location and reliable route planning in hazardous material transportation. Transportation science, 31(3): 216-226.
[44]Sansó, B., Soumis, F. (1991). Communication and transportation network reliability using routing models. Reliability, IEEE Transactions on, 40(1): 29-38.
[45] Li, J.-Q., Mirchandani, P.B., Borenstein, D. (2009). Real-time vehicle rerouting problems with time windows. European Journal of Operational Research, 194(3): 711-727.
[46] Wang, X., Wu, X., Hu, X. (2010). A study of urgency vehicle routing disruption management problem. in Information Engineering (ICIE), 2010 WASE International Conference on. IEEE.
[47] Mu, Q., Fu, Z., Lysgaard, J., Eglese, R. (2011). Disruption management of the vehicle routing problem with vehicle breakdown. Journal of the Operational Research Society, 62(4): 742-749.
[48] Ukkusuri, S., Yushimito, W. (2008). Location routing approach for the humanitarian prepositioning problem. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2089: 18-25.
[49] Yang, X.-S. (2014). Chapter 8-Firefly Algorithms, in Nature-Inspired Optimization Algorithms, X.-S. Yang, Editor. Elsevier: Oxford. 111-127.
[50] Jati, G. K. (2011). Evolutionary discrete firefly algorithm for travelling salesman problem. Springer. http://prodhonc.free.fr/Instances/instances_us.htm.
[۵۱] سکاک، مصطفی؛ عزیزی، وحید؛ کریمی، حسین. (۱۳۹۳). مسئله مکان‌یابی-مسیریابی چند دپویی ظرفیت دار با برداشت و تحویل همزمان و بارهای برش یافته: مدلسازی و حل ابتکاری، پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید۲(۴): ۸۱-۶۷.

Archive 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. 133-145
www.ier.basu.ac.ir

Bi-Objective Optimization for a Location-Routing Problem with Reliability and Fuzzy Cost

N. Bahram-Pour[1], R. Tavakkoli-Moghaddam[2], N. Shahsavari-Pour[3,*]

[1] School of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2] School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
[3]Department of Industrial Engineering, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran.

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 15 December 2014
Accepted 28 May 2016

***Keywords*:**

Location–Routing
Reliability
Failure, Firefly Algorithm
NSGA-II
Fuzzy cost

ABSTRACT

Location and routing problems in emergencies are so important. This paper considers a location–routing problem with reliability by the means of considering the probability of failure occurrence. The problem has two objectives that minimizes the total cost and maximizes the reliability. Maximizing the reliability is expressed as minimizing the expected cost of the failure. In this problem, three kinds of failures are considered, which are: failure of centers, routes and vehicles. Since travel costs is dependent on many parameters and hence it is not possible to estimate exactly so they are considered as fuzzy number using linguistic variables. At first, mathematical formulation of the problem is presented, and then because the problem is the NP-hard therefore, meta-heuristics algorithms are used to solve the model. Additionally, a bi-objective discrete firefly algorithm is providedand then in order to evaluate the performance of the algorithm, several test problems are implemented and compared with the NSGA-II. The results show that the bi-objective discrete firefly algorithm has a better DM measure; however, it is only suitable for small to medium-sized problems due to the MID measure and it loses its efficiency in larger sizes.

* Corresponding author. Naser Shahsavari-Pour
Tel.: *034-31312385*; *E-mail address: Shahsavari_n@alum.sharif.edu*

Archive of SID

www.SID.ir