مسئله مکان‌یابی- مسیریابی انبارهای عبوری چند محصولی با در نظرگرفتن وسایل نقلیه ناهمگن ظرفیت‌دار و قابلیت برداشت و تحویل در چند بار در یک شبکه زنجیره تامین چند سطحی

الهام جوانفر، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

جواد رضائیان (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

کیوان شکوفی، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

ایرج مهدوی، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

E - Mail: j_rezaeian@ustmb.ac.ir

دریافت:۱۳۹٤/۰۹/۲٤ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۵

Archive of SID

چکیده

انبار عبوری یک استراتژی لجستیکی است که هدف آن کاهش موجودی و افزایش رضایت مشتریان است. کالاها از تامین کننده بواسطه انبار عبوری به دست مشتری می‌رسند. اقلام قبل از فرستادن به مشتری، می‌بایست در انبار عبوری گردآوری شده، بدون ذخیره یا با ذخیره کم و پس از ادغام توسط وسایل نقلیه خروجی برای مشتریان فرستاده می‌شوند. در این تحقیق، مساله مکان‌یابی-مسیریابی با انبارهای عبوری در یک زنجیره تامین سه سطحی شامل تامین کننده، انبار عبوری و مشتری در نظر گرفته شده است. در این مسئله، مراکز انبار عبوری، تامین کننده، مشتری، وسایل نقلیه و کالا چندگانه هستند، مراکز انبار عبوری و وسایل نقلیه دارای محدود ظرفیت هستند، برداشت و تحویل در چند بار مجاز است، وسایل نقلیه ناهمگن و در حمل نوع محصول دارای محدودیت هستند. هدف مدل، کمینه‌سازی مجموع هزینه باز شدن مراکز انبار عبوری و هزینه های حمل و نقل (هزینه توزیع، هزینه عملیاتی) وسایل نقلیه است. مسئله مورد مطالعه برخواسته از صنعت توزیع و پخش مواد غذایی فاسد شدنی است. برای مساله مورد نظر، یک مدل ریاضی یکپارچه غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه شده است. با توجه به اینکه مسئله مورد مطالعه NP-hard است، یک الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات برای حل مسائل با اندازه‌های بزرگ نیز ارائه شده است. همچنین، یک حد پایین نیز برای مسئله توسعه داده شده است. به منظور نشان دادن عملکرد الگوریتم معرفی شده، مسائلی در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ به صورت تصادفی تهیه گردیده و توسط رویکردهای ارائه شده مورد حل قرار گرفت. نتایج محاسباتی نشان از کارآیی بسیار الگوریتم پیشنهادی است.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی- مسیریابی انبار عبوری، وسیله نقلیه ناهمگن ظرفیت دار، تحویل و برداشت در چند بار، چند محصول، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

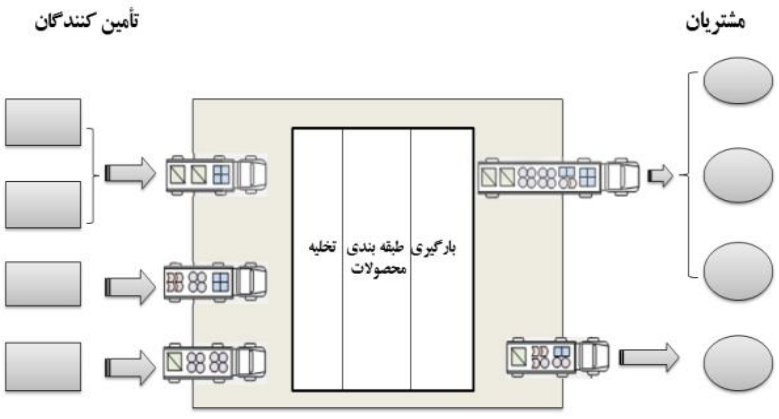
www.SID.ir

۱. مقدمه

در فضای رقابتی کنونی، ناب و چابک بودن دو عنصر استراتژیک مهم برای بسیاری از تولید کنندگان در زنجیره تأمین[۱] است. در این بین، نقش تأثیرگذار مراکز توزیع[۲]در تحویل بموقع[۳] کالا به مشتری وکاهش هزینه‌های نگهداری موجودی، توجه بسیاری از مدیران زنجیره تأمین را به خود جلب کرده است. از آنجایی که انبار عبوری[٤]جزء اصلی برای طراحی یک زنجیره تامین ناب است، کمپانی‌های لجستیکی با حجم نقل و انتقالات بالا به استفاده از انبار عبوری روی آورده‌اند.

کینر، انبار عبوری را به عنوان "دریافت کالا از تامین کننده یا تولید کننده و ترکیب این کالا با کالای بقیه تامین کنندگان یا تولیدکنندگان برای ارسال به مقاصد نهایی گوناگون" تعریف کرده است [Kinnear, 1997]. همچنین، صنعت حمل کالای آمریکا[٥]، انبار عبوری را بصورت " فرآیند انتقال کالا از در دریافت به در ارسال کالا بدون قرار دادن در مکان‌های ذخیره" تعریف کرده است. انبار عبوری یک راهبرد لجستیکی[٦] است که هدف آن کاهش موجودی و افزایش رضایت مشتریان است. کالاها از تامین کننده بواسطه انبار عبوری به دست مشتری می‌رسند و اقلام باید قبل از فرستادن به مشتری، در انبار عبوری گردآوری شوند و پس از اینکه عملیات وزن کردن ، بسته‌بندی و طبقه‌بندی براساس مقصد انجام شد، در کمترین زمان ممکن توسط وسایل نقلیه خروجی برای مشتریان فرستاده شود. انبار عبوری بیشتر بعنوان هماهنگ کننده موجودی‌ها عمل می‌کند تا اینکه نقش ذخیره کننده را داشته باشد. معمولا کالاها کمتر از ٢٤ ساعت در انبار عبوری ذخیره می‌شوند و انبار عبوری باید در پایان روز کاری تخلیه شود. شکل (۱) تصویر شماتیک از یک انبار عبوری را نشان می‌دهد.

مزایای استفاده از انبار عبوری به جای انبارهای سنتی شامل کاهش هزینه‌ها (هزینه‌های انبار، هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه‌های جایجایی، هزینه‌های نیروی انسانی)، کاهش زمان تدارک[۷]و تحویل (از تامین کننده به مشتری)، ارتقا سرویس‌دهی به مشتری، کاهش فضای نگهداری، کاهش دوره گردش موجودی، کاهش نگهداری موجودی بیش از حد ذخیره[۸]، کاهش ریسک زیان و خسارت است. همچنین، مزایای استفاده از انبار عبوری به جای تحویل نقطه به نقطه شامل کاهش هزینه‌ها (هزینه‌های حمل و نقل ، هزینه‌های نیروی انسانی)، ادغام محموله‌ها، ارتقا بهره برداری از منابع (برای مثال استفاده از حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه)، تطبیق بهتر میان کالای حمل شده و مقدار تقاضا است [Van, Valckenaers and Cattrysse, 2012].



شکل۱. تصویر شماتیک از یک انبار عبوری

www.SID.ir

سیستم انبار عبوری نیاز به سرمایه قابل توجهی داشته و مدیریت آن نیز به دلایل زیر پیچیده است:

۱)یکی از پیش نیازها برای پیاده سازی انبار عبوری آن است که تأمین کنندگان[۹]، توزیع کنندگان [۱۰]وخرده فروشان[۱۱]باید از طریق سیستم‌های اطلاعاتی یکپارچه با هم در ارتباط باشند تا تمامی ارسال ها در بازه زمانی موردنظر انجام شود.

۲) جریان اطلاعات بایستی هماهنگ و قابل اعتماد باشد و برای کار کردن یک انبار عبوری، یک سیستم حمل ونقل سریع و پاسخگو ضروری است.

۳) تعهد و نظارت مستمر تمامی بخش‌های درگیر در زنجیره تامین و ارتباط موثر بین شرکا ضروری است که به همین منظور باید قراردادهای مناسب و الزام آوری بین شرکا بسته شود و همچنین استانداردهای کیفی مناسب در سراسر زنجیره تامین پیاده‌سازی گردد.

٤) جریان ثابت تولید و تقاضا میتواند تاثیر مثبتی بر کارآیی استفاده از انبارهای عبوری در زنجیره تامین ایجاد کند، زیرا هرگونه نوسان ناگهانی در زنجیره، هماهنگی و مدیریت انبار عبوری را بسیار پیچیده می‌کند.

مفهوم انبار عبوری برای اولین بار در سال ۱۹۳۰ در صنعت حمل و نقل آمریکا مورد استفاده قرار گرفت و در سال ۱۹۵۰ توسط ارتش آمریکا اجرا شد و در سال ۱۹۸۰ توسط شرکت وال مارت [۱۲](یکی از بزرگترین شرکتهای زنجیره‌ای آمریکا) در بخش خرده فروشی بکار گرفته شد که درآن انبارها نقش هماهنگ کننده موجودی را بر عهده داشتند [Stalk, Evans and Shulman, 1992].

گزارش‌های بسیاری دراره استفاده موفقیت آمیز از انبار عبوری ارائه شده است، بعنوان مثال می‌توان به کمپانی کداک [۱۳] [Cook, Gibson and MacCurdy, 2005]، صنایع خودرو سازی مانند تویوتا[۱٤] [Witt, 1998] و فدرال اکسپرس[۱۵] اشاره کرد.

مسائل مختلفی در زمینه سیستم انبار عبوری مطرح شده است که این مسایل به دودسته تصمیمات راهبردی و تصمیمات عملیاتی تقسیم می‌شوند [Van, Valckenaers and Cattrysse, 2012]. تصمیمات راهبردی شامل برنامه‌ریزی برای یافتن بهترین موقعیت مکانی و تعیین بهترین و مناسب‌ترین طرح‌بندی برای داخل انباراست. تصمیمات عملیاتی نیز شامل تخصیص مناسب‌ترین مقاصد به درهای انبار عبوری است به نحوی که استفاده از ظرفیت کامل وسایل حمل ونقل و کاهش هزینه حمل و نقل را تضمین نماید.

۲. مرور ادبیات و اهداف تحقیق

مساله مکان‌یابی- مسیریابی[۱٦]وسیله نقلیه ظرفیت دار[۱۷]یکی ازمسائل جدید و پرکاربرد درمدیریت زنجیره عرضه و شبکه‌های پخش محصولات است. مسئله مکان‌یابی- مسیریابی، در بسیاری از محیط‌های لجستیک به مدیران برای اخذ تصمیماتی مانند تعیین محل استقرار تسهیلات [۱۸] (انبار یا انبارعبوری و ..)، تخصیص مشتریان به این تسهیلات و در نهایت برنامه‌ریزی حمل و نقل[۱۹]برای ارتباط مشتریان به این تسهیلات کمک می‌نماید. در واقع مسایل مکان‌یابی-مسیریابی، به منظور پیدا کردن مکان و تعداد مناسب تسهیلات و نیز مسیرهای توزیع توسط وسایل نقلیه تعریف شده است. تفاوت اصلی بین مسئله مکان‌یابی-مسیریابی با مسئله مکان‌یابی سنتی این است که در اولی پس از تعیین مکان تسهیلات، مسیرهای ارتباط بین مشتریان و تسهیلات به صورت یک تور بررسی می‌شود، ولی در دومی فرض بر این است که مسیرهای مستقیم بین مشتری و تسهیلات وجود دارد و این در نهایت به افزایش هزینه‌های توزیع منجر می‌شود. در ادامه، به تحقیقات صورت پذیرفته‌شده در زمینه مسائل مکان‌یابی انبار عبوری، مسیریابی وسایل نقلیه انبار عبوری در نهایت ترکیب این دو مسئله در زنجیره تامین پرداخته می‌شود.

اولین تحقیق صورت گرفته درمورد مکان‌یابی انبار عبوری توسط سانگ وسونگ (۲۰۰۳) انجام شده است. در این تحقیق کالاها باید از تامین کننده توسط انبار عبوری به سوی مشتری بروند. انبار عبوری باید از بین مکانهای گسسته موجود انتخاب شود که هرکدام دارای هزینه ثابتی برای تاسیس هستند. تقاضا مشخص و دو نوع وسیله نقلیه با ظرفیت حمل متفاوت موجود است. هدف مسئله نیز تعیین مکان انبار عبوری و تعیین تعداد وسیله نقلیه مورد نیاز برای کاهش هزینه کل است. آنها یک الگوریتم جستجوی

Archive of SID
www.SID.ir

ممنوع[20]برای حل مسئله ارائه کردند [Sung and Song, 2003]. سونگ و یانگ (۲۰۰۸) این تحقیق را توسعه دادند و بهبودی در الگوریتم جستجوی ممنوع ایجاد کردند [Sung and Yang, 2008]. جایارامان و رز (۲۰۰۳) رویکرد جدیدی از مکان‌یابی انبار عبوری در حالت چند محصولی[21]معرفی کردند و یک مدل دو مرحله‌ای[22]برای حل آن ارائه کردند. در مرحله اول، مسئله مکان‌یابی و در مرحله دوم، کمینه‌سازی هزینه حمل همزمان با برآورده کردن تقاضا[23] مشتری ارائه شده است. برای مسئله ارائه شده، آنها دو الگوریتم برمبنای شبیه سازی تبرید[24]برای جلوگیری از بوجود آمدن جواب محلی[25] ارائه کردند [Jayaraman and Ross, 2003].

دونالدسون و همکاران (۱۹۹۹) مسئله حمل و نقل وسیله نقلیه انبار عبوری را در نظر گرفتند. هدف آنان، تعیین تعداد وسیله نقلیه-ای که در هر خط حمل می‌بایست زمانبندی[26] شود (وسیله نقلیه می‌تواند به صورت غیر مستقیم یا مستقیم به مشتری برود)، به طوری که هزینه‌های حمل و نقل کمینه گردد [Donaldson et al. 1999]. لیم و همکاران (۲۰۰۵) مسئله سنتی جابجایی[27] را توسعه دادند. آنها یک الگوریتم زمانی چند جمله‌ای [28]برای حل مسئله جابجایی ارائه کردند. این مسئله شامل یک پنجره زمانی[29]برای تامین کنندگان و مشتریان[30] است که درآن جریان مواد بوسیله زمانبندی حمل و نقل و ظرفیت انبار محدود می‌شود و تابع هدف نیز کمینه‌سازی هزینه‌ها (هزینه انتقال و هزینه نگهداری) است [Lim et al. 2005]. چن و همکاران (۲۰۰۶) برای مسئله مشابه که نام آن را مسئله انبارهای عبوری متعدد گذاشتند، الگوریتم‌های شبیه سازی تبرید و جستجوی ممنوع و ترکیب هردو را برای حل مدل پیشنهاد کردند [Chen et al. 2006]. تفاوت اصلی این مسئله در این است که کالاها مختلف هستند و عرضه و تقاضا قابلیت چند بخش[31]شدن را ندارند.

لی و همکاران (۲۰۰۶) مسئله زمانبندی مسیریابی بهینه وسایل نقلیه را مطالعه کردند. در این مسئله، وسایل نقلیه می‌توانند در تأمین کنندگان متعدد بارگیری کنند و در مشتریان متعدد تحویل کالارا انجام دهند و همچنین هرمسیر، از انبارعبوری شروع و به آن ختم می شود. برای حل مسئله، آنها یک مدل همزمان زمانبندی و مسیریابی انبار عبوری معرفی کردند. همچنین، یک الگوریتم جستجوی ممنوع برای حل مسئله در اندازه‌های بزرگ نیز ارائه کردند [Lee, Jung and Lee, 2006]. میا و همکاران (۲۰۰۸) یک الگوریتم ژنتیک[32]برای حل مسئله جابه‌جایی وسیله نقلیه از طریق انبار عبوری با تنها یک عزیمت[33] و یک تحویل[34] در پنجره زمانی و زمان‌های ثابت عزیمت و رسیدن (یک حمل و یک تحویل)، ارائه کردند [Miao et al. 2008]. ون و همکاران (۲۰۰۹) مسئله مسیریابی وسایل نقلیه انبار عبوری [35]را در نظر گرفتند که در آن وسایل حمل و نقل ناهمگون[36] بوده و انبار عبوری توانایی ذخیره اقلام در دراز مدت را ندارد. برای مسئله مورد مطالعه، آنها یک مدل ریاضی و یک الگوریتم جستجوی ممنوع ارائه کردند [Wen et al. 2009]. موسی و همکاران (۲۰۱۰) یک الگوریتم کلونی مورچگان [37]را برای حل مسئله مورد مطالعه شده توسط دونالدسون و همکاران (۱۹۹۹) ارائه کردند [Musa, Arnaout and Jung, 2010].

حسنی-گودرزی و توکلی-مقدم (۲۰۱۲) یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط[38] برای مسئله مسیر یابی وسایل نقلیه چند محصولی با یک انبار عبوری به منظور کمینه‌سازی هزینه‌های حمل و نقل، پیشنهاد کردند [Hasani-Goodarzi and Tavakkoli-Moghaddam, 2012]. موسوی و توکلی مقدم (۲۰۱۳) یک مدل عدد صحیح مختلط دومرحله ای، یک الگوریتم ترکیبی شبیه سازی تبرید و یک الگوریتم جستجوی ممنوع برای مسئله ترکیبی مکان‌یابی انبار عبوری و زمانبندی وسایل نقلیه ارائه کردند. مسئله مورد نظر،دارای چند انبار عبوری، چند تامین کننده، چند مشتری، یک نوع محصول و وسایل حمل و نقل یکسان، است [Mousavi and Tavakkoli-Moghaddam, 2013]. زارع مهرجردی و نادی‌زاده (۲۰۱۳) یک الگوریتم خوشه بندی حریصانه [39]برای مسئله مکان‌یابی-مسیر یابی وسایل نقلیه ظرفیت دار با تقاضاهای فازی [40]معرفی کردند [Zare Mehrjerdi and Nadizadeh, 2013]. احمدی زر و همکاران (۲۰۱۵) مسئله مسیریابی و زمان-بندی وسایل نقلیه ناهمگن با چند انبار عبوری و چند نوع محصول با هدف کمینه‌سازی هزینه های نگهداری، حمل و نقل و خرید را مورد مطالعه قراردادند. آنها یک مدل غیر خطی، یک الگوریتم

Archive of SID
www.SID.ir

ژنتیک ترکیبی معرفی کردند. همچنین یک حد پایین نیز برای مسئله موردن نظر ارائه کردند [Ahmadizar, Zeynivand and Arkat, 2015].

موسوی و همکاران (۲۰۱٤) مسئله مکان‌یابی-مسیریابی وسایل نقلیه با چند انبار عبوری را در نظرگرفتند و یک مدل دو مرحله ای فازی ارائه کردند [Mousavi et al. 2014]. گاویندان و همکاران (۲۰۱٤) مسئله دوسطحی مکان‌یابی- مسیریابی وسایل نقلیه چندگانه با پنجره زمانی برای بهینه سازی یک شبکه پایدار زنجیره تامین غذای فاسدشدنی[٤١] در نظرگرفتند و یک رویکرد جدید ترکیبی چند هدفه برای حل آن پیشنهاد کردند [Govindan et l. 2014]. مختاری نژاد و همکاران (۲۰۱۵) مسئله مکان‌یابی- مسیریابی و زمان بندی وسایل نقلیه همگن با انبار عبوری چندگانه و ارسال مستقیم محموله از تامین کننده به مشتری را مورد مطالعه قرار دادند. آنها یک مدل دو مرحله‌ای و یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله مورد نظر، ارائه کردند [Mokhtarinejad, Ahmadi, Karimi, Rahmati, 2015].

مطالعه و بررسی ادبیات نشان می‌دهد که مسئله مکان‌یابی- مسیریابی انبار عبوری سه سطحی بین تامین کننده، مراکز انبار عبوری و مشتری در حالت چند محصولی برای چندین انبار عبوری ظرفیت دار با وسایل نقلیه ناهمگن ظرفیت دارکه هروسیله نقلیه می‌تواند یک یا چند نوع کالا را حمل نماید (سازگاری بین کالا و وسیله نقلیه) و گوناگون بودن هزینه حمل و مجاز بودن برداشت و تحویل در چند بار[٤٢]، تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است. در این تحقیق برای مسئله مورد نظر، یک مدل ریاضی یکپارچه غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه می‌گردد. در این مدل، هدف، کمینه کردن مجموع هزینه باز شدن مراکز انبار عبوری و هزینه حمل و نقل (هزینه توزیع و هزینه عملیاتی) وسایل نقلیه است. با توجه به NP-hard بودن مسئله مورد نظر، برای آن دسته از مسائلی که مدل ریاضی قادر به حل بهینه آنها نیست، یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات [٤٣] معرفی می‌گردد. همچنین، یک حد پایین[٤٤] نیز توسعه داده می‌شود که در ارزیابی عملکرد الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور کلی اهداف این تحقیق شامل: ۱- تعیین مکان مناسب برای احداث انبار عبوری از بین مجموعه مکانهای گسسته موجود، ۲- تعیین تعداد مراکز انبار عبوری، ۳- تخصیص مشتریان و تامین کنندگان به انبارهای عبوری، ٤- تعیین تعداد وسیله نقلیه و تعیین مناسب ترین وسیله نقلیه با توجه به نوع آن، ۵- تعیین شبکه بهینه حمل و نقل برای دریافت کالاها از تامین کننده به انبار عبوری و ارسال محموله‌های ادغام شده از انبار عبوری به مشتری است.

۳. تعریف مساله و مفروضات

در این تحقیق، شبکه حمل و نقل به صورت زیر عمل می‌نماید:

انبار عبوری اطلاعات مقدار تقاضای هر نوع کالا که مشتری نیاز دارد را دریافت می‌نماید و وسایل نقلیه ورودی[٤٥]، محصول را از تامین کنندگان برداشت و در انبار عبوری مربوطه تخلیه می‌نمایند. کالاها بوسیله نقاله و بارکدخوان براساس تقاضای مشتری ترکیب و به درهای خروجی انبار عبوری هدایت می‌شوند و وسایل نقلیه خروجی[٤٦] محموله‌ها را به مشتریان متعدد تحویل می‌دهند.

در این مسأله تعداد کل گره ها N است که ازاین تعداد N_c تعداد مشتریان ، N_s تعداد تامین کنندگان و N_o مکان‌های موجود برای باز شدن انبار عبوری هستند. ارتباط مستقیم بین تأمین کنندگان و مشتریان وجود ندارد و کالاها از تأمین کننده بواسطه انبار عبوری تحویل مشتری می‌گردند. دریافت هر کالا می‌تواند از چندین تامین کننده صورت پذیرد، اما تحویل آن به مشتری فقط از سوی یک انبار عبوری صورت می‌گیرد. تعداد انبار عبوری که می‌تواند تأسیس شود محدود و هزینه تأسیس هرکدام از مراکز انبار عبوری متفاوت است. همچنین انبارهای عبوری دارای محدودیت ظرفیت هستند و بین انبارهای عبوری نیز ارتباطی وجود ندارد. هدف، یافتن یک شبکه حمل و نقل بهینه است به طوریکه هزینه‌های ثابت باز کردن مراکز انبارهای عبوری و هزینه‌های حمل و نقل (هزینه توزیع، هزینه عملیاتی) کمینه گردد.

دیگر فرضیات مسئله عبارتند از:

۱- برداشت و تحویل در چند بار مجاز است. یعنی مشتری حاضر به تحویل گرفتن سفارش خود در چند بخش است.

۲- وسایل نقلیه محدودیت ظرفیت دارند.

۳- تعداد وسایل نقلیه محدود است.

Archive of SID
www.SID.ir

٤- وسایل نقلیه ناهمگن هستند.
٥- هروسیله نقلیه می‌تواند یک یا چند نوع کالا را حمل کند.
٦- تمام وسایل نقلیه در انبارهای عبوری مختلف قرار داده شده‌اند.
٧- شروع و پایان هر مسیر انبار عبوری یکسان است.
٨- کل مقدار برداشت برابر کل مقداری است که باید تحویل داده شود.
٩- وسایل نقلیه ورودی در هر روز باید تا اواسط روز به انبارهای عبوری برسند و وسایل نقلیه خروجی باید در نیمه دوم روز محموله‌ها را توزیع نمایند.

۳-۱ مجموعه‌ها و اندیس‌ها

N: مجموعه کل گره‌ها (تامین کننده، انبار عبوری، مشتری)
N_s: مجموعه تامین کنندگان در فرآیند برداشت
N_o: مجموعه مراکز انبار عبوری
N_c: مجموعه مشتریان در فرآیند تحویل
R: مجموعه کالاها
K: مجموعه وسایل نقلیه
c, i, j: اندیس برای گره‌ها (مصرف کنندگان ، مراکز انبار عبوری، تامین کنندگان)
h, o: اندیس انبار عبوری
k: اندیس نوع وسیله نقلیه
l: شمارنده وسیله نقلیه
r: اندیس نوع کالا

۳-۲ پارامترهای ورودی

D_{ir}: تقاضای مشتری i از کالای r
$SCAP_{ir}$: مقدار کالای نوع r که تامین کننده i می‌تواند تامین نماید
F_o: هزینه ثابت بازشدن انبار عبوری o
E : حداکثر تعداد انبار عبوری که می‌تواند باز شود
c'_{ijk}: هزینه حمل وسیله نقله نوع k در واحد فاصله از گره i به گره j
c_k: هزینه عملیاتی وسیله نقلیه k
d_{ij}: فاصله از گره i تا گره j
B_r: حجم هر قلم کالای r به صورت بسته بندی شده
CA_o: ظرفیت مرکز o برای نگهداری کالا به واحد حجم
m_{ko}: تعداد وسایل نقلیه نوع k در انبار عبوری o
Q_k: حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه نوع k به واحد حجم
δ_{rk}: قابلیت حمل هر نوع وسیله نقلیه از هر نوع کالا
M: یک عدد فرضی بزرگ

۳-۳ متغیرهای تصمیم گیری

S_{ir}: مقدار دریافت کالای نوع r از تامین کننده i
w_o: اگر انبار عبوری باز باشد ۱، در غیر اینصورت صفر
f_{ior}: اگر کالای r در انبارعبوری o به تامین کننده i تخصیص داده شود ۱، در غیر این صورت صفر
f_{ojr}: اگر مشتری j به انبارعبوری o برای کالای r تخصیص داده شود ۱، در غیر این صورت صفر
y_{iklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o به گره i برود ۱، در غیر این صورت صفر
y_{jklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o به گره j برود ۱، در غیر این صورت صفر
a_{irklo} : مقدار کالای نوع r بارگیری شده از گره i توسط l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o
a_{jrklo}: مقدار کالای نوع r بارگیری شده از گره j توسط l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o
a_{orklo}: مقدار کالای نوع r بارگیری شده از انبار عبوری o توسط l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o
z_{irklo}: مقدار کالای نوع r تخلیه شده در گره i توسط l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o
z_{jrklo}: مقدار کالای نوع r تخلیه شده در گره j توسط l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o
z_{orklo}: مقدار کالای نوع r تخلیه شده در انبار عبوری o توسط l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o
x_{ijklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o از گره i به گره j برود ۱، در غیر این صورت صفر

Archive of SID

www.SID.ir

x_{jiklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o از گره j به گره i برود ۱، در غیر این صورت صفر

x_{ioklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o از گره i به انبار عبوری o برود ۱، در غیر این صورت صفر

x_{ojklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o از انبار عبوری o به گره j برود ۱، در غیر این صورت صفر

x_{icklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o از گره i به گره c برود ۱، در غیر این صورت صفر

x_{cjklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o از گره c به گره j برود ۱، در غیر این صورت صفر

x_{ihklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o از گره j به انبار عبوری h برود ۱، در غیر این صورت صفر

x_{hjklo}: اگر l امین وسیله نقلیه نوع k متعلق به انبار عبوری o از انبار عبوری h به گره j برود ۱، در غیر این صورت صفر

۳-٤ مدل ریاضی

تابع هدف (۱) شامل کمینه‌سازی مجموع هزینه ثابت باز شدن انبارهای عبوری، هزینه حمل و نقل بین گره‌ها و هزینه عملیاتی وسایل نقلیه است. محدودیت (۲) تضمین می‌کند هر مشتری برای هر نوع کالا فقط به یک انبار عبوری تخصیص داده می‌شود. محدودیت (۳) این اطمینان را می‌سازد که اگر انبار عبوری باز شود برای هر نوع کالا فقط به یک تامین کننده تخصیص داده می‌شود. محدودیت‌های (٤) و (٥) اطمینان می‌سازند که هر انبار عبوری که باز شود، برای هر نوع کالا حداقل به یک مشتری تخصیص داده می‌شود. محدودیت (٦) حداکثر تعداد انبار عبوری که می‌تواند باز شود را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۷)، (۸) ، (۹) و(۱۰) تضمین می‌کنند که انتقال کالا از تامین کننده به انبار عبوری و از انبار عبوری به مشتری تنها زمانی امکان پذیر است که آن مرکز باز باشد.

محدودیت (۱۱) نشان می‌دهد که یک وسیله نقلیه متعلق به یک انبار عبوری، می‌تواند مورد استفاده قرار نگیرد. محدودیت‌های (۱۲)، (۱۳) و (١٤) نشان دهنده حرکت متوالی وسایل نقلیه هستند. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند که هر وسیله نقلیه فقط یکبار می‌تواند هر گره را ملاقات نماید. محدودیت‌های (١٦) و (۱۷) نشان می‌دهند زمانی وسیله نقلیه می‌تواند بین تامین کنندگان و بین مشتریان حرکت کند که از مرکز انبار عبوری که متعلق به آن است خارج شده باشد. محدودیت‌های (۱۸) و (۱۹) اطمینان می‌سازند که ارتباط مستقیم بین تامین کنندگان ومشتریان وجود ندارد. محدودیت (۲۰) از بوجود آمدن حلقه جلوگیری می‌نماید. محدودیت (۲۱) نشان می‌دهد ارتباطی بین انبارهای عبوری وجود ندارد.

محدودیت‌های (۲۲) و (۲۳) نشان می‌دهند که هر وسیله نقلیه باید از انبار عبوری که متعلق به آن است، خارج شود. محدودیت (٢٤) از برگشت به عقب مشتریان و تامین کنندگان جلوگیری می‌نماید. محدودیت‌های (۲۵) و (٢٦) مشخص می‌کنند زمانی وسیله نقلیه متعلق به یک انبار عبوری به گره تامین کننده و مشتری می‌رود که حداقل برای یک کالا به آن انبار عبوری تخصیص داده شده باشد و آن وسیله نقلیه توانایی حمل آن نوع کالا را داشته باشد. محدودیت(۲۷) محدودیت تعداد وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۸) محدودیت ظرفیت انبار عبوری را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۲۹) و (۳۰) تضمین می‌نمایند که مقدار کالای بارگیری شده در فرآیند برداشت و مقدار کالای تخلیه شده در فرآیند تحویل، توسط هر وسیله نقلیه نباید از حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز نماید.

محدودیت (۳۱) نشان می‌دهد که مقدار کالای تخلیه شده توسط تمام وسایل نقلیه در گره i برابر تقاضای آن مشتری برای آن کالا است. محدودیت (۳۲) تضمین می‌نماید زمانی یک وسیله نقلیه متعلق به انبار عبوری o می‌تواند کالا r را در مشتری i تخلیه کند که وسیله نقلیه آن گره را ملاقات کرده باشد، مشتری برای آن کالا به انبار عبوری o تخصیص داده شده باشد و وسیله نقلیه توانایی حمل آن کالا را داشته باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

$$\min Z = \sum_{o\in N_o}^{o} F_o w_o + \sum_{i\in N}\sum_{j\in N}\sum_{k\in K}\sum_{l=1}^{m_{ko}}\sum_{o\in N_o}(c'_{ijk}\ d_{ij})x_{ijklo} + \sum_{i\in N}\sum_{j\in N_c\cup N_s}\sum_{k\in K}\sum_{l=1}^{m_{ko}}\sum_{o\in N_o} c_k x_{ioklo} \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{o\in N_o} \mathrm{f}_{ojr} = 1 \qquad \forall j \in \mathrm{N_c}, r \quad (2)$$

$$\sum_{i\in \mathrm{N_s}} \mathrm{f}_{ior} = w_o \qquad \forall o \in \mathrm{N_o}, r \quad (3)$$

$$\sum_{j\in \mathrm{N_c}} \mathrm{f}_{ojr} \geq w_o \qquad \forall o \in \mathrm{N_o}, r \quad (4)$$

$$\sum_{j\in \mathrm{N_c}} \mathrm{f}_{ojr} \leq \mathrm{M}.w_o \qquad \forall o \in \mathrm{N_o}, r \quad (5)$$

$$\sum_{o\in \mathrm{N_o}} w_o \ \leq E \quad (6)$$

$$f_{ior} \leq w_o \qquad \forall i \in \mathrm{N_s}, o \in \mathrm{N_o}, r \quad (7)$$

$$f_{ojr} \leq w_o \qquad \forall j \in \mathrm{N_c}, o \in \mathrm{N_o}, r \quad (8)$$

$$x_{ioklo} \leq w_o \qquad \forall i \in \mathrm{N_s}, o \in \mathrm{N_o}, k, l \quad (9)$$

$$x_{ojklo} \leq w_o \qquad \forall j \in \mathrm{N_c}, o \in \mathrm{N_o}, k, l \quad (10)$$

$$\sum_{j\in \mathrm{N_s}\cup \mathrm{N_c}} x_{ojklo} \leq 1 \qquad \forall o, k, \mathrm{l} \quad (11)$$

$$\sum_{i\in N_s} x_{ioklo} = \sum_{j\in N_s} x_{ojklo} \qquad \forall o, k, l \quad (12)$$

$$\sum_{i\in N_c} x_{ioklo} = \sum_{j\in N_c} x_{ojklo} \qquad \forall o, k, l \quad (13)$$

$$\sum_{i\in N} x_{icklo} = \sum_{j\in N} x_{cjklo} \qquad \forall i, c \in N_c \cup N_s, k, l, o \quad (14)$$

$$\sum_{j\in N} x_{jiklo} = y_{iklo} \qquad \forall i \in N_c \cup N_s, o \in \mathrm{N_o}, k, l \quad (15)$$

$$x_{ijklo} \leq \sum_{c\in N_s} x_{coklo} \qquad \forall i, j \in \mathrm{N_s}, k, l, o \quad (16)$$

$$x_{ijklo} \leq \sum_{c\in N_c} x_{coklo} \qquad \forall i, j \in \mathrm{N_c}, k, l, o \quad (17)$$

$$\sum_{i\in N_s} x_{ijklo} = 0 \qquad \forall j \in N_c, k, l, o \quad (18)$$

$$\sum_{i\in N_c} x_{ijklo} = 0 \qquad \forall j \in N_s, k, l, o \quad (19)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{l=1}^{m_{ko}} x_{ijklo} = 0 \qquad \forall i, j \in N, i = j, \mathrm{o} \quad (20)$$

$$\sum_{j\in N_o}\sum_{k\in K}\sum_{l=1}^{m_{ko}} x_{ojklo} = 0 \qquad \forall o \quad (21)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$x_{ihklo} = 0 \qquad \forall i \in N_s \cup \mathrm{N_c}, h \in \mathrm{N_o}, k, l, o, h \neq o \qquad (22)$$

$$x_{hjklo} = 0 \qquad \forall \mathrm{j} \in N_s \cup \mathrm{N_c}, h \in \mathrm{N_o}, k, l, o, h \neq o \qquad (23)$$

$$x_{ijklo} + x_{jiklo} \leq 1 \qquad \forall i, j \in N_c \cup N_s, k, l, o \qquad (24)$$

$$\mathrm{y}_{iklo} \leq \sum_{r \in R} f_{ior} * \delta_{rk} \qquad \forall i \in N_s, k, l, o \qquad (25)$$

$$\mathrm{y}_{jklo} \leq \sum_{r \in R} f_{ojr} * \delta_{rk} \qquad \forall j \in N_c, k, l, o \qquad (26)$$

$$\sum_{j \in N_c \cup N_s} \sum_{l=1}^{m_{ko}} x_{ojklo} \leq m_{ko} \qquad \forall k, o \qquad (27)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{k \in K} \sum_{l=1}^{m_{ko}} z_{orklo} * B_r \leq CA_o * w_o \qquad \forall o \qquad (28)$$

$$\sum_{i \in N_s} \sum_{r \in R} a_{irklo} * B_r \leq Q_k \qquad \forall i \in N_s, k, l, o \qquad (29)$$

$$\sum_{i \in N_c} \sum_{r \in R} z_{irklo} * B_r \leq Q_k \qquad \forall i \in N_c, k, l, o \qquad (30)$$

$$\sum_{o \in N_o} \sum_{k \in K} \sum_{l=1}^{m_{ko}} z_{irklo} = D_{ir} \qquad \forall i \in N_c, r \qquad (31)$$

$$z_{jrklo} * (\mathrm{y}_{jklo} * f_{ojr} * \delta_{rk} - 1) = 0 \qquad \forall j \in N_c, k, l, o \qquad (32)$$

$$\sum_{o \in N_o} \sum_{k \in K} \sum_{l=1}^{m_{ko}} a_{irklo} = S_{ir} \qquad \forall i \in N_s, r \qquad (33)$$

$$a_{irklo} * (\mathrm{y}_{iklo} * f_{ior} * \delta_{rk} - 1) = 0 \qquad \forall i \in N_s, k, l, o \qquad (34)$$

$$S_{ir} \leq SCAP_{ir} \qquad \forall i \in N_s, r \qquad (35)$$

$$\sum_{i \in N_s} a_{irklo} = z_{orklo} \qquad \forall o, r, k, l \qquad (36)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l=1}^{m_{ko}} z_{orklo} = \sum_{k \in K} \sum_{l=1}^{m_{ko}} a_{orklo} \qquad \forall o, r \qquad (37)$$

$$a_{orklo} = \sum_{i \in N_c} z_{irklo} \qquad \forall o, r, k, l \qquad (38)$$

$$a_{irklo} = 0 \qquad \forall i \in N_c, r, k, l, o \qquad (39)$$

$$z_{irklo} = 0 \qquad \forall i \in N_s, r, k, l, o \qquad (40)$$

$$x_{ijklo}, x_{jiklo}, x_{ojklo}, x_{icklo}, x_{cjklo}, x_{ihklo}, \qquad \forall i, j, r, k, l, o \qquad (41)$$

$$x_{hjklo}, \mathrm{y}_{iklo}, \mathrm{y}_{jklo}, f_{ior}, f_{ojr}, w_{\mathrm{o}} \in \{0,1\}$$

$$a_{irklo}, a_{jrklo}, a_{orklo}, z_{irklo}, z_{jrklo}, z_{orklo} \in Integer \qquad \forall i, j, r, k, l, o \qquad (42)$$

محدودیت‌های (۳۳) و (۳٤) مشابه محدودیت‌های (۳۱) و (۳۲) هستند، با این تفاوت که برای گره‌های برداشت (تامین کنندگان) هستند. محدودیت (۳۵) حداکثر ظرفیت هر تامین کننده برای هر کالا را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۳٦)و (۳۷) و (۳۸) مقدار کالای بین گره ها را مشخص می‌کنند. محدودیت (۳۹) نشان می-دهد مقدار بارگیری در مشتریان صفر است. محدودیت (٤۰) نشان

Archive of SID
www.SID.ir

می‌دهد مقدار تخلیه کالا در تامین کنندگان صفر است. قید (٤١) بیان کننده متغیر باینری(صفر ویک) و قید (٤٢) مربوط به متغیرهای عدد صحیح است.

٤. کاربرد صنعتی

در این بخش، کاربرد عملی مدل ارائه شده شرح داده می‌شود و سپس برای درک بهتر موضوع مورد مطالعه، یک مثال موردی با ابعاد کوچک توسط نرم افزار لینگو[٤٧] حل و نتایج آن ارائه می‌گردد.

یکی از کاربردهای عملی این تحقیق، صنعت توزیع و پخش مواد غذایی فاسد شدنی مانند شیر، شیرکاکائو، تخم مرغ، قارچ، انواع سبزیجات بسته‌بندی، انواع دسرهای آماده مانند ژله، انواع ماست، انواع گوشت‌های بسته‌بندی دام، طیور و آبزیان، انواع موادغذایی آماده مانند انواع سالاد و سالاد الویه، انواع میوه‌های بسته‌بندی و غیره است. در این صنعت، مواد غذایی گوناگون از تامین کنندگان گوناگون دریافت گردیده و به انبارهای عبوری تحویل داده می‌شوند. بعد از دریافت، محصولات براساس نیاز هر مشتری و مقدار درخواست از هر محصول، در وسایل نقلیه بارگیری شده و به سمت مشتریان روانه می‌گردند. در بخش بارگیری، بعضی از مواد غذایی به دلیل ماهیت متفاوت قادر به حمل در یک نوع وسیله نقلیه نیستند. به عنوان مثال در وسایل حمل و نقل گوشت، مواد غذایی دیگری قرار داده نمی‌شود و یا وسایل حمل و نقل برای گروهی از موادغذایی باید دارای یخچال باشد و گروهی دیگر نیاز به یخچال نداشته و قابل حمل با یکدیگرند. از این رو، نوع وسیله حمل و نقل می‌بایست با نوع کالا هم‌خوان و سازگار باشد. از آنجایی که مواد غذایی فاسد شدنی می‌بایست در مدت زمان کم به دست مشتریان برسد، ضروری است که مواد غذایی در انبارهای عبوری نگهداری نشود و سریعا" بعد از دریافت از تامین کنندگان، بوسیله انبارهای عبوری برای مشتریان ارسال گردد. همچنین به دلیل عوامل گوناگون و غیر قابل پیش بینی در حین کار و محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه، تحویل محصول از تامین کننده و ارسال آن به مشتری در چندین بخش، به امری عادی و قابل قبول در این صنعت تبدیل شده است. در این صنعت، قرار گیری انبار عبوری در یک مکان مناسب دارای اهمیت بسیار است. از این رو، انتخاب بهینه مکان انبار عبوری از بین مکان‌های کاندید امری کاملا" ضروری است. همچنین از اهداف مهم برای هر شرکت در صنعت توزیع و پخش مواد غذایی فاسد شدنی در جهت دست یافتن به راندمان بالا، کاهش هزینه‌ها، سود آوری بالا، خدمات بهتر و توسعه صنعت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

١- تعیین بهینه مکان مناسب برای احداث انبار عبوری از بین مجموعه مکانهای موجود

٢- تعیین بهینه تعداد مراکز انبار عبوری

٣- تخصیص بهینه مشتریان و تامین کنندگان به هر انبار عبوری

٤- تعیین بهینه تعداد وسیله نقلیه و تعیین مناسب ترین وسیله نقلیه با توجه به نوع آن و هزینه عملیاتی هر وسیله

٥- تعیین شبکه بهینه حمل و نقل برای دریافت کالاها از تامین کننده به انبار عبوری و ارسال محموله‌های ادغام شده از انبار عبوری به مشتری.

برای درک بهتر و چگونگی طراحی و تطبیق مدل ارائه شده با کاربرد عملی آن، یک مثال موردی با ابعاد کوچک در نظر گرفته شده است.

یک شرکت پخش و توزیع، جهت خدمات دهی ٣ نوع محصول به ٢ مشتری (N_4, N_5)، ٣ تأمین کننده (N_1, N_2, N_3) در اختیار دارد. این شرکت، ٣ مکان انبار عبوری (N_6, N_7, N_8) کاندید با ظرفیت نگهداری و هزینه باز شدن متفاوت در اختیار دارد و با توجه به بودجه و سیاست شرکت، می‌تواند در بیشینه حالت تا ٢ انبار عبوری احداث نماید. همچنین ٢ نوع وسیله نقلیه نیز در اختیار دارد. هزینه‌های حمل و نقل، هزینه عملیاتی هر وسیله نقلیه، تقاضای مشتری و مقداری که هر تامین کننده از هر کالا می‌تواند تامین نماید قطعی و ثابت است. به طور کلی، هدف، ایجاد یک شبکه بهینه حمل و نقل به طوریکه هزینه ثابت انبار عبوری و هزینه های حمل و نقل کمینه گردد. درجداول زیر اطلاعات ورودی مسئله قرار داده شده است.

جدول١. اطلاعات انبارهای عبوری کاندید

	$N_٦$	$N_٧$	$N_٨$
F_o	١٢٠	١٥٠	٢١٠
CA_o	١٥٠٠	١٧٠٠	٢٢٠٠

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۲. تعداد ماشین‌های موجود در هر انبار عبوری وظرفیت هر نوع وسیله نقلیه

	$M_{k۶}$	$M_{k۷}$	$M_{k۸}$	Q_k	C_k
$K_۱$	٤	٦	٣	٥٢٠	٢٢
$K_۲$	٦	٥	٤	٦٠٠	٢٥

جدول۳. حجم هر نوع کالا

	$r_۱$	$r_۲$	$r_۳$
B_r	٥	٩	٧

جدول٤. ماتریس قابلیت حمل هر وسیله نقلیه بسته به نوع کالا

	$r_۱$	$r_۲$	$r_۳$
$K_۱$	١	١	٠
$K_۲$	٠	١	١

جدول۵. ظرفیت هر تأمین کننده از هر نوع کالا

	$r_۱$	$r_۲$	$r_۳$
$N_۱$	٦٥	٨٥	٦٢
$N_۲$	٤٦	٢٢	٣٣
$N_۳$	٥٢	٦٦	٤٥

جدول٦. تقاضا هر مشتری از هر نوع کالا

	r_1	r_2	r_3
$N_۴$	١٢	١٤	٩
$N_۵$	١٦	١٢	١٥

جدول۷. فاصله بین گره ها

	$N_۱$	$N_۲$	$N_۳$	$N_۴$	$N_۵$	$N_۶$	$N_۷$	$N_۸$
$N_۱$	٠	١٠٨	٩٥	٨٧	٨٦	٢٥	٤٨	١٥١
$N_۲$	١٠٨	٠	١٠٣	١٢٦	١٤٥	٩٨	٦٩	١٢٨
$N_۳$	٩٨	١٠٣	٠	٨٩	٩٨	٦٥	١٢٦	٥٦
$N_۴$	٨٧	١٢٦	٨٩	٠	٨٥	١٢٦	١٤٨	١٠٢
$N_۵$	٨٦	١٤٥	٩٨	٨٥	٠	٨٥	٦٩	٦٨
$N_۶$	٢٥	٩٨	٦٥	١٢٦	٨٥	٠	٥٨	٨٥
$N_۷$	٤٨	٦٩	١٢٦	١٤٨	٦٩	٥٨	٠	٤٦
$N_۸$	١٥١	١٢٨	٥٦	١٠٢	٦٨	٨٥	٤٦	٠

جدول۸. هزینه حمل وسیله نقلیه نوع ۱

	$N_۱$	$N_۲$	$N_۳$	$N_۴$	$N_۵$	$N_۶$	$N_۷$	$N_۸$
$N_۱$	٠	٩٩	٥٤	٢١	٢٠٥	٤٥٠	٥٦٩	٣٢٥
$N_۲$	٩٩	٠	٢٧	٥٥	٣٠٥	٥٦٠	٥٨٩	٤٠٥
$N_۳$	٥٤	٢٧	٠	٢٥٠	١٦٨	٥٤٨	٦٩٨	٢٧
$N_۴$	٢١	٥٥	٢٥٠	٠	٨٩٦	٤٨٦	٨٩٠	٥٦
$N_۵$	٢٠٥	٣٠٥	١٦٨	٨٩٦	٠	٤٨٢	٧٦٨	١٢٨
$N_۶$	٤٥٠	٥٦٠	٥٤٨	٤٨٦	٤٨٢	٠	٤٨٧	٢٠٥
$N_۷$	٥٦٩	٥٨٩	٦٩٨	٨٩٠	٧٦٨	٤٨٧	٠	٣٠٧
$N_۸$	٣٢٥	٤٠٥	٢٧	٥٦	١٢٨	٢٠٥	٣٠٧	٠

جدول۹. هزینه حمل وسیله نقلیه نوع ۲

	$N_۱$	$N_۲$	$N_۳$	$N_۴$	$N_۵$	$N_۶$	$N_۷$	$N_۸$
$N_۱$	٠	٨٠	٤٢	١١	١٠٢	٢٠٥	٤٠٢	٣٠٥
$N_۲$	٨٠	٠	١٢	٤٠	١٦٠	٤٠٠	٤٩٠	٢٩٥
$N_۳$	٤٢	١٢	٠	١٢٠	١٣٢	٤٥٠	٤٥٠	١٠٨
$N_۴$	١١	٤٠	١٢٠	٠	٧٠٢	٣٠٢	٧٠٣	٤٠٦
$N_۵$	١٠٢	١٦٠	١٣٢	٧٠٢	٠	٣٠٢	٦٠٨	٢٥٥
$N_۶$	٢٠٥	٤٠٠	٤٥٠	٣٠٢	٣٠٢	٠	٣٤٨	٦٨
$N_۷$	٤٠٢	٤٩٠	٤٥٠	٧٠٣	٦٠٨	٣٤٨	٠	٩٨
$N_۸$	٣٠٥	٢٩٥	١٠٨	٤٠٦	٢٥٥	٦٨	٩٨	٠

پس از حل با نرم افزار لینگو، جواب بهینه مسئله مورد نظر به صورت $N_۸$=۰، $N_۷$=۰ و $N_۶$=۱ بدست آمد، به این معنی که فقط انبار عبوری شماره ٦ از بین انبار های کاندید، انتخاب شده است. جواب بهینه مسئله به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین، با توجه به اینکه بارگیری در مشتریان صفر و تخلیه در تأمین کنندگان صفر است و فقط انبار عبوری ٦ قابلیت باز شدن دارد و همچنین با توجه به شکل۲، تمام کالاهای مورد نیاز مشتریان از تأمین کننده ۱ است، بنابراین مقدار بارگیری از تأمین کنندگان ۲ و ۳ برابر با صفر است. واضح است که وقتی یک انبار عبوری باز شود، تمام مشتریان به یک انبار تخصیص داده خواهند شد و چون تمام کالاها از تأمین کننده ۱ تأمین شده است، انبار عبوری هم به یک تأمین کننده تخصیص داده شده است. داده‌های جداول ۵، ۷، ۸ و ۹ به طور واضح نشان دهنده انتخاب تامین کننده ۱ هستند. در این جداول، توانایی ظرفیت تولید تامین کننده ۱ در هر ۳ محصول بیشتر از دو تامین کننده دیگر است. همچنین، فاصله تامین کننده ۱ از انبار عبوری ٦ و هزینه حمل و نقل وسیله نوع ۱ و ۲ برای تامین کننده ۱ از دو تامین کننده دیگر نیز کمتر است. همچنین، مقدار بارگیری از تامین کنندگان و تخلیه در مشتریان توسط وسایل نقلیه

Archive of SID
www.SID.ir

انبار عبوری شماره ٦، به ترتیب در جداول ١٠ و ١١ ارائه شده است.

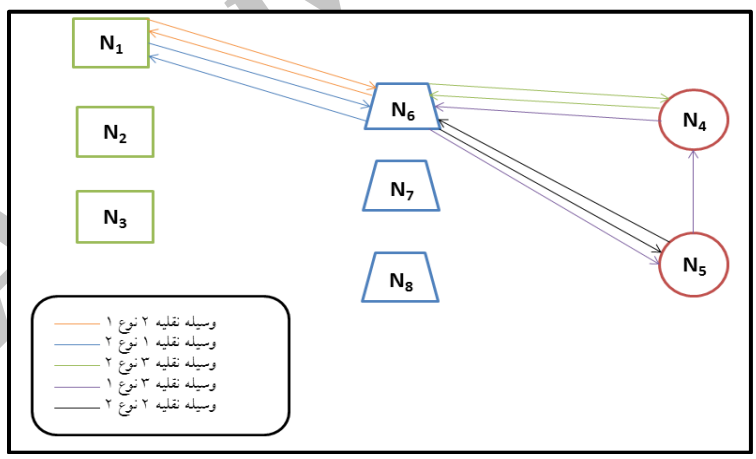
با توجه به شکل ٢ و اطلاعات ارائه شده در جدول ١٠، محصول ١ و ٢ به طور همزمان بوسیله ماشین شماره ٢ نوع ١ از تامین کننده ١ بارگیری گشته است و محصول ٢ توسط وسیله شماره ١ نوع ١ نیز از تامین کننده ١ بارگیری شده است. همچنین مقدار کالای بارگیری شده از هر نوع محصول برابر تقاضای مشتریان است. جدول ١١ نیز نشان می‌دهد که تمامی محصولات بارگیری شده از تامین کننده ١، به درستی و به همان اندازه تحویل مشتریان گشته است.

جدول ١٠. مقدار کالای بارگیری شده توسط وسایل نقلیه از تأمین کنندگان

r	N_i	k=١, l=٢	k=١, l=٣	k=٢, l=١	k=٢, l=٢	k=٢, l=٣
r=١	$N_١$	٢٨	٠	٠	٠	٠
	$N_٢$	٠	٠	٠	٠	٠
	$N_٣$	٠	٠	٠	٠	٠
r	N_i	k=١, l=٢	k=١, l=٣	k=٢, l=١	k=٢, l=٢	k=٢, l=٣
	$N_١$	٢٦	٠	٠	٠	٠
	$N_٢$	٠	٠	٠	٠	٠
r=٢	$N_٣$	٠	٠	٠	٠	٠
r	N_i	k=١, l=٢	k=١, l=٣	k=٢, l=١	k=٢, l=٢	k=٢, l=٣
	$N_١$	٠	٠	٢٤	٠	٠
	$N_٢$	٠	٠	٠	٠	٠
r=٣	$N_٣$	٠	٠	٠	٠	٠

جدول ١١. مقدار کالای تخلیه شده توسط وسایل نقلیه در مشتریان

r	N_i	k=١, l=٢	k=١, l=٣	k=٢, l=١	k=٢, l=٢	k=٢, l=٣
r=١	$N_٤$	٠	١٢	٠	٠	٠
	$N_٥$	٠	١٦	٠	٠	٠
r	N_i	k=١, l=٢	k=١, l=٣	k=٢, l=١	k=٢, l=٢	k=٢, l=٣
r=٢	$N_٤$	٠	١٤	٠	٠	٠
	$N_٥$	٠	٠	٠	١٢	٠
r	N_i	k=١, l=٢	k=١, l=٣	k=٢, l=١	k=٢, l=٢	k=٢, l=٣
r=٣	$N_٤$	٠	٠	٠	٠	٩
	$N_٥$	٠	٠	٠	١٥	٠



شکل ٢. نمایی از شبکه حمل و نقل مثال موردی

٥- الگوریتم بهینه سازی ذرات

مسأله مکان‌یابی_ مسیریابی، ترکیبی از دو مسئله مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی وسایل نقلیه است که به طور همزمان هر دو این مسئله را در نظر می‌گیرد. هردو مسئله مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی وسیله نقلیه به تنهایی از نوع مسائل *NP-hard* هستند. از این‌رو، مسأله ترکیبی مکان‌یابی- مسیریابی نیز مسئله ای با پیچیدگی *NP-hard* است. میزان پیچیدگی این مسئله به گونه‌ای است که الگوریتم چند جمله‌ای قادر به حل این مسئله در زمان محاسباتی معقول نیست. بنابراین حل در اندازه‌های بزرگ با استفاده

Archive of SID
www.SID.ir

از روش‌های دقیق، سخت و تقریبا ناممکن است و حل مسائلی از این قبیل نیازمند الگوریتم‌های ابتکاری یا فراابتکاری است که بتوانند در مدت زمان معقول به جواب بهینه دست یابند. در این تحقیق، الگوریتم فرا ابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات به منظور حل مسائل با اندازه بزرگ ارائه می‌شود.

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات اولین بار توسط یک روانشناس اجتماعی با نام جیمز کندی [۴۸] و یک مهندس الکترونیک با نام راسل ابرهارت[۴۹] در سال ۱۹۹۵ با استفاده از تجربیات قبلی در رابطه با مدل کردن رفتارهای دسته جمعی که در بسیاری از انواع پرندگان قابل مشاهده است، توسعه داده شد. در این الگوریتم، هر جواب، ذره[۵۰] نام دارد و جمعیت جواب‌ها، گروه[۵۱] نامیده می‌شود. در هر مرحله از تکرار الگوریتم، ذره به سمت موقعیت بهتر جابجا می‌شود. موقعیت بعدی برای هر ذره با توجه به دو مقدار به دست می‌آید: اولین مقدار، بهترین موقعیتی است که ذره تا کنون داشته است (pbest) و دومین مقدار، بهترین موقعیتی است که همه ذرات تا کنون به دست آورده‌اند (gbest). به بیان دیگر، gbest را می‌توان بهترین pbest در کل گروه در نظر گرفت. در هر گام، سرعت و موقیت هر ذره به ترتیب از طریق معادلات ۴۳ و ٤٤ به روز رسانی می‌شوند. این فرآیند تا زمان رسیدن به شرط توقف ادامه پیدا می‌کند.

$$v_{ij}(t+1) = w.\, v_{id}(t) + c_1.r_1(p_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2.r_2(g_{id}(t) - x_{id}(t)) \quad (43)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (44)$$

c_1 و c_2 : پارامترهای یادگیری

r_1 و r_2 : اعدادی تصادفی در محدوده [۰،۱]

w: ضریب اینرسی (کنترل کننده تاثیر سرعت حرکت ذره قبلی)

$x_{id}(t)$: مکان عضو i ام در بعد d ام در مرحله t ام

$v_{id}(t)$: سرعت عضو i ام در بعد d ام در مرحله t ام

$P_{id}(t)$: بهترین موقعیت یافت شده توسط هر عضو تا مرحله t ام

$P_{gd}(t)$: بهترین موقعیت یافت شده از بین اعضا در مرحله t ام

۵-۱ نحوه نمایش جواب

نحوه نمایش جواب به بخش‌های زیر تقسیم می‌گردد:

بخش اول، مربوط به برقراری هر یک از انبارهای عبوری است. به صورتیکه یک ماتریس یک سطری با طولی برابر با تعداد انبارهای عبوری کاندید که مقادیر آن به صورت باینری بوده و نشان دهنده برقراری یا عدم برقراری انبار مربوطه است. در شکل ۳، ۳ انبار عبوری وجود دارد که در آن انبار عبوری ۱و ۳ باز بوده و انبار عبوری ۲ بسته است.

۱	۰	۱

شکل ۳. مرحله اول ساختار جواب

بخش دوم، نحوه تامین نیازهای هر مشتری از محصولات مختلف را مشخص می‌کند. این بخش یک ماتریس سه بعدی است که ابعاد آن به ترتیب نشان دهنده تعداد مشتری، تعداد انبار عبوری و نوع محصول است. شکل ٤ نمونه‌ای از یک مسأله با سه مشتری، دو انبار عبوری و دو محصول را نمایش می‌دهد.

	انبار عبوری۲	انبار عبوری۱
	۰/۹٦	۰/۲۷
	۰/۱۵	۰/٥٤

	انبار عبوری۲	انبار عبوری۱
مشتری۱	۰/۹۱	۰/۸۱
مشتری۲	۰/٦۳	۰/۹

Archive of SID
www.SID.ir

	محصول ۲	
	۰/۹۷	۰/۸۵
مشتری۳	۰/۰۹	۰/۱۲
	محصول ۱	

شکل ٤. مرحله دوم ساختار جواب

در شکل ٤، بزرگ‌ترین مقدار مربوط به مشتری ۳، انبار عبوری ۲ و محصول ۲ است. بنابراین، ابتدا تقاضای مشتری ۳ از محصول ۲ از انبار عبوری ۲ تأمین می‌شود. سپس بزرگ‌ترین عدد بعدی ۰/۹۱ است، به این معنی که تقاضای مشتری ۱ از محصول ۱ به انبار عبوری ۲ تخصیص داده می‌شود و به همین ترتیب همه تقاضاها پوشش داده می‌شوند. همچنین در صورتی که یک انبار عبوری برقرار نگردد، مقادیر مربوط به آن در این بخش برابر صفر قرار داده می‌شود. به عنوان مثال اگر انبار عبوری ۱ برقرار نباشد، جواب این بخش به صورت شکل ۵ خواهد بود.

	انبار عبوری۲	انبار عبوری۱
	۰/۹٦	۰
	۰/۱۵	۰
	۰/۹۷	۰
	محصول ۲	

	انبار عبوری۲	انبار عبوری۱
مشتری۱	۰/۹۱	۰
مشتری۲	۰/٦۳	۰
مشتری۳	۰/۰۹	۰
	محصول ۱	

شکل۵. مرحله دوم ساختار جواب در حالتی که انبار عبوری ۱ برقرار نباشد

برای نمونه‌ای با ٤ تأمین کننده، ۲ انبار عبوری و ۲ محصول نمایش می‌دهد.

	انبار عبوری۲	انبار عبوری۱
	۰/۳۵	۰/۳۹
	۰/۸۵	۰/۸٤
	۰/٦۵	۰/٦۹
	۰/۹٦	۰/٤٤
	محصول دوم	

ساختار جواب بخش سوم همانند بخش دوم است با این تفاوت که این ماتریس بین تأمین کننده‌ها و مراکز انبار عبوری برقرار می‌گردد. شکل ٦ زیر نحوه نمایش بخش سوم جواب را

	انبار عبوری۲	انبار عبوری۱
تأمین کننده۱	۰/۹۱	۰/۰۹۲
تأمین کننده۲	۰/۲۲	۰/٦۵
تأمین کننده۳	۰/۸۵	۰/٤۲
تأمین کننده٤	۰/٦۳	۰/٦
	محصول ۱	

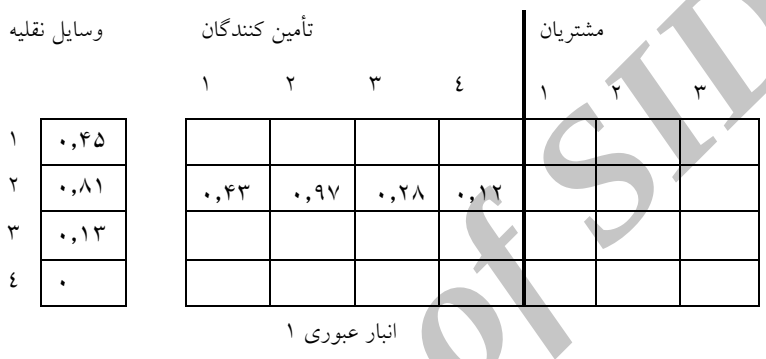
شکل ٦. مرحله سوم ساختار جواب

Archive of SID
www.SID.ir

بخش چهارم مربوط به مسیردهی وسایل نقلیه است که از دو قسمت الویت وسایل نقلیه و الویت سرویس‌دهی تشکیل می‌گردد که مقادیر آن در بازه [۰/۱] به صورت تصادفی هستند. مقادیر بالاتر، از الویت بالاتری برخوردار هستند. شکل زیر مربوط به نمونه‌ای با حداکثر ٤ ماشین در هر انبار عبوری، ٤ تأمین کننده و ۳ مشتری است. در این قسمت، برای هر انبارعبوری که باز شده است، این مجموعه ساختار وجود دارد که در شکل ۷ نشان داده شده است.

نحوه کدگشایی این بخش نیز همانند بخش دوم است با این تفاوت که در بخش سوم هر سطر مربوط به یک تأمین کننده است.

در ۳ بخش نشان داده شده، نحوه باز یا بسته بودن مراکز انبار عبوری، تخصیص مشتریان به مراکز انبار عبوری و همچنین تخصیص تامین کنندگان به مراکز انبار عبوری صورت پذیرفت. بخش بعدی ساختار جواب، نحوه حمل و سرویس دهی مربوط به فرآیند برداشت و تحویل را مشخص می‌نماید.



شکل۷. مرحله چهارم ساختار جواب

ماتریس وسایل نقلیه یک ماتریس ستونی است که تعداد سطرهای آن برابر با حداکثر وسایل حمل و نقل در هریک از انبارهای عبوری است. به عنوان مثال اگر ۳ مرکز انبار عبوری وجود داشته باشد که تعداد کل وسایل نقلیه در هرکدام از آنها به ترتیب برابر ۳ و ۲ و ٤ باشد، تعداد سطرهای این ماتریس برابر ٤ خواهد بود، و برای انبارهای عبوری اول و دوم، درایه‌های مازاد معادل صفر قرار داده می‌شوند. در شکل ۷، انبار عبوری ۱ دارای ۳ ماشین بوده، بنابراین آخرین سطر ماتریس وسایل نقلیه برابر صفر است.

برای مسیریابی، ابتدا وسیله با بیشترین اولویت انتخاب می‌گردد. به عنوان مثال در شکل ۷، از بین وسایل موجود، وسیله شماره ۲ با مقدار ۰/۸۱ که دارای بیشترین اولویت است، انتخاب شده و از بین تامین کنندگان، ابتدا تأمین کننده ۲ با مقدار ۰/۹۷ و سپس تامین کننده ۱ با مقدار ۰/٤۳ و به همین ترتیب تامین کننده ۳ و ٤ انتخاب می‌گردند. سپس وسیله ۲ از انبار عبوری ۱ حرکت کرده و باتوجه به ظرفیت خود، قابلیت حمل نوع کالا و نحوه‌ی تامین هر کالا از هر تامین کننده، مسیر خود را به اتمام می‌رساند و به انبار عبوری که از آن حرکت کرده بود، باز می‌گردد. این فرآیند ابتدا برای تامین کنندگان و سپس به صورتی مشابه برای مشتریان صورت می‌پذیرد.

۵-۲ تولید جواب‌های اولیه

بعد از تعیین ساختاری برای نمایش جواب‌های مسأله، اولین گام از الگوریتم، تولید جمعیت اولیه جواب‌هاست. به طور کلی کیفیت جواب‌های آغازین بر عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری تأثیر بسزایی دارد. بیشتر الگوریتم‌های فراابتکاری تکاملی جمعیت محور، از یک رویکرد تصادفی برای تولید جواب‌های اولیه استفاده می‌کنند. در این تحقیق نیز از رویکرد تصادفی برای تولید جواب های اولیه استفاده شده است.

۵-۳ محاسبه مقادیر شایستگی

به طور معمول، در الگوریتم‌های فراابتکاری، هرجواب در هر مرحله با استفاده از تابع شایستگی ارزیابی و مقدار شایستگی آن محاسبه می‌شود. در این تحقیق نیز از تابع هدف مسأله که پیشتر بیان شده است، به عنوان تابع شایستگی ذرات استفاده می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir

٤-٥ تکرار الگوریتم

بعد از تولید جمعیت اولیه ذرات بصورت تصادفی و ارزیابی شایستگی آن‌ها، هر ذره با استفاده از ترکیب اطلاعات محل فعلی، بهترین محلی که قبلا در آن بوده و همچنین بهترین محل ذره موجود در جمعیت، جهتی را برای حرکت انتخاب می‌کند. در این الگوریتم، بردارهای سرعت و موقعیت هریک از ذرات در هر تکرار الگوریتم، طبق روابط ٤٣ و ٤٤ محاسبه می‌شوند. همه ذرات جهتی برای حرکت انتخاب می‌کنند و پس از انجام حرکت، یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رسد. به این ترتیب یک تکرار از الگوریتم انجام می‌گیرد و به همین ترتیب این روند تکرار می‌شود تا زمانی که شرط پایان الگوریتم برقرار شود. در رابطه ٤٣، ضریب اینرسی (w) به صورت زیر درنظر گرفته شده است.

$$W = W_{max} - \frac{W_{max}-W_{min}}{t_{max}} t \qquad (45)$$

که در آن، W_{max} برابر ۱، W_{min} برابر صفر، t_{max} برابر حداکثر تعداد تکرار و t برابر شماره تکرار فعلی است.

٥-٥ شرط توقف الگوریتم

شرط توقف الگوریتم در واقع معیاریست که مشخص می‌کند، حلقه تکرار الگوریتم تا کجا ادامه یابد و بسته به نظر طراح می‌تواند متمایز باشد. در الگوریتم پیشنهادی شرط توقف بصورت زیر می باشد:

الویت اول: همگرایی الگوریتم به یک جواب مشخص.

الویت دوم: عدم پیشرفت، به این معنی که اگر پس از x بار تکرار، بهبودی در جواب‌ها ایجاد نگردد، الگوریتم متوقف می‌شود. در این تحقیق، x =۳۰ در نظر گرفته شده است.

الویت سوم: تعداد تکرار مشخص، به این معنی که الگوریتم بعد از تعداد تکرار مشخص متوقف می‌گردد. در اینجا، شرط توقف برابر با۱۵۰ تکرار می باشد و اگر دو شرط اول در تعداد تکرار کمتر برقرار نگردید، در نهایت الگوریتم بعد از تعداد تکرار تعیین شده متوقف می‌شود.

٦. نتایج محاسباتی

٦-١ تولید مسائل محک

به منظور بررسی و مقایسه الگوریتم ارائه شده با مدل ریاضی، مجموعه‌ای از مسائل محک با اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ در نظر گرفته شده است که توسط الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با استفاده از نرم افزار متلب [٥٢]حل می‌شود و پاسخ‌های حاصل با پاسخ‌های حاصل از حل مدل ریاضی با نرم افزار لینگو در حالت حل کننده سراسری[٥٣]مقایسه می‌گردند .همچنین برای آن دسته از مسائلی که مدل ریاضی قادر به حل مسائل نیست، حد پایین برای آن مسئله محاسبه می‌شود و با جواب‌های بدست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مقایسه می‌گردد. هدف از این آزمایش، بررسی توانایی الگوریتم ارائه شده در رسیدن به پاسخ‌های بهینه[٥٤]در مقایسه با حل مدل ریاضی است. انجام آزمایشها توسط یک رایانه دو هسته‌ای GHZ ۲ با ۲,٥GB حافظه داخلی صورت پذیرفته است. توزیع پارامترهای استفاده شده در مسائل محک در جدول ۱۲ نشان داده شده است. همچنین مشخصات مسائل محک نیز در جداول ۱۳، ١٤ و ١٥ نمایش داده شده است. در این جداول، کل گره ها N، تامین کننده N_c، انبار عبوری N_o، مشتریان N_c، نوع محصول r، نوع وسیله نقلیه k و حداکثر تعداد انبار عبوری باز برابر E است.

جدول ۱۲. توزیع پارامترها در مسائل محک

سطوح	پارامتر ها
U[۱٥۰,۳۰۰]	هزینه حمل
U[۱۰,٤۰۰]	فاصله بین نقاط
U [۱۰۰,٥۰۰]	هزینه ثابت باز شدن هر انبار عبوری
U [٥۰,۱٥۰]	تقاضا
U [۳۰۰,۷۰۰]	ظرفیت هر نوع وسیله نقلیه
U [٥,۹]	حجم هر کالا
U [۱۰۰,۲۰۰]	حداکثر ظرفیت هر تأمین کننده
U [۱٥۰۰,۲۰۰۰]	ظرفیت هر انبار عبوری
U [۲, ۸]	تعداد وسایل نقلیه از هر نوع

جدول ۱۳. مشخصات مسائل محک با اندازه کوچک

شماره	N	Ns	Nc	No	E	K	R

Archive of SID
www.SID.ir

۱	۵	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۲
۲	٦	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۳	۷	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲
٤	۷	۲	۳	۲	۲	۳	۳	۳
۵	۸	۳	۳	۲	۲	۲	۳	۳
٦	۹	۳	٤	۲	۲	۲	۳	۳
۷	۹	۲	۵	۲	۲	۲	٤	۳
۸	۱۰	۳	۵	۲	۲	۲	۳	٤
۹	۱۰	٤	٤	۲	۲	۲	٤	٤
۱۰	۱۱	۵	٤	۲	۲	٤	٤	٤

جدول ١٤. مشخصات مسائل محک با اندازه متوسط

شماره	N	N_S	N_C	N_O	E	K	R
۱۱	۱۱	٤	٤	۳	۲	٤	٤
۱۲	۱۵	٤	۸	۳	۲	٤	۳
۱۳	۱۸	٦	۹	٤	۲	٤	٤
۱٤	۲۰	٦	۱۰	٤	۳	۳	٤
۱۵	۲۲	۷	۱۱	٤	۳	٤	٤
۱٦	۲۵	۸	۱۳	٤	۳	۳	۵
۱۷	۲۷	۸	۱۵	٤	۳	٤	۵
۱۸	۳۰	۹	۱٦	۵	۳	۵	٤
۱۹	۳٤	۱۱	۱۷	٦	٤	٤	۵
۲۰	٤۰	۱۳	۲۰	۷	٦	۵	۵

جدول ۱۵. مشخصات مسائل محک با اندازه بزرگ

شماره	N	N_S	N_C	N_O	E	K	R
۲۱	۵۰	۱٤	۲٦	۱۰	٦	٦	۵
۲۲	٦۰	۱۹	۳۱	۱۰	٦	۵	٦
۲۳	٦۵	۲۱	۳۳	۱۱	٦	٦	٦
۲٤	۷۰	۲۱	۳۸	۱۱	٦	٦	۷
۲۵	۷۵	۲۵	۳۸	۱۲	۷	۷	۷
۲٦	۸۰	۲۷	٤۱	۱۲	۷	۸	٦
۲۷	۸۵	۳۰	٤۲	۱۳	۷	۸	۷
۲۸	۹۰	۳۵	٤۲	۱۳	۸	۹	٦
۲۹	۹۵	۳۰	۵۰	۱۵	۸	۹	۸
۳۰	۱۰۰	۳۵	۵۰	۱۵	۸	۱۰	٦

٦-۲ تنظیم پارامتر

به منظور اطمینان از عملکرد مناسب الگوریتم ناشی از پارامترها، بررسی اثرات متقابل پارامترهای کنترل‌کننده الگوریتم پیشنهادی و دستیابی به یک ترکیب بهینه از آن‌ها الزامی است. در این تحقیق، برای تنظیم پارامترهای الگوریتم، مجموعه‌ای از آزمایشات با توجه به روش تاگوچی[۵۵] طراحی می‌گردد. در ابتدا با انجام آزمایشات بسیار در اندازه‌های مختلف از مجموعه مسائل محک، مقادیر موثر اولیه پارامترها به صورت تجربی مشخص می‌شود و در چهار سطح تعیین می‌گردد. در هر آزمایش، یکی از پارامترها مورد آزمایش قرار می‌گیرد و هر مسئله برای ۵ بار تکرار می‌شود. سپس طراحی آزمایش توسط روش تاگوچی برای سطوح مختلف پارامترها صورت می‌پذیرد. سطوح پاسخ نیز شامل میانگین جواب‌های حاصل شده و میانگین زمان‌های محاسباتی[۵٦]است. به منظور در نظر گرفتن همزمان کیفیت جواب‌ها و زمان محاسباتی، این دو مقدار نرمالایز شده و با هم جمع می‌شوند. در نهایت با استفاده از نتایج بدست آمده از پاسخ‌های ضرایب *SN* و پاسخ‌های میانگین، مقادیر بهینه هر پارامتر مشخص می‌گردد که در جدول ١٦ نشان داده شده است.

جدول ١٦. مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

پارامتر	مقدار
اندازه جمعیت	٤۰۰
تعداد تکرار	۱۵۰
احتمال عملگر جهش	٪۱۸
ضریب یادگیری ۱	۲
ضریب یادگیری ۲	۱/۵

٦-۳ محاسبه حد پایین

در این تحقیق، یک حد پایین برای مسئله مورد نظر توسعه داده شده است. حد پایین ارائه شده، توسعه حد پایین ارائه شده توسط احمدی زر و همکاران (۲۰۱۵) است [Ahmadizar, Zeynivand and Arkat, 2015].

Archive of SID
www.SID.ir

در این رویکرد، حد پایین (LB) برابر است با مجموع حدپایین هزینه حمل و نقل و هزینه عملیاتی بین تامین کنندگان و انبار عبوری (LB_{so})، حدپایین هزینه حمل و نقل و هزینه عملیاتی بین مشتریان و انبار عبوری (LB_{oc}) و حد پایین هزینه باز شدن انبارهای عبوری(LB_o). معادله ٤٧ نشان دهنده حدپایین هزینه حمل و نقل و هزینه عملیاتی بین تامین کنندگان و انبار عبوری است که برابر است با ضرب کمینه وسیله لازم جهت حمل محصولات از تامین کننده به انبار عبوری در کمینه هزینه حمل یک تور بین تامین کنندگان و انبار عبوری. همچنین، معادله ٤٨ نشان دهنده حدپایین هزینه حمل و نقل و هزینه عملیاتی بین انبار عبوری و مشتریان است که برابر است با ضرب کمینه وسیله لازم جهت حمل محصولات از انبار عبوری به مشتریان در کمینه هزینه حمل یک تور بین انبار عبوری و مشتریان. در نهایت، حدپایین هزینه باز شدن انبارهای عبوری برابر با ضرب کمینه انبار عبوری لازم در کمینه هزینه ثابت باز شدن انبار عبوری است که در معادله ٤٩ ارائه شده است.

$$LB = LB_{so} + LB_{oc} + LB_o \quad (46)$$

$$LB_{so} = \left(\sum_{i\in N_c}\sum_{r\in R} D_{ir} * B_r / \max_k\{Q_k\}\right) * \min_{\substack{i\in Ns \\ j\in No \\ k}} \{2 \min_{\substack{i\in Ns \\ j\in No}}\{d_{ij}\}.c'_{ijk} + c_k\} \quad (47)$$

$$LB_{oc} = \left(\sum_{i\in N_c}\sum_{r\in R} D_{ir} * B_r / \max_k\{Q_k\}\right) * \min_{\substack{i\in Nc \\ j\in No \\ k}} \{2 \min_{\substack{i\in Nc \\ j\in No}}\{d_{ij}\}.c'_{ijk} + c_k\} \quad (48)$$

$$LB_o = \left(\sum_{i\in N_c}\sum_{r\in R} D_{ir} * B_r / \min\{\max_o\{CA_o\}, \max_{k,o}\{m_{ko}.Q_k\}\}\right) * \min_o\{F_o.w_o\} \quad (49)$$

٦-٤ تحلیل نتایج

نتایج حاصل از مسائل محک در اندازه های گوناگون توسط دو رویکرد لینگو و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در جدول 17 نشان داده شده است. در این جدول، زمان محاسباتی بر مبنای ثانیه است. با توجه به *NP-Hard* بودن مساله، یک محدودیت زمانی برای اجرای لینگو در بدست آوردن جواب دقیق در نظرگرفته شده است. این زمان معادل یک ساعت یا ٣٦٠٠ ثانیه است. این به آن معنی است که اگر نرم افزار لینگو نتواند جواب بهینه مساله را در زمان تعیین شده پیدا کند، ادامه حل توقف می‌یابد. عموما شاخص مورد نظر در جهت تعیین مسئله از نظر ابعاد (ابعاد بزرگ، متوسط یا کوچک)، به زمان مورد نیاز جهت یافتن جواب بهینه توسط یک رویکرد دقیق وابسته است. چنانچه رویکرد دقیق قادر به یافتن جواب بهینه مدل کمتر از یک ساعت باشد، آنگاه مسئله مورد نظر جزء مسائل با ابعاد کوچک شمرده می‌شود. اگر در مدت یک ساعت، رویکرد دقیق قادر به شناسایی جواب بهینه نباشد، آنگاه مسئله مورد نظر به عنوان یک مسئله بزرگ شناخته می شود.

جدول ١٧ نشان می‌دهد که تنها ده مسئله اول یا همان مسائل محک با اندازه کوچک قابل حل توسط نرم افزار لینگو بوده است. اندازه مسئله ١١ با مسئله ١٠ یکسان است، هردو دارای ١١ گره، ٤ نوع محصول و ٤ نوع وسیله حمل و نقل هستند، با این تفاوت که مسئله ١٠ دارای ٢ انبار عبوری و مسئله ١١ دارای ٣ انبار عبوری است. همان طور که نشان داده شده است، نرم افزار لینگو قادر به حل مسئله ١٠ است ولی قادر به حل مسئله ١١ در زمان تعیین شده ناست. از اینرو، از مسئله ١ تا مسئله ١٠ در دسته مسائل کوچک قرار گرفته شده است و باقیمانده مسائل در اندازه متوسط و بزرگ قرار گرفته‌اند. برای هر مسئله، الگوریتم ارائه شده ٥ بار تکرار گردید و بهترین جواب، میانگین جواب، میانگین درصد خطای نسبی الگوریتم و میانگین زمان محاسباتی گزارش شده است.

همان طور که مشاهده می‌شود، برای مسائل با اندازه کوچک که نرم افزار لینگو فقط قادر به حل آنهاست، جواب‌های حاصل در ٨ مسئله از ده مسئله در دو رویکرد یکسان هستند و در ٤ مسئله از این ٨ مسئله، هر ٥ بار تکرار الگوریتم جواب بهینه را یافته‌اند. همچنین، میانگین درصد خطای نسبی الگوریتم با توجه به جواب‌های بدست

Archive of SID
www.SID.ir

آمده از روش دقیق نیز محاسبه گردیده شده است که نشان از کارآیی خوب الگوریتم در اندازه‌های کوچک دارد. بیشتر، زمان محاسباتی لینگو در ۳ مسئله اول کمتر از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات است، اما با افزایش ابعاد مسائل در اندازه کوچک، زمان محاسباتی لینگو افزایش یافته و فاصله آن با زمان محاسباتی الگوریتم زیاد و زیادتر می‌شود.

برای نشان دادن کارآیی الگوریتم ارائه شده در مسائل متوسط و بزرگ، نتایج جواب‌های حاصل از الگوریتم با نتایج جواب‌های حاصل از حد پایین مقایسه گردیده شده است. همچنین، میانگین درصد خطای نسبی جواب‌های الگوریتم نسبت به بهترین جواب خود نیز قرار داده شده است. خلاصه نتایج جدول ۱۷، در شکل ۸ نشان داده شده است. این شکل، مقایسه روند جواب‌های الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با جواب‌های لینگو و حد پایین را در سی مسئله محک نمایش می‌دهد.

جدول ۱۷. نتایج حاصل از حل مسائل محک توسط رویکرد دقیق و فراابتکاری

شماره مسئله	لینگو			الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات				
	بهترین جواب	زمان محاسباتی	بهترین جواب	میانگین جواب	زمان		میانگین درصد خطای نسبی الگوریتم	حد پایین
					میانگین	محاسباتی		
۱	۱۸۴۹۲۴	۱	۱۸۴۹۲۴	۱۸۴۹۲۴	۳,۱۶		۰	–
۲	۱۶۸۶۱۵	۲	۱۶۸۶۱۵	۱۶۸۶۱۵	۴,۸۳		۰	–
۳	۱۵۰۸۸۴	۲	۱۵۰۸۸۴	۱۵۱۷۲۹	۴,۴۰		۰,۵۶	–
۴	۱۴۷۰۷۴	۱۵	۱۴۷۰۷۴	۱۴۸۲۲۱	۳,۷۱		۰,۷۸	–
۵	۲۱۸۲۸۸	۲۷	۲۱۸۲۸۸	۲۲۱۴۳۱	۵,۵۴		۱,۴۴	–
۶	۱۹۲۲۳۹	۹۵	۱۹۲۲۳۹	۱۹۲۲۳۹	۵,۸۸		۰	–
۷	۱۸۹۷۶۱	۱۲۸	۱۸۹۷۶۱	۱۹۲۲۲۸	۶,۹۱		۱,۳۰	–
۸	۲۵۲۲۱۶	۱۶۴	۲۵۲۲۸۵	۲۵۶۵۴۹	۵,۶۵		۱,۶۹	–
۹	۱۱۶۴۰۸	۱۳۳	۱۱۶۴۰۸	۱۱۶۴۰۸	۷,۵		۰	–
۱۰	۱۰۱۷۶۷	۱۹۲	۱۰۱۸۵۴	۱۰۳۰۴۶	۸,۸۸		۱,۱۷	–
۱۱	–	۳۶۰۰	۱۵۷۶۳۴	۱۶۱۵۹۱	۸,۱۱		۲,۵۱	۱۱۰۳۴۴
۱۲	–	۳۶۰۰	۲۱۴۷۹۳	۲۲۰۹۷۹	۱۰,۳۲		۲,۸۸	۱۳۹۶۱۵
۱۳	–	۳۶۰۰	۲۸۸۴۲۷	۳۰۰۸۸۷	۱۳,۵۶		۴,۳۲	۱۵۳۴۳۶
۱۴	–	۳۶۰۰	۳۶۵۸۶۱	۳۷۹۶۱۷	۱۲,۱۳		۳,۷۶	۱۸۲۴۴۴
۱۵	–	۳۶۰۰	۴۴۴۶۳۲	۴۵۲۸۱۳	۱۵,۶۶		۱,۸۴	۲۴۲۳۵۰
۱۶	–	۳۶۰۰	۴۸۷۶۵۷	۵۰۷۲۶۱	۱۸,۳۸		۴,۰۲	۳۰۶۷۳۰
۱۷	–	۳۶۰۰	۶۶۴۳۶۰	۶۸۶۱۵۱	۱۷,۲۹		۳,۲۸	۳۶۵۲۶۰
۱۸	–	۳۶۰۰	۹۶۱۸۳۲	۹۹۹۲۴۷	۲۲,۴۳		۳,۸۹	۵۸۶۷۱۸

Archive of SID

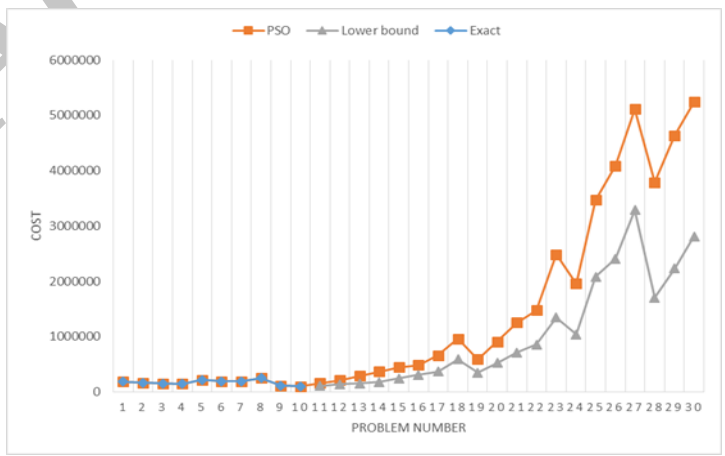
www.SID.ir

۱۹	–	۳۶۰۰	۵۸۹۱۲۸	۶۰۴۷۹۹	۳۵,۶۲	۲,۶۶	۳۴۷۹۳۳
۲۰	–	۳۶۰۰	۹۰۸۳۴۵	۹۵۱۸۵۵	۵۷,۵۸	۴,۷۹	۵۲۶۷۵۸
۲۱	–	۳۶۰۰	۱۲۵۴۶۸۲	۱۳۴۱۰۰۴	۸۹,۳۷	۶,۸۸	۷۱۵۱۶۹
۲۲	–	۳۶۰۰	۱۴۷۸۵۴۱	۱۶۰۱۸۵۱	۱۹۴,۲۸	۸,۳۴	۸۵۷۵۵۴
۲۳	–	۳۶۰۰	۲۴۸۳۴۰۱	۲۶۲۶۱۹۷	۲۳۵,۱۱	۵,۷۵	۱۳۴۷۲۰۷
۲۴	–	۳۶۰۰	۱۹۵۸۹۵۰	۲۰۸۱۵۸۰	۲۱۷,۷۶	۶,۲۶	۱۰۴۱۰۱۲
۲۵	–	۳۶۰۰	۳۴۷۰۹۳۱	۳۶۵۵۲۳۷	۴۳۱,۶۹	۵,۳۱	۲۰۸۲۵۵۹
۲۶	–	۳۶۰۰	۴۰۸۹۳۴۲	۴۳۹۹۷۲۳	۳۸۶,۷۳	۷,۵۹	۲۴۰۸۲۴۵
۲۷	–	۳۶۰۰	۵۱۱۳۴۸۵	۵۵۹۵۶۸۷	۵۳۷,۵۵	۹,۴۳	۳۲۸۶۷۴۳
۲۸	–	۳۶۰۰	۳۷۸۷۱۴۶	۴۰۱۲۸۶۰	۶۷۳,۹۴	۵,۹۶	۱۷۰۴۲۱۶
۲۹	–	۳۶۰۰	۴۶۳۲۹۸۵	۴۲۳۲۷۳۹	۸۱۱,۷۸	۶,۴۷	۲۲۳۱۱۷۳
۳۰	–	۳۶۰۰	۵۲۳۸۲۶۷	۵۶۷۴۰۹۱	۹۵۱,۷۸	۸,۳۲	۲۸۱۴۳۶۸

همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، جواب‌های لینگو با گره‌های لوزی، جواب‌های حد پایین با گره‌های مثلث و جواب‌های الگوریتم با مربع مشخص شده‌اند. روند مشاهده شده در شکل ۸، نشان از کارآیی خوب الگوریتم در مقایسه با جواب‌های لینگو و حد پایین است. همچنین، نتایج پاسخ‌های الگوریتم و لینگو با استفاده از دو آزمایش T-paired و Mann-Whitney مورد مقایسه قرار گرفته است که در جدول ۱۸ نشان داده شده است. مقدار P-value هردو آزمایش نشان دهنده رد نشدن فرضیه صفر یعنی فرض برابری میانگین پاسخ‌های الگوریتم با لینگو هستند.

جدول ۱۸. نتایج تحلیل آماری جواب های حاصل از دو رویکرد

تست	P-value	نتیجه
T-paired	۰,۱۷۱	فرضیه صفر(برابری) رد نشد
Mann-Whitney	۰,۹۶۹۸	فرضیه صفر(برابری) رد نشد



شکل۸. مقایسه جواب های دو رویکرد

Archive of SID
www.SID.ir

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این تحقیق، مسئله مکان‌یابی – مسیریابی انبار عبوری با در نظر گرفتن چندین انبار عبوری، چندین محصول، چندین نوع وسیله حمل و نقل و قابلیت برداشت و تحویل در چند بار مورد مطالعه قرار گرفت که هدف از طراحی مدل، کمینه‌سازی هزینه‌های احداث انبارهای عبوری و هزینه‌های حمل و نقل است. برای این مسئله، یک مدل ریاضی یکپارچه غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه گردید. به منظور درک هرچه بهتر مسئله، یک مثال عددی نیز ارائه گردید و توسط نرم افزار لینگو حل و نتایج آن گزارش گردید.از آنجا که مساله مورد اشاره دارای پیچیدگی محاسباتی بالایی است، در گروه مسائل ***NP-Hard*** دسته بندی می‌گردد. از این رو، برای حل مسئله در اندازه‌های متوسط و بزرگ، استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری یا فرا–ابتکاری ضروری است. به همین جهت یک الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات جهت حل مسائل در اندازه‌های متوسط و بزرگ ارائه گردید. همچنین برای این مسئله، یک حد پایین نیز توسعه داده شد که از آن در ارزیابی روند جواب‌های الگوریتم پیشنهادی در اندازه‌های متوسط و بزرگ استفاده گردید. به منظور انجام مقایسات، مجموعه‌ای از مسائل محک به صورت تصادفی در سه دسته کوچک ، متوسط و بزرگ تولید گردید. برای هر مسئله، بهترین جواب الگوریتم، میانگین جواب، میانگین درصد خطای نسبی الگوریتم و میانگین زمان محاسباتی گزارش گردید. نتایج محاسباتی و آماری نشان دهنده صحت و کارآیی مناسب الگوریتم پیشنهادی در حل مسائل با ابعاد متعدد است.

برای تحقیقات آتی می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- در نظر گرفتن ارتباط مستقیم بین تأمین کنندگان و مشتریان.
- در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت برای تقاضا در حالتی که هزینه های کمبود موجودی کم می باشد و استفاده از پارامترهای فازی یا احتمالی برای این منظور.
- در نظر گرفتن زمان تحویل و زمانبندی وسیله نقلیه برای تحویل بموقع تقاضا.

همچنین می‌توان از روش‌های ابتکاری یا فرا–ابتکاری دیگر نیز برای حل مسئله در ابعاد بزرگ استفاده کرد و یا به توسعه الگوریتم-های ارائه شده در تحقیقات پیشین پرداخت.

۸. پی نوشتها

1. Supply chain
2. Distribution center
3. Just-in-time
4. Cross-docking
5. Material Handling Industry of America (MHIA)
6. logistic strategy
7. Lead time
8. Overstock
9. Suppliers
10. Distributator
11. Retailer
12. Walmart
13. Kodak company
14. TOYOTA
15. Federal Express
16. Location-routing problem
17. Capacitated vehicle
18. Facilities layout
19. Transportation
20. Tabu search
21. Multi-product
22. Two stage
23. Demand
24. Simulated annealing algorithm
25. Local solution
26. Scheduling
27. Transshipment
28. Polynomial time algorithm
29. Time window
30. Customers
31. Split
32. Genetic algorithm
33. Shipping
34. Delivery
35. Vehicle routing problem cross-docking (VRPCD)
36. Heterogeneous vehicles
37. Ant colony algorithm
38. Mixed integer mathematical model

Archive of SID
www.SID.ir

39. Greedy clustering algorithm
40. Fuzzy demands
41. Perishable food
42. Split delivery and pickup
43. Partcle swarm optimization
44. Lower bound
45. Inbound vehicles
46. Outbound vehicles
47. LINGO
48. James Kennedy
49. Russell Eberhart
50. Particle
51. Swarm
52. MATLAB
53. Global solver mood
54. Optimum solution
55. Taguchi
56. Computional times

۹. مراجع

-Ahmadizar, F., Zeynivand, M. and Arkat, J. (2015) "Two-level vehicle routing with cross-docking in a three-echelon supply chain: A genetic algorithm approach", Applied Mathematical Modelling, Vol. 39, No. 22, pp. 7065–7081.

-Boysen, N. and Fliedner, M. (2010) "Cross dock scheduling: Classifcation, literature review and re-search agenda", Omega, Vol. 38, No. 6, pp. 413- 422.

-Chen P., Guo Y., Lim A. and Rodrigues B. (2006) "Multiple crossdocks with inventory and time windows", Computers & Operations Research, Vol. 33, pp. 43 – 63.

-Cook, R.L., Gibson, B.J. and MacCurdy, D. (2005) "A lean approach to cross docking", Supply Chain Management Review, Vol. 9, No. 2, pp.54–59.

-Donaldson H., Johnson E. L., Ratliff , H. D. and Zhang, M. (1999) "Schedule-driven cross-docking networks", Technical report 9904, Atlanta, GA, USA: Georgia Institute of Technology.

-Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R. and 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, vol. 152, pp. 9-28.

-Hasani-Goodarzi, A. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2012) "Capacitated vehicle routing problem for multi-product crossdocking with split deliveries and pickups", Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 62, pp. 1360 – 1365.

-Jayaraman, V. and Ross, A. (2003) "A simulated annealing methodology to distribution network design and management", European Journal of Operational Research, Vol. 144, No. 3, pp. 629–645.

-Kinnear, E. (1997) "Is there any magic in cross-docking?", Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 2, No. 2, pp. 49–52.

-Lee, Y. H., Jung, J. W. and Lee, K. M. (2006) "Vehicle routing scheduling for cross docking in the supply chain", Computer and Industrial Engineering, Vol. 51, No. 2, pp. 247–256.

-Lim, A., Miao, Z., Rodrigues, B. and Xu, Z. (2005) "Transshipment through crossdocks with inventory and time windows", Naval Research Logistics, Vol. 52, No. 8, pp. 724–733.

-Miao, Z., Fu, K., Fei, Q. and Wang, F. (2008) "Meta-heuristic algorithm for the transshipment problem with fixed transportation schedules", In: New frontiers in applied artificial intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 5027, pp. 601–10.

-Mokhtarinejad, M., Ahmadi, A., Karimi, B. and Rahmati, S. H. A. (2015) "A novel learning based approach for a new integrated location-routing and scheduling problem within cross-docking considering direct shipment", Applied Soft Computing Journal, Vol. 34, September, pp. 274–285.

-Mousavi, S. M., Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Hashemi, H. (2014) "Location of crossdocking centers and vehicle routing scheduling under uncertainty: A fuzzy possibilistic– stochastic programming model",

Archive of SID
www.SID.ir

-Sung, C. S. and Yang, W. (2008) "An exact algorithm for a cross-docking supply chain network design problem", Journal of the Operational Research Society, Vol. 59, No. 1, pp.119–136.

-Van Belle, J., Valckenaers, P. and Cattrysse, D. (2012) "Cross-docking: State of the art", Vol. 40, No. 10, pp. 827–846.

-Wen, M., Larsen, J., Clausen, J., Cordeau, J. F. and Laporte G. (2008) "Vehicle routing with cross-docking", Journal of the Operational Research Society, Vol. 60, No. 12, pp. 1708–1718.

-Witt, C. E. (1998) "Crossdocking: concepts demand choice", Material Handling Engineering, Vol. 53, No. 7, pp 44–49.

-Zare Mehrjerdi, Y. and Nadizadeh, A. (2013) "Using greedy clustering method to solve capacitated location-routing problem with fuzzy demands", European Journal of Operational Research, Vol. 229, pp. 75-84.

Applied Mathematical Modelling, vol. 38, pp. 2249-2264.

-Mousavi, S. M. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013) "A hybrid simulated annealing algorithm for location and routing scheduling problems with cross-docking in the supply chain", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 32, No. 2, pp. 335– 347

-Musa, R., Arnaout, J. P. and Jung, H. (2010) "Ant colony optimization algorithm to solve for the transportation problem of cross-docking network", Computers & Industrial Engineering, Vol. 59, No. 1, pp. 85–92.

-Stalk, G., Evans, P. and Shulman L. E. (1992) "Competing on capabilities: The new rules of corporate strategy", Harvard Business Review, Vol. 70, No. 2, pp. 57–69.

-Sung, C. S. and Song, S. H. (2003) "Integrated service network design for a cross-docking supply chain network", Journal of the Operational Research Society, Vol. 54, No. 12, pp. 1283–1295.

Archive of SID

www.SID.ir

الهام جوانفر، جواد رضائیان، کیوان شکوفی، ایرج مهدوی

جواد رضائیان ، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه یزد و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۸۳ را از دانشگاه علوم و فنون مازندران اخذ کرد. در سال ۱۳۹۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه علوم و فنون مازندران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان محاسبات نرم و مدیریت تولید و عملیات بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیاری در دانشگاه علوم و فنون مازندران است.

ایرج مهدوی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳٦۷ از دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۳ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ کرد. در سال ۱۳۸۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاهی در کشور هندوستان گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی تولید و طراحی سیستم های صنعتی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه علوم و فنون مازندران است.

الهام جوانفر، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه علوم و فنون مازندران و درجه کارشناسی ارشد در رشته سیستم های اقتصادی-اجتماعی را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه دانشگاه علوم و فنون مازندران اخذ کرد. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان زنجیره تامین، لجستیک، حمل و نقل و کنترل پروژ است.

کیوان شکوفی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه علوم و فنون مازندران و درجه کارشناسی ارشد در رشته سیستم های اقتصادی-اجتماعی در سال ۱۳۹۳ را از دانشگاه علوم و فنون مازندران اخذ کرد. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان زمانبندی، زنجیره تامین، لجستیک و حمل و نقل است

Archive of SID

www.SID.ir