نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۸، شماره ۱، اردیبهشت ماه ۱۳۸۳، از صفحه ۱۴۵ تا ۱۶۰

حل مسئله تأمین بهنگام قطعات مورد نیاز سیستم‌های تولیدی با استفاده از مدل ریاضی و الگوریتم مورچگان

محمد مهدی سپهری

استادیار بخش مهندسی صنایع - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

عزیزاله جعفری

استادیار بخش مهندسی صنایع - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه الزهرا

(تاریخ دریافت ۸۱/۱۱/۶ ، تاریخ تصویب ۸۲/۷/۱۲)

چکیده

این مقاله به مدل سازی و حل مسئله جمع‌آوری بهنگام قطعات مورد نیاز یک مؤسسه تولیدی از تأمین‌کنندگان قطعات می‌پردازد. در مسئله مورد نظر، وسایل‌نقلیه از انبار مرکزی حرکت می‌کنند و باید قطعات مورد نیاز را از تأمین‌کنندگان تحویل گرفته و به انبار مرکزی مؤسسه تولیدی تحویل‌دهند. مقدار تحویل قطعات به انبار مرکزی تابعی از مدت زمان مسیر گردش وسایل‌نقلیه می‌باشد. بنابراین، سعی بر این است که در یک دوره زمانی معلوم، مسیریابی ناوگان حمل و نقل به نحوی انجام شود که تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیاز و متوسط موجودی‌ها در انبار مرکزی حداقل شود. در این تحقیق ابتدا مدل ریاضی مسئله و سپس یک الگوریتم مورچگان با بهبود بازگشتی برای حل مسئله فوق ارائه شده‌است. مقایسه جوابهای حاصل از حل بهینه مدل ریاضی و اجرای الگوریتم مورچگان نشان می دهد که برای مسائل با تعداد تأمین‌کنندگان محدود، کیفیت جوابهای الگوریتم مورچگان به جوابهای بهینه حاصل از مدل ریاضی بسیار نزدیک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی : مسیریابی وسایل‌نقلیه، حمل و نقل مواد، لجستیک، الگوریتم مورچگان، سیستم تأمین بهنگام

مقدمه

در دنیای رقابتی امروز کاهش هزینه‌های تولید و بهبود بهره‌وری از جمله مواردی هستند که در سرلوحه تفکرات و سیاستهای تولیدی مدیران صنایع قرار گرفته و هر شرکتی با تمهیدات گوناگون سعی در ارائه راه حل‌های مطلوب برای رفع نیازهای فوق می‌باشد. لذا هر روز روشهای جدیدی در مدیریت و کنترل تولید و موجودی‌ها مطرح می‌شوند که از جمله این روشها برنامه‌ریزی برای کاهش هزینه‌های مربوط به تأمین قطعات یا مواد از تأمین‌کنندگان است. یکی از مهم ترین روش‌های موجود در این زمینه، سیستم تأمین بهنگام می‌باشد[1] [۱].

سیستم تأمین بهنگام به مفهوم تهیه و تأمین مواد و قطعات لازم، به مقدار لازم و در زمان مورد نیاز می‌باشد، بطوریکه هیچ کالایی به عنوان موجودی در انبار نگهداری نشود و یا موجودی فوق در حداقل ممکن باشد، که به آن موجودی بهنگام[2] نیز اطلاق می‌شود[۲].

سیستم تأمین بهنگام در شرکتهای خدماتی، خصوصاً در شرکتهایی که وظیفه آنها جمع‌آوری کالا از تولیدکنندگان و عرضه آنها به مصرف‌کنندگان جزء است، نیز کاربرد زیادی دارد. یعنی اگر شرکتهای توزیع کننده بتوانند بدون نیاز به ذخیره سازی کالا در انبارها، پاسخگوی نیاز مشتریان خود باشند، بسیاری از هزینه‌های مربوط به انبار داری صرفه‌جویی خواهد شد. بنابراین استفاده از سیستم تأمین بهنگام یک راهکار مناسب برای پاسخگویی به بسیاری از نیازهای پویا و متغیر بازار پر رقابت امروزه بوده و یک استراتژی عملی برای کاهش هزینه‌ها یا بهبود بهره‌وری و در نتیجه افزایش سودآوری شرکت است[۳].

در مجموع، مقاله به طرح و بررسی مدل ریاضی و حل‌های متفاوتی از مسئله فوق می‌پردازد. در ابتدا، تعریف مسئله و مروری بر ادبیات موضوع آورده شده و پس از ارائه مدل ریاضی مسئله به معرفی و طرح الگوریتم پرداخته می‌شود. مقایسه و تجزیه و تحلیل جوابهای حاصل به همراه جمع بندی و پیشنهادات، بخش‌های پایانی مقاله را تشکیل می‌دهند.

تعریف مسئله

یک مؤسسه تولیدی را در نظر بگیرید که از سیستم تأمین بهنگام استفاده می‌کند. در این مؤسسه تعداد انواع قطعات مورد نیاز برای عملیات مونتاژ برابر n است که این قطعات با یک برنامه ریزی دقیق از تعداد m تأمین‌کننده، $n \le m$، که در محدوده جغرافیایی مؤسسه تولیدی قرار دارند، تأمین می‌شوند. نرخ مصرف هر قطعه نوع k ، $k \in \{1,\dots,n\}$، در یک دوره زمانی معین، برابر d_k کانتینر است. تعداد ناوگان دراختیار مؤسسه برابر v خودرو می‌باشد که ظرفیت هر خودرو p، $p \in \{1,\dots,v\}$، برابر C_p واحد حجم بوده و هرکانتینر از قطعه نوع k نیز فضایی برابر f_k واحد حجم اشغال می‌کند. به علاوه، متوسط زمان سفر بین هردو تأمین‌کننده و یا بین انبار مرکزی مؤسسه تولیدی و هر یک از تأمین‌کنندگان برابر t_{ij}، $i,j \in \{1,\dots,m\}$ و $i \neq j$، است. زمانهای بارگذاری و تخلیه هر کانتینر از قطعه نوع k مقداراستانداردی است که به ترتیب با l_k و u_k نشان داده می‌شوند.

هر خودرو از ناوگان حمل و نقل با کانتینرهای خالی از انبار مرکزی حرکت کرده و با مراجعه به تعدادی از تأمین‌کنندگان، ضمن تخلیه کانتینرهای خالی، کانتینرهای پر را بارگذاری کرده و به انبار مرکزی مؤسسه حمل می‌کند. هر خودرو مسیر خود را به طور نامحدود تکرار می‌کند، مگر اینکه تغییری در نیازمندیهای قطعات ایجاد شود.

در طول یک دوره زمانی مشخص، نرخ مصرف هر یک از قطعات در انبار مرکزی مقداری ثابت و معین است، اما تعداد موجودی مورد نیاز هر یک از قطعات در هر گردش تابعی از مدت زمان گردش خودرو تأمین‌کننده قطعه مربوطه است. بعلاوه، مدت زمان گردش یا سفرگردشی مربوط به هر خودرو به تعداد تأمین کنندگان تخصیص داده شده و توالی سرویس دهی به آنها بستگی دارد. تعداد موجودی مورد نیاز یا تعداد تحویلی هر یک از قطعات به انبار مرکزی از حاصل ضرب نرخ مصرف آن قطعه در طول مدت زمان گردش خودرو مربوطه به دست می‌آید. به عنوان مثال، اگر در لحظه صفر موجودی قطعه A در انبار مرکزی برابر شش کانتینر بوده و ضریب مصرف آن نیز برابر دو کانتینر در ساعت باشد، این تعداد موجودی قطعه A به اندازه‌ای است که مصرف آن قطعه در انبار مرکزی را حداکثر به مدت سه ساعت(۳=۲÷۶) کفایت می‌کند. در چنین وضعیتی، لازم است قبل از گذشت سه ساعت مجدداً مقدار مورد نیاز قطعه A توسط خودرو تأمین‌کننده قطعه A تأمین شود. به فاصله زمانی فوق که از تقسیم مقدار موجودی بر نرخ مصرف قطعه A بدست‌می آید، پنجره زمانی مصرف[3] قطعه A گفته می‌شود. اگر مدت زمانی که یک خودرو از انبار مرکزی حرکت کرده و پس از سرویس دهی به تأمین کنندگان قطعات A،B و ... مجدداً به انبار مرکزی برگردد را مدت زمان گردش خودرو تأمین کننده قطعات A،B و ... بنامیم، عملاً پنجره زمانی مصرف این قطعات معادل طول مدت زمان گردش خودرو تأمین کننده هر یک از قطعات فوق است. این زمان گردش خودرو کاملاً به تعداد تأمین کنندگان موجود در گردش و توالی سرویس‌دهی به هر یک ازآنها بستگی دارد. شکل(۱) در قالب یک مثال مسئله فوق را بهتر توضیح می‌دهد.

هدف از حل مسئله این است که، در یک دوره زمانی معلوم، مسیریابی ناوگان حمل و نقل به نحوی انجام شود که تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیاز و متوسط موجودی‌ها در انبار مرکزی حداقل شده و در نتیجه، به دلیل کاهش و حذف برخی از هزینه‌های زائد، بهره‌وری و سود آوری شرکت افزایش یابد. باتوجه به دینامیک بودن مقدار تقاضای هر یک از قطعات،از علامت اختصاری VRPDD[4] برای مسئله فوق استفاده می‌کنیم. شکل(۲) تصویر شماتیک مسئله VRPDD را نشان می‌دهد.

فرضیات مسئله

مهمترین فرضیات مسئله به شرح زیر است :

۱- ماتریس زمان(هزینه)های سفر نامتقارن بوده و تمام درایه‌های آن اعداد صحیح است .

۲- همه انواع قطعات مورد نیاز خطوط مونتاژ به انبار قطعات شرکت تولیدی تحویل داده می‌شوند.

۳- هر تأمین‌کننده فقط یک نوع قطعه را تأمین می‌کند.

۴- در هر سفر، هر وسیله نقلیه فقط یک بار تأمین کنندگان تخصیص داده شده به خود را سرویس می‌دهد.

۵- تأمین‌کنندگان همواره توانایی تأمین قطعات مورد نیاز را دارند.

داده‌های مسئله

ماتریس زمان سفر بین تأمین‌کنندگان(ساعت)

	انبار	A	B
انبار	۰	۵	۳
A	۳	۰	۲
B	٤	۳	۰

- ضریب مصرف قطعه A = ۲
- ضریب مصرف قطعه B = ۳
- ظرفیت وسایل نقلیه = ۶۰
- واحد ضرایب مصرف برحسب کانتینر در ساعت و واحد ظرفیت وسایل‌نقلیه‌برحسب‌کانتینر است.

حالت ۱

مسیر ۱:
انبار← A ← انبار
طول مسیر = ۸ ساعت
تعدادمورد نیازقطعهA = ۱۶ کانتیتر
(۲×۸=۱۶)

مسیر ۲:
انبار← B ← انبار
طول مسیر = ۷ ساعت
تعدادموردنیازقطعه B =۲۱ کانتیتر
(۳×۷=۲۱)

تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز= ۲
مجموع زمان سفر = ۱۵ ساعت
مجموع کانتینرهای حمل شده=۳۷

حالت ۲

مسیر :
انبار← A ← B ← انبار
طول مسیر = ۱۱ ساعت
تعداد مورد نیاز قطعهA = ۲۲ کانتیتر
(۲×۱۱=۲۲)
تعداد مورد نیاز قطعه B = ۳۳ کانتیتر
(۳×۱۱=۳۳)

تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز= ۱
مجموع زمان سفر = ۱۱ ساعت
مجموع کانتینرهای حمل شده=۵۵

حالت ۳

مسیر :
انبار← B ← A ← انبار
طول مسیر = ۹ ساعت
تعدادموردنیاز قطعهA = ۱۸ کانتیتر
(۲×۹=۱۸)
تعدادموردنیاز قطعهB = ۲۷ کانتیتر
(۳×۹=۲۷)

تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز= ۱
مجموع زمان سفر = ۹ ساعت
مجموع کانتینرهای حمل شده=۴۵

شکل ۱ : مثالی از وابستگی زمان گردش‌خودرو و مقدار قطعات مورد نیاز در انبار مرکزی به تعداد و توالی سرویس دهی به تأمین کنندگان.

۶- قطعات با استفاده از کانتینرهای استاندارد حمل می‌شوند. ظرفیت وسایل‌نقلیه و نرخ مصرف قطعات به صورت عدد صحیحی از تعداد کانتینرها بیان می‌شود.

۷- نرخ مصرف هر یک از انواع قطعات در خطوط مونتاژ شرکت تولیدی در طول دوره برنامه ریزی ثابت بوده و تغییر نمی‌کند.

۸- ظرفیت تمام وسایل‌نقلیه با هم برابر است.

۹- در هر سفر، حداقل یک کانتینر از هر یک از انواع قطعات به شرکت تولیدی تحویل داده می‌شود. در صورتیکه تعداد کانتینر بیشتری مورد نیاز باشد، این تعداد برابر یک عدد صحیح است.

مروری بر ادبیات موضوع

مسئله برنامه ریزی ناوگان حمل و نقل برای تحویل گرفتن قطعات از تأمین‌کنندگان و تحویل بهنگام آنها به یک سیستم تولیدی بخشی از حالت توسعه یافته مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه[5] یا VRP است.

در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه یا خودرو، هر خودرو مستقر در اقامتگاه مرکزی از این اقامتگاه حرکت کرده، به تعدادی از گره‌ها (مشتریان یا تأمین‌کنندگان) که در مکانهای جغرافیائی مختلف پراکنده شده‌اند، سرویس داده و سپس به اقامتگاه مرکزی برمی‌گردد. هر یک از مشتریان یک نیاز مخصوص به خود دارد (تحویل دادن یا تحویل گرفتن مقدار معینی قطعه یا کالا) که باید برآورده شود. ظرفیت هر یک از وسایل نقلیه نیز مشخص است. هدف این است که با توجه به محدودیت ظرفیت وسایل‌نقلیه و سایر محدودیت‌ها، مسیریابی وسایل‌نقلیه به نحوی انجام شود که کل هزینه سفر، مجموع مسافت یا زمان طی شده، تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیاز و یا ترکیبی از موارد فوق حداقل شوند.

در مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه با محدودیت پنجره‌های زمانی[6] یا VRPTW ممکن است هریک از گره‌ها یا اقامتگاه مرکزی دارای یک و یا چندین بازه زمانی باشند که سرویس دهی به هر یک از گره‌ها فقط در داخل بازه‌های زمانی تعیین شده امکان پذیر است. به بازه‌های زمانی فوق پنجره‌های زمانی گفته می‌شود.

همان طوری که اشاره شد، در مسئله مورد نظر، VRPDD، تعداد موجودی مورد نیاز هر یک از قطعات در هر گردش تابعی از مدت زمان گردش خودرو تأمین‌کننده قطعه مربوطه است. مدت زمان گردش یا سفرگردشی مربوط به هر خودرو نیز به تعداد و توالی سرویس دهی آن به تأمین‌کنندگان بستگی دارد. تعداد موجودی مورد نیاز یا تعداد تحویلی هر یک از قطعات به انبار مرکزی از حاصل ضرب نرخ مصرف آن قطعه در طول مدت زمان گردش مربوطه بدست می‌آید.

تحقیقی که ارتباط بیشتری با مسئله مورد نظر ما دارد، مربوط به مقاله Bharath و همکاران[۴] است که در آن به موضوع مسیریابی وسیله‌نقلیه با ظرفیت محدود جهت تحویل دهی مواد و قطعات مورد نیاز خطوط مونتاژ از انبار مرکزی یک سیستم تولیدی بهنگام[7] پرداخته شده‌است. در این مقاله فرض شده‌است که یک سیستم تولیدی

شکل ۲ : تصویر شماتیک نحوه تامین بهنگام قطعات موردنیاز یک شرکت تولیدی از تامین کنندگان.

بهنگام دارای ناوگان حمل و نقل متشکل از تعدادی خودرو می‌باشد که باید در یک دوره برنامه‌ریزی قطعات مورد نیاز خطوط مونتاژ را از انبار مرکزی به ایستگاههای کاری حمل کنند. تابع هدف مورد نظر، حداقل کردن تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیاز و حداقل کردن متوسط موجودی در اطراف ایستگاههای کاری می‌باشد. هدف اول نسبت به هدف دوم از اولویت بیشتری برخوردار است. برای حل مسئله فوق، ابتدا یک مدل ریاضی غیر خطی عدد صحیح ارائه شده و سپس یک الگوریتم ابتکاری دو مرحله‌ای نیز مورد استفاده قرار گرفته‌است.

در مقاله فوق تأمین قطعات در داخل یک سیستم تولیدی مورد توجه قرارگرفته و اشاره‌ای به نحوه تأمین بهنگام مواد و قطعات مورد نیاز از تأمین‌کنندگان نشده‌است. بخش عمده‌ای از هزینه‌های شرکت‌ها (تولیدی و خدماتی) مربوط به نحوه تأمین بهنگام مواد و قطعات مورد نیاز از تأمین‌کنندگان است. بنابراین برای کاهش هزینه‌هایی نظیر هزینه‌های حمل و نقل و انبارداری استفاده از سیستم تأمین بهنگام برای بسیاری از صنایع تولیدی و خدماتی یک ضرورت است[۳] و [۵]. در مرجع [۶] نیز ضمن اشاره به روند پرشتاب تغییرات بازار مصرف و نقش با اهمیت زنجیره تأمین، به لزوم استفاده از سیستم تأمین بهنگام مواد و قطعات لازم، به ویژه در صنایع خودروسازی تأکید شده‌است.

در سالهای اخیر یکی از مهمترین زمینه‌های تحقیقاتی، کشف روش‌های ابتکاری از طبیعت بوده است که از آنها برای بدست آوردن نتایج خوب در مسائل بهینه سازی ترکیبی استفاده شده است. روش‌های ابتکاری با کاربرد یک تعداد تکرار مشخصی از آزمایشات یا بکارگیری ویژگیهای یک یا چندین عامل نظیر عصب‌ها، کروموزوم‌ها، مورچه‌ها و مانند آن بدست می‌آیند.

قلمرو حیوانات موارد مختلف و متفاوتی از سیستم‌های اجتماعی را به نمایش می‌گذارد که در مقایسه با رفتارهای جمعی پیچیده، توانایی‌های فردی ضعیفی دارند. یکی از بهترین موارد طبیعی مطالعه شده در فعالیت‌ها و نوآوری‌های علمی، استفاده از بهینه سازی کلونی‌های مورچگان[۸] یا ACO است. در حوزه مسائل VRP ، الگوریتم‌هایی که به نوعی از سیستم مورچگان استفاده کرده‌اند دارای قابلیت و کیفیت بسیار بالایی نسبت به سایر روشهای موجود هستند[۷]. در این مقاله نیز از الگوریتم فوق برای حل مسئله مورد نظر استفاده شده‌است. بنابراین به منظور آشنایی بیشتر با فلسفه الگوریتم مورچگان، مطالب مختصر ذیل ارائه می‌گردد.

اثرات فرومون[۹]

مورچه های واقعی قادر به یافتن کوتاهترین مسیر از منبع غذا تا خانه‌هایشان هستند که این کار بدون استفاده از حس بصری انجام می گیرد[۸]. یک اثبات

رسمی از چگونگی یافتن کوتاهترین مسیر به وسیله فرومون در موارد عمومی توسط Bruckstein [۹] ارائه شده است که این رفتار یک خاصیت ضروری کلونی مورچه می‌باشد.

هر مورچه، هنگامی که از محلی به محل دیگر حرکت می‌کند، مقداری فرومون (در مقادیر مختلف) در روی زمین به جای می‌گذارد. فرومون یک مادهٔ شیمیایی است که مورچه‌ها برای تعیین مسیر سایر مورچگان و همچنین برای تشخیص راه برگشت خود در مسیر حرکت خود به جای می‌گذارند. لذا، راهی که مورچه‌ها دنبال کرده‌اند، به وسیله اثر این ماده علامت گذاری می‌شود. هر چه مورچه‌های بیشتری در یک مسیر حرکت نمایند، فرومون بیشتری به جای می‌ماند و همین عاملی می‌شود تا تعداد بیشتری مورچه به آن مسیر جذب شوند.

بکارگیری سیستم مورچگان

اولین بار الگوریتم مورچگان توسط Dorigo و همکاران [۱۰] و خود او [۱۱] به عنوان یک نگرش با چندین عامل[۱۰] برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبی مشکل مانند مسئله پیله‌ور[۱۱] یا TSP و مسئله تخصیص کوادراتیک[۱۲] یا QAPپیشنهاد و ارائه شد.

در حال حاضر فعالیت‌های زیادی در جوامع علمی برای بسط کاربردهای این الگوریتم که براساس فلسفه سیستم مورچـگان[۱۳] یا AS اسـت، انجام می‌شود[۱۲] ، [۱۳] و [۷]. Bullnheimer و همکاران[۱۴] و [۱۶] برای اولین بار برای حل مسئله VRP از الگوریتم‌های مورچگان استفاده کردند.

در الگوریتم مورچگان حرکت از شهر i به شهر j براساس احتمال P_{ij} انجام می‌گیرد. P_{ij} احتمال انتخاب شهر j توسط مورچه حاضر در شهر i می‌باشد که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$P_{ij} = \begin{cases} \dfrac{(\tau_{ij})^{\alpha}(\eta_{ij})^{\beta}}{\sum_{h\in\Omega}(\tau_{ih})^{\alpha}(\eta_{ih})^{\beta}} & if\ j\ \varepsilon\ \Omega \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

(۱)

Ω مجموعه در برگیرنده انبار مرکزی، V_0، و شهرهای کاندیدایی است که می‌توان از شهر i به آنها سفر کرد. فهرست شهرهای کاندیدا، که با زیر مجموعه V_i نشان داده می‌شود، شامل شهرهایی است که تا کنون سرویس داده نشده‌اند و براساس تعریف در فاصله معینی از شهر i قرار دارند. بنابراین :

$\Omega = V_i \cup V_0$

در این رابطه نیز دو پارامتر τ_{ij} و η_{ij} در احتمال انتخاب j توسط مورچه‌ای که در i قرار دارد مؤثر می‌باشند. *پارامتر* η_{ij} متناسب با فاصله دو گره i و j است و در VRP به عنوان قابلیت مرئی بودن[۱۴] مطرح است. پارامتر τ_{ij} متناسب با میزان حرکت مورچه‌ها در مسیر (i,j) است و به عنوان میزان غلظت اثر فرومون شناخته می‌شود[۱۴]. اولین بار Paessens در مقاله خود [۱۷] برای محاسبه η_{ij} رابطه زیر را تعریف نمود.

$$\eta_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - g^{*}\ d_{ij} + f^{*}\ |\ d_{i0} -\ d_{0j}\ |$$

(۲)

d_{ij}فاصله بین گره i و گره jرا نشان می‌دهد و g و h پارامترهای معلوم رابطه فوق است.

در مورد VRP نیز مانند TSP قانون بهنگام کردن اثرات فرومون به تدریج تغییراتی یافته‌است. ابتدا در نگرشی تمام مورچه‌ها در این امر مشارکت می‌کردند[۱۵] و [۱۶]، لیکن با حصول برخی نتایج مبنی بر مناسب‌تر بودن بهنگام کردن اثرات فرومون تنها توسط بهترین مورچه، این امر کاربرد بیشتری در الگوریتم‌های ارائه شده بر پایه سیستم مورچگان پیدا کرد[۱۸] و [۱۹]. همچنین پیشنهاد شده‌است که مورچه‌ها براساس کیفیت جواب رتبه بندی شده و تنها بهترین مورچه‌ها با نام مورچه‌های قهرمان یا نخبه[۱۵] اجازه داشته باشند تا اثرات فرومون خود را بهنگام سازند. در استفاده از مورچه‌های قهرمان قانون بهنگام کردن به صورت زیر است:

$$\tau_{ij}^{new} = \rho * \tau_{ij}^{old} + \sum_{\mu} \Delta\,\tau_{ij}^{\mu} + \delta * \Delta\,\tau_{ij}^{*}$$

(۳)

در رابطه فوق ρ میزان پابرجایی و دوام اثر فرومون و $1\text{-}\rho$ میزان تبخیر اثر فرومون است. به علاوه، $\Delta\tau_{ij}^{\mu}$ و $\Delta\tau_{ij}^{*}$ از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$\Delta \tau_{ij}^{*} = \frac{1}{L^{*}}$$

(۴)

$$\Delta \tau_{ij}^{\mu} = \frac{\delta - \mu}{L_{\mu}}$$

(۵)

هر μ نشانگر یک مورچه قهرمان است که به ترتیب از ۱ (دومین مورچه قهرمان) تا ۱- δ(آخرین مورچه قهرمان) شماره گذاری می‌شوند. پارامتر δ نیز برابر تعداد مورچه‌های قهرمان است که می توانند مسیر پیموده‌شده خود را بهبود دهند. همچنین L_{μ}طول مسیری است که توسط μ امین مورچه قهرمان پیموده شده‌است. مقدار L^{*} نیز طول مسیر پیموده شده توسط بهترین مورچه قهرمان را نشان می‌دهد.

بدین ترتیب، اگر یک کمان (i,j) به وسیله μ امین مورچه قهرمان استفاده شود، اثر فرومون به ترتیبی که در رابطه (۳) ذکر شده افزایش می‌یابد. چنانچه کمانی توسط دو و یا تعداد بیشتری از مورچه‌های قهرمان پیموده شود، با توجه به حضور Σ در رابطه (۳)، اثر فرومون در کمان فوق به ازاء حرکت هر مورچه قهرمان به میزان مشخصی افزایش می‌یابد. اگر کمانی توسط مورچه‌های قهرمان انتخـاب نشـود، از غلظت فرومـون آن به میزان $(l\text{-}\rho)^{*}\tau_{ij}$ کاسته می‌شود. به هر ترتیب، با توجه به دو پارامتر τ_{ij} و η_{ij} تورها یا گردش توسط مورچه‌ها ساخته می‌شوند. پس از تولید تورها، بهبود آنها توسط یکی از روشهای ابتکاری بهبود دهنده صورت می‌گیرد و بعد از آن بهنگام سازی اثر فرومون انجام یافته و تکرار بعد شروع می‌شود.

همان طوری که قبلاً نیز ذکر شد، در این مقاله از قابلیت بسیار بالای الگوریتم مورچگان برای حل مسئله مورد نظر استفاده شده است. علاوه بر این با توجه به طبیعت مسئله اصلاحاتی نیز در الگوریتم مورچگان اعمال گردیده‌است که بعداً توضیحات لازم ارائه خواهدشد.

ساختار مدل ریاضی مسئله

برای طرح بهتر مدل ریاضی، ابتدا به تعریف علائم، پارامترها و متغیرها پرداخـــته و سپس توابع اهداف و محدودیت‌های آن ارائه می‌شوند. توضیحات ضروری در مورد جزئیات مدل ریاضی نیز به دنبال ارائه می گردد.

تعریف علائم و پارامترها

علائم و پارامترهای متعددی در مدل ریاضی مورد استفاده قرارگرفته‌است که تعریف هریک از آنها به شرح زیراست :

N : مجموعه انواع قطعات ، $N = \{1,\ldots,n\}$.

n : تعداد انواع قطعات مورد نیاز.

M : مجموعه تأمین‌کنندگان، $M = \{1,\ldots,m\}$.

m : تعداد تأمین‌کنندگان، $m \le n$

گره‌های شبکه شامل m گره منتسب به تأمین‌کنندگان و یک گره منتسب به انبار مرکزی است که با صفر نشان داده می‌شود. بنابراین مجموعه گره‌ها را با $\overline{M}$ نشان می‌دهیم به طوری که :

$\overline{M} = \{0\} \cup M.$

چون در فرض مسئله داریم که هر تأمین‌کننده فقط یک نوع قطعه را تأمین می‌کند، بنابراین $n = m$ و $N = M$ است.

i و j و h و k : اندیس های عضو $\overline{M}$ هستند که نشان دهنده انواع قطعات یا تأمین‌کنندگان می‌باشند، یعنی :

$i, j, h, k \in \overline{M} = \{0,1,\ldots,m\}.$

A : مجموعه تمامی سویه‌های ارتباط دهنده بین هر دو گره عضو $\overline{M}$ است. به عبارت دیگر :

$A = \{(i,j) \mid i \neq j\ ,\ i,j \in \overline{M}\ \}$

N : شبکه مسئله متشکل از دو مجموعه $\overline{M}$ و A است، یعنی $\text{N}= (M\ , A)$.

V : مجموعه ناوگان حمل و نقل به تعداد v دستگاه خودرو، یعنی $V=\{1,\ldots,v\}$.

t_{ij} : زمان سفر از گره i به j.

f_k: فضای مورد نیاز هر ظرف یاکانتینر برای حمل قطعه نوع k ام، $k \in N = \{1,\ldots,n\}$.

l_k : زمان مورد نیاز برای بارگذاری هرظرف یا کانتینر حامل قطعه نوع k ام بر روی خودرو.

u_k : زمان مورد نیاز برای تخلیه هرظرف یا کانتینر حامل قطعه نوع k ام از روی خودرو.

d_k : نرخ مصرف قطعه نوع k ام بر حسب ظرف یا کانتینر در طول یک دوره زمانی معین T .

C_p: حد اکثر ظرفیت قابل حمل بر حسب ظرف یا کانتینر توسط خودروی p ام.

S : مجموعه گره‌های هر زیر گردش

B : یک عدد بسیار بزرگ.

تعریف متغیرها

متغیرهای مورد استفاده X_{ijp} و Q_{kp} هستند که تعریف هر یک از آنها به شرح زیر است :

$$X_{ijp} = \begin{cases} 1 & \text{اگر خودروی } p \text{ ام عهده دار خدمت دهی به گره } i \text{ و سپس به گره } j \text{ باشد،} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

Q_{kp}= تعداد ظرف‌ها یا کانتینرهای حاوی قطعه نوع k ام که به وسیله خودروی p ام حمل می‌شود.

مدل ریاضی مسئله

با توجه به علائم، پارامترها و متغیرهای تعریف شده، مدل ریاضی مسئله متشکل از دو تابع هدف و سیزده محدودیت می‌باشد. تابع هدف (۶) و محدودیت‌های (۹) الی (۱۵)، محدودیت‌های متعارفی هستند که در ادبیات موضوع آورده شده‌اند[۲۰]، اما تابع هدف (۷) و پنج محدودیت باقیمانده را بر اساس ویژگی‌های خاص مسئله مورد مطالعه طراحی کرده‌ایم. پس از معرفی مدل ریاضی توضیحات بیشتری درمورد تابع هدف و محدودیتها ارائه می‌شود.

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{v} x_{0jp} \tag{۶}$$

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^{n}\sum_{p=1}^{v} Q_{kp} \tag{۷}$$

ST:

$$X_{jjp} = 0 \qquad \forall j \in M \text{ and } \forall p \in V \tag{۸}$$

$$\sum_{j=0}^{m} X_{0jp} = 1 \qquad \forall p \in V \tag{۹}$$

$$\sum_{i=0}^{m} X_{i0p} = 1 \qquad \forall p \in V \tag{۱۰}$$

$$\sum_{p=1}^{v}\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{m} X_{ijp} = 1 \qquad \forall j \in M \tag{۱۱}$$

$$\sum_{p=1}^{v}\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{m} X_{ijp} = 1 \qquad \forall i \in M \tag{۱۲}$$

$$\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{m} X_{ijp} - \sum_{\substack{h=0\\ h\neq j}}^{m} X_{jhp} = 0 \qquad \forall j \in M \text{ and } \forall p \in V \tag{۱۳}$$

$$\sum_{i\in S}\sum_{\substack{j\in S\\ j\neq i}} X_{ijp} \le |S| - 1 \tag{۱۴}$$

$$\forall\ S \subseteq M, |S| \ge 2 \quad \text{and } \forall p \in V$$
$$X_{ijp} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A \text{ and } \forall p \in V \tag{۱۵}$$

$$\sum_{k=1}^{n} f_k Q_{kp} \le C_p \qquad \forall p \in V \tag{۱۶}$$

$$d_k\left[\sum_{(i,j)\in A}\left(t_{ij} + 2(l_i + u_i)\right)X_{ijp}\right] \le Q_{kp} + \left(1 - \sum_{i=0}^{m} X_{ikp}\right)B \qquad \forall k \in M \text{ and } \forall p \in V \tag{۱۷}$$

$$Q_{kp} \le B\sum_{i=0}^{m} X_{ikp} \quad \forall k \in M \text{ and } \forall p \in V \tag{۱۸}$$

$$(1/d_i)Q_{ip} - (1/d_j)Q_{jp} + B\sum_{h=0}^{m} X_{hip} + B\sum_{k=0}^{m} X_{kjp} \le 2B \qquad \forall i,j \in M \text{ and } \forall p \in V \tag{۱۹}$$

$$Q_{kp} \text{ is integer} \quad \forall k \in N \text{ and } \forall p \in V \tag{۲۰}$$

توضیح تابع هدف و محدودیت‌های مدل

اهداف مورد نظر در مرحله اول شامل پیدا کردن بهینه تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیاز در انبار مرکزی، رابطه (۶)، و در مرحله دوم نیز شامل حداقل‌کردن متوسط موجودی‌ها در انبار مرکزی، رابطه (۷)، می‌باشد. تقدم هدف اول نسبت به هدف دوم در مرجع [۴] نیز مورد تأکید قرارگرفته است. بنابراین برای بدست آوردن جواب بهینه، عملا" از روش برنامه ریزی سلسله مراتبی استفاده می‌شود. یعنی جهت تحقق اهداف فوق، مدل ریاضی در دو مرحله اجرا می‌شود. در مرحله اول تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیاز بهینه را بدست آورده و در مرحله دوم با تعداد وسایل‌نقلیه فوق مسیرهایی را پیدا می‌کند که متوسط موجودی‌ها در انبار مرکزی حداقل شود.

به منظور پیداکردن تعداد بهینه وسایل نقلیه مورد نیاز، یک حد بالایی از تعداد وسایل‌نقلیه(v) تخمین زده و مدل ریاضی با تابع هدف اول، رابطه (۶)، اجرا می‌شود. پس از اجرای مدل ریاضی، تعداد بهینه وسایل نقلیه‌ای که عملاً مورد استفاده قرار می‌گیرند بدست می‌آید. هر وسیله نقلیه‌ای که از انبار مرکزی حرکت کرده و به یکی از تأمین‌کنندگان سرویس ارائه کند، به عنوان وسیله نقلیه مورد استفاده در نظر گرفته می‌شود. در شروع عملیات، حد بالای تعداد وسایل نقلیه را می‌توان برابر تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیازی که توسط یکی از بهترین الگوریتم‌های ابتکاری بدست آمده است درنظرگرفت.

مجموعه محدودیت‌های شماره (۸) نشان دهنده این است که هیچ یک از وسایل‌نقلیه اجازه ندارد که از یک تأمین‌کننده حرکت کرده و بلافاصله به آن برگردد، یعنی به هیچ یک از وسایل‌نقلیه اجازه داده نمی‌شود با گره‌ها، غیر از گره مربوط به انبار مرکزی، زیر گردش تشکیل دهند. اگر رابطه $X_{00p} = 1$ برقرار باشد نشان دهنده این است که خودرو p مورد استفاده قرار نگرفته‌است.

مجموعه محدودیت‌های شماره (۹) و (۱۰) نشان دهنده این است که نقطه شروع سفر هر یک از وسایل‌نقلیه باید انبار مرکزی بوده و نقطه پایان سفر آنها نیز باید انبار مرکزی باشد.

مجموعه محدودیت‌های شماره (۱۱) و (۱۲) بیانگر این است که هر یک از تأمین‌کنندگان را فقط یک وسیله‌نقلیه، آن هم فقط یک بار، می تواند سرویس دهد. وسیله‌نقلیه فوق باید از یک مکان قبلی آمده و به یک مکان بعدی نیز برود.

مجموعه محدودیت‌های شماره (۱۳) تضمین می‌کند که اگر وسیله‌نقلیه‌ای به تأمین‌کننده‌ای وارد شده وارائه خدمت کند باید همین وسیله‌نقلیه این تأمین‌کننده را ترک کند.

مجموعه محدودیت‌های شماره (۱۴) عدم تشکیل زیر گردش[۱۶] برای هر خودرو را تضمین می‌کند. هر زیر گردش حلقه‌بسته‌ای ازگره‌ها است که‌شامل انبار مرکزی[۱۷] نباشد. مجموعه محدودیت‌های فوق جزء محدودیت‌های کلاسیک مسائل عمومی مسیریابی وسایل‌نقلیه می‌باشد. به عبارت دیگر، گردش هر خودرو فقط باید از انبار مرکزی شروع شده وبه آن نیز ختم شود.

محدودیت‌های فوق که محدودیت‌های شکننده زیر گردش نامیده می‌شوند از جمله محدودیت‌های پویای مسئله مسیریابی وسایل‌نقلیه می‌باشند. برای مسئله‌ای با N گره باید تمام ترکیبات دو تایی، سه تایی، تا N تایی آنرا تشکیل داده و محدودیت‌های مربوط به آنها را نوشت. به دلیل تعداد بسیار بالای ترکیبات فوق، معمولاً ابتدا بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های فوق مسئله حل می‌شود. در صورتی که زیر گردشی تشکیل نشده باشد، جواب حاصل جواب بهینه مسئله نیز می‌باشد. اما اگر یک یا چند زیر گردش تشکیل شود باید با اضافه نمودن محدودیت‌های شکننده زیرگردش‌های تشکیل شده مجدداً مسئله حل شود. فرایند فوق ممکن است چندین بار تکرار شود که معمولاً بسیار زمان بر بوده و به همین لحاظ در مسائلی که تعداد گره‌ها زیاد باشد، اعمال نمی‌شود.

مجموعه محدودیت‌های شماره (۱۵) صفر و یک بودن مقدار هر متغیر X_{ijp} را اعمال می‌کند.

مجموعه محدودیت‌های شماره (۱۶) نشان دهنده این است که مجموع ظرفیت قطعاتی که توسط یک وسیله‌نقلیه حمل می‌شود نباید از ظرفیت آن وسیله‌نقلیه بیشتر باشد.

مجموعه محدودیت‌های شماره (۱۷) سبب می‌شوند که تعداد قطعاتی که در طول هر گردش یک وسیله‌نقلیه جمع‌آوری شده و به انبار مرکزی حمل می‌شوند، حداقل

برابر مقدار مصرف آن قطعات در مدت زمان گردش وسیله‌نقلیه فوق باشند. مدت زمان یک گردش برابر مجموع همه زمان‌های حرکت مابین گره‌های تخصیص یافته به آن گردش، زمان‌های بارگیری و زمان‌های تخلیه کانتینر قطعات می‌باشد. با ضرب کردن نرخ تقاضای یک قطعه در مدت زمان گردش مربوط به جمع‌آوری کننده آن، مقدار مصرف قطعه فوق در طول مدت زمان گردش بدست می‌آید.

مجموعه محدودیت‌های شماره (۱۸) نشان دهنده این است که اگر وسیله‌نقلیه‌ای به تأمین‌کننده‌ای ارائه خدمت نکند، نباید هیچ قطعه‌ای از آن تأمین‌کننده توسط وسیله‌نقلیه فوق حمل شود.

مجموعه محدودیت‌های شماره(۱۹) تضمین می‌کنند که هر دو نوع قطعه‌ای که توسط یک وسیله‌نقلیه حمل می‌شوند، دارای پنجره زمانی مصرف یکسان باشند. پنجره زمانی مصرف یک قطعه از تقسیم تعداد ظرف‌ها یا کانتینرهای حاوی قطعه نوع k ام که به وسیله خودروی p ام حمل می‌شود بر نرخ مصرف قطعه مربوطه بدست می‌آید. برای جلوگیری از غیر قابل قبول بودن محدودیت فوق، در حالتی که گره‌های i و j توسط وسیله نقلیه p سرویس داده نمی‌شوند، عدد ۲ در B ضرب شده است.

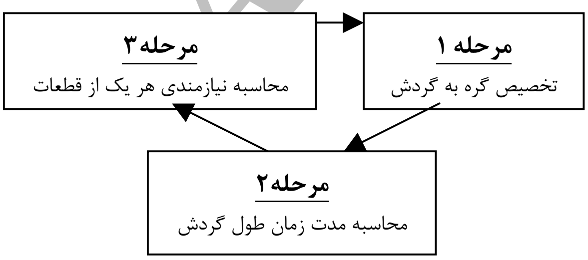
مجموعه محدودیت‌های شماره (۲۰) دیکته می‌کنند که تعداد هرنوع قطعه‌ای که دریک گردش جمع‌آوری و حمل می‌شود برابر یک عدد صحیح باشد.

الگوریتم مورچگان با بهبود بازگشتی(حالت توسعه یافته یاAARI_Gama)

همان طوری که قبلاً اشاره شد، طبیعت مسئله VRPDD با مسئله VRP متفاوت است.

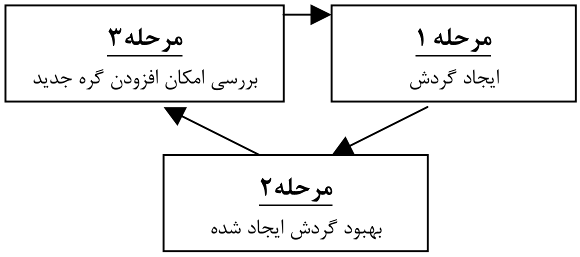
در مسئله VRP تقاضای هر یک از قطعات در انبار مرکزی مقداری معلوم و ثابت است و هیچگونه وابستگی به مدت زمان گردش وسیله‌نقلیه ندارد. بنابراین، در هر مرحله‌ای که گره جدیدی به گردش اضافه می‌شود فقط کافی است بررسی شود که مجموع نیازمندی‌های قطعات تخصیص یافته از ظرفیت وسیله‌نقلیه بیشتر نباشد. ولی در مسئله VRPDD افزودن یک تأمین‌کننده جدید به مجموعه گره‌های یک گردش باعث افزایش زمان سفر وسیله‌نقلیه خدمت دهنده به آن گردش می‌شود. بنابراین، چون نیازمندی قطعات در انبار مرکزی تابعی از زمان سفر (گردش) وسیله‌نقلیه می‌باشد، افزایش هر گره به یک گردش، موجب طولانی شدن مدت زمان آن گردش شده و در نتیجه باعث افزایش تقاضای انواع قطعاتی می‌شود که قبلاً تأمین‌کنندگان آنها به این گردش تخصیص داده شده بودند. به عبارت دیگر، با افزودن یک گره باید مجدداً نیازمندی‌های همه گره‌هایی که قبلاً تخصیص داده شده بودند محاسبه شود تا اطمینان حاصل شود که مجموع نیازمندی قطعات از ظرفیت وسیله‌نقلیه بیشتر نباشد. فرآیند پویای فوق تا وقتی تکرار می‌شود که دیگر امکان افزودن گره جدید به گردش فعلی نباشد. شکل(۳) دینامیک بودن مقدار تقاضای هر یک از قطعات و فرآیند ایجاد گردش اولیه را نشان می‌دهد.

با توضیحاتی که ارائه شد، الگوریتم مورچگان با بهبود بازگشتی[18] یا AARI_Gama دارای دو فاز اصلی است. هر یک از فازها نیز از سه مرحله بازگشتی تشکیل شده‌اند. در فاز اول الگوریتم مطابق شکل(۳) گردش ایجاد می‌شود و در فاز دوم با استفاده از یکی از روشهای بهبود دهی گردش ایجاد شده در صورت امکان بهبود داده می‌شود. اگر با اجرای الگوریتم بهبود دهنده اصلاحی در گردش ایجاد شود باید مجدداً امکان افزودن گره جدید به گردش فوق مورد بررسی قرارگیرد. در صورت افزودن گره جدید باید الگوریتم بهبود دهنده مجدداً اجرا شود. فرایند بهبود بازگشتی فوق تا وقتی تکرار می‌شود که دیگر امکان افزودن گره جدید به گردش فعلی نباشد. شکل(۴) حالت بهبود بازگشتی الگوریتم را نشان می دهد.



شکل ۳ : فاز ایجاد گردش با توجه دینامیک بودن مقدار تقاضای هریک از قطعات.

ساختار کلی الگوریتم با جزئیات بیشتری در شکل (۵) نمایش داده شده است.



شکل ٤ : فاز بهبود باز گشتی الگوریتم.

شکل ۵ : روند اجرائی الگوریتم مورچگان با بهبود بازگشتی (AARI) برای حل مسئله VRPDD .

در الگوریتم AARI حرکت از گره i به گره j از طریق رابطه احتمالی زیر انجام می گیرد :

$$P_{ij} = \begin{cases} \dfrac{(\tau_{ij})^{\alpha}(\eta_{ij})^{\beta}(\Psi_j)^{\gamma}}{\sum_{h\in\Omega}(\tau_{ih})^{\alpha}(\eta_{ih})^{\beta}(\Psi_h)^{\gamma}} & If\ j\ \varepsilon\ \Omega \\ 0 & Otherwise\ e \end{cases}$$

(۲۱)

Ω مجموعه گره‌های دربرگیرنده انبار مرکزی، V_0، و شهرهای کاندیدایی است که می‌توان از شهر i به آنها سفر کرد. فهرست شهرهای کاندیدا، که با زیر مجموعه V_i نشان داده می‌شود، شامل شهرهایی است که تا کنون سرویس داده نشده‌اند و براساس تعریف در فاصله معینی از شهر i قرار دارند. بنابراین : $\Omega = V_i \cup V_0$.

مقدار اولیه فرمون هر یک از کمانها(τ^0_{ij})، قابلیت مرئی بودن هر یک از کمان‌ها (η_{ij}) و مقدار جاذبه هر یک از گره‌ها (ψ_j) نیز از روابط زیر بدست می‌آیند :

$$\tau^{o}_{ij} = \frac{1}{L_{nn}}$$

(۲۲)

Lnn حاصل جمع طول مسیرهایی را نشان می‌دهد که از طریق الگوریتم نزدیکترین همسایگی بدست آمده‌است.

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$$

(۲۳)

d_{ij} فاصله گره i از گره j را نشان می‌دهد. بجای رابطه (۲۳) از رابطه (۲) نیز استفاده می‌شود، اما نتیجه محاسبات نشان‌دهنده برتری رابطه (۲۳) نسبت به رابطه (۳-۲) بوده‌است.

$$\Psi_j = R_j$$

(۲۴)

پارامتر ψ_j مقدار جاذبه گره j، R_j ، را مورد توجه قرار می‌دهد. رابطه فوق با توجه به طبیعت پویای مسئله VRPDD مورد استفاده قرارگرفته است. مقدار جاذبه هر گره برابر با ضریب مصرف قطعه‌ای است که گره فوق تأمین کننده نیازهای آن است. در این مسئله هنگام افزودن یک گره جدید به گردش فعلی، اگر فاصله‌های دو گره از آخرین گره گردش فعلی با هم برابر باشند، انتخاب گره‌ای که دارای جاذبه (ضریب مصرف) بیشتری است جوابهای بهتری حاصل می‌شود.

تعیین مقادیر هر یک پارامترها

تمامی الگوریتم‌های مورچگان مورد استفاده برای حل مسائل VRP، مقادیر پارامترها را با استفاده از یک مسئله نمونه (مسئلهC1 با تعداد ۵۰ گره [۱۴]) و با انجام آزمایشهای مختلف تنظیم کرده و سپس در سایر مسائل مورد استفاده قرار داه‌اند[۷]. در این تحقیق نیز ابتدا پارامترهای الگوریتم مورچگان متعارف مورد استفاده در حل مسائل VRP را با همان روش معمول ولی با استفاده از مسئله P50-1 تنظیم کرده و سپس تنها

پارامتر اضافی آن، یعنی پارانتر γ، نیز تعیین شده‌است.

آزمایشهای مختلفی که بر روی مسئله P50-1 انجام گرفت، بهترین مقدار هر یک از پارامترهای مورد نیاز در اجرای الگوریتم مورچگان، با فرض اینکه امکان حرکت از هر گره کاندیدا به تمام گره‌های سرویس داده نشده وجود داشته باشد، به شرح زیر تعیین شده است (تعدادگره‌ها = n):

مقادیر هر یک از توان‌ها	$\alpha = \beta = 2 \;\; , \;\; \gamma = 0.5$
مقدار اولیه احتمال	$P_0 = 0.75$
ضریب پابرجایی یا دوام اثر فرمون	$\rho = 0.98$
تعداد مورچه‌های قهرمان	$\delta = 3$
تعداد تکرارها	$I_{max} = 2n$

تعداد مورچه‌هایی که در هر تکرار می‌توانند گردش‌ها را ایجاد کنند:

- در مسائل P6-1 الی P10-1 m=n
- در مسائل P20-1 الی P200-1 m=n/2
- در مسائل P300-1 الی P500-1 m=n/4

در الگوریتم پیشنهادی، بهنگام کردن اثرات فرومونها مطابق رابط زیر انجام می‌شود:

$$\tau_{ij}^{new} = \rho * \tau_{ij}^{old} + (1-\rho)\Big[\sum_{\mu} \Delta\,\tau_{ij}^{\mu} + \delta * \Delta\,\tau_{ij}^{*}\Big] \tag{۲۵}$$

استفاده از رابطه فوق باعث می‌شود که مطلوبیت مسیرها به صورتی پویا در حال تغییر باشد و از همگرا شدن جوابها در اطراف یک بهینه محلی جلو گیری شود. این قاعده از این اصل ناشی می‌شود که همواره مقداری از فرومونی که مورچه‌ها برروی یک مسیر باقی می‌گذارند بدلیل تبخیر از بین می‌رود.

الگوریتم مورچگان با بهبود بازگشتی (حالت اولیه یا AARI)

در حالتی که تعداد گره‌ها زیاد بوده و امکان مقایسه جوابهای حاصل از الگوریتم‌های پیشنهادی با جوابهای بهینه وجود نداشته باشد، روشهای اعتبار سنجی مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از روشهای معمول در این زمینه، بکارگیری یکی از بهترین الگوریتم موجود در یکی از حوزه‌های نزدیک به مسئله مورد نظر و مقایسه جوابهای حاصل از آن با جوابهای حاصل از الگوریتم پیشنهادی است. بر اساس بررسی ادبیات موضوع، در حوزه مسائل VRP و VRPTW الگوریتم مورچگان از کیفیت بیشتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار است، بنابراین از الگوریتم فوق، یعنی AARI، برای اعتبار سنجی الگوریتم پیشنهادی استفاده شده‌است.

این الگوریتم از هر نظر مشابه الگوریتم AARI_Gama است. تنها تفاوت عمده این دو الگوریتم در فرآیند انتخاب گره جدید برای ورود به گردش موجود و روش بهنگام سازی فرومونها است. فرآیند انتخاب گره جدید در الگوریتم AARI با استفاده از رابطه(۱) و روش بهنگام سازی فرومونها نیز با استفاده از رابطه(۳) انجام می‌شود. در واقع الگوریتم AARI همان الگوریتم متعا رف موجود در حل مسائل VRP است که ابتدا برای حل مسئله پویای مورد نظر(با در نظر گرفتن شکهای (۳) و (۴)) پارامترهای آن تنظیم شده و مورد استفاده قرار گرفته و سپس بهبود داده شده است.

محاسبات و تجزیه و تحلیل نتایج

جهت پی‌بردن به کارایی الگوریتم AARI_Gama، جوابهای حاصل از آن با جوابهای بهینه حاصل از مدل ریاضی مسئله VRPDD و جوابهای حاصل از الگوریتم AARI مورد مقایسه قرارگرفته‌است. برای هر دو الگوریتم در مرحله بهبود گردش‌های ایجاد شده از روش جستجوی محلی 2-OPT استفاده شده‌است[۲۱].

در این قسمت ضمن معرفی مسائل تحت آزمون، شاخص‌های مقایسه‌ای و کامپیوتر مورد استفاده، به تجزیه و تحلیل نتایج محاسبات می‌پردازیم.

مسائل تحت آزمون

برای آزمون و تجزیه و تحلیل قابلیت های مدل ریاضی و الگوریتم‌ها، اطلاعات اولیه مورد نیاز شامل تعداد قطعات یا تأمین‌کنندگان، نرخ مصرف هر یک از قطعات، ماتریس زمانهای سفر بین گره‌ها، تعداد وسایل‌نقلیه در اختیار و ظرفیت وسایل‌نقلیه است. به دلیل جدید بودن مسئله مورد تحقیق، در ادبیات موضوع به مسائل نمونه‌ای دسترسی پیدا نکردیم که مدل ریاضی و الگوریتم‌ها را

نسبت به آنها مورد بررسی قرار دهیم، بنابراین مسائل مورد نیاز را با توجه به طبیعت مسئله مورد نظر در دنیای واقعی و با ایده گرفتن از کلیات اطلاعات ارائه شده مرجع[۴]، تولید شده‌است. مرجع شماره [۴] مسئله تحویل بهنگام[۲۰] مواد و قطعات مورد نیاز ایستگاههای کاری را از انبار مرکزی مورد توجه قرار داده‌است و نزدیکترین مرجع به مسئله مورد نظر است. تحقیق فوق از طرف مرکز بهره‌وری دانشگاه Alabama آمریکا برای شرکت تولیدی Arvin exhaust system انجام شده که دسترسی به اطلاعات واقعی آن شرکت تولیدی امکان پذیر نیست.

برای اینکه بتوان مسائل با اندازه‌های مختلف را مورد تجزیه و تحلیل قرارداد به پارامترهای تعداد قطعات، تعداد وسایل‌نقلیه در اختیار و ظرفیت وسایل‌نقلیه مقادیر اولیه فرضی داده شده و اطلاعات مربوط به پارامترهای نرخ مصرف قطعات و ماتریس زمانهای سفر بین گره‌ها به صورت تصادفی تولید شده‌است.

به منظور مقایسه کیفیت جوابهای الگوریتم‌ها نسبت به جوابهای بهینه حاصل از مدل ریاضی، مطابق جدول(۱)، انواع قطعات یا تعداد تأمین‌کنندگان بین ۶ تا ۱۰، ظرفیت وسایل‌نقلیه برابر ۱۰۰ کانتینر، نرخ مصرف قطعات بر حسب کانتینرعددی بین ۱ تا ۴ و درایه‌های مربوط به ماتریس زمانهای سفر بین گره‌ها اعدادی بین ۱ تا ۵ واحد زمانی در نظر گرفته شده‌اند. تولید مقادیر تصادفی برای نرخ مصرف هر یک از انواع قطعات به این صورت است که از میان فاصله داده شده (۱ تا ۴) یک عدد به صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت برای تک تک آنها انتخاب می‌شود، یعنی نرخ مصرف هریک از قطعات برحسب کانتینر می‌تواند یکی از اعداد ۱ تا ۴ باشد. اعداد تصادفی برای درایه‌های ماتریس زمانهای سفر بین گره‌ها نیز به همین صورت از میان فاصله داده شده (۱ تا ۵) تولید می‌شود.

برای مقایسه کیفیت جوابهای الگوریتم‌ها نسبت به یکدیگر، مطابق جدول (۲)، تعداد قطعات یا تأمین‌کنندگان بین ۲۰ تا ۵۰۰ ، ظرفیت وسایل‌نقلیه(مورچگان) برابر ۴۰۰ کانتینر، نرخ مصرف قطعات بر حسب کانتینر عددی بین ۱ تا ۶، درایه‌های ماتریس زمانهای سفر بین گره‌ها اعدادی بین ۱ تا ۱۰ واحد زمانی در نظر گرفته شده‌است. زمانهای بارگذاری و تخلیه قطعات برابر صفر در نظر گرفته شده‌اند.

در جداول (۱) و (۲) متوسط موجودی‌ها از رابطه زیر بدست آمده است :

= متوسط موجودی ها
(تعداد کل قطعات)۲ / (ظرفیت استفاده شده وسایل‌نقلیه)

برخی از توضیحات لازم در مورد جداول (۱) و (۲) به شرح زیر است :

- تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز = N-Vehicle
- متوسط موجودی‌ها در انبار مرکزی = A-INV
- متوسط موجودی‌ها از رابطه زیر بدست آمده است :

= متوسط موجودی‌ها
(تعداد کل قطعات)۲ / (ظرفیت استفاده شده وسایل‌نقلیه)

- زمان لازم جهت اجرای برنامه = CPU-T
- زمان محاسبات بر حسب ثانیه است.
- از آنجایی که داده های مسئله به صورت تصادفی تولید شده‌اند، در مسائلی که تعداد گره های آنها با هم برابر است، لزوما دارای داده های مساوی نمی باشند.
- اعداد پررنگ موجود در هر سطر بهترین عدد مربوط به هر معیار را نشان می‌دهد.
- به منظور امکان مقایسه کیفیت جوابهای حاصل از الگوریتم‌ها زمان اجرای آنها در جدول(۲) مساوی در نظر گرفته شده‌است.
- الگوریتم مورچگان برای هر مسئله نمونه ۱۰ بار اجرا شده و اعداد مربوط به معیارهای مختلف در جداول (به غیر از مدل ریاضی)، یا میانگین و یا بهترین جواب در ۱۰ بار اجرای الگوریتم‌ها است.

معیارهای مقایسه‌ای

برای مقایسه کیفیت جوابها، سه معیار مورد استفاده قرارگرفته‌است که شامل تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیاز، متوسط موجودی‌ها در انبار مرکزی و مدت زمان لازم جهت اجرای برنامه می‌باشند. همان طوری که اشاره شد، معمولا در شرایط مساوی معیار اول دارای اهمیت بیشتری است[۴]. بنابراین، برای مقایسه کیفیت جوابهای حاصل از مدل ریاضی و الگوریتم‌ها ابتدا معیار تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیاز، سپس معیار متوسط موجودی‌ها در انبار مرکزی و پس از آن معیار زمان لازم جهت اجرای برنامه مورد توجه قرارگرفته‌است.

جدول ۱ : مقایسه جوابهای حاصل از مدل ریاضی و الگوریتم ها .

ردیف	نام مسئله	تعداد گره	مدل ریاضی			الگو ریتم AARI			الگو ریتم AARI_Gama		
			N-Vehicle	A-INV	CPU-T	N-Vehicle (Average)	A-INV (Average)	CPU-T (Average)	N-Vehicle (Average)	A-INV (Average)	CPU-T (Average)
۱	P6-1	۶	۲	۱۰/۳۳	۱۲	۲	۱۰/۳۳	۰/۱۷	۲	۱۰/۳۳	۰/۲۲
۲	P6-2	۶	۲	۹/۳۳	۱۰	۲	۹/۳۳	۰/۱۷	۲	۹/۳۳	۰/۳۳
۳	P7-1	۷	۲	۹/۷۸	۹۷	۲	۱۰/۷۱	۰/۲۷	۳	۹/۷۸	۰/۲۷
۴	P7-2	۷	۲	۷/۷۹	۱۰۸	۲	۹/۸۵	۰/۲۲	۲	۹/۴۳	۰/۲۸
۵	P7-3	۷	۲	۹/۴۳	۲۸	۲	۹/۴۳	۰/۳۳	۲	۹/۴۳	۰/۳۳
۶	P8-1	۸	۲	۷/۳۱	۴۳۳	۲/۱	۸/۴۳	۰/۳۳	۲	۸/۲۵	۰/۴۴
۷	P8-2	۸	۲	۸/۴۴	۳۰۰	۲	۸/۴۴	۰/۳۳	۲	۸/۴۴	۰/۳۳
۸	P8-3	۸	۲	۹/۲۱	۴۷۵	۲	۱۱/۰۶	۰/۴۹	۳	۹/۸۱	۰/۴۹
۹	P9-1	۹	۳	۱۰	۷۰۶۰	۳	۱۰/۸۳	۰/۵۵	۳	۱۰/۳۲	۰/۶۱
۱۰	P10-1	۱۰	۳	۷/۳	۱۱۸۴۸	۳	۹/۳۰	۰/۴۹	۳	۷/۹۵	۰/۷۰

جدول ۲ : مقایسه جوابهای حاصل از الگوریتم ها .

ردیف	نام مسئله	تعداد گره	الگو ریتم AARI			الگو ریتم AARI_Gama		
			N-Vehicle (Average)	N-Vehicle (The Best)	A-INV (The Best)	N-Vehicle (Average)	N-Vehicle (The Best)	A-INV (The Best)
۱	P20-1	۲۰	۳	۳	۲۲/۳۷	۳	۳	۲۰/۳۴
۲	P30-1	۳۰	۵	۵	۲۳/۴۸	۵	۵	۲۰/۴۵
۳	P40-1	۴۰	۶/۵	۶	۲۳/۶۴	۶/۱	۶	۲۱/۶۶
۴	P50-1	۵۰	۷/۸	۷	۲۰/۶۶	۶/۲	۶	۱۹/۵۰
۵	P60-1	۶۰	۸/۹	۸	۲۲/۰۳	۷/۸	۷	۱۹/۱۳
۶	P70-1	۷۰	۱۰/۲	۱۰	۲۰/۵۶	۹/۸	۹	۱۹/۴۴
۷	P80-1	۸۰	۱۰/۸	۱۰	۱۹/۲۸	۱۰/۴	۱۰	۱۹/۰۴
۸	P90-1	۹۰	۱۲/۱	۱۱	۱۹/۳۹	۱۰/۵	۱۰	۱۸/۵۳
۹	P100-1	۱۰۰	۱۳/۲	۱۲	۲۰/۹۱	۱۱/۴	۱۱	۱۸/۶۴
۱۰	P110-1	۱۱۰	۱۴/۸	۱۴	۱۹/۴۶	۱۳/۸	۱۳	۱۹/۳۶
۱۱	P120-1	۱۲۰	۱۶/۳	۱۵	۱۹/۵۰	۱۴/۲	۱۴	۱۹/۴۴
۱۲	P130-1	۱۳۰	۱۸/۴	۱۸	۲۰/۴۳	۱۶/۹	۱۶	۱۸/۹۶
۱۳	P140-1	۱۴۰	۱۸/۹	۱۸	۲۱/۱۲	۱۶/۶	۱۶	۲۰/۱۲
۱۴	P150-1	۱۵۰	۲۱/۸	۲۰	۲۱/۱۶	۱۸/۲	۱۸	۲۰/۱۸
۱۵	P160-1	۱۶۰	۲۲/۴	۲۱	۲۰/۶۸	۲۰/۴	۲۰	۲۰/۵۸
۱۶	P170-1	۱۷۰	۲۲/۶	۲۱	۱۹/۰۲	۲۰/۶	۲۰	۱۸/۹۲
۱۷	P180-1	۱۸۰	۲۴/۸	۲۳	۲۰/۵۸	۲۱/۴	۲۱	۱۹/۵۴
۱۸	P190-1	۱۹۰	۲۵/۲	۲۴	۱۹/۸۸	۲۲/۱	۲۱	۱۸/۸۹
۱۹	P200-1	۲۰۰	۲۶/۲	۲۵	۱۹/۲۸	۲۴/۱	۲۴	۱۹/۱۶
۲۰	P300-1	۳۰۰	۳۹/۶	۳۸	۲۰/۷۸	۳۳/۸	۳۳	۱۸/۹۳
۲۱	P400-1	۴۰۰	۴۹/۲	۴۸	۱۹/۱۸	۴۳/۶	۴۳	۱۹/۱۲
۲۲	P500-1	۵۰۰	۶۶/۴	۶۵	۲۰/۵۹	۶۰/۴	۶۰	۱۸/۹۸

مشخصات نرم افزارها و کامپیوتر مورد استفاده

جوابهای مدل ریاضی با استفاده از نرم افزار LINGO، نسخه ۷، بدست آمده است. برنامه کامپیوتری الگوریتم‌ها نیز با استفاده از زبان برنامه نویسی Borland C++ 5.02 نوشته شده اند. کلیه برنامه‌ها و مدل ریاضی بر روی رایانه شخصی Pentium III با پردازنده 933 MHz و256 مگا بایت حافظه اصلی اجرا شده‌است.

تجزیه وتحلیل نتایج محاسبات

هـر چـند مـدل ریاضی از نظر تعداد وسایل‌نقلیه مـورد نـیاز و متوسـط موجـودی قطعـات در انـبار مرکزی جـواب بهیـنه مـی دهـد، ولی با توجه به حساسیت آن به تعـداد قطعـات یـا تأمین‌کنندگان و تعداد وسایل‌نقلیه (به دلـیل زیـاد شـدن تعـداد متغیرها و تعداد محدودیت ها)، اسـتفاده از آن برای حل مسائلی که دارای اندازه بزرگتری باشـند، از نظـر زمـان لازم جهـت اجرای برنامه، مقرون به صـرفه نـبوده و بهـتر اسـت از الگوریـتم‌های مناسب دیگر استفاده شود. به عنوان مثال، مدل ریاضی مسـئله P10-1 را در حـدود ۱۱۸۴۸ ثانـیه حل می‌کند، ولی همان مسئله بـا اسـتفاده از الگوریتم AARI_Gama در ۰/۷۰ ثانیه و با استفاده از الگوریتم AARI در کمتر از ۰/۴۹ ثانیه حل می‌شود.

همان طوری که جدول(۱) نشان می دهد برای تعداد گره‌های داده شده، جوابهای حاصل از AARI_Gama از نظر تعداد وسایل‌نقلیه مورد نیاز در ۱۰۰٪ مواقع و از نظرمتوسط موجودی قطعات در انبار مرکزی درحدود ۹۵٪ مواقع به جوابهای بهینه حاصل از مدل ریاضی نزدیک است. همان طوری که در بخش توزیع تابع هدف و محدودیت های مدل نیز اشاره شد، در تمامی مسائل ذکر شده معیار تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز نسبت به دو معیار دیگر از اولویت بیشتری برخوردار است. بنابراین جوابهای حاصل از الگوریتم AARI_Gama از کارایی بالایی برخورداراست.

در خصوص اعتبار الگوریتم پیشنهادی، لازم به ذکر است که یکی از بهترین روشهای اعتبار سنجی الگوریتم‌ها، مقایسه جوابهای حاصل از آنها با جوابهای بهینه است که در این تحقیق نیز مورد توجه قرار گرفته که جزئیات آن نیز در همین بخش ذکر گردیده‌است.

در حالتی که تعداد گره‌ها زیاد بوده و امکان مقایسه جوابهای حاصل از الگوریتم‌های پیشنهادی با جوابهای بهینه وجود نداشته باشد، روشهای اعتبار سنجی مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از روشهای معمول در این زمینه، بکارگیری یکی از بهترین الگوریتم موجود در حوزه‌ای نزدیک به مسئله مورد نظر و مقایسه جوابهای حاصل از آن با جوابهای حاصل از الگوریتم پیشنهادی است. همان طوری که قبلاً نیز بیان شد، در حوزه مسائل VRP و VRPTW الگوریتم مورچگان از کیفیت بیشتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار است، بنابراین از الگوریتم فوق نیز برای اعتبار سنجی الگوریتم پیشنهادی استفاده شده‌است، که جزئیات آن در جداول (۱) و (۲) ارائه شده‌است.

جمع بندی و پیشنهادات

همان طوری که قبلا اشاره شد، این تحقیق برای حل مسئله تأمین بهنگام قطعات (کالای) مورد نیاز شرکت‌های تولیدی (خدماتی) از تأمین‌کنندگان انجام شده که با توجه به ادبیات موضوع، در زمره اولین تحقیقات آکادمیک در زمینه فوق است. در این مطالعه ابتدا مدل ریاضی مسئله به منظور بدست آوردن جوابهای بهینه ارائه شد که برخی از محدودیتهای مدل ریاضی در ادبیات موضوع موجود بوده و عمده محدودیتهای کلیدی نیز توسط نویسندگان ارائه شده‌است. به دلیل محدودیت های مدل ریاضی (محدودیت‌های نرم افزاری و سخت افزاری) در حل مسائل بزرگتر، و به دلیل کارایی بسیار بالای الگوریتم مورچگان در حل مسائل مسیریابی وسایل نقلیه، یک الگوریتم مورچگان با بهبود بازگشـتی دو فازی نیز ارائه شده‌است. در الگوریتم فوق در فاز اول مسیر گردشی برای هر یک از خودروها ایجاد شده و در فاز دوم مسیرهای گردشی ایجـاد شده با استفاده از روش جستجوی محلی 2-OPT بهبود داده می‌شوند.

با توجه به ادبیات موجود، الگوریتم مورچگان برای اولین بار برای حالت توسعه یافته‌ای از مسئله VRP، یعنی مسئله VRPDD، مورد استفاده قرارگرفته‌است. علاوه بر این در مرحله انتخاب گره جدید الگوریتم مورچگان نیز بهبودهایی داده‌شده است (روابط ۲۱ و۲۵).

نتیجه این تحقیق می‌تواند برای اغلب شرکتهای تولیدی و خدماتی که بدنبال تأمین بهنگام مواد و قطعات مورد نیاز خود از تأمین کنندگان و کاهش هزینه‌های مربوطه هستند، قابل استفاده باشد. زمینه‌های تحقیقاتی زیادی در ارتباط با توسعه مسئله فوق وجود دارد که برخی از آنها می‌تواند شامل موارد زیر باشد: - توسعه مسئله برای حالتی که قطعات مورد نیاز ایستگاه‌های کاری خطوط مونتاژ در محل‌های واقعی خود تحویل داده شوند(در این حالت نیاز به انبار کردن قطعات در انبار مرکزی به حداقل ممکن می‌رسد). - هر یک از تأمین‌کنندگان دارای محدودیت پنجره‌های زمانی باشند(در دنیای واقعی معمولا این حالت زیاد اتفاق می‌افتد). - توسعه مسئله برای حالتی که زمانهای سفر در طول مدت شبانه روز ثابت نبوده و وابسته به حجم و شدت ترافیک در ساعات مختلفی از روز باشد. - توسعه مسئله برای حالتی که برخی از پارامترها مسئله (ضریب مصرف قطعات، زمان‌های سفر و...) بصورت فازی و یا احتمالی باشند.

مراجع

1 - Francesco, D. A. (2000). *Working time at the Fiat integrated factory of Melfi.* http://www.sociologia.unical.it/convdottorati/DeAngelis%20.doc

2 - Yasuhiro, M. (1993). “Toyota production system, a integrated approach to just-in-time.” Second Edition, *Industrial Engineering and Management Press*, Norcross, Georgia.

3 - Clyde, E. W. (1999). “An MHE exclusive:Just-in-time redefind.” *Material Handling Eng.*, Vol. 54, PP. 57-60.

4 - Bharath, S. V., Matson, J. O., Miller, D. M. and Matson, J. E. (1999). “A capacitated vehicle routing problem for just-in-time delivery.” *IIE Transactions,* Vol. 31, No. 11, PP. 1083-1092.

5 - Tom, F. (2000). “Optimizing a supply chain.” *Modern Materials Handling.,* Vol. 55, PP. 61-63.

6 - Leroy, B. S. and Weng, Z. K. (2000). “The design of a JIT supply chain: The effect of leadtime uncertainty on safety stock.” *Journal of Business Logistics,* Vol. 21, PP. 231-253.

7 - Reimann, M., Stummer, M. and Doerner, K. (2001). “A savings based antsystem for the vehicle routing problem.” *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO),* Morgan Kaufmann, New York, PP. 1317-1325.

8 - Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J. L. and Pasteels, J. M. (1989). “Self-organized shortcuts in the Argentine ant.” *Naturwissenschaften,* Vol. 76, PP. 579–581.

9 - Bruckstein, A. M. (1993). “Why the ant trails look so straight and nice.” *The Mathematica Intelligencer,* Vol. 15, No. 2, PP. 59–62.

10- Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A. (1991). “Positive feedback as a search strategy.” *Technical Report 91-016,* Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, IT.

11- Dorigo, M. (1992). *Optimization, learning and natural algorithms.* PhD thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, IT.

12 - Bonabeau, E., Dorigo, M. and Theraulaz, G. (1999). *From natural to arti.cial swarm intelligence*. Oxford University Press.

13 - Corne, D., Dorigo, M. and Glover, F. (1999). *New methods in optimisation.* McGraw-Hill.

14 - Bullnheimer, B., Hartl, R. F. and Strauss, C. (1999). “Applying the ant system to the vehicle routing problem.” *Meta-Heuristics: Advaces and Ttends in Local Search Paradigm for Optimization*, Kluwer Boston.

15 - Bullnheimer, B., Hartl, R. F. and Strauss, C. (1999). "An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem." *Annals of Operations Research,* Vol. 89, PP. 319-328.

16 - Dorigo, M. and Gambardella, L. M. (1996). "A study of some properties of Ant-Q." *In Proceedings of PPSN-IV, Fourth International Conference on Parallel Problem Solving From Nature,* PP. 656–665. Berlin: Springer-Verlag.

17 - Paessens, H. (1988). "The savings algorithm for the vehicle routing problem." *European Journal of Operational Research,* Vol. 34, PP. 336–344.

18 - Stutzle, T. and Hoos, H. (1997). "Improvements on the ant system: Introducing MAX–MIN ant system." *In Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms,* PP. 245–249.Verlag, Wien.

19 - Dorigo, M. and Gambardella. L. M. (1997). "Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem." *IEEE Transactions on Evolutionar Computation,* Vol. 1, No. 1, PP. 53–66.

20 - Jesper, L. (1999). *Vehicle routing problem with time windows-finding optimal solutions efficiently.*
http://citeseer.nj.nec.com/larsen99vehicle.html

21- Gillet, B. E. and Miller, L. R. (1974). "A heuristic algoritgm for the vehicle dispach problem." *Operation Research,* Vol. 22, PP. 340-347.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Just in Time Supply System
2 - Just in Time Inventory
3 - Consumption Time Windows
4 - Vehivle Routing Problem with Dynamic Demand
5 - Vehicle Routing Problem
6 - Vehicle Routing Problem with Time Windows
7 - Just in Time Production System
8 - Ant Colony Optimization
9 - Pheromone Trails
10 - Multi Agent
11 - Traveling Salesman Problem
12 - Quadratic Assignment Problem
13 - Ant System
14 - Visibility
15 - Elitist Ants
16 - Sub-tour
17 - Depot
18 - Ant Algorithm with Recursive Improvement
19 - Modified Nearest Neighbor
20 - Just in Time Delivery