فصلنامه علمی ° پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی ° سال شانزدهم، شماره ۴۹، تابستان ۹۷
صفحات ۱۳۸-۱۰۵

حل مساله مسیریابی تولید رقابتی با استفاده از بهینه‌سازی گروه ذرات

فرزانه ادبی*، جواد بهنامیان**

تاریخ دریافت:۹۵/۳/۲
تاریخ پذیرش:۹۶/۴/۲۴

چکیده

مساله مسیریابی تولید به تلفیق دو مساله مسیریابی خودرو و برنامه ریزی تولید می‌پردازد. عموما در مسئله فوق فرض بر این است که نوعی انحصار در محیط وجود دارد و توجهی به تاثیر رقبا در این مسائل در نظر گرفته نشده است. پر واضح است که در دنیای واقعی دیگر نمی‌توان به داشتن بازار انحصاری امید بست. در فضای رقابتی مشتریان متناسب با قیمت و کیفیت تامین‌کننده را انتخاب می‌کنند. بنابراین در این مقاله به عنوان تعریفی از کیفیت، تامین سریع نیاز مشتری و در دستری بودن الزام فضای رقابتی تبیین شده است و به همین جهت، مساله مسیریابی تولید رقابتی با فرض دانستن زودترین و دیرترین زمان تامین تقاضا توسط رقیب مدل‌بندی شده است. به این ترتیب در صورت تاخیر در تامین تقاضای مشتری به نسبت میزان تاخیر سهمی از بازار از دست می‌رود. همچنین مدل‌سازی انجام شده به وسیله نرم افزار گمز حل شده است. علاوه بر این به دلیل استفاده موفق الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات در حل مسائل بهینه‌سازی، در اینجا نیز الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای حل مساله مسیریابی تولید در ابعاد بزرگ توسعه داده می‌شود. برای بررسی عملکرد الگوریتم ارائه شده جواب‌های حاصل در ابعاد کوچک با جواب‌های حاصل از حل با نرم افزار گمز مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: *مساله مسیریابی تولید، شرایط رقابتی، بهینه‌سازی گروه ذرات*

---

* دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
** دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان ؛(نویسنده مسئول)
Behnamian@basu.ac.ir

مقدمه

مساله مسیریابی تولید[1] ترکیبی از مساله تعیین اندازه انباشته[2] و مساله مسیریابی خودرو است. این دو مساله کلاسیک به طور گسترده برای بیش از نیم قرن مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مساله مسیریابی تولید در تلاش است تا به طور مشترک مسائل بهینه‌سازی تولید، موجودی، توزیع و تصمیمات مسیر یابی را حل نماید، در نتیجه تعمیم مساله مسیریابی موجودی[3] است. اگر چه مساله مسیریابی تولید دارای یک ساختار پیچیده‌ای است، علاقه رو به رشدی برای این مساله هم در دانشگاه و هم در صنعت در طول دهه گذشته وجود دارد. مساله مسیریابی تولید رویکرد اجرایی برنامه‌ریزی عملیاتی یکپارچه است که به طور مشترک برای بهینه‌سازی تولید، موجودی، توزیع و مسیریابی تصمیم‌گیری می‌نماید. مساله مسیریابی تولید یک ارتباط عملی با رویکرد مدیریت موجودی توسط فروشنده[4] دارد. در مسائل فوق در سیستم‌های مدیریت موجودی توسط فروشنده، فروشنده قادر است تا زمانبندی و اندازه تحویل محصول به خرده فروشان را کنترل نماید. در قبال این آزادی عمل، فروشنده تضمین می کند که مشتریان با کمبود مواجه نمی شوند.

در مساله مسیریابی تولید، تولیدکننده باید در هر دوره تصمیم‌گیری کند آیا محصول تولید نماید یا خیر و میزان اندازه انباشته مربوطه را تعیین نماید. در صورت تولید متحمل هزینه راه‌اندازی ثابت و همچنین هزینه‌های تولید متغیر نسبت به واحد محصول می‌شود. علاوه بر این، اندازه انباشته نمی‌تواند از ظرفیت تولید تجاوز کند. توزیع از تولیدکننده به خرده فروشان توسط تعداد محدودی از وسایل نقلیه با ظرفیت محدود و هزینه‌های مسیریابی صورت می گیرد. اگر محصولات در کارخانه و یا در خرده فروشان ذخیره شوند، باید متحمل هزینه‌های نگهداری واحد موجودی شوند. هنگامی که در مساله مسیریابی تولید جنبه مسیریابی گنجانده شده و جنبه تولید نادیده گرفته شود، مساله به مسیریابی موجودی تبدیل

1. PRP
2. LSP
3. IRP
4. VMI

شده است. در مساله مسیریابی موجودی، نقطه شروع یک انبار است که در آن هیچ تصمیم تولیدی صورت نمی‌گیرد مقادیر تولید شده و در دسترس در هر دوره معمولا مشخص است. یک خودرو می‌تواند به بیش از یک مشتری در طول مسیر خود مراجعه کند. مساله مسیریابی تولید، به عنوان یک تعمیم از مساله مسیریابی خودرو است که متشکل از تصمیم‌گیری برای مقادیر تولید، مقادیر تحویل و مسیرهای خدمت به مشتریان، همچنین زمان بندی برای تامین تقاضای مشتریان است. با توجه به پیچیدگی‌های مسیریابی تناوبی و تصمیم گیری‌های تولید و موجودی مساله بسیار سخت تر از مساله کلاسیک مسیریابی خودرو است.

در این تحقیق شرایط رقابتی و به عبارت دیگر تقاضای وابسته به زمان تامین و رسیدن خودرو در مساله مسیریابی خودرو پیاده‌سازی شده شده است. رقابت بین محصولات مشابه ما بین تولید و توزیع‌کنندگان مختلف باشد موجب تغییرات تقاضا در واحد زمان در طول یک دوره می‌شود. در این تحقیق منظور از شرایط رقابتی، پیاده‌سازی تقاضای متغیر در واحد زمان در طول هر دوره است. به این ترتیب که با گذر زمان و تاخیر در تامین سفارش مشتری، تقاضا با توزیع یکنواخت کاهش می‌یابد. این ایده یعنی پیاده‌سازی شرایط رقابتی با تغییرات تقاضا توسط مقاله (براهیمی و اوم، ۲۰۱۲) ارائه شده است.

تغییرات تقاضا متناسب با زمان می‌تواند به عوامل مختلفی وابسته باشد مانند: زمان رخداد تقاضا در طی دوره، میزان صبر مشتری و پایبند بودن مشتری به برند، کیفیت محصول و محصولات جایگزین، ضرورت و نیاز به محصول. برای مثال در کسب و کارهایی که محصولات با تقاضای زیاد و تاریخ انقضای کوتاه مدت عرضه می‌شوند و کیفیت آن‌ها به تازه بودنشان است، فروشندگان نمی‌توانند این محصولات را برای مدت طولانی انبار کنند، مانند فروش شیر و شیرینی. کاربرد دیگر این مدل می‌تواند برای فروش محصولاتی باشد که دارای قیمت زیاد و تقاضای کم هستند و سرمایه از دست رفته بالایی برای نگهداری در سایت مشتری دارند، مانند محصولات درماتولوژیک که با توجه به سیاست فروش توزیع‌کننده برای تعادل بین فروش و هزینه‌های سرمایه از دست رفته، معمولا در تمامی مراکز خرده فروش موجود نیستند و با هر تقاضا موجودی خرده فروش توسط توزیع‌کننده شارژ می‌شود. از

کاربردهای دیگر این مدل کسب و کارهای خدماتی است. برای مثال شرکت‌های تعمیر و نصب لوازم خانگی و تاکسی های تلفنی که در صورت تاخیر در ارائه خدمات تقاضا با شرکت‌های رقیب تامین می گردد.

مسیریابی تولید جز مسائل حل نشدنی در زمان چندجمله‌ای است (آدولیاساک و همکاران، ۲۰۱۵a)، استفاده از روش های ابتکاری و فراابتکاری برای آن مناسب به نظر می‌رسد. در این تحقیق نیز با توجه به استفاده موفق الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات در حل مسائل بهینه‌سازی، علاوه بر مدل سازی شرایط رقابتی و حل با استفاده از نرم افزار گمز، برای حل با مساله با اندازه‌های بزرگ، الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات پیشنهاد شده است.

در ادامه در بخش سوم مدل ریاضی مساله ارائه می‌شود و در بخش چهارم روش حل الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات و کروموزوم شرح داده می‌شود و در بخش پنجم نیز مثال عددی و نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی بیان می‌شود.

مرور ادبیات

از آنجاییکه این تحقیق به مساله مسیریابی تولید رقابتی می‌پردازد، مرور ادبیات در دو بخش مرور مطالعات صورت گفته در راستای مساله مسیریابی تولید و مسیریابی تسهیلات رقابتی ارائه شده است.

مزایای هماهنگی در مساله مسیریابی تولید ابتدا توسط (چاندرا، ۱۹۹۳) و (چاندرا و فیشر، ۱۹۹۴) مورد بحث قرار گرفت. آنها نشان دادند که ۳ الی ۲۰ صرفه جویی در هزینه‌ها را می‌توان با حل مساله مسیریابی تولید نسبت به پی در پی حل کردن مسائل جداگانه تعیین اندازه انباشته و مسیریابی خودرو به دست آورد. (آدولیاساک و همکاران، ۲۰۱۵b) یک بررسی جامع از تکنیک‌های حل‌های مختلف پیشنهاد شده برای حل مساله مسیریابی تولید فراهم می کنند. همچنین در مقاله فوق روش‌های محاسبه کران پایین، الگوریتم دقیق و ابتکارات به طور کامل بررسی شده است. (لهیانی و همکاران، ۲۰۱۵) مروری در رابطه با مسیریابی وسیله‌های نقلیه غنی ارائه می‌نمایند.

(لی و همکاران، ۲۰۰۶) یک رویکرد دو مرحله‌ای برای حل یک مساله با چندین تامین کننده و یک ناوگان ناهمگن از وسایل نقلیه مطرح می‌کنند. در مرحله اول از رویکردشان، یک مساله خطی عدد صحیح مختلط بوسیله کاهش محدودیت‌های مسیریابی برای هدایت محموله‌ها، حل می‌شود. جواب بدست آمده، یک برنامه تولید و مقادیری که باید به هر خرده فروش در هر دوره تحویل داده شود را ارائه می‌کند. در مرحله دوم، یک مسیریابی ابتکاری بمنظور تقویت تخصیص ناوگان پر نشده استفاده می‌شود تا اثربخشی توزیع افزایش یابد. آنها این رویکرد را در یک مساله واقعی اعمال کرده‌اند. مجموعه داده‌ها شامل ۱۲ دوره زمانی، ۲ کارخانه، ۱۳ مرکز تقاضای مشتری و ۳ انتقال دهنده مختلف می‌باشد.

(آدولیاساک و همکاران، ۲۰۱۵a) به مساله مسیریابی تولید و تولید و توزیع یک محصول واحد از یک کارخانه به مشتریان متعدد با استفاده از وسایل نقلیه با ظرفیت محدود در یک افق زمانی گسسته می‌پردازند. یک مساله مسیریابی تولید تصادفی با عدم اطمینان تقاضا با فرایند تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای ارائه نموده است. تصمیم‌گیری در مرحله اول شامل راه‌اندازی سیستم تولید و برنامه بازدید مشتری است، تولید و تحویل محصولات در مراحل بعدی تعیین می‌شود. برای حل دو مساله فوق از الگوریتم شاخه و برش استفاده نموده و برای کنترل سناریوهای مختلف از روش تجزیه بندرز استفاده شده است.

(براهیمی و اوم، ۲۰۱۲) مساله چندکالایی با ظرفیت انبارش و پس افت را در نظر می‌گیرند. آنها چندین فرمول بندی خطی عدد صحیح مختلط را برای حل مساله مقایسه می‌کنند. در ادامه تحقیقات ایشان در (براهیمی و اوم، ۲۰۱۶) یک مدل خطی عدد صحیح مختلط برای فرمولاسیون مساله تولید مسیریابی با برگشت سفارش[1] ارائه و روش اکتشافی ترکیبی جدید برای حل آن تبیین نموده است. در این مقاله فرض شده است مساله تولید مسیریابی با برگشت سفارش یک زنجیره تامین متشکل از یک مرکز تولید با ظرفیت تولید و ذخیره‌سازی محدود و نقاط جغرافیایی پراکنده ی فروش با ظرفیت ذخیره‌سازی محدود است. این مدل تصمیم گیری اندازه انباشته محصول و تصمیمات مسیریابی وسایل نقلیه در نقاط فروش را

1. PRP-B

ادغام می‌کند، که در آن برگشت سفارش در پایان تقاضای مشتری با هزینه پنالتی مجاز است. در این مقاله دو مدل یکپارچه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فرموله شده و یک روش راه حل متشکل از یک استراحت ابتکاری و ثابت در ترکیب با یک الگوریتم جستجوی محلی ارائه شده است.

(کومار و همکاران، ۲۰۱۵) یک مدل مسیریابی خودرو ارائه شده که همزمان به مسیریابی تولید و آلودگی با پنجره زمانی ارائه می‌نماید. در این مقاله توابع هدف حداقل‌سازی هزینه کل عملیاتی و حداقل‌سازی کل تولید گازهای گلخانه‌ای (معادل حداقل رساندن مصرف سوخت) فرض شده‌اند. برای حل مساله مفروض از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات خود آموز[1] الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. (موین و یولیانا، ۲۰۱۵) با استفاده از جستجوهای پراکنده فوق ابتکاری به حل یک مساله مسیریابی تولید، موجودی و توزیع می‌پردازند. در این مقاله فرض شده است که یک کارخانه یک محصول واحد را تولید می‌کند که توسط مجموعه‌ای از ناوگان‌های همگن از وسایل نقلیه به تقاضای چندین مشتری پراکنده از لحاظ جغرافیایی پاسخ دهد. تولید بیش از حد در کارخانه و یا ذخیره در سایت‌های مشتری امکان پذیر است اما بازگشت سفارش امکان پذیر نیست.

بسیاری از مطالعات برای حل مساله مسیریابی تولید از الگویتم‌های فراابتکاری استفاده کرده‌اند، مانند حریصانه (بودیا و همکاران، ۲۰۰۷)، الگوریتم ممتیک (بودیا و پریس، ۲۰۰۹)، جستجوی ممنوعه (بارد و نانکول، ۲۰۰۹*a*)، (شیگوئموتو و همکاران ۲۰۱۰) و (آرمنتانو و همکاران ۲۰۱۱) و الگوریتم جستجوی بزرگ همسایگی انطباقی (آدولیاساک و همکاران، ۲۰۱۲) استفاده شده است. (بارد و نانکول، ۲۰۰۹*b*) و (بارد و نانکول، ۲۰۱۰) یک روش اکتشافی بر اساس چارچوب شاخه و قیمت معرفی کرده‌اند. همچنین با توجه به پیچیدگی مساله، مطالعاتی نیز از الگوریتم دقیق و یا روش‌های معرفی برای محاسبه کران پایین قوی استفاده نموده‌اند. (فومرو و ورسلیس، ۱۹۹۹) و (سولیالی و همکاران، ۲۰۰۹) یک رویکرد آزادسازی لاگرانژی برای به دست آوردن حدود پایین، بر اساس فرمول جریان چند کالا ارائه

1. SLPSO

داده‌انـد. در مقـالات (روکوکسـی و همکـاران، ۲۰۱۰) و (آرچتـی و همکـاران، ۲۰۱۱) یـک رویکرد شاخه و برش شبیه بـه رویکـرد ارائـه شـده بـرای حـل مسـاله مسـیریابی تولیـد توسـعه داده‌اند. (آدولیاساک و همکاران، ۲۰۱۳) به حل مساله مسیریابی تولیـد بـا وسـایل نقلیـه متعـدد متمرکز شده‌اند و دو روش شاخه و برش بر اساس طرح فرمولاسیون‌هـای مختلـف بـرای حـل این مساله ارائه نموده است.

مساله مسیریابی خودرو با پنجره زمانی[1] یک حالت توسعه یافته از مساله مسیریابی خودرو بـوده که تحویل کالاها به هر مشتری باید در فاصله زمانی $[a(i),b(i)]$ اتفاق بیفتد که در آن $a(i)$ و $b(i)$ به ترتیب زودترین و دیرتـرین زمـان‌هـای مجـاز بـوده کـه خـدمت بایسـتی ارائـه شـود (کوردیو و همکاران، ۲۰۰۲). مساله مسیریابی خودرو با پنجره زمانی به دو بخش تحت نام‌های مساله مسیریابی خودرو با پنجره زمانی نرم و مساله مسـیریابی خـودرو بـا پنجـره زمـانی سـخت تقسیم می‌شود. مساله مسـیریابی خـودرو بـا پنجـره زمـانی نـرم حالـت آزادسـازی شـده مسـاله مسیریابی خودرو با پنجره زمـانی سـخت مـی‌باشـد کـه در آن تحویـل کالاهـا اگـر جریمـه‌ای پرداخت شود، در خارج از پنجره زمانی مجـاز اسـت. هرچنـد در مسـاله مسـیریابی خـودرو بـا پنجره زمانی سخت، انحراف از محدودیت پنجره زمانی به هیچ وجه مجـاز نیسـت (قورشـی و همکاران، ۲۰۰۹). مرور جامعی از مساله مسیریابی خودرو با پنجره زمانی سخت را می‌تـوان در (بریسی و گندرو، ۲۰۰۵) و (کوردیو و همکاران، ۲۰۰۲) یافـت. از آنجاییکـه مسـاله مسـیریابی خودرو جز مسائل حل نشدنی در زمان چندجمله‌ای دسته‌بندی می‌شود (لنسترا و کـن، ۱۹۸۱)، محققان بسیاری برای حل مساله در اندازه‌های بزرگ الگوریتم‌هـای ابتکـاری و فراابتکـاری را توسعه داده‌اند مانند: جستجوی محلی (زاخاریادیس و کیرانودیس، ۲۰۱۰)، شـبیه‌سـازی تبریـد (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۵)، الگوریتم جست و جوی ممنوعه (لـی و همکـاران، ۲۰۱۶)، رویکرد پارتو، مجموع وزنـی و الگـوریتم ژنتیـک (نورمحمـدزاده وهـارتمن، ۲۰۱۶)، کلـونی مورچگان (کو و همکاران، ۲۰۱۶) ، رقابت استعماری (اوسـابا و همکـاران، ۲۰۱۶)، الگـوریتم

1. VRPTW

بهینه‌سازی گروه ذرات (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۲)، استراتژی تکاملی (رپوزیس و همکاران، ۲۰۱۰) و الگوریتم ممتیک (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۶).

(توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۵) یک مدل ریاضی برای یک مسیریابی خودرو باز با پنجره‌های زمانی رقابتی[1] ارائه و مساله را با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید حل نموده‌اند. در ادامه تحقیقات در (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۲) یک مدل ریاضی برای یک مسیریابی خودرو باز چندهدفه با پنجره‌های زمانی رقابتی ارائه شده است. براساس اهمیت هزینه حمل و نقل، هزینه هر مسیر کمینه و فروش بدست آمده به طور همزمان بیشینه می‌شود. این مدل بوسیله الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات چند هدفه حل شده و نتایج مرتبط با آن با نتایج حاصل شده از الگوریتم ژنتیک شده‌اند. جدول ۱ خلاصه ای از تحقیقات صورت گرفته در راستای مسیریابی تولید و دو تحقیق (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۵) و (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۲) و ارتباط تحقیق حاضر با آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱ مقایسات مطالعات پیشین

مرجع	تعداد تولیدکننده		تعداد دوره		تعداد محصول		نوع توزیع	پنجره زمانی	تقاضا رقابت در	روش حل	مثال عددی
	تک	چند	تک	چند	تک	چند					
(آدولیاساک و همکاران، ۲۰۱۵a)	*			*	*		تور			تجزیه بندرز و شاخه و کران	تصادفی
(چاندرا، ۱۹۹۳)	*			*		*	تور			تجزیه	تصادفی
(چاندرا و فیشر، ۱۹۹۴)	*			*		*	تور			تجزیه	تصادفی
(لی و همکاران، ۲۰۰۶)		*		*	*		تور			تجزیه	تصادفی کاربردی
(براهیمی و اوم، ۲۰۱۶)	*			*		*	تور			جستجوی محلی	تصادفی
(کومار و همکاران، ۲۰۱۵)	*			*	*		تور	*		بهینه سازی گروه ذرات خودآموز	تصادفی
(موین و یولیانا، ۲۰۱۵)	*			*	*		تور			جستجوی پراکنده ۳ فازی	تصادفی

1. OVRPCTW

(آدولیاساک و همکاران، ۲۰۱۳)	*			*	*		تور			جستجوی محلی بزرگ تطبیقی	تصادفی
(بودیا و همکاران، ۲۰۰۷)	*			*	*		تور			حریصانه	تصادفی
(بودیا و پریس، ۲۰۰۹)	*			*	*		تور			ممتیک	تصادفی
(بارد و نانکول، ۲۰۰۹a)	*			*	*		تور			شاخه و قیمت	تصادفی
(شیگوئموتو و همکاران ۲۰۱۰)	*				*	*	تور			جستجوی ممنوعه	تصادفی
(آرمنتانو و همکاران ۲۰۱۱)	*				*	*	تور			جستجوی ممنوعه	تصادفی
(آدولیاساک و همکاران، ۲۰۱۲)	*			*	*		تور			شاخه و برش	تصادفی
(بارد و نانکول، ۲۰۰۹b)	*			*	*		تور			جستجوی ممنوعه	تصادفی
(بارد و نانکول، ۲۰۱۰)	*			*	*		تور			شاخه و قیمت	تصادفی
(فومرو و ورسلیس، ۱۹۹۹)	*				*	*	تور			آزادسازی لاگرانژ	تصادفی
(روکوکسی و همکاران، ۲۰۱۰)	*			*	*		تور			شاخه و برش	تصادفی
(آرچتی و همکاران، ۲۰۱۱)	*			*	*		تور			شاخه و کران و ابتکاری	تصادفی
(توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۵)	–	–	*		*		تور		*	شبیه‌سازی تبرید	تصادفی
(نوروزی و همکاران، ۲۰۱۲)	–	–	*		*		تور		*	بهینه سازی گروه ذرات	تصادفی
این تحقیق	*		*		*		تور		*	بهینه سازی گروه ذرات	تصادفی

در این تحقیق از فرض‌های صورت گرفته در مقالات (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۵) و (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۲) استفاده شده است. علیرغم وجود شباهت‌هایی بین مدل‌های

کلاسیک مسیریابی خودرو با پنجره زمانی با مدل مطرح شده، تفاوت‌های متعددی وجود دارند که بدین ترتیب توصیف می‌شوند: ۱- در مدل‌های کلاسیک، رسیدن مشتری زودتر از حد پایین پنجره‌های زمانی مطلوب نیست در حالی که در مدل جدید مطلوب است. ۲- در مدل‌های کلاسیک، رسیدن مشتری در هر زمان در محدوده‌های پنجره زمانی مطلوبیت‌هایی دارد، اما در مدل مطرح شده مطلوبیت زمان رسیدن از حد پایین تا حد بالای پنجره‌های زمانی کاهش می‌یابد. ۳- در مدل جدید، رسیدن مشتری بعد از حد بالای پنجره‌های زمانی، قسمتی از فروش را از بین می‌برد اما در مدل‌های کلاسیک فروش کلی از دست می‌رود یا تنها مطلوبیت کاهش می‌یابد.

مساله مسیریابی تولید رقابتی

با توجه به مشاهدات واقعی، در بین توزیع کنندگان محیط رقابتی وجود دارد که لازم است علاوه بر در نظر گرفتن طول مسیر و میزان گنجایش وسائط نقلیه که منجر به کاهش هزینه حمل و نقل می‌شود ، باید زمان رسیدن رقبای دیگر نیز به مقاصد در نظر گرف ته شود. اهمیت این موضوع چنان است که واحدهای تولیدی برای به دست آوردن بیشترین نقدینگی و از دست ندادن بازار فروش، مسیریابی وسائط نقلیه را بر اساس وضیعت رقبای دیگر تعیین می‌کنند. در این مساله برای یافتن زمان مطلوب سرویس دهی با توجه به بازه سرویس دهی رقبا *[t1,t2]*، سعی می‌شود امید ریاضی سرویس دهی به مشتری قبل از رقبا را حداکثر شود. در این مقاله فرض شده است که تابع توزیع کسب نقدینگی توزیع کنندگان، از یک تابع با توزیع یکنواخت پیروی می‌کند که بر حسب زمان رسیدن وسائط نقلیه هر توزیع کننده به مشتری مشخص می‌شود. این فرض در مقالات مرجع تنها برای امکان نوشتن روابط خطی در توزیع یکنواخت صورت گرفته است که در این تحقیق نشان داده می‌شود که حتی با این فرض نیز به دلیل چند دوره ای بودن مساله امکان پذیر نیست. اگر توزیع کننده در بازه *[t0,t1]* به مشتری برسد تمامی نقدینگی حاصل از آن گره یا مصرف کننده را تصاحب و سهم بازار را کسب می‌کند، ولی اگر در بازه زمانی *[t1,t2]* به مشتری سرویس بدهد امید

ریاضی کسب نقدینگی متناسب با تاخیر کاهش می‌یابد و همچنین اگر در بازه $t2$ به بعد به گره یا مصرف کننده برسد هیچ نقدینگی را کسب نمی‌کند. بنابراین هدف توزیع‌کننده آن است که قبل از رسیدن رقبا به مصرف کننده برسند.

در این تحقیق مساله مسیریابی تولید با فرض بازار رقابتی توسعه داده می‌شود، برای پیاده‌سازی شرایط رقابتی از فرض صورت گرفته در مقالات (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۵) و (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۲) استفاده شده است. مساله موردنظر دارای مفروضات زیر است:

۱. مساله دارای یک تولیدکننده است که به تولید یک محصول می‌پردازد.
۲. تابع هدف هزینه‌های موجودی، راه‌اندازی، تولید و حمل و نقل کمینه می‌سازد. همچنین در تابع هدف میزان سود حاصل از تامین هرچه بیشتر تقاضای مشتریان از مجموع هزینه‌ها کسر می‌گردد.
۳. امکان تولید در تمامی دوره‌ها وجود دارد و ظرفیت تولید برای هر دوره متفاوت است.
۴. تقاضای پس افت ممکن نیست. اما امکان از دست دادن تقاضا وجود دارد.
۵. زودترین زمان و دیرترین زمان تحویل محصول توسط رقیب معین فرض شده است. و میزان تامین تقاضا با توزع یکنواخت در این بازه محاسبه می‌گردد.
۶. چند وسیله نقلیه همگن و ناهمگن با ظرفیت محدود و یکسان در هر دوره وجود دارد.
۷. تولیدکننده و هر یک از نقاط تقاضا محدودیت ظرفیت برای انبارش محصول برای دوره‌های بعد دارند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای استفاده شده در مدل به شرح زیر است:

اندیس‌ها

K	وسیله نقلیه
i, j, p	مشتریان و تولیدکننده $i, j, p=1$
T	دوره

پارامترها

S	هزینه راه‌اندازی
R	هزینه تامین وسیله نقلیه
c_{ij}	هزینه حمل و نقل واحد محصول
h_i	هزینه نگهداری هر واحد محصول در انبار تولیدکننده و مشتریان
γ	ضریب سود تامین تقاضای وابسته به زمان
d_{tdit}	تقاضای وابسته به زمان
t_{uit}	دیرترین زمان تامین تقاضا توسط رقیب
t_{lit}	زودترین زمان تامین تقاضا توسط رقیب
d_{jt}	میزان تقاضای مستقل از زمان
$I_{j\max}$	حداکثر ظرفیت انبارش تولیدکننده و مشتریان
Q	حداکثر ظرفیت تولید تولیدکننده
ω_k	حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه.
τ_{ik}	زمان سپری شده توسط وسیله نقلیه k در مشتری i
τ_{ijk}	زمان سپری شده توسط وسیله نقلیه k برای سفر از مشتری i به مشتری j
T_k	حداکثر زمان موجود برای وسیله نقلیه k ام (می‌توان متناسب با سرعت وسایل نقلیه و ظرفیت باک بنزینشان متفاوت فرض کرد.)

متغیرها

y_t	اگر در دوره t در تولیدکننده تولیدی صورت بگیرد مقدار یک و در غیر اینصورت صفر می‌گیرد.
v_{kt}	اگر در دوره t وسیله نقلیه k ام بکار رود مقدار یک و در غیر اینصورت صفر می‌گیرد.
x_{ijkt}	اگر در دوره t وسیله نقلیه k ام از مکان i به j حرکت کند مقدار یک و در غیر اینصورت صفر می‌گیرد.
I_{it}	متغیر میزان موجودی در هر دوره برای تولیدکننده و مشتریان
o_{it}	اگر در دوره t تقاضای وابسته به زمان مشتری زودتر از رقیب یعنی قبل از زمان t_{lit} تامین گردد مقدار یک و در غیر اینصورت صفر می‌گیرد.
g_{it}	اگر در دوره t تقاضای وابسته به زمان مشتری همزمان با رقیب یعنی در بین زمان‌های t_{lit} و t_{uit} تامین گردد مقدار یک و در غیر اینصورت صفر می‌گیرد.
t_{dit}	زمانیکه در دوره t مکان i بازدید می‌گردد.
q_t^p	میزان تولید محصول توسط تولیدکننده.
q_{jkt}	میزانی از محصول که در دوره t به مشتری i توسط وسیله نقلیه k ام ارسال می‌گردد.
e_{it}	میزانی از تقاضای دوره t که توسط موجودی انبار شده تامین می‌گردد.

مدل ریاضی برای مساله مسیریابی تولید رقابتی با وسایل نقلیه ناهمگن عبارتند از:

$$\min \sum_t (sy_t + \sum_k rv_{kt} + \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} x_{ijkt} + \sum_i h_i I_{it} - \gamma \sum_i [e_{it} + (o_{it} + g_{it}(\frac{t_{uit} - t_{dit}}{t_{uit} - t_{lit}}))(d_{tdit} - e_{it})]) \quad (۱)$$

$$S.t.: \quad I_{1t} = I_{1t-1} + q_t^p - \sum_{j|1} \sum_k q_{jkt} \quad \forall t \quad (۲)$$

$$I_{jt} = I_{jt-1} - d_{jt} - e_{jt} - (o_{jt} + g_{jt}(\frac{t_{ujt} - t_{djt}}{t_{ujt} - t_{ljt}}))(d_{tdjt} - e_{jt}) + \sum_k q_{jkt} \quad \forall t, j \mid 1 \quad (۳)$$

$$I_{jt} \le I_{j\max} \quad \forall t, j \quad (۴)$$

$$q_t^p \le QY_t \quad \forall t \quad (۵)$$

$$\sum_{j|1} q_{jkt} \le \omega_k v_{kt} \quad \forall t, k \quad (۶)$$

$$q_{jkt} \le \omega_k \sum_i x_{ijkt} \quad \forall t, k, j \mid 1 \quad (۷)$$

$$\sum_i \sum_k x_{ijkt} \le 1 \quad \forall t, j \mid 1 \quad (۸)$$

$$\sum_i (\tau_{ik} \sum_j x_{ijkt}) + \sum_i \sum_j \tau_{ijk} x_{ijkt} \le T_k \quad \forall t, k \quad (۹)$$

$$td_{jt} = \sum_i (td_{it} \sum_k x_{ijkt}) + \sum_i \sum_k (\tau_{ik} + \tau_{ijk}) x_{ijkt} \quad \forall t, j \mid 1 \quad (۱۰)$$

$$tu_{jt} - td_{jt} - M(o_{jt} + g_{jt}) \le 0 \quad \forall t, j \mid 1 \quad (۱۱)$$

$$tu_{jt} - td_{jt} + M(1 - o_{jt} - g_{jt}) \ge 0 \quad \forall t, j \mid 1 \quad (۱۲)$$

$$g_{jt} + o_{jt} \le 1 \quad \forall t, j \mid 1 \quad (۱۳)$$

$$g_{jt} + o_{jt} \le td_{jt} \quad \forall t, j \mid 1 \quad (۱۴)$$

$$tl_{jt} - td_{jt} + M(1 - o_{jt}) \ge 0 \quad \forall t, j \mid 1 \quad (۱۵)$$

$$tl_{jt} - td_{jt} - M(o_{jt}) \le 0 \quad \forall t, j \mid 1 \quad (۱۶)$$

$$U_{ikt} - U_{jkt} + \omega_k x_{ijkt} \le \omega_k - q_{jkt} \quad \forall k, t, 2 \le i \ne j \quad (۱۷)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\sum_i x_{ipkt} - \sum_j x_{pjkt} = 0 \qquad \forall t, p, k \qquad (۱۸)$$

$$\sum_i x_{i1kt} = v_{kt} \qquad \forall t, k \qquad (۱۹)$$

$$e_{jt} \le d_{tdit} \qquad \forall t, j \mid 1 \qquad (۲۰)$$

$$e_{jt} \le I_{jt-1} \qquad \forall t, j \mid 1 \qquad (۲۱)$$

$$o_{it}, g_{it}, y_t, x_{ijkt}, v_{kt} \in \{0,1\} \qquad (۲۲)$$

$$td_{it}, q_t^p, I_{it}, q_{jkt} \ge 0 \qquad (۲۳)$$

رابطه (۱) نشان دهنده تابع هدف است که به ترتیب هزینه آماده‌سازی تولید، هزینه تامین و تخصیص وسیله نقلیه، هزینه حمل و نقل وسایل نقلیه مابین مشتریان، هزینه نگهداری کمینه می‌سازد همچنین در صورت تامین تقاضای وابسته به زمان شرکت سود دریافت می‌نماید. البته می‌توان برای عدم تامین تقاضا نیز جریمه‌ای تایین نمود که برابر است با رابطه (۲۲).

$$\sum_t \chi[\sum_i \{((1-g_{it}-o_{it}) + g_{it}(\frac{t_{dit}-t_{lit}}{t_{uit}-t_{lit}}))(d_{tdit}-e_{it})\}] \qquad (۲۴)$$

رابطه (۲) نشان دهنده معادله تعادل موجودی تولیدکننده در هر دوره است. به طور مشابه رابطه (۳) نشان دهنده معادله تعادل موجودی هر یک از مشتریان است. رابطه (۴) بیان کننده محدودیت حداکثر ظرفیت نگهداری موجودی در تولیدکننده و مشتریان است. رابطه (۵) علاوه بر ایجاد رابطه بین متغیر باینری تولید با متغیر میزان تولید حداکثر ظرفیت تولید را نیز نشان می‌دهد. رابطه (۶) مشابه محدودیت (۵) برای ایجاد ارتباط بین متغیرهای تخصیص وسیله نقلیه، حداکثر ظرفیت هر خودرو را محدود می‌سازد. رابطه (۷) نشان دهنده این است که اگر وسیله نقلیه k ام در دوره t مشتری j ام را ملاقات کند بتواند به آن مشتری حداکثر به میزان ظرفیتش محصول ارائه نماید. رابطه (۸) بیانگر این نکته است که در هر دوره هر مشتری حداکثر از یک وسیله نقلیه می‌تواند محصول دریافت نماید. رابطه (۹) محدودیت حداکثر

زمان سرویس دهی ممکن برای هر وسیله نقلیه در هر دوره را مشخص می‌کند. رابطه (۱۰) زمان رسیدن وسیله نقلیه به هر مشتری در هر دوره را بر اساس مسیر طی شده توسط وسیله نقلیه محاسبه می‌نماید. روابط (۱۱) الی (۱۶) ارتباط بین زمان رسیدن هر وسیله نقلیه با متغیر باینری متناظرش را بیان می‌دارد. روابط (۱۷) و (۱۸) تضمین می‌کنند که در مسیر هر یک از وسایل نقلیه هیچ زیر توری رخ ندهد و وسایل نقلیه از مشتری که به آن وارد شده‌اند خارج شوند. رابطه (۱۷) برگرفته از روابط ارائه شده در (مونتایا و همکاران، ۲۰۱۵) و (کولکارنی و بهیو، ۱۹۸۵) است. (کولکارنی و بهیو، ۱۹۸۵) رابطه خطی برای حذف زیرتور را ارائه و اثبات نموده‌اند. ایشان در مقاله خود به طور مفصل روابط را برای مسائل فروشنده دوره گرد تا مسیریابی وسایل نقلیه با یک مرکز توزیع و چند مرکز توزیع همچنین وسایل نقلیه همگن و ناهمگن توسعه داده و اثبات نموده است. رابطه (۱۹) نشان دهنده این است که وسایل نقلیه در صورت استفاده در هر دوره به تولیدکننده بازگردند. رابطه (۲۰) نشان می‌دهد که در ابتدای هر دوره حداکثر به اندازه تقاضای آن دوره می‌توان با استفاده از موجودی انبار تامین تقاضا نمود و همچنین رابطه (۲۱) بیان می‌دارد این مقدار نیز از مجموع میزان موجودی در انبار باقی مانده از دوره قبل نیز کمتر است. رابطه (۲۲) متغیرهای صفر و یک و رابطه (۲۳) متغیرهای نامنفی رو نشان می‌دهد.

در تلاش برای خطی‌سازی رابطه (۱) و (۳) بجای رابطه (۲۵) رابطه (۲۶) حاصل می‌شود که نشان می‌دهد این عبارت قابلیت خطی شدن را ندارد.

$$(o_{it}+g_{it}(\frac{t_{uit}-t_{dit}}{t_{uit}-t_{lit}}))(d_{tdit}-e_{it})=(o_{it}d_{tdit}+\{g_{it}(\frac{t_{uit}}{t_{uit}-t_{lit}})-(\frac{g_{it}t_{dit}}{t_{uit}-t_{lit}})\}d_{tdit})$$
$$-(\sum_{i}o_{it}e_{it}+g_{it}e_{it}(\frac{t_{uit}}{t_{uit}-t_{lit}})-(\frac{g_{it}t_{dit}e_{it}}{t_{uit}-t_{lit}})) \qquad (۲۵)$$

$$
\begin{aligned}
&(\sum_i o_{it} d_{tdit} + \{g_{it}(\frac{t_{uit}}{t_{uit}-t_{lit}}) - (\frac{\varsigma_{it}}{t_{uit}-t_{lit}})\} d_{tdit})) - (\sum_i \varphi_{it} + \psi_{it}(\frac{t_{uit}}{t_{uit}-t_{lit}}) - (\frac{g_{it} t_{dit} e_{it}}{t_{uit}-t_{lit}})) \\
&\varsigma_{it} \le M g_{it} \qquad \forall i,t \\
&\varsigma_{it} \le t_{dit} \qquad \forall i,t \\
&\varsigma_{it} \ge t_{dit} - M(1-g_{it}) \qquad \forall i,t \\
&\varphi_{it} \le M o_{it} \qquad \forall i,t \\
&\varphi_{it} \le e_{it} \qquad \forall i,t \\
&\varphi_{it} \ge e_{it} - M(1-o_{it}) \qquad \forall i,t \\
&\psi_{it} \le M g_{it} \qquad \forall i,t \\
&\psi_{it} \le e_{it} \qquad \forall i,t \\
&\psi_{it} \ge e_{it} - M(1-g_{it}) \qquad \forall i,t
\end{aligned}
\qquad (۲۶)
$$

همانطور که از رابطه (۲۶) قابل مشاهده است، رابطه $g_{it} t_{dit} e_{it}$ به دلیل داشتن دو متغیر عددصحیح و یک متغیر باینری، قابلیت خطی شدن ندارد. همچنین برای خطی‌سازی رابطه (۱۰) می‌توان روند فوق را تکرار نمود به طوریکه رابطه (۲۷) حاصل می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&td_{jt} = \sum_i \Phi_{ijt} + \sum_i \sum_k (\tau_{ik} + \tau_{ijk}) x_{ijkt} \qquad \forall t, j \mid 1 \\
&\Phi_{ijt} \le M \sum_k x_{ijkt} \qquad \forall t, j \mid 1, i \\
&\Phi_{ijt} \ge td_{it} - M(1-\sum_k x_{ijkt}) \qquad \forall t, j \mid 1, i \\
&\Phi_{ijt} \le td_{it} \qquad \forall t, j \mid 1, i
\end{aligned}
\qquad (۲۷)
$$

برای نوشتن مدل ریاضی وسایل همگن کافیست در روابط فوق پارامترهای k ، ik ، ijk و T_k، به پارامترهای ثابت و برابر به ازای هر وسیله نقلیه تغییر کنند و برابر شوند با i ، ij و T. البته با تغییرات صورت گرفته می‌توان مدل را خلاصه‌سازی نمود و برخی روابط را حذف نمود.

الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات

بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است که با تجزیه و تحلیل رفتار طبیعی پرندگان و یا ماهی‌ها برای پیدا کردن غذا بدست آمده است. آنها در تلاش بودند تا با بهره‌گیری از مدل‌های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی نوعی هوش محاسباتی پدید آورند که به توانایی‌های فردی ویژه‌ای نیازمند نباشد. این دو محقق بیشتر بروی مدلهایی که توسط زیست شناس فرانک هپنر ایجاد شده بود تاکید کردند. هر ذره دارای ویژگی‌های موقعیتی، سرعت و جهت حرکت خاصی (مانند مگس‌ها) است و از طریق فضای جستجو با توجه به بهترین موقعیت گذشته که تجربه کرده است[1] و بهترین موقعیت که دیگر اعضای جمع تجربه کرده‌اند[2] جواب جدید بدست می‌آید. این رفتار شبیه عملکرد مردم در تصمیم‌گیری است جایی که آنها بهترین تجربه پیشین خود و بهترین تجربه سایرین را مدنظر قرار می‌دهند (ابرهارت و همکاران ۲۰۰۱).

$$V_i(k+1) = \omega V_i(k) + w_1 r_1(k)\left[G(k) - X_i(k)\right] + w_2 r_2(k)\left[P_i(k) - X_i(k)\right] \quad (۲۸)$$

$$X_i(k+1) = X_i(k) + V_i(k+1) \quad (۲۹)$$

روابط (۳۹) و (۴۰) به ترتیب سرعت جدید ذرات و موقعیت جدید ذرات را محاسبه می‌کنند که در آنها r_1 و r_2 متغیر تصادفی از تابع یکنواخت بین ۰ و ۱ بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه جمعی و c_1 و c_2 ضریب شتاب بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه جمعی هستند همچنین w ضریب اینرسی است.

کروموزوم مساله مسیریابی تولید رقابتی

برای مساله مسیریابی تولید با حداکثر ۳ خودرو و ۲ دوره و ۱۰ مشتری کروموزم زیر می‌تواند مناسب باشد.

1. pbest
2. gbest

دوره	۰	۳	۶	۷	۱۳	۱۲	۱	۸	۴	۱۱	۲	۵	۹	۱۰
اول	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۰	۰	۴۰	۵۰	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰
دوره	۰	۲	۹	۳	۱۲	۱	۴	۱۱	۵	۱۰	۱۳	۸	۶	۷
دوم	۱۵	۲۰	۳۰	۴۰	۰	۳۰	۲۰	۰	۲۰	۵۰	۰	۰	۰	۰

شکل ۱: روش نمایش جواب

در کروموزوم فوق مقدار ۰ در میان مراکز نشان دهنده تولیدکننده است و مقدار زیر آن میزانی از موجودی است که پس از تولید و ارسال توسط وسایل نقلیه در انتهای آن دوره باقی می‌ماند یعنی در انتهای دوره دوم مجموع محصول موجود در تولیدکننده ۲۵ واحد است. ۱۱، ۱۲ و ۱۳ شمارنده خودروهای به ترتیب ۱، ۲ و ۳ هستند و ارقام بین ۱ تا ۱۰ نشان دهنده مشتریان ما هستند و هر یک از مشتریان که قبل از خودروها قرار گیرند به آن خودرو اختصاص داده می‌شوند به عنوان مثال در این کروموزوم در دوره اول مشتریان ۳، ۶ و ۷ به خودروی ۳ اختصاص داده شده‌اند، همچنین مابین اعداد ۱۲ و ۱۳ مشتری وجود ندارد و بنابراین از خودرو ۲ در آن دوره استفاده نشده است. مشتریان ۱، ۸ و ۴ نیز توسط خورو ۱ بازدید می‌شوند. مشتریان ۲، ۵، ۹ و ۱۰ مشتریان بعد از آخرین خودرو هستند که برنامه‌ریزی شده به آن‌ها در آن دوره هیچ محصولی ارسال نشود از این رو در کروموزوم تنها برای مشتریانی که قبل از آخرین خودرو قرار دارند مقدار تصادفی محصول ارسال می‌گردد. مقادیر سطر دوم در هر دوره (غیر از زیر ۰ که نشان دهنده میزان موجودی نگهداری شده در تولیدکننده است.) نشان دهنده میزان محصول است که به هر مشتری ارسال می‌گردد. از این رو مقدار سطر دوم ضرورتا برای شمارنده وسائل نقلیه ۱۱، ۱۲ و ۱۳ برابر با صفر است همچنین مشتریانی که در آن دوره بازدید نمی‌شوند هیچ مقداری هم دریافت نمی‌کنند. مابقی محدودیت‌ها مانند ظرفیت تولید و ظرفیت خودرو و زمان موجود در خودرو و میزان تقاضای برآورده شده، توسط ضریب جریمه در تابع هدف محاسبه می‌شوند.

مساله مسیریابی تولید رقابتی و کروموزوم تعریف شده آن یک مساله گسسته است. از آنجاییکه الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات یک الگوریتم پیوسته است (به علت تعریف

موقعیت جدید ذرات و سرعت آنها) جهت حل مساله با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات از ترتیب صعودی موقعیت ذرات برای گسسته‌سازی آنها استفاده شده است یعنی برای مثال در یک مساله با ۵ مشتری و دو خودرو و یک دوره خواهیم داشت:

۲۴۵۵۷۷.۰	۴۹۳۰۴۹.۰	۰۶۳۳۰۴.۰	۹۴۴۱۵۴.۰	۴۸۵۳۵۱.۰	۴۳۳۴۵۶.۰	۰۱۹۱۶۵.۰

شکل ۲: کروموزوم بهینه‌سازی گروه ذرات

کروموزوم متناظر با کروموزوم فوق برای مساله مسیریابی تولید رقابتی بصورت زیر خواهد بود.

۳	۶	۲	۷	۵	۴	۱

شکل ۳: کروموزوم متناظر

در کروموزوم فوق تقاضای مشتری ۳ توسط خودرو ۱ و تقاضای مشتری ۲ توسط خودرو ۷ تامین می‌شود و تقاضای مشتریان ۱، ۴ و ۵ بی پاسخ می‌ماند.

با توجه به مسیر مشخص شده برای هر خودرو در قسمت اول کروموزم در هر مرحله در محاسبه میزان تابع هدف، زمان‌های رسیدن هر خودرو به شهر محاسبه می‌شود. سپس با توجه به موجودی انبار، کل تقاضا در هر دوره، تقاضای تامین شده توسط موجودی انبار و تقاضای باقی مانده به ازای زمان رسیدن خودرو، مجموع میزان تقاضای تامین شده معین می‌گردد. از طرفی میزان کالای ارسالی به مشتری توسط خودرو که در قسمت دوم کروموزم مشخص شده است در محاسبه میزان تابع هدف تصحیح می‌گردد به گونه ای که حداقل به‌اندازه مجموع میزان تقاضای تامین شده محاسبه شده باشد. مابقی محدودیت‌ها مانند ظرفیت تولید و ظرفیت خودرو، توسط ضریب جریمه در تابع هدف اعمال می‌شوند.

تحلیل نتایج عددی

برای محاسبات از نرم افزار متلب ۲۰۰۹ و همچنین از نرم افزار گمز ورژن ۲۴,۷,۳ ، بر روی سیستم با پردازنده ۲,۳گیگاهرتز و حافظه ۴ گیگا بایت استفاده شده است. در این تحقیق جهت بررسی نتایج عددی، داده‌ها با توجه به تحقیقات مشابه صورت گرفته و ترکیب آنها با استفاده از توزیع یکنواخت به طور تصادفی تولید شده است. مکان هر مشتری و تولیدکننده به صورت توزیع یکنواخت در بازه [۱۰۰ ۰] در صفحه فرض شده است. تقاضا در بازه [۲۰۰ ۱۰۰] به ازای هر مشتری در هر دوره به طور تصادفی محاسبه شده است. حداکثر ظرفیت خودروها متناسب با میانگین تقاضاها نسبت به هر دوره و خودرو ($a=\frac{\sum_t\sum_i d_{it}}{T*k}$) ضرب در توزیع یکنواخت [۲ ۱,۵] به تعداد خودروها (برای مساله ناهمگن) حاصل شده‌اند. همچنین حداکثر ظرفیت هر مشتری از رابطه فوق (یعنی: $[1,5a\ 2a]$) بدست آمده است. حداکثر ظرفیت نگهداری نیز با استفاده از $[3a\ 5a]$ محاسبه شده است. حداکثر ظرفیت تولید ۲ برابر حداکثر ظرفیت نگهداری تولیدکننده فرض شده است.

زودترین زمان تامین تقاضا توسط رقیب در بازه [۳۰۰ ۲۰۰] و دیرترین زمان تامین تقاضا توسط رقیب در بازه [۴۰۰ ۳۰۰] توسط توزیع یکنواخت تولید می‌شود. زمان حرکت هر خودرو ۳ برابر مسافت بین هر شهر فرض شده است و در این داده‌سازی از زمان سپری شده در هر شهر چشم پوشی شده است. همچنین هزینه ثابت تخصیص خودرو و تقاضای مستقل از زمان نیز داده سازی نشده است. نمود این کار جهت تحلیل راحت تر نتایج حاصل از حل الگوریتم فراابتکاری و نرم افزار گمز صورت گرفته است. مشخصات و داده‌های مربوط به الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برابر است با: تعداد ذرات: ۳۰۰، تعداد تکرار: ۲۰۰، ضریب اینرسی سرعت: ۰,۷، ضریب بهترین تجربه شخصی: ۱، ضریب بهترین تجربه ذرات: ۱، البته داده‌های فوق با توجه به نتایج آزمون و خطا و تصادفی در راستای گریز از به دام افتادن در جواب‌های محلی انتخاب شده‌اند.

نتایج عددی

جدول ۱ به مقایسه شرایط رقابتی و عدم رقابت در مسائل مسیریابی تولید، و مقایسه عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات با نرم افزار گمز، می‌پردازد. در مساله مسیریابی تولید در شرایط بدون رقابت، تمامی تقاضاها باید تامین گردند. همچنین طبق مدل رائه شده در این تحقیق، توزیع کننده موظف است تمامی تقاضای مشتری را در صورت رسیدن به موقع تامین نماید. بنابراین جهت مقایسه دو شرایط رقابتی و عدم رقابت، بیشینه‌سازی تقاضای تامین شده نسبت به کمینه سازی هزینه‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین در این تحقیق از نرمال‌سازی توابع هدف و انواع روش‌های مختلف برنامه ریزی چندهدفه استفاده نشده است، چرا که در روش‌های نرمال‌سازی، بدترین و بهترین توابع هدف مورد نیاز است و حال آنکه این تحقیق به مقایسه دو شرایط متفاوت مساله با بهترین و بدترین میزان توابع هدف می‌پردازد. بنابراین ضریب سود تامین تقاضا در تابع هدف (γ) برابر ۱۰ فرض شده است، این مقدار به طوری تعیین شده است که تامین تقاضا از درجه اهمیت بیشتری برخوردار باشد. در جدول ۱، مسائل با اندازه‌های متفاوت به طور تصادفی تولید شده‌اند. حل مسائل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات به تعداد ۱۰ بار تکرار شده است. پاسخ‌های نرم افزار گمز جهت رسیدن به جواب در کمتر از ۲۰ دقیقه مدنظر بوده است و در صورت عدم توانایی نرم افزار برای حل در زمان کمتر میزان تابع هدف ارائه شده در دقیقه ۲۰ ام ارائه شده است.

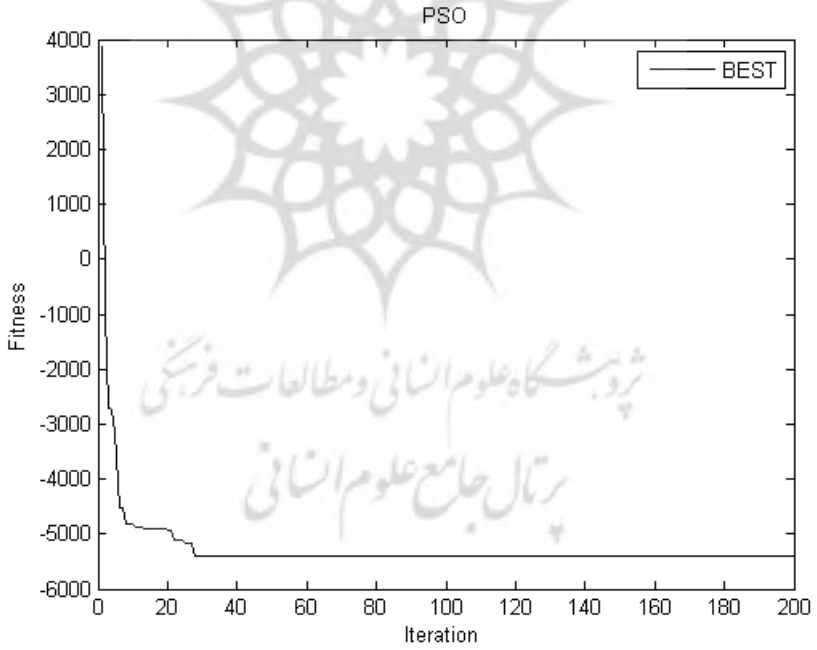
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۱: نتایج محاسبات عددی

	مساله			گمز						الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات					
				شرایط عدم رقابت			شرایط رقابتی								
ردیف	تعداد مشتریان	تعداد خودرو	تعداد دوره	تقاضای تامینی	هزینه‌ها	مجموع توابع	تقاضای تامینی	هزینه‌ها	مجموع توابع	زمان (ثانیه)	میانگین تقاضای تامینی	میانگین هزینه‌ها	میانگین تابع هدف	بهترین نتیجه	بدترین نتیجه	متوسط زمان (ثانیه)
۱	۵	۲	۱	۷۹۸	۲۰۰۹	-۵۹۷۰	۷۸۳	۲۰۱۰	-۵۸۲۳	۳۲.۰	۶۰۱	۱۳۰۵	-۴۷۰۵	-۵۸۲۲	-۳۷۴۹	۳۳.۲۵
۲	۵	۲	۲	۱۴۶۶	۳۷۹۴	-۱۰۸۶۵	۱۰۸۹	۴۰۰۴	-۶۸۹۲	۳.۷۳	۶۸۶	۲۲۲۴	-۴۶۳۶	-۶۸۶۸	-۱۰۰۷	۷۳.۲۹
۳	۵	۲	۳	۲۲۸۸	۵۷۱۱	-۱۷۱۶۸	۱۸۶۵	۵۹۵۱	-۱۲۷۰۷	۶.۶۳۱	۱۳۵۸	۵۵۶۰	-۸۰۲۰	-۱۱۰۹۷	-۵۱۰۰	۴۵.۳۸
۴	۵	۲	۴	۲۹۳۰	۷۷۴۹	-۲۱۵۵۰	۲۸۴۴	۸۰۳۳	-۲۰۴۰۹	۵.۶۶۰	۱۵۹۶	۴۰۵۷	-۱۱۹۰۳	-۱۴۱۵۶	-۸۲۷۸	۲۴.۴۴
۵	۶	۲	۱	۹۹۳	۱۸۶۱	-۸۰۶۹	۸۷۵	۱۹۳۲	-۶۸۱۸	۷۴.۱	۶۵۰	۱۸۷۴	-۴۶۲۴	-۶۳۴۲	-۳۲۵۴	۸۴.۲۰
۶	۶	۲	۲	۱۷۱۴	۴۳۴۳	-۱۲۷۹۶	۱۴۷۳	۴۴۵۶	-۱۰۲۷۸	۲۶۶	۱۰۸۷	۲۷۶۳	-۸۱۰۵	-۱۰۲۳۳	-۵۶۴۷	۹۲.۲۵
۷	۶	۲	۳	۲۶۳۶	۶۴۹۴	-۱۹۸۶۵	۲۳۶۸	۶۵۶۳	-۱۷۱۱۹	۱۲۰۰	۱۲۶۲	۴۲۸۵	-۸۳۳۸	-۱۰۴۹۷	-۴۱۵۲	۲۴.۳۱
۸	۶	۲	۴	۳۷۲۱	۸۱۸۰	-۲۹۰۳۰	۳۲۰۵	۸۴۲۹	-۲۳۶۱۹	۱۲۰۰	۱۸۵۶	۶۵۰۰	-۱۲۰۶۰	-۱۷۰۰۰	-۲۴۲۰	۱۵.۳۶
۹	۷	۳	۱	۸۶۹	۲۳۳۰	-۶۳۵۹	۸۲۸	۲۴۰۴	-۵۸۸۱	۷.۱۷	۴۸۶	۲۴۵۵	-۲۴۰۵	-۴۱۱۶	-۵۱۸	۴۸.۴۲
۱۰	۷	۳	۲	۲۳۱۳	۴۱۵۸	-۱۸۹۷۱	۲۰۱۸	۴۳۷۹	-۱۵۸۰۹	۱۲۰۰	۱۳۹۹	۴۲۴۹	-۹۷۴۱	-۱۲۹۶۴	-۸۴۶۹	۱۶.۳۵
۱۱	۷	۳	۳	۳۲۸۶	۵۹۸۵	-۲۶۸۷۴	۳۱۸۰	۶۰۷۷	-۲۵۷۲۷	۱۲۰۰	۱۹۳۲	۵۰۲۹	-۱۴۲۹۵	-۱۶۷۰۴	-۱۱۱۷۱	۰۵.۳۷
۱۲	۸	۳	۱	۱۲۷۳	۲۲۲۶	-۱۰۵۰۳	۹۵۱	۲۲۸۸	-۷۲۲۳	۶.۳۷	۶۹۶	۲۲۷۱	-۴۶۹۲	-۶۲۹۸	-۳۰۲۰	۷۳.۲۲
۱۳	۸	۳	۲	۲۴۹۴	۴۳۷۴	-۲۰۵۶۵	۱۳۱۲	۴۳۸۳	-۸۷۴۲	۱۲۰۰	۱۰۴۵	۳۰۸۹	-۷۳۶۶	-۸۶۶۴	-۵۶۶۶	۰۸.۳۰
۱۴	۸	۳	۳	۳۷۵۲	۵۷۲۶	-۳۱۷۹۳	۳۲۹۷	۵۷۳۳	-۲۷۲۴۳	۱۲۰۰	۱۸۱۵	۵۰۳۴	-۱۳۱۱۸	-۱۶۷۲۲	-۹۱۸۲	۹۴.۳۶
۱۵	۹	۳	۱	۱۱۲۲	۲۲۴۴	-۸۹۷۵	۸۷۹	۲۳۰۱	-۶۴۸۹	۳۴۱	۴۹۳	۲۱۰۸	-۲۸۲۵	-۵۲۲۰	-۴۴۳	۹.۲۲
۱۶	۹	۳	۲	۲۶۹۲	۳۹۱۶	-۲۳۰۰۳	۲۴۱۳	۳۹۲۵	-۲۰۲۰۹	۱۲۰۰	۱۴۳۲	۳۵۸۴	-۱۰۷۳۴	-۱۲۷۴۸	-۸۴۸۸	۴۲.۳۰
۱۷	۹	۳	۳	۴۱۱۸	۶۵۸۷	-۳۴۵۹۲	۲۶۲۵	۶۶۷۰	-۱۹۵۸۵	۱۲۰۰	۱۶۵۶	۵۶۸۲	-۱۰۸۷۷	-۱۴۳۰۳	-۵۴۲۸	۸۹.۴۴
۱۸	۱۰	۳	۱	۱۵۰۲	۲۲۱۹	-۱۲۸۰۰	۱۴۵۱	۲۳۳۳	-۱۲۱۷۹	۱۲۰۰	۵۵۹	۲۲۱۴	-۳۳۷۶	-۵۹۴۷	-۶۵۱	۵۲.۳۸
۱۹	۱۰	۳	۲	۳۰۱۴	۴۱۵۸	-۲۵۹۸۱	۲۹۴۸	۴۲۶۰	-۲۵۲۲۰	۱۲۰۰	۱۸۱۱	۷۷۱۰	-۱۰۴۰۰	-۱۳۵۸۷	-۸۲۶۱	۱۸.۴۳
۲۰	۱۰	۳	۳	۴۴۵۴	۶۱۸۲	-۳۸۳۵۷	۲۴۶۷	۶۶۷۸	-۱۷۹۹۲	۱۲۰۰	۱۴۸۹	۳۷۳۳	-۱۱۱۵۷	-۱۶۰۰۰	-۵۶۲۷	۳۱.۵۹

در مساله مسیریابی تولید در شرایط بدون رقابت، تمامی تقاضاها باید تامین گردند. همچنین طبق مدل رائه شده در این تحقیق، توزیع کننده موظف است تمامی تقاضای مشتری را در صورت رسیدن به موقع تامین نماید. بنابراین جهت مقایسه دو شرایط رقابتی و عدم رقابت،

بیشینه‌سازی تقاضای تامین شده نسبت به کمینه سازی هزینه‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین در این تحقیق از نرمال‌سازی توابع هدف و انواع روش‌های مختلف برنامه ریزی چندهدفه استفاده نشده است، چرا که در روش‌های نرمال‌سازی، بدترین و بهترین توابع هدف مورد نیاز است و حال آنکه این تحقیق به مقایسه دو شرایط متفاوت مساله با بهترین و بدترین میزان توابع هدف می‌پردازد. بنابراین ضریب سود تامین تقاضا در تابع هدف (γ) برابر ۱۰ فرض شده است، این مقدار به طوری تعیین شده است که تامین تقاضا از درجه اهمیت بیشتری برخوردار باشد. در جدول ۱، مسائل با اندازه‌های متفاوت به طور تصادفی تولید شده‌اند. حل مسائل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات به تعداد ۱۰ بار تکرار شده است. پاسخ‌های نرم افزار گمز جهت رسیدن به جواب در کمتر از ۲۰ دقیقه مدنظر بوده است و در صورت عدم توانایی نرم افزار برای حل در زمان کمتر میزان تابع هدف ارائه شده در دقیقه ۲۰ ام ارائه شده است.



شکل ٤: تغییرات و بهبود مقادیر تابع هدف در طی مراحل جستجوی الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای مساله با ابعاد ۲۰,۷,۱

جدول ۲ -کارایی عملکرد الگوریتم در مسائل با ابعاد بزرگ

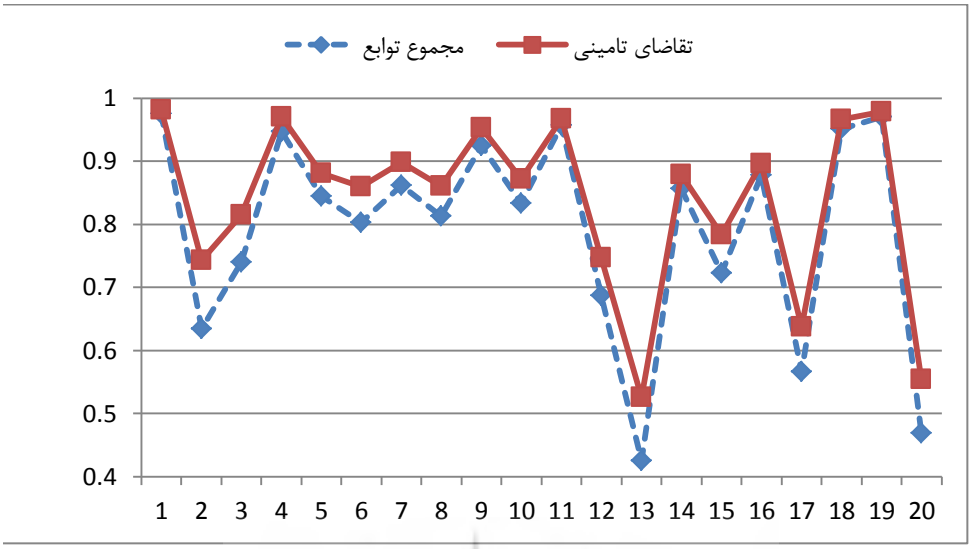
ابعاد مساله	الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات								حد پایین		
	میزان تابع	هزینه	تقاضا	اولین پاسخ	نوع پاسخ	میانگین تابع	میانگین زمان	بدترین پاسخ	بهترین پاسخ	میزان تابع	هزینه	تقاضا
۱-۷-۲۰	-۴۱۱۲	۲۱۷۷	۶۲۹	۱۲۱۶۳	شدنی	-۷۵.۴۵۲۷	۹۷۵.۳۳	-۳۶۹۸	-۵۴۱۳	-۸۳۷۱	۲۲۶۷	۱۰۶۳
	-۵۴۱۳	۲۲۷۰	۷۶۸	۳۸۶۱	شدنی							
	-۴۸۸۸	۲۳۳۷	۷۲۲	۶۳۲۸	شدنی							
	-۳۶۹۸	۲۱۵۱	۵۸۴	۵۳۳۱	شدنی							
۲-۷-۲۰	-۹۲۸۰	۸۸۰۲	۱۸۰۸	۵۹۲۹	شدنی	-۱۱۳۵۶	۱.۶۷	-۸۸۴۹	-۱۴۱۷۲	-۱۷۰۳۵	۴۵۲۲	۲۱۵۵
	-۸۸۴۹	۱۴۳۶۵	۲۳۲۱	۱۴۰۰۰	شدنی							
	-۱۳۱۲۳	۵۲۱۰	۱۸۳۳	۶۴۹۸	شدنی							
	-۱۴۱۷۲	۸۱۴۴	۲۲۳۱	۴۹۳۸	شدنی							
۱-۲۰-۵۰	-۵۹۲۵	۵۹۱۲	۱۱۸۳	۴۲۱۰	شدنی	-۵.۸۱۰۳	۴۵.۹۹	-۵۹۲۵	-۱۰۵۰۹	-۱۲۸۶۹	۳۵۴۴	۱۶۴۱
	-۸۳۸۰	۴۷۶۹	۱۳۱۵	۱۹۸۰۹	شدنی							
	-۷۶۰۰	۵۴۶۴	۱۳۰۶	۶۰۶۴	شدنی							
	-۱۰۵۰۹	۴۵۶۹	۱۵۰۷	۸۲۶۹	شدنی							
۲-۲۰-۵۰	-۵۲۱۱	۱۹۰۳۵	۲۴۲۴	۶۵۸۰	شدنی	-۹۸۴۱	-۵.۳۷۸۳	-۴۲۸۰	-۱۵۶۵۶	-۲۴۳۷۸	۲۷۸۰۲	۵۲۱۸
	-۱۴۲۱۷	۱۸۷۱۲	۳۲۹۳	۲۳۴۰	شدنی							
	-۴۲۸۰	۱۷۴۰۸	۲۱۶۸	۵۵۰۷	شدنی							
	-۱۵۶۵۶	۱۸۴۰۵	۳۴۰۶	۶۱۶۹	شدنی							

در تحقیق (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۵)، با توجه به رابطه مساله مسیریابی تولید رقابتی و مساله مسیریابی تولید در شرایط عدم رقابت، برای نشان دادن کارایی الگوریتم در ابعاد بزرگ از جواب حد پایین استفاده شده است به طوریکه محدودیت‌های مربوط به پنجره‌های زمانی و رقابت را حذف و آزادسازی نموده است و از مساله مسیریابی خودرو به عنوان حدپایین مساله مسریابی رقابتی و حدپایین الگوریتم استفاده شده است. در این تحقیق نیز مشابه با تحقیق

(توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۰۵) و با توجه به رابطه مساله مسیریابی تولید رقابتی و مساله مسیریابی تولید در شرایط عدم رقابت، از مساله مسیریابی تولید در شرایط عدم رقابت به عنوان حدپایین بهره برده و مساله به ازای اندازه‌های بزرگ حل شده‌اند و حل مسائل حدپایین پس از حدودا دو ساعت ارائه شده است. جدول ۲ نشان دهنده مقایسات عملکرد الگوریتم پیشنهادی است. اعداد در ابعاد مساله ارائه شده در جدول ۲ به ترتیب نشانگر تعداد مشتریان، تعداد خودرو و تعداد دوره برنامه ریزی می‌باشد. فاصله میان اولین پاسخ و پاسخ نهایی الگوریتم نشان دهنده کارایی الگوریتم در جستجو بهبود جواب است. همانطور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، تمامی مقادیر توابع هدف در اولین پاسخ مثبت هستند و این بدین معناست که مجموع هزینه‌ها از ده برابر تقاضای تامین شده در پاسخ اولیه بیشتر است. شکل ۴ نشان می‌دهد که چگونه الگوریتم در طی مراحل جستجو از پاسخ اولیه به پاسخ نهایی در حل مساله با ابعاد ۲۰ مشتری و ۷ خودرو در یک دوره رسیده است.

تحلیل نتایج

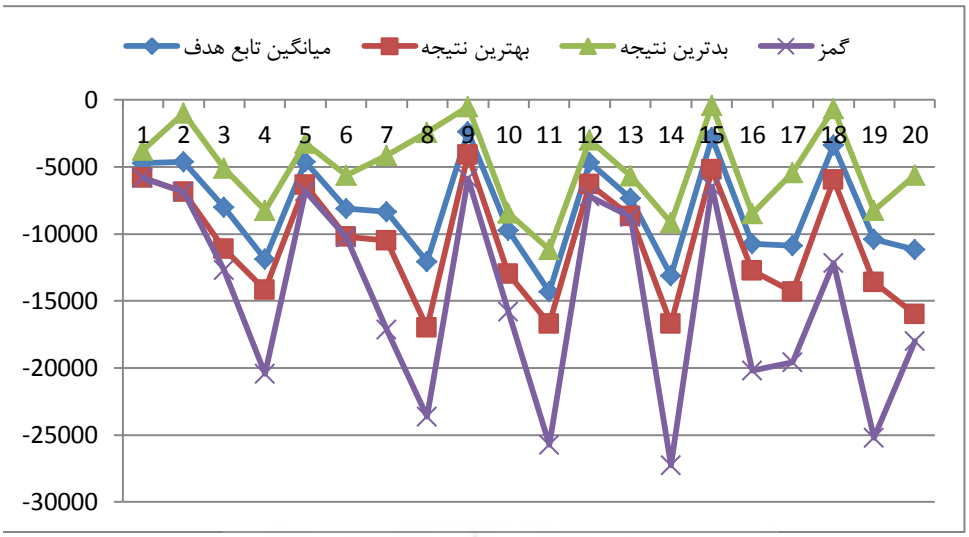
قسمت اول جدول ۱ مقایسات مساله‌های مسیریابی تولید در شرایط رقابتی و عدم رقابت را ارائه می‌دهد. این دو مساله تنها در میزان زودترین و دیرترین زمان رسیدن رقیب و کاسته شدن در تقاضای هر دوره تفاوت دارند. شایان ذکر است که اگر زودترین زمان رسیدن رقیب از مجموع زمان‌های لازم جهت سپری کردن یک خودرو در بین تمامی شهرها بیشتر باشد، مساله پاسخی معادل با مساله مسیریابی تولید در شرایط بدون رقابت خواهد داشت. در تمامی مسائل حل شده میزان تقاضای تامین شده و مجموع میزان هزینه‌ها در مساله در شرایط عدم رقابت، بیشتر است و مجموع موزون دو تابع هدف نیز، در تمامی مسائل بهتر از مسائل در شرایط رقابتی بوده است. این رخداد به دلیل محدودیت زمانی در تامین تقاضا و عدم امکان تامین تمامی تقاضاها در مساله مسیریابی تولید رقابتی، طبیعی بوده و نشانگر صحت مدل ارائه شده است. شکل ۵ نشانگر نسبت توابع هدف و تقاضای تامین شده در شرایط رقابتی و عدم رقابت است.



شکل ۵- نسبت توابع هدف و تقاضای تامین شده در شرایط رقابتی و عدم رقابت

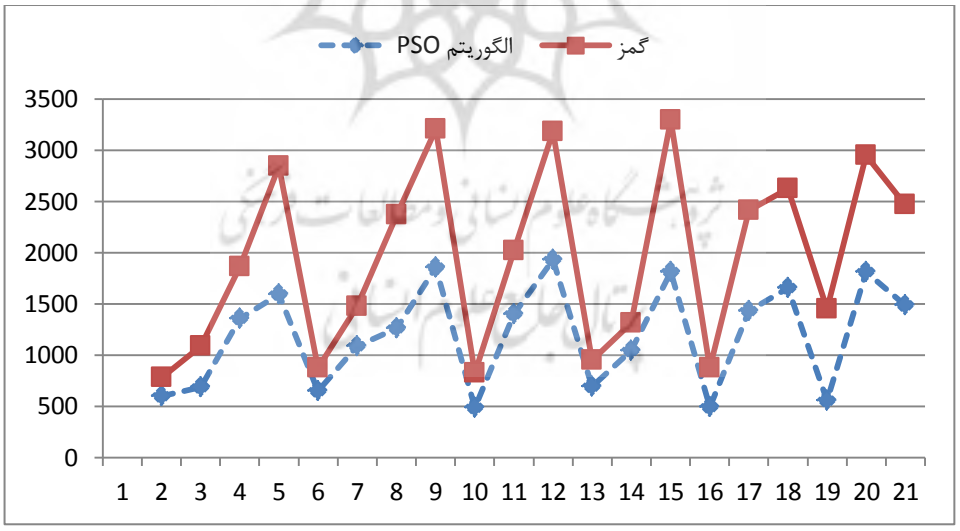
نیمه دیگر جدول ۱ به مقایسه نتایج عددی حاصل از نرم افزار گمز و الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی تجمع ذرات و عملکرد آن دو می‌پردازد. شکل ۶ میزان توابع هدف حاصل از حل خلاصه شده در جدول ۱ را نشان می‌دهد و نشان می‌دهد که بهترین پاسخ‌ها تقریبا نزدیک به جواب حاصل از نرم افزار گمز است و معیار مناسب‌تری برای ارائه جواب است و پراکندگی پاسخ‌ها در بهترین و بدترین جواب برای مسائل مختلف حدودا ثابت است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

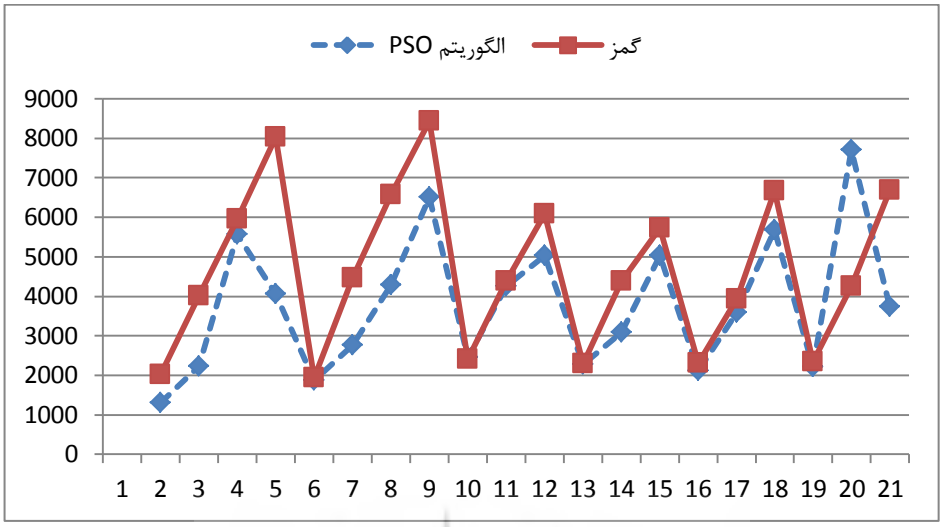


شکل ٦- مقایسات میزان توابع هدف

شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب مقایسه تقاضای تامین شده و مجموع هزینه‌ها در مسائل مسیریابی تولید رقابتی حاصل از حل با نرم افزار گمز و الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات می‌پردازند. مقادیر تقاضای تامین شده و مجموع هزینه‌های ذکر شده در جدول ۱ و شکل‌های ۷ و ۸، به ازای حل با الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات، میانگین حاصل از ۱۰ تکرار الگوریتم است.

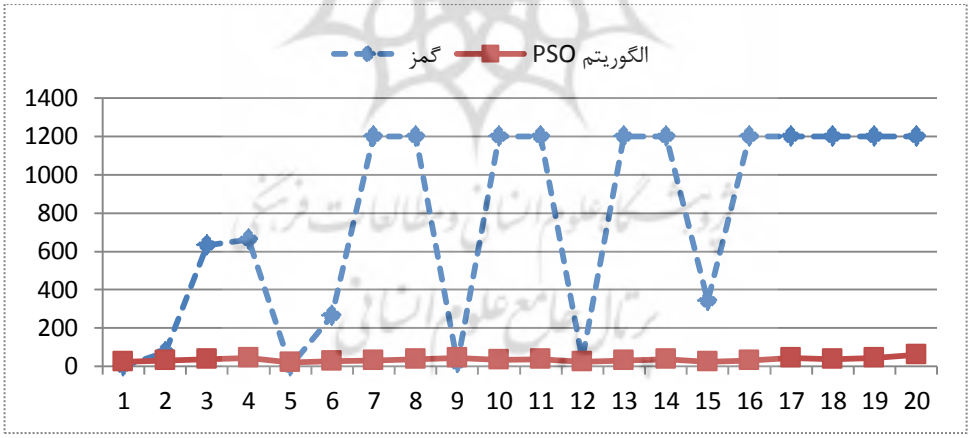


شکل ۷- مقایسات تقاضای تامین شده



شکل ۸- مقایسات مجموع هزینه‌ها

شکل ۹ نیز متوسط زمان‌های حل مساله مسیریابی تولید رقابتی توسط الگوریتم و نرم افزار گمز را که در جدول ۱ ارائه شده است، مورد مقایسه قرار می‌دهد.



شکل۹ - متوسط زمان حل الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات و نرم افزار گمز

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر مسئله مسیریابی تولیدی بررسی شد که در آن فرض شده است توزیع از تولیدکننده به خرده فروشان توسط تعداد محدودی از وسایل نقلیه با ظرفیت محدود و هزینه‌های مسیریابی صورت می‌گیرد و اگر تقاضا توسط رقیب در یک بازه زمانی مشخص تامین شود، تبدیل به تقاضای از دست رفته خواهد شد. همچنین فرض شده است که اگر محصولات در کارخانه و یا در خرده فروشان ذخیره شوند، باید متحمل هزینه‌های نگهداری واحد موجودی شوند. این مساله تحت عنوان مسیریابی تولید رقابتی مطرح بوده و در این تحقیق مدل و حل گشته است. همچنین الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای حل مساله در ابعاد بزرگ توسعه داده شد و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد زمان حل نرم افزار گمز شدیدا وابسته به پارامترهای مساله است و الگوریتم ارائه شده نیز دارای و کارایی مناسبی است. برای مطالعات آتی استفاده از سایر روشهای فراابتکاری و نیز حل مسئله در شرایط چندهدفه پیشنهاد می‌گردد. پیاده‌سازی شرایط رقابتی با استفاده از تئوری بازی‌ها و در نظر گرفتن فرض پنجره زمانی نرم برای تامین تقاضا نیز می‌توانند زمینه‌های مطالعاتی مناسبی برای تحقیقات آتی باشند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

Adulyasak, Y., Cordeau, J. F., & Jans, R. (2012). *Optimization-based adaptive large neighborhood search for the production routing problem.* Transportation Science, *48*(1), 20-45.

Adulyasak, Y., Cordeau, J. F., & Jans, R. (2013). *Formulations and branch-and-cut algorithms for multivehicle production and inventory routing problems.* INFORMS Journal on Computing, 26(1), 103-120.

Adulyasak, Y., Cordeau, J. F., & Jans, R. (2015a). *Benders decomposition for production routing under demand uncertainty*. Operations Research, *63*(4), 851-867.

Adulyasak, Y., Cordeau, J. F., & Jans, R. (2015b). *The production routing problem: A review of formulations and solution algorithms.* Computers & Operations Research, *55*, 141-152.

Archetti, C., Bertazzi, L., Paletta, G., & Speranza, M. G. (2011). *Analysis of the maximum level policy in a production-distribution system*. Computers & Operations Research, 38(12), 1731-1746.

Armentano, V. A., Shiguemoto, A. L., & Løkketangen, A. (2011). *Tabu search with path relinking for an integrated production–distribution problem.* Computers & Operations Research, 38(8), 1199-1209.

Bard, J. F., & Nananukul, N. (2009a). *The integrated production–inventory–distribution–routing problem.* Journal of Scheduling, *12*(3), 257.

Bard, J. F., & Nananukul, N. (2009b). *Heuristics for a multiperiod inventory routing problem with production decisions.* Computers & Industrial Engineering, *57*(3), 713-723.

Bard, J. F., & Nananukul, N. (2010). *A branch-and-price algorithm for an integrated production and inventory routing problem.* Computers & Operations Research, *37*(12), 2202-2217.

Boudia, M., & Prins, C. (2009). *A memetic algorithm with dynamic population management for an integrated production–distribution problem.* European Journal of Operational Research, 195(3), 703-715.

Boudia, M., Louly, M. A. O., & Prins, C. (2007). *A reactive GRASP and path relinking for a combined production–distribution problem*. Computers & Operations Research, 34(11), 3402-3419.

Brahimi, N., & Aouam, T. (2012). *Integrated and decoupled models for the production routing problem with backlogging. In The Second International Conference on Industrial Engineering and Manufacturing* (ICIEM 2012).

Brahimi, N., & Aouam, T. (2016). *Multi-item production routing problem with backordering: a MILP approach.* International Journal of Production Research, *54*(4), 1076-1093.

Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005). *Vehicle routing problem with time windows, Part I: Route construction and local search algorithms.* Transportation science, 39(1), 104-118.

Chandra, P. (1993). *A dynamic distribution model with warehouse and customer replenishment requirements*. Journal of the Operational Research Society, *44*(7), 681-692.

Chandra, P., & Fisher, M. L. (1994). *Coordination of production and distribution planning*. European Journal of Operational Research, *72*(3), 503-517.

Cordeau JF, Desaulniers G, Desrosiers J, Solomon MM, Soumis F, (2002). *The VRP with time windows.* In: Toth P, Vigo D, editors. The vehicle routing problem, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, Vol. 9, Philadelphia, PA;. 157˚194.

Eberhart, R. C., Shi, Y., & Kennedy, J. (2001). *Swarm intelligence*. Elsevier. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.

Fumero, F., & Vercellis, C. (1999). *Synchronized development of production, inventory, and distribution schedules.* Transportation science, *33*(3), 330-340.

Kulkarni, R. V., & Bhave, P. R. (1985*). Integer programming formulations of vehicle routing problems.* European Journal of Operational Research, 20(1), 58-67.

Kumar, R. S., Kondapaneni, K., Dixit, V., Goswami, A., Thakur, L. S., & Tiwari, M. K. (2016). *Multi-objective modeling of production and*

pollution routing problem with time window: A self-learning particle swarm optimization approach. Computers & Industrial Engineering, *99*, 29-40.

Kuo, R. J., Wibowo, B. S., & Zulvia, F. E. (2016). *Application of a fuzzy ant colony system to solve the dynamic vehicle routing problem with uncertain service time*. Applied Mathematical Modelling, 40(23-24), 9990-10001.

Lahyani, R., Khemakhem, M., & Semet, F. (2015). *Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition.* European Journal of Operational Research, *241*(1), 1-14.

Lai, D. S., Demirag, O. C., & Leung, J. M. (2016). *A tabu search heuristic for the heterogeneous vehicle routing problem on a multigraph.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 86, 32-52.

Lei, L., Wang, Q., & Fan, C. (2006). *Optimal business policies for a supplier–transporter–buyer channel with a price-sensitive demand.* Journal of the Operational Research Society, *57*(3), 281-289.

Lenstra, J. K., & Kan, A. H. G. (1981). *Complexity of vehicle routing and scheduling problems.* Networks, 11(2), 221-227.

Moin, N. H., & Yuliana, T. (2015). *Three-phase methodology incorporating scatter search for integrated production, inventory, and distribution routing problem.* Mathematical Problems in Engineering, 2015.

Montoya-Torres, J. R., Franco, J. L., Isaza, S. N., Jiménez, H. F., & Herazo-Padilla, N. (2015). *A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots*. Computers & Industrial Engineering, 79, 115-129.

Norouzi, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghazanfari, M., Alinaghian, M., & Salamatbakhsh, A. (2012). *A new multi-objective competitive open vehicle routing problem solved by particle swarm optimization.* Networks and Spatial Economics, 12(4), 609-633.

Nourmohammadzadeh, A., & Hartmann, S. (2016, December). *The fuel-efficient platooning of heavy duty vehicles by mathematical*

programming and genetic algorithm. In International Conference on Theory and Practice of Natural Computing (pp. 46-57). Springer, Cham.

Osaba, E., Carballedo, R., Yang, X. S., & Diaz, F. (2016). *An evolutionary discrete firefly algorithm with novel operators for solving the vehicle routing problem with time windows.* In Nature-Inspired Computation in Engineering , Springer, Cham. 21-41

Qureshi, A. G., Taniguchi, E., & Yamada, T. (2009). *An exact solution approach for vehicle routing and scheduling problems with soft time windows.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 45(6), 960-977.

Repoussis, P. P., Tarantilis, C. D., Bräysy, O., & Ioannou, G. (2010). *A hybrid evolution strategy for the open vehicle routing problem.* Computers & Operations Research, 37(3), 443-455.

Ruokokoski, M., Solyali, O. G. U. Z., Cordeau, J. F., Jans, R., & Süral, H. (2010). *Efficient formulations and a branch-and-cut algorithm for a production-routing problem.* GERAD Technical Report G-2010-*66*.

Shiguemoto, A. L., & Armentano, V. A. (2010). *A tabu search procedure for coordinating production, inventory and distribution routing problems.* International Transactions in Operational Research, *17*(2), 179-195.

Solyal , O., & Sخral, H. (2009). *A relaxation based solution approach for the inventory control and vehicle routing problem in vendor managed systems.* In Modeling, computation and Optimization (pp. 171-189).

Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N., & Shariat, M. A. (2005). *A multi-criteria vehicle routing problem with soft time windows by simulated annealing.* Journal of Industrial Engineering-Int 1.1 28-36.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Saremi, A. R., & Ziaee, M. S. (2006). *A memetic algorithm for a vehicle routing problem with backhauls.* Applied Mathematics and Computation, 181(2), 1049-1060.

Zachariadis, E. E., & Kiranoudis, C. T. (2010). *A strategy for reducing the computational complexity of local search-based methods for the vehicle routing problem.* Computers & operations research, 3*7*(12), 2089-2105.