

Scheduling of Trucks at The Cross-Dock By The 4th Party Logistics Service Provider, Taking Into Account Fixed Costs and Waiting Costs

Mostafa Bakhtiari, Mohammad Mahdi Nasiri*, Fariborz Jolai

*Associate Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 03/04/2023; Accepted: 25/10/2023)

Abstract

In this paper, the scheduling of inbound and outbound trucks in a cross-dock is investigated. The objective is to minimize the total cost of transportation from the supplier to the cross-dock, transfer costs from the cross-dock to the retailers, fixed costs for selecting and contracting with the desired fleets, and also the waiting time of the trucks at the cross-dock. Also, the selection of more suitable fleets, as well as the selection and allocation of vehicles for each fleet to transport goods from each supplier, as well as the allocation of the appropriate vehicle to transport goods for each retail store, are calculated according to heterogeneous vehicles and the various orders of each retailer. Also, the appropriate allocation of trucks to the doors, the sequence of trucks in the queue, and the arrival time and departure time of the vehicles are calculated. A MIP model is formulated. Since this model is NP-Hard, the meta-heuristic method of the genetic algorithm is also presented to solve larger problems. Then, to confirm the effectiveness, several examples are examined and the results obtained from solving the mathematical model, and the meta-heuristic solution are compared. In the end, a detailed sensitivity analysis has been performed on the outputs, which shows that the proposed method is fully approved and works very close to the exact method in small dimensions, with the difference that it has the ability to solve larger problems as well.

Keywords: Cross Dock, Truck Scheduling, 4PL, Fleet Selection, Fixed Cost

*Corresponding Author E-mail: mmnasiri@ut.ac.ir

علمی - پژوهشی

زمان بندی کامیون‌ها در بارانداز عبوری توسط ارائه‌کننده خدمات لجستیکی طرف چهارم با در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت و هزینه‌های معطلی

مصطفی بختیاری^۱، محمدمهدی نصیری^{۲*}، فریبرز جولای^۳

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی صنایع، دانشکده‌های پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران ۲- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، پردیس

دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران ۳- استادتمام دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۳)

چکیده

خدمات لجستیکی طرف چهارم یا 4PL یک مدل عملیاتی تجاری است که در آن مدیریت زنجیره تامین و تدارکات به‌طور کامل به یک ارائه‌دهنده خدمات خارجی برون‌سپاری می‌شود. این طرف شریک مسئول نظارت بر کل زنجیره تامین، از جمله ارزیابی، طراحی، ساخت، اجرا و اندازه‌گیری راه‌حل‌های فروشگاه خواهد بود. یکی از شرکا بر هماهنگی انبارها، شرکت‌های حمل‌ونقل، حمل‌ونقل و نمایندگان نظارت می‌کند در حالی که زنجیره تامین را از طرف فروشگاه مدیریت می‌کند. در این مقاله یک مسئله زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در یک سیستم چندین درب انبار عبوری با در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت انتخاب و انعقاد قرارداد با ناوگان حمل‌ونقل و نیز هزینه‌های انتظار کامیون‌ها در صف در بارانداز عبوری بررسی می‌شود. مسئله مورد بررسی به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی ریاضی تک‌هدفه جهت کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل از تامین‌کننده به بارانداز عبوری، هزینه‌های انتقال از بارانداز عبوری به خرده‌فروشان، هزینه‌های ثابت جهت انتخاب و عقد قرارداد با ناوگان‌های مورد نظر و نیز حداقل کردن زمان انتظار کامیون‌ها در بارانداز عبوری فرموله می‌شود. در این مسئله علاوه بر تمرکز بر کاهش این هزینه‌ها، انتخاب ناوگان‌های مناسب‌تر و همچنین انتخاب و تخصیص وسایل نقلیه هر ناوگان جهت حمل کالا از هر تامین‌کننده و همچنین تخصیص وسیله نقلیه مناسب جهت حمل کالا برای هر خرده‌فروشی با توجه به ظرفیت‌های متنوع وسایل حمل‌ونقل و نیز مقدار سفارشات متنوع هر خرده‌فروش محاسبه می‌شود. همچنین تخصیص مناسب کامیون‌ها به درب‌ها در بارانداز عبوری و نیز توالی و جایگاه کامیون‌ها در صف و زمان‌بندی حضور در بارانداز و ترک بارانداز عبوری محاسبه می‌شود. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط برای این مسئله پیشنهادی فرمول‌بندی می‌شود. با توجه به اینکه این مدل از نوع NPHard بوده و توانایی حل مسائل بزرگ را ندارد، مدل فراابتکاری الگوریتم ژنتیک نیز برای حل مسائل بزرگ‌تر توسعه داده شد و سپس جهت تأیید صحت و عملکرد مؤثر روش فراابتکاری پیشنهاد شد. مثال‌های متعددی در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ و در هر اندازه تعداد ۳۰ مثال بررسی و در نرم‌افزار GAMS کد شده است و نتایج حاصل از حل دقیق در نرم‌افزار گمز و حل فراابتکاری که در MATLAB کد شده است در جدولی درج و تحلیل‌های آماری انجام شده است. در پایان تحلیل حساسیت مفصلی بر روی خروجی مثال‌های عددی انجام شده است که نشان می‌دهد روش پیشنهاد شده کاملاً مورد تأیید بوده و در ابعاد کوچک بسیار نزدیک به روش دقیق عمل می‌کند، با این تفاوت که روش فراابتکاری پیشنهاد شده توانایی حل مسائل بزرگ‌تر را نیز دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بارانداز عبوری، زمان‌بندی کامیون‌ها، عامل چهارم، انتخاب ناوگان، وسایل حمل‌ونقل ناهمگن

۱- مقدمه

می‌گردد. استفاده از این روش برای حمل‌ونقل کالاهایی که به‌واسطه عمر کوتاهشان در معرض فساد قرار دارند توصیه می‌شود تا در کمترین زمان به تحویل‌گیرنده برسند. عملیات بارانداز عبوری اولین بار در صنعت حمل‌ونقل ایالات متحده در دهه ۱۹۳۰ استفاده شد. در آن زمان برای حمل‌ونقل تجهیزات جنگی که نگهداری آن‌ها در مناطق جنگی برای طولانی‌مدت معقول به نظر نمی‌رسید استفاده از این روش رویکرد مفیدی بود. همچنان استفاده از این روش تا دهه ۱۹۵۰ تنها برای عملیات جنگی مرسوم بود. سپس وال‌مارت در اواخر

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدیریت زنجیره تامین، کنترل کارآمد جریان فیزیکی در زنجیره تامین است که با توجه به اهمیت آن، بسیاری از شرکت‌ها سعی در توسعه روش‌های کارآمد برای افزایش رضایت مشتری و کاهش هزینه‌ها دارند. بارانداز عبوری^۱ روش مناسبی برای کاهش زمان تحویل کالا و بهبود پاسخگویی به خواسته‌های مشتریان می‌باشد.

به‌طور کلی، بارانداز عبوری به عمل تخلیه کالا از وسایل نقلیه ورودی و بارگیری مستقیم آن‌ها بر روی وسایل نقلیه خروجی اطلاق

^۱Cross-Docking

* رایانامه نویسنده مسئول: mmnasiri@ut.ac.ir

روی فرایند ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت کالا با استفاده از روش بارانداز عبوری تحقیق کردند. هدف از این مطالعه تعیین مکان‌های ذخیره‌سازی موقت برای بارهای واحد ورودی به‌گونه‌ای بود که مسافت طی شده توسط لیفتراک‌ها با این بارهای واحد به حداقل برسد. در سال ۱۳۹۶، غفاری و بدلی عملیات بارانداز عبوری را در پژوهش‌های مختلف در مقایسه با تجربیات صنعتی بررسی کردند. نویسندگان اظهار کردند که استفاده از بارانداز عبوری روشی کاربردی برای کاهش ذخیره موقت اقلام است [۴]. در سال ۲۰۱۶، استفاده از الگوریتم تبرید شیشه‌سازی شده (SA) برای حل مسئله مسیریابی باز وسیله نقلیه با بارانداز عبوری پیشنهاد شد [۵]. در سال ۱۴۰۱، مریم شعاعی و پروانه سموئی با استفاده از روش تجزیه بندرز، بهینه‌سازی چیدمان بارانداز عبوری خرده‌فروشی در سیستم تولید به‌موقع را ارائه کردند و نتایج مهمی به دست آوردند [۶]. هدف مقاله تعیین تخصیص مکان‌های کف انبار به خرده‌فروشان به‌گونه‌ای بود که مسافت طی شده در انبار کمینه گردد و این هدف در نهایت به‌دست آمد.

به‌طور کلی بارانداز عبوری در چهار مرحله‌ی دریافت، ذخیره سازی، انتخاب سفارش، و حمل و نقل به کار می‌رود. در این مراحل زمان‌بندی از اهمیت بالایی به‌هنگام دریافت کالا و تحویل آن برخوردار است. از این رو محققان بسیاری به شکل تخصصی در این زمینه مطالعه کرده‌اند. به عنوان مثال، ناسیف^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۸ یک روش نوین برای یکپارچه سازی زمان بندی و تخصیص درب‌های ورودی در یک بارانداز عبوری را با در نظر گرفتن دو محیط ایستا و پویا ارائه کردند. در حالتی که کل وزن هزینه‌های تاخیر و هزینه کار ناشی از درب تخلیه محصول به حداقل می‌رسید، بهترین توالی کامیون‌های ورودی و تخصیص آن‌ها به درب بارانداز عبوری بدست می‌آمد [۷]. گلاره^۲ و همکاران در سال ۲۰۲۰ مدل‌های ریاضی برنامه ریزی خطی عدد صحیح مخلوط^۳ (MILP) برای حل مسئله تخصیص در بارانداز عبوری را پیشنهاد دادند. در تمامی این مسائل زمان بندی کامیون و تعیین توالی مناسب آن نقش به‌سزایی در جریان یافتن محصول، کاهش زمان پردازش، و به حداقل رسیدن هزینه‌ی کل دارد. در این گونه مسائل تخصیص کامیون به درب نیز نقش تعیین کننده در مسئله تخصیص دارد چرا که بخشی از مسئله زمان بندی است [۸]. فونسکا^۴ و همکاران با در نظر گرفتن یک روش ترکیبی با توجه به روش آزادسازی لاگرانژ^۵، یک مدل برای زمان‌بندی کامیون‌ها ارائه کردند که مدت زمان انجام کار را تا حد قابل قبولی به حداقل می‌رساند [۹]. نصیری و شهرابی در سال ۱۳۹۸ مسئله زمان بندی و مسیریابی وسایل نقلیه در بارانداز عبوری پایدار را بررسی کردند. در این مسئله فرایند تحویل بار به مشتری با کاهش عمر طراوت محصولات در کمترین زمان انجام

دهه ۱۹۸۰ شروع به استفاده از بارانداز عبوری در بخش خرده‌فروشی کرد و کاربرد آن در این زمینه را مطرح کرد. از سال ۲۰۱۴ تا به حال تقریباً نیمی از انبارهای ایالات متحده به‌صورت بارانداز عبوری کار می‌کنند [۱]. محصولات به انباری تحویل داده می‌شوند که در آنجا مرتب شده و بلافاصله برای حمل‌ونقل آماده می‌شوند و در کامیون‌های دیگر مستقر در همان انبار بارگیری می‌شوند. امروزه استفاده از بارانداز عبوری علاوه بر بخش‌های دیگر در زنجیره تأمین مواد غذایی با عمر کوتاه به طرز چشمگیری محبوبیت پیدا کرده است. همچنین این روش جدید برای کاهش هزینه‌های لجستیک در شبکه‌های توزیع توصیه می‌شود. از این رو پیاده‌سازی آن در بازار رقابتی امروزه می‌تواند نقش به‌سزایی داشته باشد. مزایای بارانداز عبوری شامل موارد زیر است:

- ساده کردن زنجیره تأمین از نقطه مبدأ تا نقطه فروش.
- کاهش یا حذف هزینه‌های انبارداری.
- کاهش هزینه‌های نگهداری کالا با کاهش زمان ذخیره‌سازی.
- خطر کمتر آسیب به کالا.
- توزیع سریع‌تر کالا به توزیع‌کننده اصلی و مشتری.

هدف از انجام این مقاله بررسی یک مسئله زمان‌بندی کامیون ورودی و خروجی در یک سیستم چندین درب انبار عبوری با در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت انتخاب و انعقاد قرارداد با ناوگان حمل‌ونقل و هزینه‌های انتظار کامیون‌های در صف بارانداز عبوری است. این مسئله به شکل یک مسئله برنامه‌ریزی ریاضی تک هدف جهت کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل از تأمین‌کننده به بارانداز عبوری، هزینه‌های انتقال از بارانداز عبوری به خرده‌فروشان، هزینه‌های ثابت جهت انتخاب و عقد قرارداد با ناوگان‌های موردنظر و نیز حداقل کردن زمان انتظار کامیون‌ها در بارانداز عبوری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. کامیون‌ها به‌طور بهینه به درب‌ها اختصاص یافتند و در بارانداز و نیز توالی و جایگاه کامیون‌ها در صف و زمان‌بندی در بارانداز و ترک بارانداز عبوری محاسبه می‌شود. براین اساس یک مدل برنامه‌ریزی مخلوط عدد صحیح برای این مسئله پیشنهادی ارائه می‌شود.

۲- مرور پژوهش‌های پیشین

از دهه‌های گذشته تاکنون، استفاده از بارانداز عبوری به‌طرز چشمگیری توسعه یافته است و پیشرفت‌های متعددی در این زمینه انجام شده است. در سال ۲۰۰۰، آپته و ویسواناتان چارچوبی را برای درک و طراحی سیستم‌های بارانداز عبوری ارائه کردند و تکنیک‌هایی را مورد بحث قرار دادند که می‌تواند کارایی کلی عملیات لجستیک و توزیع را بهبود بخشد [۲]. در سال ۲۰۰۸، ویس و رودبرگن [۳] بر

¹ Nassief

² Gelareh

³ Mixed Integer Linear Progeamming

⁴ Fonseca

⁵ Lagrangian Relaxation

مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مخلوط را برای بهینه‌سازی زمان‌بندی، ذخیره‌سازی، تخصیص و توالی کامیون‌ها در سکوها دریافت و حمل و نقل برای یک مسئله‌ی الهام‌گرفته از تأسیسات چنددری بارانداز عبوری یک شریک صنعتی با چندین منطقه ذخیره سازی موقت ارائه کردند.

با توجه به پژوهش‌های اشاره شده می‌توان گفت که بارانداز عبوری باهدف کاهش زمان توزیع و ایجاد جریان یکپارچه محصولات از تأمین‌کنندگان به مشتریان شکل می‌گیرد، از این‌رو یک استراتژی به‌موقع^۳ برای لجستیک توزیع به‌حساب می‌آید.

در صنعت لجستیک، مدل‌های تجاری ارائه‌دهندگان خدمات لجستیک بر اساس محدوده خدمات و ساختار آن‌ها دسته‌بندی می‌شوند. یک طرح طبقه‌بندی محبوب، طرح طرف اول^۴ (1PL) تا طرف پنجم است [۱۹]. ارائه‌دهندگان خدمات واحد 1PL شامل خدمات تدارکاتی یعنی حمل و نقل یا انبارداری است. ارائه‌دهندگان خدمات لجستیک طرف دوم^۵ (2PL) کلیه عملیات لجستیک کلاسیک را در حمل و نقل، جابجایی و ذخیره‌سازی انجام می‌دهند. این یک مدل کسب و کار معمولی برای حمل و نقل کالا، شرکت‌های حمل و نقل دریایی و ارائه‌دهندگان خدمات بسته‌بندی است. یک ارائه‌دهنده خدمات طرف سوم^۶ (3PL)، لجستیک کلاسیک را به خدمات لجستیک مجاور، مانند باراندازی عبوری، مدیریت موجودی، و طراحی بسته‌بندی گسترش می‌دهد [۱۵]. از این نظر، ارائه‌دهندگان خدمات 3PL اغلب شرکت‌هایی هستند که در سطح جهانی فعالیت می‌کنند و بنابراین، قادر به پیاده‌سازی استراتژی‌های پیشرفته، مانند سیستم‌های پشتیبانی تصمیم، برای بهینه‌سازی وسایل حمل‌ونقل، مسیرها و استفاده از ظرفیت حمل و نقل هستند. لجستیک طرف چهارم^۷ که تحت عنوان 4PL شناخته می‌شود یک مدل عملیاتی است که در آن یک کسب و کار کل مدیریت زنجیره تامین و تدارکات خود را به یک ارائه‌دهنده خدمات خارجی برون سپاری می‌کند. این شریک تجاری مسئول ارزیابی، طراحی، ساخت، اجرا و اندازه‌گیری انواع روش‌های زنجیره تامین یکپارچه برای مشتری خواهد بود و کل این زنجیره توسط 4PL مدیریت می‌شود. در واقع 3PL عمل برون سپاری فعالیت‌هایی را انجام می‌دهد که با لجستیک و توزیع مرتبط هستند. 3PL یک عملکرد واحد را هدف قرار می‌دهد، در حالی که 4PL کل فرآیند را مدیریت می‌کند. یک 4PL ممکن است 3PL را هم مدیریت کند و از این جهت زمانبندی بارانداز عبوری به صورت یکپارچه توسط عامل چهارم مناسب تر است. از آنجایی که یک ارائه‌دهنده 4PL هیچ دارایی لجستیکی از خود ندارد (به عنوان مثال، ناوگان خودرو یا ظرفیت‌های ذخیره‌سازی خود)، خدمات سایر ارائه‌دهندگان خدمات لجستیک (1PL، 2PL یا 3PL) برای مشتریان بر اساس نیازهای فردی آن‌ها ترکیب می‌شود. از

می‌شود. در نتیجه جریمه‌های زودکرد افزایش و دیرکرد کاهش می‌یابد و هزینه‌های نگهداری به حداقل می‌رسد [۱۰]. جولای و همکاران در سال ۲۰۱۸، مسئله‌ی بارانداز عبوری چند دوره‌ای را مورد بررسی قرار دادند که در آن بارها از مبدا (تامین‌کنندگان) به مقصد (مشتریان) از طریق تأسیسات بارانداز عبوری منتقل می‌شدند. در این مقاله، هر بارانداز عبوری دارای شعاع پوششی بود که حداقل با یک مسیر ارائه شده می‌توانست به مشتریان خدمات رسانی کند. علاوه بر این، مسئله‌ی خرابی کامیون‌ها نیز بررسی شد. نویسندگان یک مدل دو مرحله‌ای برای مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری و برنامه‌ریزی کامیون‌های ورودی و خروجی در چندین بارانداز عبوری ارائه کردند [۱۱]. شیخ سجادیه و همکاران با کمک یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح مخلوط یک مدل زمان‌بندی بارانداز عبوری چند کالایی و چند دوره‌ای را پیشنهاد کردند که در آن بارهای تاخیری برای ارسال در دوره‌های بعدی ذخیره می‌شدند [۱۲].

برای تبدیل سیستم بارانداز عبوری به یک سیستم مفید، تعداد کافی حامل حمل و نقل برای عملیات مورد نیاز است. از آنجایی که این عملیات به حمل بار بستگی دارد، افزایش هزینه، نیاز به فضای خارج از انبار برای کامیون‌ها و نیاز به سکوها کافی برای پیاده سازی سیستم وجود دارد. لازم به ذکر است که مسئله‌ی زمان‌بندی کامیون‌ها در این روش در مورد جانمایی پردازش کامیون در درب‌های بارانداز تصمیم‌گیری می‌کند و برای اطمینان از گردش سریع و تحویل به موقع نقش به‌سزایی دارد [۱۳]. در سال ۲۰۱۷، یک مدل بارانداز عبوری چند دوره‌ای جدید با چندین محصول، تاریخ سررسید، ظرفیت کامیون متغیر و انبار موقت توسط خلیلی و همکاران پیشنهاد شد. این مسئله به صورت برنامه‌نویسی عدد صحیح مخلوط فرمول‌بندی شد و یک رویکرد محاسباتی تکاملی بر اساس الگوریتم ژنتیک (GA) برای حل آن طراحی شد [۱۴]. در سال ۲۰۱۸، فاطمه حیدری و همکاران مسئله‌ی زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در تأسیسات بارانداز عبوری را هنگامی که زمان رسیدن خودرو ناشناخته است با استفاده از یک استراتژی زمان‌بندی هزینه‌ای پایدار حل کردند [۱۵]. در سال ۲۰۱۹، یک بهینه‌سازی مهندسی اجتماعی (SEO) برای حل مسئله‌ی زمان‌بندی کامیون توسط فتح‌اللهی فرد و همکاران توسعه یافت [۱۶]. فاطمی و همکاران نیز یک مدل زمان‌بندی کامیون را در یک سیستم بارانداز عبوری تحت زمان‌بندی چند دوره‌ای و چند کالایی با خروجی‌های ثابت پیشنهاد کردند [۱۷]. در مدل پیشنهادی مسئله‌ی زمان‌بندی کامیون ورودی را با به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی بارانداز عبوری بهینه کردند. در سال ۲۰۲۲، معتقدی برنامه‌ریزی چند هدفه‌ی جدید و مسئله‌ی مسیریابی وسیله‌ی نقلیه^۱ (VRP) را برای سیستم بارانداز عبوری پیشنهاد داد که به طور همزمان مسیریابی، ترتیب‌بندی و زمان‌بندی عملیات تخلیه کامیون‌های خروجی و تعداد درهای باز خروجی را تعیین می‌کند [۱۸]. چارگوی^۲ و همکاران یک

^۳ Just in time

^۴ First Party Logistics

^۵ Second Party Logistics

^۶ Third Party Logistics

^۷ Fourth Party Logistics

^۱ vehicle routing problem

^۲ Chargui

شماره	سال	هدف	لجستیک	فراابتکاری
۳	۲۰۱۸ [۲۳]	برنامه‌ریزی کامیون در یک بارانداز دو لمسی با سررسیدهای سخت برای کامیون‌های خروجی	*	الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر کاهش‌یافته با الگوریتم ژنتیک ترکیبی (HGARVNS)
۴	۲۰۱۸ [۲۴]	ادغام انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در مسیریابی وسیله نقلیه و مسئله زمان‌بندی چندگانه بارانداز عبوری	3PL	الگوریتم حل دومرحله‌ای (TSSA)
۵	۲۰۱۹ [۲۵]	ارائه الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ تطبیقی برای حل مشکل یکپارچه و یافتن راه‌حل‌های خوب در یک مقدار معقول	3PL	الگوریتم اکتشافی لاگرانژی
۶	۲۰۲۱ [۲۶]	بررسی یک مسئله بارانداز عبوری در دنیای واقعی با محصولات فاسدشدنی و وسایل نقلیه ناهمگن	*	یک روش حل ترکیبی جدید AUGMECON2-VIKOR
۷	۲۰۲۱ [۲۷]	بررسی مسئله مسیریابی تولید دومرحله‌ای با بارانداز عبوری	3PL	مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مخلوط
۸	۲۰۲۱ [۲۸]	حل مسئله برنامه‌ریزی کامیون در پایانه بارانداز عبوری	*	یک الگوریتم فراابتکاری سفارشی شده
۹	۲۰۲۱ [۲۹]	یافتن مجموعه‌ای از مسیرها برای تحویل محصولات از مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان به طریق تأسیسات بارانداز عبوری به شکلی بهینه	3PL	یک روش فراابتکاری دوفازی بر اساس تولید ستون
۱۰	۲۰۲۲ [۳۰]	مدل‌سازی بارانداز عبوری در زنجیره تأمین سه سطحی و خدمات تصادفی و سیستم صف	3PL	الگوریتم MOWFA

۳- مدل بندی مسئله

روش انجام شده در این تحقیق، مدل ریاضی، مفروضات و توضیحات الگوریتم فراابتکاری در نظر گرفته شده برای حل مسئله در این بخش شرح داده می‌شود.

۳-۱- تعریف مساله

در این مسئله سفارش خریدار از تأمین‌کنندگان جمع‌آوری می‌شود و به بارانداز عبوری منتقل می‌گردد. سپس در آن جا پس

آنجایی که ارائه‌دهنده 4PL منحصراً در زمینه‌های برنامه‌ریزی و هماهنگی با استفاده از راه‌حل‌های جدید فناوری اطلاعات فعالیت می‌کند، مشتریان انتظار خدمات با کیفیت بالا با هزینه‌های پایین را دارند [۲۱]. در مقابل، ارائه‌دهندگان خدمات لجستیک طرف پنجم^۱ (5PL) عملیات خاصی را با داشتن یا خرید زیرساخت‌های لجستیک فیزیکی انجام می‌دهند. جدول (۱) تحقیقات انجام شده در این زمینه را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد و بر این اساس محدودیت‌های پژوهش‌های پیشین نمایان می‌گردد. باتوجه‌به جدول (۱)، تا به حال در هیچ یک از مطالعات گذشته، موضوع زمانبندی بارانداز عبوری از دیدگاه طرف لجستیک طرف چهارم بررسی نشده است

با توجه به جدول، علامت ستاره نشان‌دهنده‌ی روش پیشنهادی است. در اغلب مقالات، فرض شده است که مالک بارانداز عبوری، مالک کامیون و راننده نیز می‌باشد لذا در هیچ یک از مقالات، کمینه کردن مدت زمان فعالیت تک تک کامیون‌ها مورد توجه قرار نگرفته است و زمان انتظار یک کامیون در بارانداز عبوری به‌طور مستقیم هدف مسأله را تحت تأثیر قرار نداده است. در حالی که اکثر رانندگان تمایل به اتمام هر چه زودتر فعالیت خود دارند تا بتوانند به کار دیگری بپردازند و درآمد بیشتری داشته باشند. مهم‌ترین نوآوری این پژوهش که آن را از پژوهش‌های مشابه دیگر متمایز می‌کند عبارتند از:

- انتخاب ناوگان‌های مختلف برای حمل‌ونقل و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل.
- تخصیص وسایل حمل‌ونقل به درب‌های خروجی و ورودی به‌صورت یکپارچه و هم‌زمان و در نظر گرفتن زمان‌بندی بهینه با در نظر گرفتن هزینه‌ی صف انتظار و هزینه‌های ثابت

جدول (۱). مروری بر پژوهش‌های گذشته

شماره	سال	هدف	لجستیک	فراابتکاری
۱	۲۰۱۷ [۲۲]	بررسی ویژگی‌های مسئله زمان‌بندی وسایل نقلیه حمل‌ونقل در مدیریت زنجیره تأمین	3PL	بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO)
۲	۲۰۱۷ [۱۴]	ارائه یک نسخه عملی از مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با بارانداز عبوری	*	یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی جدید مبتنی بر جستجوی همسایگی متغیر تغییر یافته (MVNS)، الگوریتم ژنتیک (GA)، کلنی زنبورهای مصنوعی (ABC) و بازپخت شبیه‌سازی شده (SA)

¹ Fifth Party Logistics

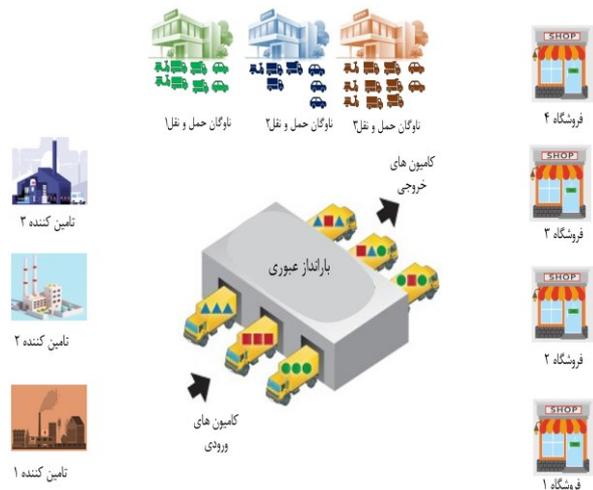
کامیون های خروجی پس از دریافت محصولات موردنیاز خود سیستم را ترک می کنند.

۳-۲- مفروضات مساله

عملیات داخل بارانداز عبوری مانند مرتب سازی در این تحقیق بررسی نمی شود. یک ذخیره سازی موقت روبروی درب های خروجی در نظر گرفته می شود تا در مواقعی که محصول رسیده به درب های خروجی به هیچ یک از کامیون های خروجی موجود در بارانداز تخصیص پیدا نکند، در انبار موقت ذخیره شود تا زمانی که کامیون خروجی مناسب آن بیاید. به طور کلی مفروضات در نظر گرفته در این پژوهش به شرح زیر است:

۱. در پایانه بارانداز عبوری چند درب تخلیه و چند درب بارگیری می تواند وجود داشته باشد و سکوی ورودی مقابل سکوی خروجی قرار دارد.
۲. محلی برای ذخیره موقت در مقابل قسمت بارگیری در نظر گرفته شده است و ظرفیت ذخیره موقت به صورت نظری نامحدود در نظر گرفته می شود.
۳. در زمان صفر تمامی کامیون های ورودی در درب های تخلیه در دسترس هستند.
۴. کامیون های ورودی و خروجی تا زمانی که کار تخلیه بار و یا بارگیری خود را به اتمام نرسانده باشند نمی توانند از بارانداز عبوری خارج شوند. به عبارتی دیگر کامیون های ورودی و خروجی حق قطع خدمات را ندارند.
۵. برای هر نوع محصول، مجموع کل محصولاتی که توسط کامیون های ورودی به انبار آورده می شوند با مجموع کل محصولاتی که توسط کامیون های خروجی بارگیری می شوند برابر است.
۶. زمان تعویض کامیون ها در درب ها برای تمام کامیون ها یکسان بوده و برابر یک مقدار ثابت است.
۷. زمان بارگیری یا تخلیه هر واحد بار ورودی یا خروجی محصول از کامیون ها (به ازای هر کیلوگرم بار) برابر با یک واحد زمانی (یک دقیقه) است.
۸. مدت زمان انتقال محصول در طول انبار (از درب ورود تا درب خروج) برابر با یک مقدار ثابت است.
۹. بارگیری هم زمان کامیون های خروجی از نوار نقاله و ذخیره موقت مجاز نیست. از این رو در هر واحد زمان

از تفکیک سفارش هر فروشگاه از هر تأمین کننده، درخواست هر فروشگاه به صورت کامل توسط یک وسیله حمل و نقل به فروشگاه ارسال می گردد. در این پژوهش ضمن لحاظ کردن هزینه حمل بار در مسیر و هزینه انتظار در بارانداز عبوری به ازای هر کامیون - راننده، زمان بندی عملیات بارانداز عبوری، انتخاب شرکت حمل و نقل مناسب و نیز راننده و کامیون مورد نظر برای هر مسیر به یک عامل چهارم برون سپاری شده است. هر یک از شرکت های حمل و نقل، تعداد مشخصی از هر نوع کامیون با ظرفیت های متنوع (همراه با راننده) دارند و هزینه هر ساعت حمل بار در مسیر و هر ساعت انتظار کامیون در بارانداز عبوری به ازای هر نوع کامیون مربوط به هر شرکت حمل و نقل با توجه به ظرفیت آن ها مشخص است. همکاری با هر ناوگان حمل و نقل دارای یک هزینه ثابت (هزینه قرارداد نویسی، هزینه برقراری ارتباط و مدیریت روابط و اخذ ضمانت) است. نمای کلی این مسئله در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱). نمای کلی مسئله مورد نظر^۱

در استفاده از یک وسیله حمل و نقل، هم هزینه ثابت عقد قرارداد با یک ناوگان حمل و نقل و هم هزینه مدت زمان حمل و نقل و هم هزینه مدت زمان انتظار در بارانداز عبوری در نظر گرفته می شود. در این تحقیق مسئله زمان بندی کامیون های ورودی و خروجی در سیستم بارانداز عبوری شامل چند درب تخلیه و چند درب بارگیری در شرایطی که کامیون های ورودی و خروجی مجاز به حمل بیش از یک نوع محصول هستند بررسی می شود. عملکرد سیستم بارانداز عبوری مورد بررسی فرض می شود که بدین قرار باشد که کامیون های ورودی به درب تخلیه آمده و محصول خود را تخلیه می کنند. محصولات از طریق نقاله به سمت مقابل بارانداز که در آن درب های خروجی قرار دارند منتقل می شوند.

عبوری، به‌ازای هر دقیقه سفر		تنها یک واحد محصول می‌تواند بر روی یک کامیون خروجی بارگیری شود.
مدت زمان حمل و نقل کالا از تأمین‌کننده I	TTL_{jl}	۱۰. تمام محصولات وارد شده به بارانداز عبوری باید تا پایان افق برنامه‌ریزی از سیستم خارج شوند و هیچ‌گونه ذخیره‌سازی بلندمدت مجاز نمی‌باشد.
توسط وسیله حمل و نقل J تا بارانداز		
تقاضای فروشگاه k	D_k	۱۱. هر وسیله حمل و نقل می‌تواند فقط بار یک فروشگاه را حمل کند و از بارانداز به فروشگاه برساند، اما در مسیر ورود از تأمین‌کننده به بارانداز، سفارش هر تعداد فروشگاه را که بتواند به طور کامل حمل نماید و ظرفیتش اجازه دهد می‌تواند حمل کند.
هزینه ثابت همکاری با ناوگان حمل و نقل عامل سوم i	FC_i	
مدت زمان تعویض کامیون‌ها (برای کامیون‌های ورودی و خروجی یکسان در نظر گرفته شده است). یعنی مدت زمان خروج یک وسیله حمل و نقل از سکوی بارانداز و جایگزین شدن وسیله حمل و نقل بعدی روی سکوی بارانداز جهت بارگیری یا تخلیه	D	
مدت زمان حرکت محصولات از درب‌های ورودی به درب‌های خروجی	V	
عدد بزرگ	M	
متغیرهای تصمیم شامل متغیرهای پیوسته و صفر و یک نیز در ادامه ارائه شده است:		
تعاریف متغیرهای پیوسته		
زمان شروع تخلیه وسیله حمل و نقل J در درب ورود	at_j	اندیس‌های مدل ریاضی
زمان شروع بارگیری وسیله حمل و نقل J در درب خروج	ct_j	l تأمین‌کننده
زمان خروج وسیله حمل و نقل J از بارانداز	dt_j	k فروشگاه
متغیرهای صفر و یک		i ناوگان‌های حمل و نقل
اگر تقاضای فروشگاه k از تأمین‌کننده I توسط وسیله حمل J به بارانداز منتقل شود مقدار یک را می‌گیرد و در غیر این صورت صفر می‌شود.	x_{jlk}	j وسیله حمل و نقل
اگر وسیله حمل J به تأمین‌کننده I مراجعه کند و از آنجا بارگیری کند مقدار یک را می‌گیرد در غیر این صورت صفر می‌شود.	y_{jl}	J مجموعه‌ای از تمام کامیون‌های کل ناوگان‌ها
		f درب‌های ورودی
		g درب‌های خروجی
		پارامترهای مدل ریاضی
		Cap_j ظرفیت وسیله حمل و نقل J
		C_i مجموعه وسایل حمل و نقل متعلق به ناوگان عامل سوم i
		D_{lk} تقاضای فروشگاه k از تأمین‌کننده I
		TTK_{jk} مدت زمان حمل و نقل کالا به فروشگاه k توسط وسیله حمل و نقل J از زمان بارانداز
		TC_j هزینه حمل و نقل کالا توسط وسیله حمل و نقل J به‌ازای هر دقیقه سفر
		WC_j هزینه انتظار وسیله حمل و نقل J در بارانداز

کمینه سازی این تابع هدف، مدل تلاش میکند توالی، تخصی، برنامه ریزی و زمان‌بندی وسایل نقلیه را به گونه‌ای انتخاب کند که کمترین هزینه را در مجموع برای سازمان به‌همراه داشته باشد.

مدل ریاضی پیشنهادی:

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_j \sum_l TC(j) TTL_{jl} y_{jl} \\ + \sum_j \sum_k TC(j) TTK_{jk} z_{jk} \\ + \sum_i FC_i w_i \\ + \sum_j dt_j WC_j \end{aligned} \quad (1)$$

محدودیت‌های این مدل ریاضی نیز در معادلات (۲) تا (۲۱) ارائه شده است.

$$\sum_j x_{jlk} = 1, \forall l, k \quad (2)$$

$$\sum_k x_{jlk} \leq M(y_{jl}), \forall j, l \quad (3)$$

$$\sum_{j'} \sum_f p_{fjj'} + \sum_{j'} \sum_f p_{fj'j} + \sum_f p_{f(0)j} + \sum_f p_{fj(j+1)} \leq M \sum_l y_{jl}, \forall j: j \neq j' \quad (4)$$

$$\sum_j p_{f(0)j} \leq 1, \forall f \quad (5)$$

$$\sum_j p_{fj(j+1)} \leq 1, \forall f \quad (6)$$

$$\sum_{j',0} p_{fj'j} \leq 1, \forall f, \forall j: j \neq j' \quad (7)$$

$$\sum_{j',(j+1)} p_{fjj'} \leq 1, \forall f, \forall j: j \neq j' \quad (8)$$

$$at_{j'} \geq at_j + \sum_k \sum_l x_{jlk} D_{lk} + D - M(1 - p_{fjj'}), \forall f, \forall j: j \neq j' \quad (9)$$

$$\sum_{j'} \sum_g q_{gjj'} + \sum_{j'} \sum_g q_{gj'j} + \sum_g q_{g(0)j} + \sum_g q_{gj(j+1)} \leq M \sum_k z_{jk}, \forall j: j \neq j' \quad (10)$$

$$\sum_j q_{g(0)j} \leq 1, \forall g \quad (11)$$

$$\sum_j q_{gj(j+1)} \leq 1, \forall g \quad (12)$$

$$\sum_{j',(j+1)} q_{jj'} \leq 1, \forall g, \forall j: j \neq j' \quad (13)$$

$$\sum_{j',0} q_{gj'j} \leq 1, \forall g, \forall j: j \neq j' \quad (14)$$

$$dt_j \geq ct_j + \sum_l \sum_k z_{jk} D_{lk}, \forall j \quad (15)$$

$$ct_{j'} \geq dt_j + D - M(1 - q_{gjj'}), \forall t, g, \forall j: j \neq j' \quad (16)$$

$p_{fjj'}$ اگر وسیله j قبل از وسیله j' به درب ورودی f تخصیص یابد مقدار یک را می‌گیرد در غیر این صورت صفر می‌شود.

$p_{f(0)j}$ اگر وسیله j قبل از وسیله مجازی صفر به درب ورودی f تخصیص یابد مقدار یک را می‌گیرد در غیر این صورت صفر می‌شود. یعنی در واقع اولین وسیله روی درب f باشد.

$p_{fj(j+1)}$ اگر وسیله j بعد از وسیله مجازی $J+1$ به درب ورودی f تخصیص یابد مقدار یک را می‌گیرد در غیر این صورت صفر می‌شود. یعنی در واقع آخرین وسیله روی درب f باشد.

$p_{fj'j}$ اگر وسیله j بعد از وسیله j' به درب ورودی f تخصیص یابد مقدار یک را می‌گیرد در غیر این صورت صفر می‌شود.

$q_{gjj'}$ اگر وسیله j قبل از وسیله j' به درب خروجی g تخصیص یابد مقدار یک را می‌گیرد و در غیر این صورت صفر می‌شود.

z_{jk} اگر تقاضای فروشگاه k توسط ماشین j به دست فروشگاه برسد مقدار یک را می‌گیرد و در غیر این صورت صفر می‌شود.

w_i اگر حداقل یک وسیله از ناوگان حمل‌ونقل i مورد استفاده قرار بگیرد مقدار یک را می‌گیرد و در غیر این صورت صفر می‌شود.

۳-۴- مدل ریاضی

تابع هدف مدل پیشنهادی در عبارت (۱) ارائه شده است. وسایل حمل و نقل در دو حالت در حال استفاده هستند، یا مدت زمانی که در مسیر هستند و یا مدت زمانی که در بارانداز در صف انتظار هستند، بنابراین قسمت اول تابع هدف مربوط به مجموع هزینه‌های حمل کالا از تامین‌کننده‌ها به بارانداز عبوری می‌باشد. قسمت دوم آن نیز مجموع هزینه‌های حمل کالا از بارانداز عبوری به فروشگاه‌ها را نشان می‌دهد. قسمت سوم تابع هدف مجموع هزینه‌های ثابت عقد قرارداد با ناوگان‌های حمل و نقلی که انتخاب شوند می‌باشد و قسمت چهارم هم مجموع هزینه‌های انتظار وسایل حمل و نقل در بارانداز عبوری است. بنابراین با

(یعنی اولین وسیله‌ی حمل‌ونقل روی آن درب است)، و قسمت چهارم محدودیت نشان میدهد که یا بعد از وسیله‌ی حمل‌ونقل مجازی $J+1$ است (یعنی آخرین وسیله‌ی حمل‌ونقل روی آن درب است).

۴. باتوجه‌به معادله (۵)، از میان تمامی وسایل حمل و نقل، فقط یکی از آن‌ها می‌تواند بر روی هر درب و در نوبت اول باشد. (یعنی قبل از وسیله‌ی مجازی صفر باشد).

۵. بر روی هر درب، از میان تمامی وسایل حمل‌ونقل، فقط یکی از آن‌ها می‌تواند در نوبت آخر باشد (رابطه ۶). (یعنی بعد از وسیله‌ی مجازی $J+1$ باشد).

۶. در هر درب ورود، وسیله‌ی نقلیه‌ی خاص j' یا قبل از وسیله‌ی نقلیه‌ی مجازی صفر است (در صف نفر اول است) و یا در صف بعد از یک وسیله‌ی نقلیه‌ی دیگر قرار دارند. یعنی در اولویت‌بندی درون صف یک وسیله‌ی خاص یا در نوبت اول و یا بلافاصله تنها بعد از یک وسیله‌ی حمل‌ونقل دیگر می‌تواند باشد (رابطه ۷).

۷. در هر درب ورود، وسیله‌ی نقلیه‌ی خاص j' یا قبل از وسیله‌ی نقلیه‌ی مجازی $J+1$ است (یعنی در صف نفر آخر است) و یا در صف قبل از یک وسیله‌ی نقلیه‌ی دیگر قرار دارند. یعنی در روی هر درب، اولویت‌بندی درون صف یک وسیله‌ی خاص یا در نوبت آخر و یا بلافاصله تنها قبل از یک وسیله‌ی حمل و نقل دیگر می‌تواند باشد (رابطه ۸).

۸. باتوجه‌به معادله (۹)، روی هر درب اگر وسیله‌ی j سفارش‌هایی را از تأمین‌کننده‌ی به بارانداز آورده باشد و در صف قبل از وسیله‌ی j' باشد، زمان شروع تخلیه‌ی وسیله‌ی j' باید از مجموع زمان شروع تخلیه‌ی وسیله‌ی j بعلاوه‌ی طول مدت زمان تخلیه‌ی وسیله‌ی j (مقدار بار حمل شده توسط وسیله‌ی حمل‌ونقل، با توجه به فرض ۷ در قسمت مفروضات که به ازای هر کیلوگرم بار برابر با مدت زمان تخلیه لحاظ می‌شود) بعلاوه‌ی طول مدت زمان جابجایی دو وسیله در این درب (مقدار ثابت D) بزرگ‌تر باشد.

۹. محدودیت‌های معادلات (۱۰) تا (۱۴) مشابه محدودیت‌های معادلات (۴) تا (۸) در خصوص اولویت‌بندی وسایل حمل و نقل در درب‌های خروجی هستند.

۱۰. محدودیت ۱۵ برای هر وسیله‌ی حمل و نقل از تضمین می‌کند که اگر یک وسیله‌ی خاص جهت حمل کالا به فروشگاه‌ی تخصیص داده شده باشد، زمان خروج وسیله‌ی j از بارانداز عبوری باید بزرگ‌تر مساوی زمان شروع بارگیری به اضافه‌ی طول مدت زمان بارگیری آن (با توجه به فرض ۷

$$dt_j \geq at_{j'} + \sum_k \sum_l x_{j'lk} D_{lk} + V + D_{lk} - M(2 - z_{jk} - x_{j'lk}), \forall j, k, l: j \neq j' \quad (17)$$

$$\sum_j z_{jk} = 1, \forall k \quad (18)$$

$$\sum_l \sum_k (x_{jlk} + z_{jk}) D_{lk} \leq Cap_j, \forall j \quad (19)$$

$$\sum_k \sum_j z_{jk} + \sum_l \sum_j y_{jl} \leq M(w_i), \forall i \quad (20)$$

$$\sum_l y_{jl} + \sum_k z_{jk} \leq 1, \forall j \quad (21)$$

باتوجه‌به معادلات (۲) تا (۲۱)، محدودیت‌های زیر برای این مساله تعریف می‌شوند:

۱. باتوجه‌به معادله (۲)، سفارش هر فروشگاه از هر تأمین‌کننده تنها توسط یک ماشین از تأمین‌کننده به بارانداز عبوری و ارسال می‌شود. (سفارش یک فروشگاه مجاز نیست که در چند بخش به بارانداز ارسال شود)

۲. در صورت عدم استفاده از یک وسیله در مسیر تأمین‌کننده به بارانداز، بار هیچ فروشگاه‌ی به آن وسیله تخصیص نمی‌یابد. اما اگر وسیله‌ای جهت حمل کالا از تأمین‌کننده‌ی تخصیص یابد، باتوجه‌به ظرفیت وسیله و مقدار سفارش هر فروشگاه از آن تأمین‌کننده، جهت حمل سفارش فروشگاه‌های مختلف محدودیتی ندارد و سفارش هر تعداد فروشگاه را ممکن است و می‌تواند حمل کرده و به بارانداز عبوری تحویل دهد (رابطه ۳) (البته در محدودیت (۱۹) تضمین می‌شود که بار فرا تر از ظرفیت وسیله‌ی حمل‌ونقل به آن تخصیص نیابد)

۳. محدودیت معادله (۴)، توالی ورود وسایل حمل و نقل در درب‌های ورود را مشخص می‌کند. به این صورت که اگر وسیله‌ای جهت حمل کالا از تأمین‌کننده‌ی تخصیص یابد، هنگامی که به درب ورودی بارانداز عبوری برسد از میان تمام درب‌های ورود فقط به یک درب تخصیص یابد و جایگاه آن در صف این درب، یا اولین وسیله و یا آخرین وسیله می‌باشد. در غیر این صورت، جایگاه آن بعد از یک وسیله‌ی دیگر و یا قبل از یک وسیله‌ی دیگر خواهد بود. در واقع این محدودیت در چهار قسمت تضمین می‌کند که وسیله‌ی حمل و نقل j وقتی به بارانداز عبوری برسد از میان تمام f درب، روی یکی از آن‌ها تخصیص می‌یابد، و بر روی آن درب، قسمت اول محدودیت نشان میدهد که این وسیله‌ی حمل‌ونقل یا قبل از یک وسیله‌ی حمل‌ونقل دیگر است، قسمت دوم محدودیت نشان میدهد که یا بعد از یک وسیله‌ی حمل‌ونقل دیگر است، قسمت سوم محدودیت نشان میدهد که یا قبل از وسیله‌ی حمل‌ونقل مجازی صفر است

گرفته می‌شود. باتوجه‌به ساختار شرطی در نظر گرفته شده، اندازه کروموزوم به‌صورت یک ماتریس $z * 1$ تعیین می‌شود که در آن z تعداد وسایل نقلیه موجود است. هر یک از درایه‌های این ماتریس نیز می‌تواند عددی بین ۱ تا z داشته باشد. مثلاً اگر تعداد کل وسایل نقلیه موجود ۱۸ عدد باشد، مقدار هر یک از درایه‌ها می‌تواند بین ۱ تا ۱۸ و به صورت عدد صحیح باشد. شکل (۲) ساختار نمونه‌ای از کروموزوم این مقاله با $J=18$ را نشان می‌دهد.

در رمزنگاری هر کروموزوم بدین صورت عمل می‌شود که ابتدا باتوجه‌به اولویتی که برای هر یک از وسایل نقلیه در نظر گرفته می‌شود از مرکز تأمین اول شروع کرده و نسبت به تخصیص نیاز هر فروشگاه اقدام می‌شود. این اقدام تا زمانی که ظرفیت وسیله نقلیه اجازه بارگیری تمام مقدار نیاز فروشگاه‌ها از تأمین‌کننده حاضر را (به ترتیب از یک به بعد) بدهد، ادامه می‌یابد. با تکمیل ظرفیت، وسیله به درب شماره یک بارانداز تخصیص می‌یابد، سپس وسیله بعدی طبق نوبت به مرکز تأمین بعدی و در صورت بارگیری به درب بعدی تخصیص می‌یابد. همین روند برای تخصیص تمام نیازهای مشتریان از تمام مراکز تأمین تکرار می‌شود. با این رویکرد سه متغیر at_j ، y_{jl} و pf_{jj} و مشخص و مقداردهی می‌شوند.

پس از تخصیص وسایل حمل‌ونقل به درب‌های ورودی بارانداز عبوری و اولویت‌بندی آن‌ها، نوبت به تخصیص وسایل حمل‌ونقل به درب‌های خروجی بارانداز عبوری جهت انتقال کالا از بارانداز به مراکز مشتری می‌رسد. همانند قبل، در این بخش نیز در ادامه تخصیص بر اساس اولویت، از میان وسایل باقی‌مانده و طبق اولویت تعیین شده توسط کروموزوم، به ترتیب بارهای هر مشتری از هر درب بارانداز به‌سوی آن مشتری روانه می‌شود. طبیعتاً در صورتی که یک وسیله نقلیه ظرفیت کافی برای انتقال بار یک مشتری را نداشته باشد، وسیله نقلیه بعدی از ترتیب اولویت برای این وظیفه انتخاب می‌شود. با انجام این مرحله از رمزنگاری کروموزوم، متغیرهای z_{jk} ، q_{gjj} و dt_j و ct_j نیز مقداردهی می‌شوند.

Value	9	5	7	...	2	6	8
Index	1	2	3	...	16	17	18

شکل (۲). کروموزوم نمونه با $J=18$

در قسمت مفروضات، که هر کیلوگرم بار را معادل یک دقیقه تخلیه یا بارگیری لحاظ کرده ایم) باشد.

۱۱. در محدودیت معادله (۱۶) برای هر وسیله‌ی حمل و نقل z در هر درب خروج، اگر وسیله‌ی z در صف قبل از وسیله‌ی z' باشد، زمان شروع بارگیری وسیله‌ی z' باید بزرگ‌تر مساوی زمان خروج وسیله‌ی z به اضافه‌ی طول مدت زمان جابجایی دو وسیله جهت استقرار وسیله‌ی z' در سکوی بارگیری باشد.

۱۲. در محدودیت معادله (۱۷) اگر وسیله‌ی حمل و نقل z' سفارش فروشگاه k از تأمین‌کننده‌ی l را به بارانداز منتقل کند و وسیله‌ی حمل و نقل z سفارش فروشگاه k را از بارانداز عبوری به فروشگاه منتقل کند، زمان خروج وسیله‌ی حمل و نقل z باید از مجموع زمان ورود وسیله‌ی z' به علاوه‌ی مدت زمان تخلیه و مدت زمان انتقال کالا به درب خروج و مدت زمان بارگیری، بزرگ‌تر باشد.

۱۳. محدودیت معادله (۱۸) تضمین می‌کند که سفارش فروشگاه k تنها توسط یک وسیله ارسال می‌شود.

۱۴. محدودیت معادله (۱۹) تضمین می‌کند که هر وسیله‌ای بیشتر از ظرفیت خود نمی‌تواند کالا حمل کند. این محدودیت در مسیر ورود به بارانداز عبوری و خروج از بارانداز عبوری برقرار است.

۱۵. در محدودیت معادله (۲۰) تضمین می‌شود که اگر با ناوگان قرارداد بسته نشود امکان استفاده از وسایل حمل و نقل آن وجود نخواهد داشت. اما اگر قراردادی بسته شود، از وسایل حمل و نقل آن‌ها در مسیر ورود به بارانداز عبوری یا مسیر خروج از بارانداز عبوری می‌توان استفاده کرد.

۱۶. محدودیت معادله (۲۱) تضمین می‌کند که هر وسیله فقط در مسیر ورود به بارانداز عبوری و یا مسیر خروج از بارانداز عبوری می‌تواند بکار گرفته شود.

۴- روش حل فرا ابتکاری

۴-۱- فرایند حل

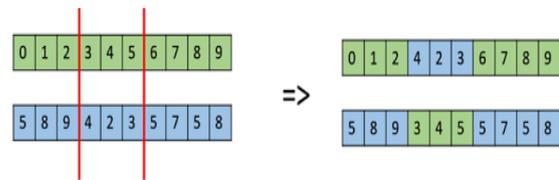
در این بخش نحوه کد کردن مدل مسئله در قالب الگوریتم ژنتیک توضیح داده شده است. برای این منظور مراحل اصلی اعمال شده به ترتیب در ادامه تشریح شده‌اند.

۴-۲- ساختار کروموزوم

ساختار کروموزوم در حل مسئله به‌صورت اولویتی در نظر گرفته شده است. بدین صورت که هر درایه از کروموزوم نشان‌دهنده اولویت وسیله نقلیه متناظر در تخصیص یافتن است. با توجه به ساختار طراحی شده برای کروموزوم‌ها، یک مکانیزم شرطی برای تخصیص هر وسیله نقلیه به وظیفه انتقال بار در هر دو بخش از تأمین‌کننده به بارانداز و همچنین از بارانداز به مشتریان پی

۳-۴- تقاطع

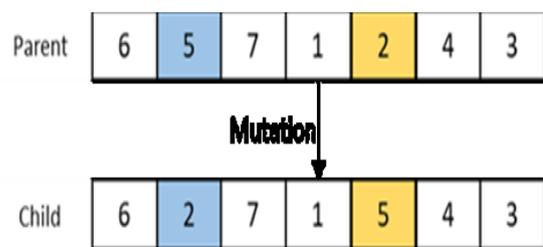
برای انجام تقاطع^۱ در مدل این مقاله از تقاطع دو نقطه‌ای است. به صورتی که با مشخص بودن درصد احتمال Crossover، تعدادی از جواب‌ها برای انجام عمل تقاطع انتخاب می‌شوند. سپس با در نظر گرفتن دو به دو جواب‌ها به‌عنوان والدین، دو نقطه درون هر یک از والد‌ها برای ترکیب و ساختن دو فرزند تعیین می‌شود. سپس، از محل نقاط در نظر گرفته شده برش‌هایی برای ساختن دو فرزند از دو والد ایجاد می‌شود. این فرایند به‌وضوح در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳). تقاطع دو نقطه‌ای

۴-۴- جهش

ساختار جهش^۲ در مدل این مقاله ساختار جهش استاندارد است. به صورتی که با توجه به درصد احتمال جهش، تعدادی از کروموزوم‌ها به‌صورت تصادفی برای جهش انتخاب می‌شوند. سپس در هر یک از کروموزوم‌های انتخاب شده برای جهش، به‌صورت تصادفی و متناسب با نرخ جهش تعدادی از اعضا برای اعمال جهش انتخاب می‌شوند. پس از آن، همان‌طور که در شکل (۴) نیز به‌وضوح نمایش داده شده است، با تغییر مقادیر درایه‌های انتخاب شده در کروموزوم یک کروموزوم جدید یا جهش‌یافته تولید می‌شود.



شکل (۴). مثالی از جهش این مقاله

۵- نتایج محاسباتی

در این بخش، یک آزمایش محاسباتی جامع و تحلیل حساسیت برای اعتبارسنجی مدل ریاضی و ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک ارائه شده، انجام می‌شود. مدل ریاضی با دو روش حل دقیق در نرم‌افزار گمز و الگوریتم فراابتکاری در نرم‌افزار MATLAB با استفاده از رایانه شخصی با پردازنده اینتل (Intel Core i7-)

4610Y) و ۲/۵۳ گیگاهرتز و سیستم عامل ویندوز ۶۴ بیتی پیاده سازی می‌شوند.

از آنجایی که هیچ نمونه مبنایی در مطالعات قبلی برای مسئله انتخاب ناوگان حمل‌ونقل عامل سوم و زمان‌بندی یکپارچه کامیون‌های انبار عبوری توسط عامل چهارم وجود ندارد، بنابراین ۹۰ نمونه به طور تصادفی با مقیاس‌های مختلف تولید می‌شود. این آزمایش عددی گسترده شامل سه دسته مثال عددی (یعنی مسائل کوچک، مسائل متوسط و مسائل بزرگ) است. تمام مثال‌های عددی نمونه، با استفاده از هر دو روش حل (سیپلکس شاخه و کران در گمز، و الگوریتم ژنتیک در متلب) حل شده و سپس نتایج ارائه شده و مقایسه می‌شوند. برای هر کدام از روش‌های حل تعداد ۳۰ مثال عددی در اندازه مسائل کوچک، ۳۰ مثال عددی در اندازه مسائل متوسط و ۳۰ مثال عددی در اندازه مسائل بزرگ تولید کرده ایم. در مجموع ۹۰ مثال عددی بر اساس جدول (۱) ایجاد کرده و تحلیل و بررسی شده است.

محدودیت ۳۶۰۰ ثانیه به عنوان حداکثر زمان محاسبات در اجرای مدل پیشنهادی در گمز اعمال می‌شود و هر الگوریتم فراابتکاری ۲۵ بار برای حل هر مثال تکرار می‌شود. تنظیمات متعددی به منظور دستیابی به مناسب‌ترین تنظیم پارامترهای GA آزمایش شده است. مجموعه کامل ترکیبات پارامترها مورد آزمایش قرار گرفت و بهترین مقادیر بر اساس یک مبادله و توازن مناسب بین زمان مورد نیاز CPU و کیفیت نتایج بدست آمده تعیین شد. احتمال کراس اوور و عملگرهای جهش و اندازه جمعیت به این صورت تعیین شده و به ترتیب برابر با ۰/۶۵، ۰/۷۵ و ۸۰۰ می‌باشد. حداکثر تعداد تکرارها به عنوان معیار توقف اعمال می‌شود، و برابر ۴۰۰ انتخاب شده است، اما دستوری نوشته شد که اگر در ۶۰ تکرار آخر، مقدار تابع هدف تغییری نکرد، عملیات متوقف شده و به عنوان بهترین جواب شناخته شده گزارش شود.

توجه داشته باشید که به‌منظور ایجاد تنوع کافی برای تحلیل حساسیت، پارامترهای تعیین‌کننده اندازه مثال‌های عددی (تعداد ناوگان‌های حمل‌ونقل a، تعداد وسایل حمل‌ونقل j، تعداد تأمین‌کننده i، تعداد فروشگاه k، مقدار سفارش D، تعداد درب‌های خروجی g و تعداد درب‌های ورودی f) بر اساس تجربه کسب شده از مطالعه موردی یک شرکت فروشگاه‌های زنجیره‌ای در تهران و با استفاده از تابع توزیع یکنواخت به شرح ذیل شبیه‌سازی شده است:

نماد $U[a, b]$ در جدول (۲) دلالت بر آن دارد که پارامترهای مرتبط از توزیع احتمال یکنواخت در محدوده a و b پیروی می‌کنند. عملکرد هر سه روش حل با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری در تمامی ۹۰ مورد، ارزیابی شده است.

^۱ Crossover^۲ Mutation

جدول (۲). پارامترهای مدل

$U [0,400] \text{ (Kg)}$	تقاضای هر فروشگاه از هر تأمین‌کننده	D_{lk}^t
Type A=9000 (Kg), Type B= 3000 (Kg), Type C= 1000 (Kg), Type D= 200 (Kg), Type E= 20 (Kg)	وسایل نقلیه با ظرفیت‌های متنوع که مفروض است که هر ناوگان به‌صورت تصادفی تعدادی از این وسایل حمل‌ونقل را دارا می‌باشد	Cap_j
Type A= $U [100,170] \text{ min}$, Type B=0.9 Type A, Type C=0.8 Type A, Type D=0.7 Type A, Type E=0.6 Type A	طول مدت‌زمان حمل‌ونقل هر وسیله نقلیه از تأمین‌کننده به انبار عبوری با توجه به اندازه و ظرفیت هر وسیله (وسایل سنگین‌تر سرعت کمتری دارند)	TTL_{jl}
Type A= $U [100,170] \text{ min}$, Type B=0.9 Type A, Type C=0.8 Type A, Type D=0.7 Type A, Type E=0.6 Type A	طول مدت‌زمان حمل‌ونقل هر وسیله نقلیه از انبار عبوری به فروشگاه با توجه به اندازه و ظرفیت هر وسیله (وسایل سنگین‌تر سرعت کمتری دارند)	TTK_{jk}
Type A= 15000, Type B=6000, Type C=3000 Type D=1000, Type E=500	هزینه هر دقیقه بکارگیری و استفاده از هر وسیله حمل‌ونقل جهت جابه‌جایی کالا (طبیعتاً وسایل نقلیه بزرگ‌تر هزینه بیشتری خواهند داشت)، (تومان)	TC_j
Type A= 9000, Type B=3600, Type C=1800, Type D=600, Type E=300	هزینه هر دقیقه انتظار و معطلی هر وسیله حمل‌ونقل در بارانداز عبوری (طبیعتاً وسایل نقلیه بزرگ‌تر هزینه بیشتری خواهند داشت)، (تومان)	WC_j
$U [5000000,10000000]$	هزینه ثابت همکاری با ناوگان حمل‌ونقل عامل سوم i	FC_i

سایر پارامترها برای تولید مثال‌ها متنوع‌تر بر اساس جدول (۲) تعیین شده‌اند.

جدول (۳). مقادیر سایر پارامترهای مثال‌ها

مسائل نمونه	# ناوگان	# تعداد کل کامیون‌ها	# فروشگاه	# تأمین‌کننده	# درب ورود	# درب خروج
کوچک	۲ الی ۴	۱۰ الی ۳۵	۴ الی ۱۰	۳ الی ۶	۱ الی ۳	۱ الی ۳
متوسط	۴ الی ۶	۳۵ الی ۵۴	۱۰ الی ۲۴	۶ الی ۱۰	۱ الی ۳	۱ الی ۳
بزرگ	۶ الی ۱۰	۵۴ الی ۱۵۰	۲۴ الی ۶۵	۱۰ الی ۲۰	۱ الی ۳	۱ الی ۳

سیپلکس در گمز و الگوریتم ژنتیک در متلب) جهت حل تمام ۹۰ مثال عددی (یعنی کوچک، متوسط و بزرگ) ارائه خواهیم کرد. جدول (۴) و شکل‌های (۵) و (۶) ساختار و نتایج ۳۰ مثال عددی با اندازه کوچک را نشان می‌دهد. زمان CPU و مقدار توابع هدف در تمام ۳۰ نمونه کوچک با استفاده از هر دو روش حل در جدول (۴) ارائه شده است. اکنون میانگین درصد‌های خطا شرح داده شده در جدول (۴) را در نظر بگیرید. مقادیر درصد خطا با تقسیم تفاوت بین مقادیر تابع هدف به دست آمده با استفاده از GA و روش سیپلکس گمز، بر مقدار تابع هدف به دست آمده با استفاده از روش سیپلکس گمز محاسبه شده است. یعنی این

ضمناً پارامتر V (مدت‌زمان حرکت محصولات از درب‌های ورودی به درب‌های خروجی) به‌صورت ثابت برای تمام مثال‌ها عدد ۱۵ دقیقه و پارامتر D (مدت زمان تعویض کامیون‌ها در درب‌های ورودی و خروجی) نیز ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شده است.

۵-۱- نتایج نمونه‌های عددی با اندازه کوچک

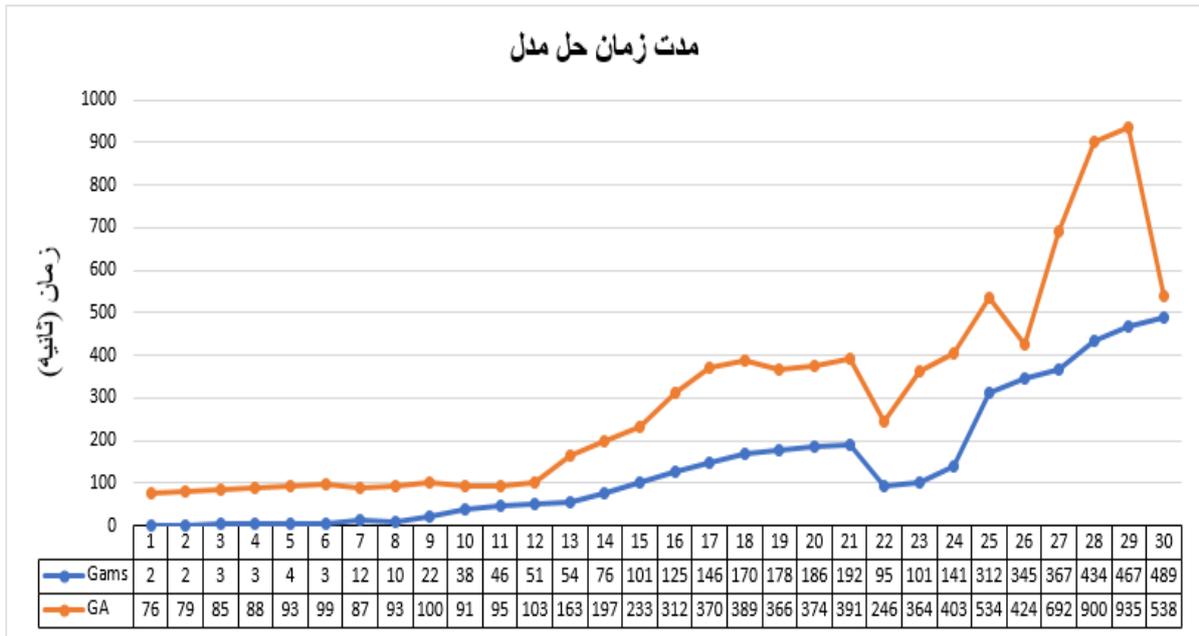
در این بخش و بخش بعدی، نتایج به‌دست‌آمده برای مدل ریاضی را پس از اجرای هر دو روش حل (شاخه و کران با استفاده از

اندازه کوچک به دست آمده قابل اعتماد است و در تمام ۳۰ مثال می‌تواند در یک تقریب مناسب به جواب بهینه دست یابد.

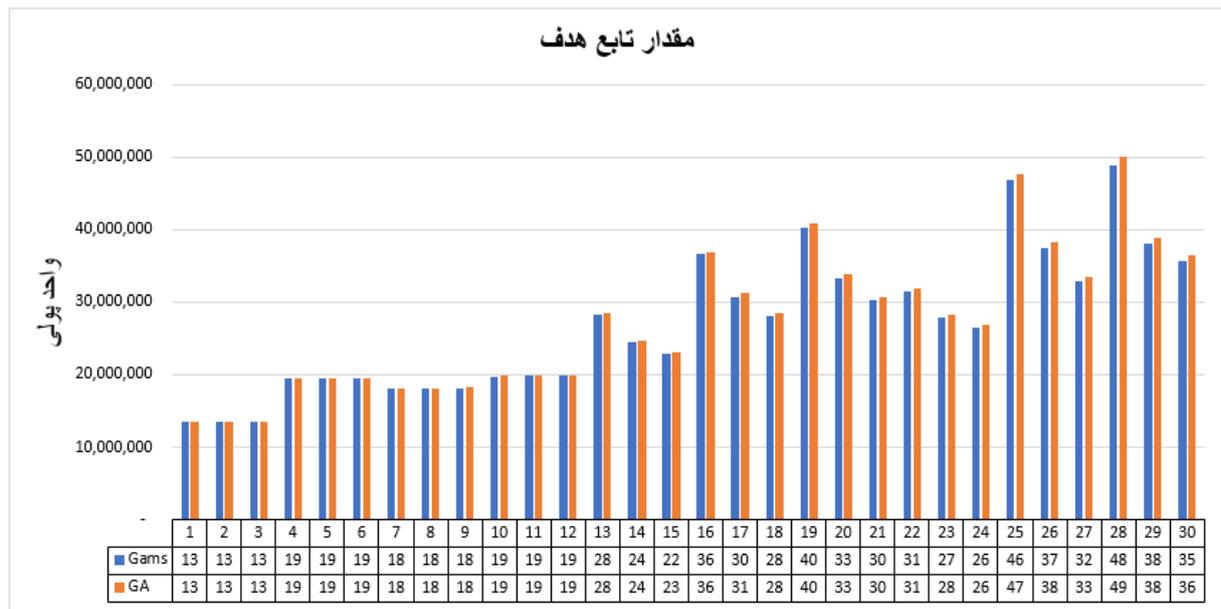
متغیر خطای شکاف ایجاد شده بین روش حل‌های GA و گمز را توصیف می‌کند. میانگین درصد خطا برابر با ۱٪ است. این بدان معنی است که GA پیشنهادی بر اساس نتایج نمونه‌های مسائل

جدول (۴). نتایج مثال‌های عددی سائز کوچک

problem structure												
Problem size	Instance no	i	j	k	l	f	g	CPU time		Objective function		
								Gams	GA	Gams	GA	Error%
small	۱	۲	۱۰	۴	۳	۱	۱	۲	۷۶	۱۳,۵۵۴,۵۲۰	۱۳,۵۵۴,۵۲۰	۰.۰٪
	۲	۲	۱۰	۴	۳	۲	۲	۲	۷۹	۱۳,۵۵۴,۵۲۰	۱۳,۵۵۴,۵۲۰	۰.۰٪
	۳	۲	۱۰	۴	۳	۳	۳	۳	۸۵	۱۳,۵۵۴,۵۲۰	۱۳,۵۵۴,۵۲۰	۰.۰٪
	۴	۲	۱۳	۴	۳	۱	۱	۳	۸۸	۱۹,۵۴۵,۷۲۰	۱۹,۵۴۵,۷۲۰	۰.۰٪
	۵	۲	۱۳	۴	۳	۲	۲	۴	۹۳	۱۹,۵۴۵,۷۲۰	۱۹,۵۴۵,۷۲۰	۰.۰٪
	۶	۲	۱۳	۴	۳	۳	۳	۳	۹۹	۱۹,۵۴۵,۷۲۰	۱۹,۵۴۵,۷۲۰	۰.۰٪
	۷	۲	۱۶	۵	۳	۱	۱	۱۲	۸۷	۱۸,۱۱۶,۴۸۲	۱۸,۱۵۶,۴۲۶	۰.۳٪
	۸	۲	۱۶	۵	۳	۲	۲	۱۰	۹۳	۱۸,۰۶۸,۹۹۱	۱۸,۱۷۴,۴۰۳	۰.۶٪
	۹	۲	۱۶	۵	۳	۳	۳	۲۲	۱۰۰	۱۸,۱۶۱,۳۷۰	۱۸,۲۱۰,۳۵۶	۰.۳٪
	۱۰	۳	۱۸	۶	۴	۱	۱	۳۸	۹۱	۱۹,۷۶۴,۶۲۶	۱۹,۸۱۹,۷۲۴	۰.۳٪
	۱۱	۳	۱۸	۶	۴	۲	۲	۴۶	۹۵	۱۹,۸۳۹,۰۷۴	۱۹,۸۵۸,۹۳۳	۰.۱٪
	۱۲	۳	۱۸	۶	۴	۳	۳	۵۱	۱۰۳	۱۹,۸۲۶,۸۳۰	۱۹,۸۳۹,۳۲۸	۰.۱٪
	۱۳	۳	۲۱	۷	۴	۱	۱	۵۴	۱۶۳	۲۸,۳۰۶,۲۲۳	۲۸,۵۲۵,۰۱۰	۰.۸٪
	۱۴	۳	۲۱	۷	۴	۲	۲	۷۶	۱۹۷	۲۴,۴۹۴,۶۸۳	۲۴,۶۸۷,۲۴۳	۰.۸٪
	۱۵	۳	۲۱	۷	۴	۳	۳	۱۰۱	۲۳۳	۲۲,۸۹۵,۹۴۱	۲۳,۰۹۴,۷۸۸	۰.۹٪
	۱۶	۳	۲۴	۸	۵	۱	۱	۱۲۵	۳۱۲	۳۶,۵۹۳,۶۳۵	۳۶,۸۷۲,۳۹۱	۰.۸٪
	۱۷	۳	۲۴	۸	۵	۲	۲	۱۴۶	۳۷۰	۳۰,۶۳۰,۲۵۰	۳۱,۱۹۸,۰۵۴	۱.۹٪
	۱۸	۳	۲۴	۸	۵	۳	۳	۱۷۰	۳۸۹	۲۸,۰۴۸,۳۶۸	۲۸,۵۶۶,۲۷۵	۱.۸٪
	۱۹	۴	۲۴	۸	۵	۱	۱	۱۷۸	۳۶۶	۴۰,۲۱۳,۲۶۰	۴۰,۷۶۸,۱۱۴	۱.۴٪
	۲۰	۴	۲۴	۸	۵	۲	۲	۱۸۶	۳۷۴	۳۳,۳۵۰,۶۹۴	۳۳,۸۸۹,۸۸۲	۱.۶٪
	۲۱	۴	۲۴	۸	۵	۳	۳	۱۹۲	۳۹۱	۳۰,۲۵۳,۰۷۲	۳۰,۵۹۸,۸۳۹	۱.۱٪
	۲۲	۴	۲۸	۸	۵	۱	۱	۹۵	۲۴۶	۳۱,۵۴۷,۶۲۰	۳۱,۸۹۵,۲۷۹	۱.۱٪
	۲۳	۴	۲۸	۸	۵	۲	۲	۱۰۱	۲۶۴	۲۷,۹۳۱,۵۷۴	۲۸,۳۶۲,۳۹۹	۱.۵٪
	۲۴	۴	۲۸	۸	۵	۳	۳	۱۴۱	۴۰۳	۲۶,۴۱۳,۴۴۷	۲۶,۸۱۰,۷۸۳	۱.۵٪
	۲۵	۴	۳۲	۱۰	۶	۱	۱	۳۱۲	۵۳۴	۴۶,۹۲۶,۶۳۹	۴۷,۶۷۸,۰۴۵	۱.۶٪
	۲۶	۴	۳۲	۱۰	۶	۲	۲	۳۴۵	۴۲۴	۳۷,۴۱۱,۰۸۰	۳۸,۳۵۷,۳۵۶	۲.۵٪
	۲۷	۴	۳۲	۱۰	۶	۳	۳	۳۶۷	۶۹۲	۳۲,۸۳۱,۵۲۱	۳۳,۵۶۲,۸۵۵	۲.۳٪
	۲۸	۴	۳۵	۱۰	۶	۱	۱	۴۳۴	۹۰۰	۴۸,۸۰۴,۴۷۹	۴۹,۹۶۶,۷۰۵	۲.۴٪
	۲۹	۴	۳۵	۱۰	۶	۲	۲	۴۶۷	۹۳۵	۳۸,۰۵۴,۰۸۹	۳۸,۹۰۳,۳۴۹	۲.۳٪
	۳۰	۴	۳۵	۱۰	۶	۳	۳	۴۸۹	۵۳۸	۳۵,۶۹۹,۳۷۰	۳۶,۵۴۳,۵۲۶	۲.۴٪
average								۱۳۹	۲۹۷	۲۷,۱۱۶,۱۳۵	۲۷,۴۵۴,۶۹۳	۱.۰٪



شکل (۵). مقایسه‌ی مدت زمان حل دو روش GA و GAMS در سایز کوچک



شکل (۶). مقایسه‌ی مدت زمان حل دو روش GA و GAMS در سایز کوچک

۵-۲- نتایج نمونه‌های با اندازه متوسط

میانگین درصد خطای تابع هدف نزدیک ۴/۶ درصد است. این بدان معنی است که روش GA پیشنهادی را می‌توان برای نمونه‌های با اندازه متوسط قابل اعتماد فرض کرد و قادر به دستیابی به راه‌حل‌های نزدیک به بهینه در تمام ۳۰ نمونه در اندازه متوسط است.

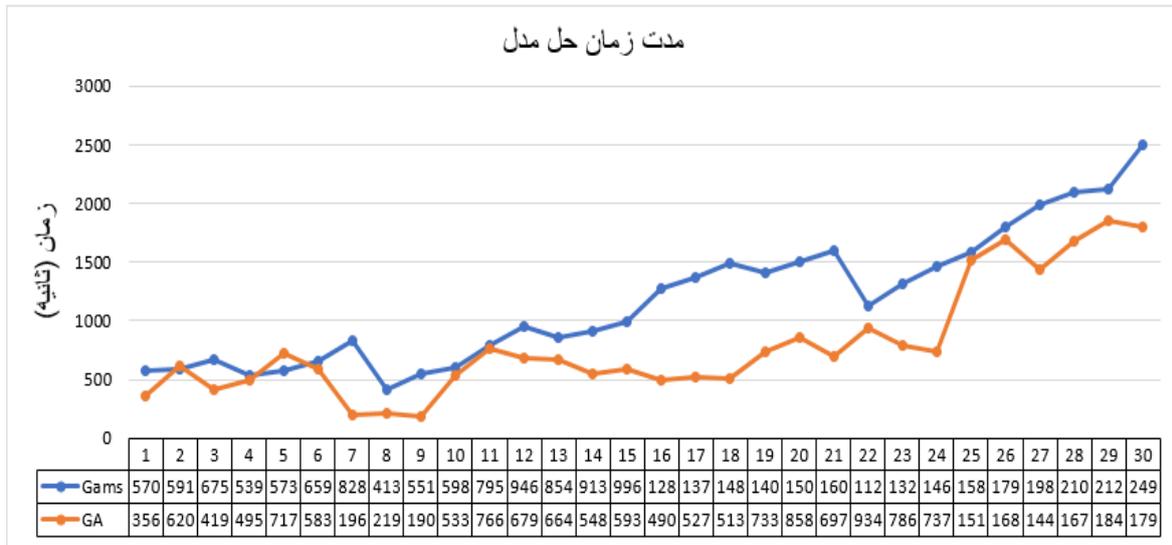
ساختارها و نتایج نمونه‌های با اندازه متوسط در جدول (۵) ارائه شده است. زمان CPU و مقادیر تابع هدف به دست آمده در تمام ۳۰ نمونه با اندازه متوسط با استفاده از هر دو روش حل در شکل‌های (۷) و (۸) ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود گمز برای رسیدن به یک جواب بهینه به میانگین زمان CPU بالاتری نسبت به GA نیاز دارد.

جدول (۵). نتایج مثال‌های عددی ساین متوسط

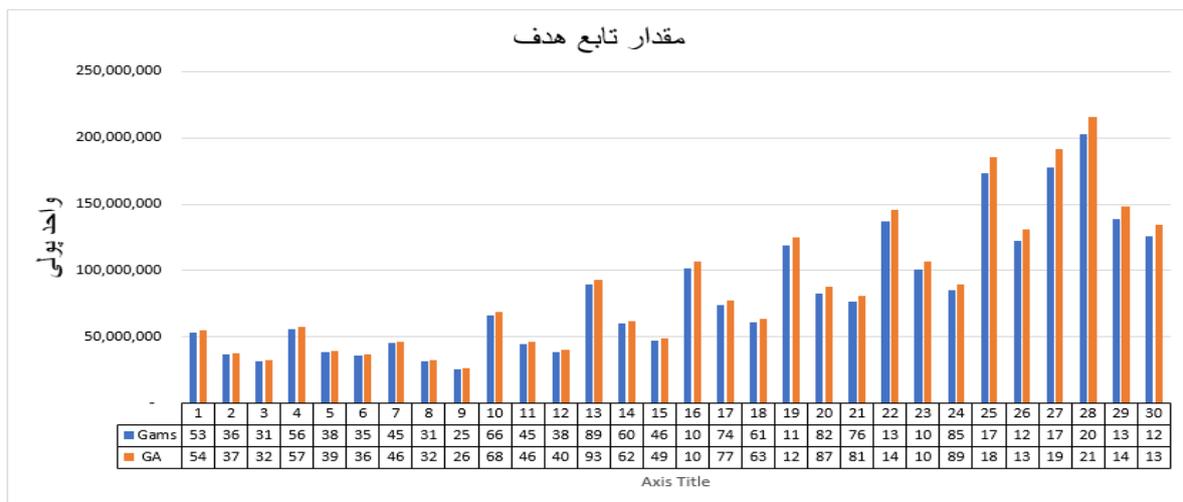
Problem size	Instance no	i	j	k	l	f	g	CPU time		Objective function		
								Gams	GA	Gams	GA	Error%
Medium	۳۱	۴	۳۸	۱۱	۶	۱	۱	۵۷۰	۳۵۶	۵۳,۲۸۴,۹۶۹	۵۴,۸۹۹,۰۰۰	۳.۰٪
	۳۲	۴	۳۸	۱۱	۶	۲	۲	۵۹۱	۶۲۰	۳۶,۸۴۲,۳۴۳	۳۷,۷۵۶,۰۴۰	۲.۵٪
	۳۳	۴	۳۸	۱۱	۶	۳	۳	۶۷۵	۴۱۹	۳۱,۸۵۸,۴۲۵	۳۲,۷۳۲,۳۸۰	۲.۷٪
	۳۴	۴	۴۰	۱۱	۷	۱	۱	۵۳۹	۴۹۵	۵۶,۲۲۷,۷۳۰	۵۷,۷۲۲,۷۴۹	۲.۷٪
	۳۵	۴	۴۰	۱۱	۷	۲	۲	۵۷۳	۷۱۷	۳۸,۸۵۹,۴۹۵	۳۹,۷۵۳,۹۶۰	۲.۳٪
	۳۶	۴	۴۰	۱۱	۷	۳	۳	۶۵۹	۵۸۳	۳۵,۷۷۶,۳۳۷	۳۶,۵۷۳,۶۴۳	۲.۲٪
	۳۷	۴	۴۰	۱۲	۷	۱	۱	۸۲۸	۱۹۶	۴۵,۳۳۰,۳۳۳	۴۶,۴۰۶,۹۷۵	۲.۴٪
	۳۸	۴	۴۰	۱۲	۷	۲	۲	۴۱۳	۲۱۹	۳۱,۶۹۵,۷۳۶	۳۲,۴۷۵,۱۴۰	۲.۵٪
	۳۹	۴	۴۰	۱۲	۷	۳	۳	۵۵۱	۱۹۰	۲۵,۵۰۲,۴۴۴	۲۶,۳۳۷,۳۳۸	۳.۳٪
	۴۰	۵	۴۴	۱۲	۷	۱	۱	۵۹۸	۵۳۳	۶۶,۳۳۲,۲۵۸	۶۸,۷۶۲,۷۲۶	۳.۸٪
	۴۱	۵	۴۴	۱۲	۷	۲	۲	۷۹۵	۷۶۶	۴۵,۰۵۱,۴۴۱	۴۶,۴۹۲,۷۱۶	۳.۲٪
	۴۲	۵	۴۴	۱۲	۷	۳	۳	۹۴۶	۶۷۹	۳۸,۹۷۶,۵۸۷	۴۰,۴۹۵,۱۵۵	۳.۹٪
	۴۳	۵	۴۴	۱۵	۷	۱	۱	۸۵۴	۶۶۴	۸۹,۷۵۳,۶۵۳	۹۳,۰۳۷,۸۹۰	۳.۷٪
	۴۴	۵	۴۴	۱۵	۷	۲	۲	۹۱۳	۵۴۸	۶۰,۰۴۴,۹۳۵	۶۲,۲۷۴,۳۵۸	۳.۷٪
	۴۵	۵	۴۴	۱۵	۷	۳	۳	۹۹۶	۵۹۳	۴۶,۹۶۳,۵۴۶	۴۹,۲۵۹,۰۱۷	۴.۹٪
	۴۶	۵	۴۴	۱۵	۸	۱	۱	۱۲۸۰	۴۹۰	۱۰۱,۶۰۵,۳۸۵	۱۰۶,۵۶۰,۴۴۶	۴.۹٪
	۴۷	۵	۴۴	۱۵	۸	۲	۲	۱۳۷۶	۵۲۷	۷۴,۰۴۹,۰۳۲	۷۷,۶۱۱,۳۹۶	۴.۸٪
	۴۸	۵	۴۴	۱۵	۸	۳	۳	۱۴۸۷	۵۱۳	۶۱,۱۴۲,۶۳۰	۶۳,۷۹۶,۵۶۷	۴.۳٪
	۴۹	۵	۴۸	۱۷	۸	۱	۱	۱۴۰۸	۷۳۳	۱۱۹,۰۰۸,۵۸۴	۱۲۴,۶۰۳,۲۷۱	۴.۷٪
	۵۰	۵	۴۸	۱۷	۸	۲	۲	۱۵۰۷	۸۵۸	۸۲,۸۴۳,۱۴۸	۸۷,۹۳۴,۵۶۰	۶.۱٪
	۵۱	۵	۴۸	۱۷	۸	۳	۳	۱۶۰۰	۶۹۷	۷۶,۹۶۷,۴۴۰	۸۱,۱۶۳,۵۹۸	۵.۵٪
	۵۲	۶	۵۰	۱۸	۹	۱	۱	۱۱۲۳	۹۳۴	۱۳۷,۰۳۵,۰۷۶	۱۴۵,۴۴۶,۱۶۶	۶.۱٪
	۵۳	۶	۵۰	۱۸	۹	۲	۲	۱۳۲۲	۷۸۶	۱۰۰,۶۵۷,۵۰۹	۱۰۶,۶۱۷,۴۲۴	۵.۹٪
	۵۴	۶	۵۰	۱۸	۹	۳	۳	۱۴۶۵	۷۳۷	۸۵,۱۲۵,۹۱۰	۸۹,۹۸۵,۱۰۵	۵.۷٪
	۵۵	۶	۵۰	۲۰	۱۰	۱	۱	۱۵۸۹	۱۵۱۹	۱۷۳,۱۰۶,۴۰۱	۱۸۵,۳۱۸,۹۱۸	۷.۱٪
	۵۶	۶	۵۰	۲۰	۱۰	۲	۲	۱۷۹۸	۱۶۸۸	۱۲۲,۰۸۴,۷۴۳	۱۳۱,۲۴۵,۶۹۳	۷.۵٪
	۵۷	۶	۵۰	۲۰	۱۰	۳	۳	۱۹۸۴	۱۴۴۲	۱۷۷,۸۵۰,۹۳۳	۱۹۱,۰۹۳,۷۲۹	۷.۴٪
	۵۸	۶	۵۴	۲۴	۱۰	۱	۱	۲۱۰۲	۱۶۷۷	۲۰۲,۵۲۱,۱۳۱	۲۱۵,۸۶۱,۳۶۳	۶.۶٪
	۵۹	۶	۵۴	۲۴	۱۰	۲	۲	۲۱۲۱	۱۸۴۹	۱۳۸,۴۷۱,۵۰۶	۱۴۸,۲۵۶,۴۳۱	۷.۱٪
	۶۰	۶	۵۴	۲۴	۱۰	۳	۳	۲۴۹۹	۱۷۹۶	۱۲۶,۲۹۷,۵۱۸	۱۳۴,۶۱۶,۸۳۹	۶.۶٪
average								۱۱۷۲.۰۷	۷۹۴.۱۳	۸۲,۷۰۵,۵۷۳	۸۷,۱۶۹,۰۲۰	۴.۶٪

جدول (۶). نتایج مثال های عددی سایز بزرگ

Problem size	Instance no	i	j	k	l	f	g	CPU time		Objective function		
								Gams	GA	Gams	GA	Error%
large	۶۱	۶	۵۴	۲۴	۱۱	۱	۱	۲۵۸۵	۱۷۸۷	۱۹۸,۸۱۸,۳۴۲	۲۱۵,۸۴۸,۸۱۳	۹٪
	۶۲	۶	۵۴	۲۴	۱۱	۲	۲	۲۷۶۸	۱۹۶۴	۱۵۲,۲۶۷,۰۸۳	۱۶۲,۹۰۴,۷۶۵	۷٪
	۶۳	۶	۵۴	۲۴	۱۱	۳	۳	۳۰۰۰	۱۷۲۸	۱۴۰,۵۱۲,۶۳۱	۱۵۰,۳۷۷,۳۸۸	۷٪
	۶۴	۷	۵۸	۳۰	۱۲	۱	۱	۳۲۱۱	۱۹۶۰	۲۶۰,۱۹۹,۰۰۲	۲۷۷,۸۱۲,۳۰۲	۷٪
	۶۵	۷	۵۸	۳۰	۱۲	۲	۲	۳۳۹۱	۲۱۰۸	۱۸۴,۳۱۳,۱۱۸	۲۰۱,۸۹۸,۴۷۶	۱۰٪
	۶۶	۷	۵۸	۳۰	۱۲	۳	۳	۳۵۹۷	۱۶۶۵	۱۷۱,۱۴۵,۳۱۶	۱۸۵,۳۰۲,۴۲۱	۸٪
	۶۷	۷	۶۰	۳۵	۱۳	۱	۱	۳۶۰۰	۱۷۶۲	۳۸۸,۶۸۳,۸۳۵	۳۲۷,۱۷۴,۹۴۵	-۱۶٪
	۶۸	۷	۶۰	۳۵	۱۳	۲	۲	۳۶۰۰	۱۸۶۹	۲۶۸,۶۵۱,۵۶۳	۲۳۹,۶۵۳,۴۹۱	-۱۱٪
	۶۹	۷	۶۰	۳۵	۱۳	۳	۳	۳۶۰۰	۲۰۲۴	۲۴۶,۶۲۵,۸۲۵	۲۱۶,۷۱۸,۶۵۱	-۱۲٪
	۷۰	۷	۷۰	۴۰	۱۴	۱	۱	۳۶۰۰	۲۵۶۴	۴۵۲,۵۸۴,۳۵۵	۳۶۶,۴۶۵,۰۶۵	-۱۹٪
	۷۱	۷	۷۰	۴۰	۱۴	۲	۲	۳۶۰۰	۲۳۸۸	۳۸۰,۳۱۱,۶۱۷	۲۹۸,۰۴۹,۸۵۷	-۲۲٪
	۷۲	۷	۷۰	۴۰	۱۴	۳	۳	۳۶۰۰	۲۲۱۶	۳۴۶,۳۷۳,۵۷۴	۲۶۷,۴۶۹,۹۴۱	-۲۳٪
	۷۳	۸	۸۰	۵۰	۱۵	۱	۱	۳۶۰۰	۲۰۲۵	۶۳۵,۹۷۶,۷۹۱	۵۰۸,۳۷۴,۷۳۳	-۲۰٪
	۷۴	۸	۸۰	۵۰	۱۵	۲	۲	۳۶۰۰	۲۲۹۴	۴۴۶,۰۲۵,۵۱۹	۳۶۲,۹۱۷,۴۲۸	-۱۹٪
	۷۵	۸	۸۰	۵۰	۱۵	۳	۳	۳۶۰۰	۲۱۶۵	۳۸۹,۰۷۷,۷۵۰	۳۲۰,۴۹۲,۳۸۰	-۱۸٪
	۷۶	۸	۱۰۰	۵۵	۱۶	۱	۱	۳۶۰۰	۲۸۸۴	۸۰۸,۸۰۸,۹۰۳	۶۲۷,۹۵۷,۲۳۳	-۲۲٪
	۷۷	۸	۱۰۰	۵۵	۱۶	۲	۲	۳۶۰۰	۲۵۷۳	۵۲۹,۶۲۸,۶۲۹	۴۳۴,۱۲۱,۸۲۷	-۱۸٪
	۷۸	۸	۱۰۰	۵۵	۱۶	۳	۳	۳۶۰۰	۲۷۵۸	۴۹۸,۹۹۳,۷۳۷	۳۸۸,۳۲۱,۹۷۴	-۲۲٪
	۷۹	۹	۱۲۰	۶۰	۱۷	۱	۱	۳۶۰۰	۲۶۷۸	۹۹۵,۴۱۶,۳۷۲	۷۵۸,۷۰۱,۵۰۳	-۲۴٪
	۸۰	۹	۱۲۰	۶۰	۱۷	۲	۲	۳۶۰۰	۲۷۶۹	۷۴۰,۲۰۹,۶۲۳	۵۳۴,۴۴۷,۳۸۱	-۲۸٪
	۸۱	۹	۱۲۰	۶۰	۱۷	۳	۳	۳۶۰۰	۲۴۷۴	۶۰۵,۸۱۹,۰۸۸	۴۶۲,۴۵۷,۳۱۹	-۲۴٪
	۸۲	۹	۱۲۰	۶۰	۱۸	۱	۱	۳۶۰۰	۲۹۲۱	۱,۱۷۵,۱۵۳,۵۹۴	۸۶۲,۱۸۱,۶۵۴	-۲۷٪
	۸۳	۹	۱۲۰	۶۰	۱۸	۲	۲	۳۶۰۰	۳۰۰۵	۸۳۶,۱۳۱,۳۳۱	۶۰۰,۲۳۷,۸۵۴	-۲۸٪
	۸۴	۹	۱۲۰	۶۰	۱۸	۳	۳	۳۶۰۰	۳۴۰۷	۶۸۹,۴۱۳,۶۳۱	۵۲۴,۶۶۷,۹۰۸	-۲۴٪
	۸۵	۱۰	۱۵۰	۶۵	۱۹	۱	۱	۳۶۰۰	۳۰۶۴	۱,۳۹۸,۰۱۲,۴۱۳	۱,۰۵۱,۹۲۸,۰۷۶	-۲۵٪
	۸۶	۱۰	۱۵۰	۶۵	۱۹	۲	۲	۳۶۰۰	۲۸۸۱	۹۷۰,۳۸۴,۳۷۱	۷۱۴,۰۴۲,۹۵۱	-۲۶٪
	۸۷	۱۰	۱۵۰	۶۵	۱۹	۳	۳	۳۶۰۰	۲۵۷۳	۸۲۹,۳۶۳,۱۷۳	۶۱۳,۴۳۴,۲۹۹	-۲۶٪
	۸۸	۱۰	۱۵۰	۶۵	۲۰	۱	۱	۳۶۰۰	۳۰۳۴	۱,۶۶۴,۱۷۴,۵۴۹	۱,۲۰۰,۷۰۳,۱۳۸	-۲۸٪
	۸۹	۱۰	۱۵۰	۶۵	۲۰	۲	۲	۳۶۰۰	۳۲۹۴	۱,۰۹۴,۴۲۰,۴۱۵	۸۱۰,۰۸۱,۷۲۸	-۲۶٪
	۹۰	۱۰	۱۵۰	۶۵	۲۰	۳	۳	۳۶۰۰	۲۹۰۹	۹۰۴,۲۵۴,۵۳۹	۶۹۰,۲۷۰,۶۴۱	-۲۴٪
average								۳۴۹۸	۲۴۵۸	۶۱۳,۳۹۱,۶۹۰	۴۷۹,۱۶۷,۲۰۴	-۱۶٪



شکل (۷). مقایسه‌ی مدت زمان حل دو روش GA و GAMS در مثال‌های متوسط

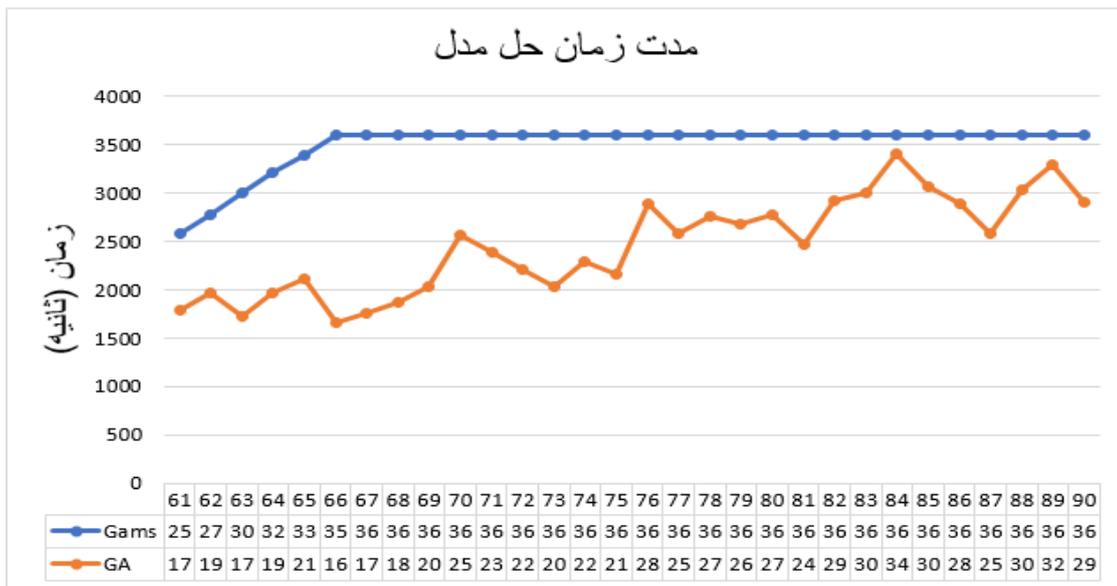


شکل (۸). مقایسه‌ی مقادیر تابع هدف دور روش GA و GAMS در سائز متوسط

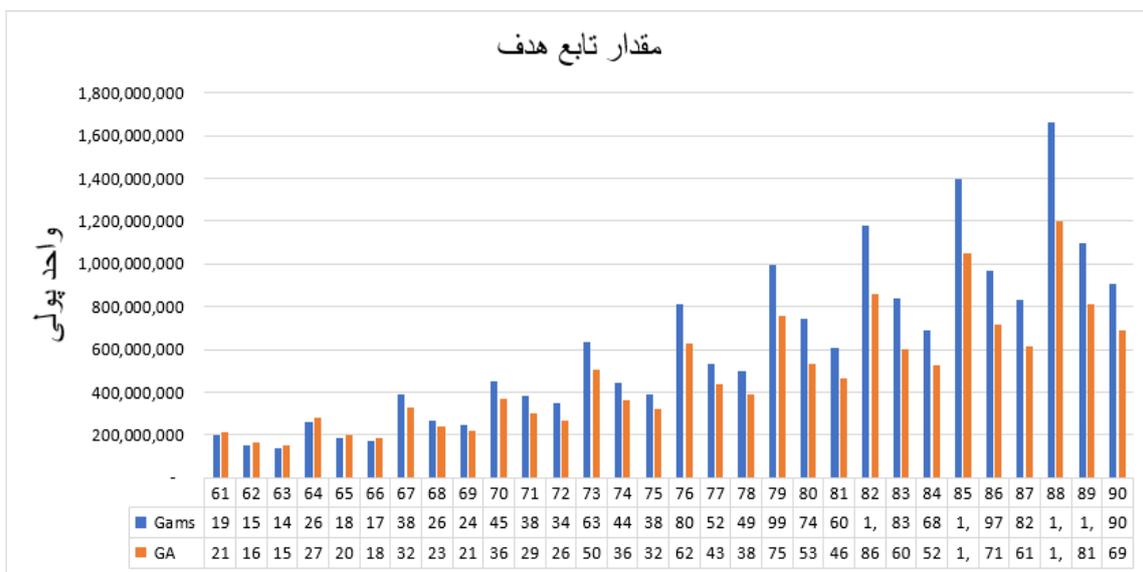
۳-۵- نتایج نمونه‌های با اندازه بزرگ

بهتر از مقادیر مربوطه به دست آمده با روش مبتنی بر گمز است. زمان CPU و مقادیر تابع هدف به دست آمده با استفاده از هر سه روش در مثال‌های اندازه بزرگ در جدول (۶) و شکل‌های (۹) و (۱۰) ارائه شده است. بر اساس یافته‌های به دست آمده در نمونه‌های اندازه کوچک و متوسط، می‌توان فرض کرد که نتایج GA برای نمونه‌های اندازه بزرگ قابل اعتماد است، اگرچه تجزیه و تحلیل‌های اضافی باید انجام شود.

زمانی که مسائل اندازه بزرگ مورد بررسی قرار گرفت، گمز حتی طی دوره زمانی طولانی قادر به همگرایی به سمت جواب‌های بهینه نبود. در نتیجه، راه حل گمز اجرا شده پس از ۳۶۰۰ ثانیه خاتمه یافت و بهترین جواب‌ها گزارش شد. با توجه به یافته‌های گزارش شده در جدول (۶)، می‌توان نتیجه گرفت که روش GA پیشنهادی از روش مبتنی بر گمز بهتر عمل کرده است. مقادیر تابع هدف و زمان‌های CPU به دست آمده توسط GA بسیار



شکل (۹). مقایسه‌ی مقادیر مدت زمان حل دو روش GA و GAMS در مثال‌های بزرگ



شکل (۱۰). مقایسه‌ی مقادیر تابع هدف دو روش GA و GAMS در مثال‌های بزرگ

۴-۵- تحلیل آماری

میانگین‌ها بر اساس تابع چگالی احتمال جامعه ای است که نمونه از آن استخراج شده است. اگر تأیید شود که نمونه‌ها به‌طور نرمال توزیع شده است، می‌توان استنباط کرد که جامعه نیز از توزیع نرمال پیروی می‌کند. در این راستا، آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف^۱ یکی از شناخته شده‌ترین و گسترده‌ترین تست‌های نرمال بودن است.

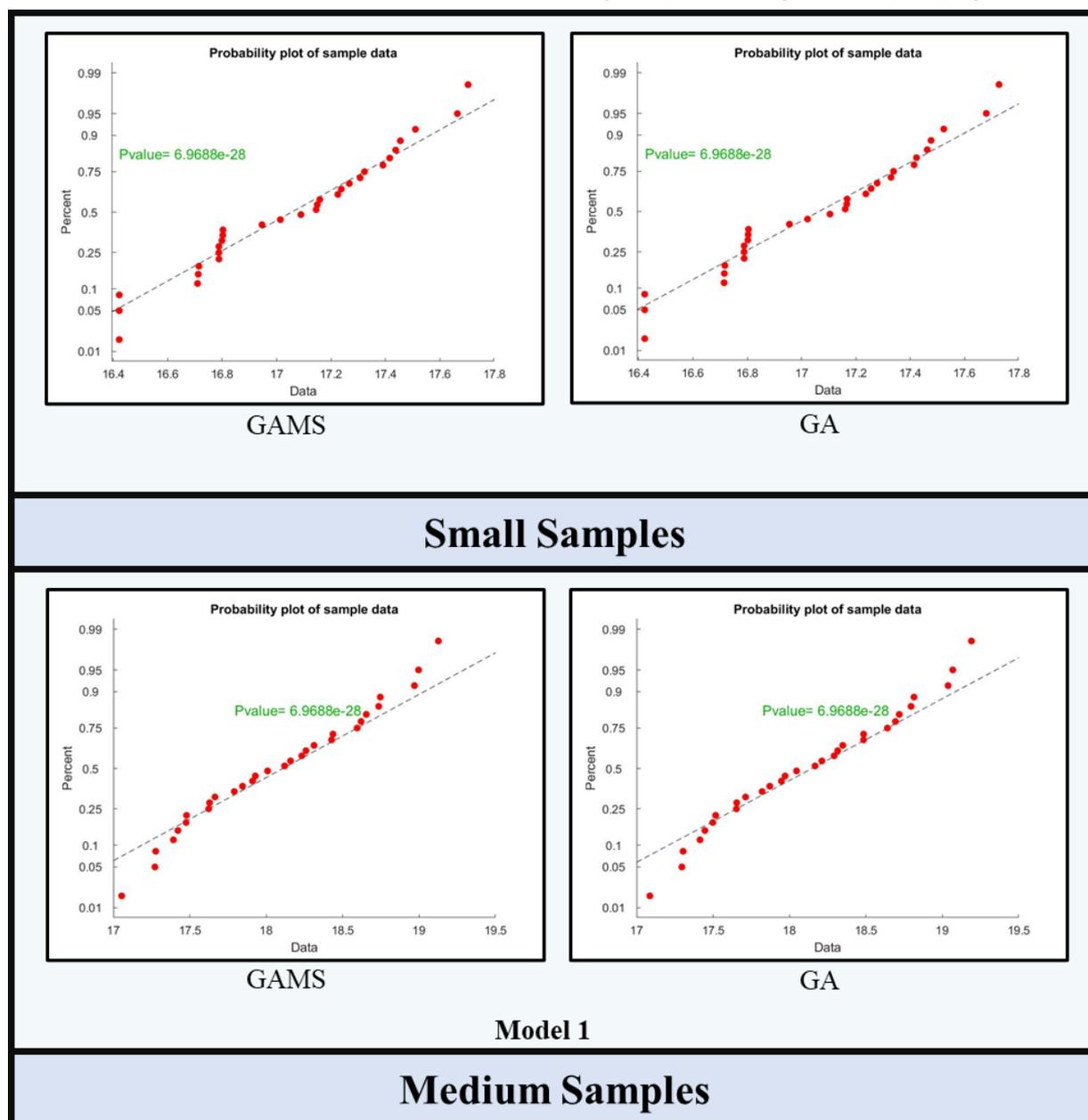
برای انجام آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف بر روی نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار MINITAB استفاده شد. به یاد داشته باشید که فرضیه صفر این آزمون، نرمال بودن توزیع مشاهدات را

اگرچه نتایج ارائه شده در جداول (۴)، (۵) و (۶) کارایی روش GA پیشنهادی را در تمام ۹۰ مسئله آزمون نشان می‌دهد، اما یک تحلیل آماری گسترده نیز برای آزمایش اینکه آیا تفاوت آماری معنی‌داری بین عملکرد روش حل دقیق اجرا شده در گمز و روش حل GA پیشنهادی که در MATLAB پیاده‌سازی شده است وجود دارد یا خیر، انجام می‌شود. برای این منظور، ما با اجرای آزمون نرمال بودن کولموگوروف-اسمیرنوف شروع می‌کنیم تا بررسی کنیم که آیا مقادیر تابع هدف به دست آمده با استفاده از هر دو روش حل، از یک تابع توزیع احتمالی نرمال پیروی می‌کنند یا خیر. در تجزیه و تحلیل آماری، فرضیه برابری

^۱ Kolmogorov-Smirnov

شده‌اند. در مقابل، زمانی که مقادیر p-value بالاتر از ۰/۰۵ باشد، شواهد کافی برای رد فرضیه صفر وجود ندارد و مشاهدات نتایج به‌دست‌آمده را می‌توان فرض کرد که به طور نرمال توزیع شده‌اند.

تأیید می‌کند، درحالی‌که فرضیه مقابل، آن را رد می‌کند. نتایج آزمایش برای هر دو روش حل در شکل (۱۱) خلاصه شده است. اگر مقادیر p-value ارائه شده در شکل (۱۱) کمتر از ۰/۰۵ باشد، می‌توان نتیجه گرفت که شواهد کافی برای پذیرش فرضیه صفر وجود ندارد و نمی‌توان فرض کرد که نتایج به‌طور نرمال توزیع



شکل (۱۱). نتایج حاصل از تست کولموگروف-اسمیرنوف جهت مقایسه‌ی آماری مقادیر تابع هدف

از طرف دیگر، اگر نتایج به‌طور نرمال توزیع نشده باشند، باید یک آزمون ناپارامتریک (کروسکال-والیس)^۱ برای تأیید برابری میانگین‌های نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از هر دو روش حل انجام شود.

مرحله بعدی به نرمال بودن نتایج به‌دست‌آمده بستگی دارد. اگر نتایج مثال‌های عددی به‌طور نرمال توزیع شده باشند، یک آزمون پارامتریک نرمال (ANOVA یک‌طرفه) برای هر مدل اجرا می‌شود تا برابری میانگین نتایج به‌دست‌آمده از روش الگوریتم ژنتیک و حل دقیق گمز را تأیید کند.

^۱ Kruskal-Wallis

روش دقیق گمز یکسان است. برای مسائل اندازه متوسط در آزمون کروسکال-والیس، آماره آزمون (H) دارای مقدار p-value ۰/۶۸۹ است که نشان می‌دهد که شواهد کافی برای برابر در نظر گرفتن میانگین مقادیر تابع هدف به دست آمده توسط هر دو روش در سطوح معنی داری ۰/۰۵ وجود دارد، بنابراین، عملکرد یکسان هر دو روش حل برای نمونه‌های کوچک و متوسط از نظر آماری تأیید می‌شود.

در حالت مثال‌های عددی اندازه‌بزرگ، وضعیت به‌نوعی متفاوت است؛ زیرا روش حل دقیق گمز قادر به همگرا شدن به یک جواب بهینه نیست و بنابراین آزمون ANOVA در واقع بی‌معنا می‌باشد، اما مطابق آزمون انجام شده آماره آزمون دارای مقدار p-value تقریباً برابر با صفر است. این بدان معنی است که فرضیه برابری میانگین مقادیر تابع هدف به‌دست‌آمده توسط هر دو روش حل رد می‌شود. با توجه به مقادیر متوسط ارائه شده در جدول (۷)، این نتیجه حاکی از آن است که مدل GA پیشنهادی از روش حل دقیق گمز در تمام نمونه‌های با اندازه‌بزرگ بهتر عمل می‌کند.

نتایج به‌دست‌آمده هنگام اجرای آزمون‌های کروسکال - والیس یک‌طرفه در جدول (۷) ارائه شده است. با توجه به اینکه مقدار P-Value در تمام این مثال‌ها مطابق شکل (۱۱)، کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد که نشان دهنده‌ی آن است که شواهد کافی برای پذیرش فرض صفر (نرمال بودن جامعه‌های آماری) وجود ندارد بنابراین نتایج مثال‌های اندازه کوچک و متوسط ناپارامتریک بوده و می‌بایست بجای آزمون پارامتریک نرمال (ANOVA یک طرفه) از آزمون کروسکال-والیس استفاده شود. لازم به توضیح است که با توجه به اینکه روش حل دقیق گمز قادر به دستیابی به جواب‌های بهینه در نمونه مثال‌های اندازه بزرگ نبود و در جدول صرفاً بهترین نتیجه‌ی استخراج شده، گزارش شده است، بنابراین تحلیل آماری برای این مثال‌ها معنایی نداشته و در این تحقیق گزارشی جهت تحلیل آماری آن ثبت نشده است.

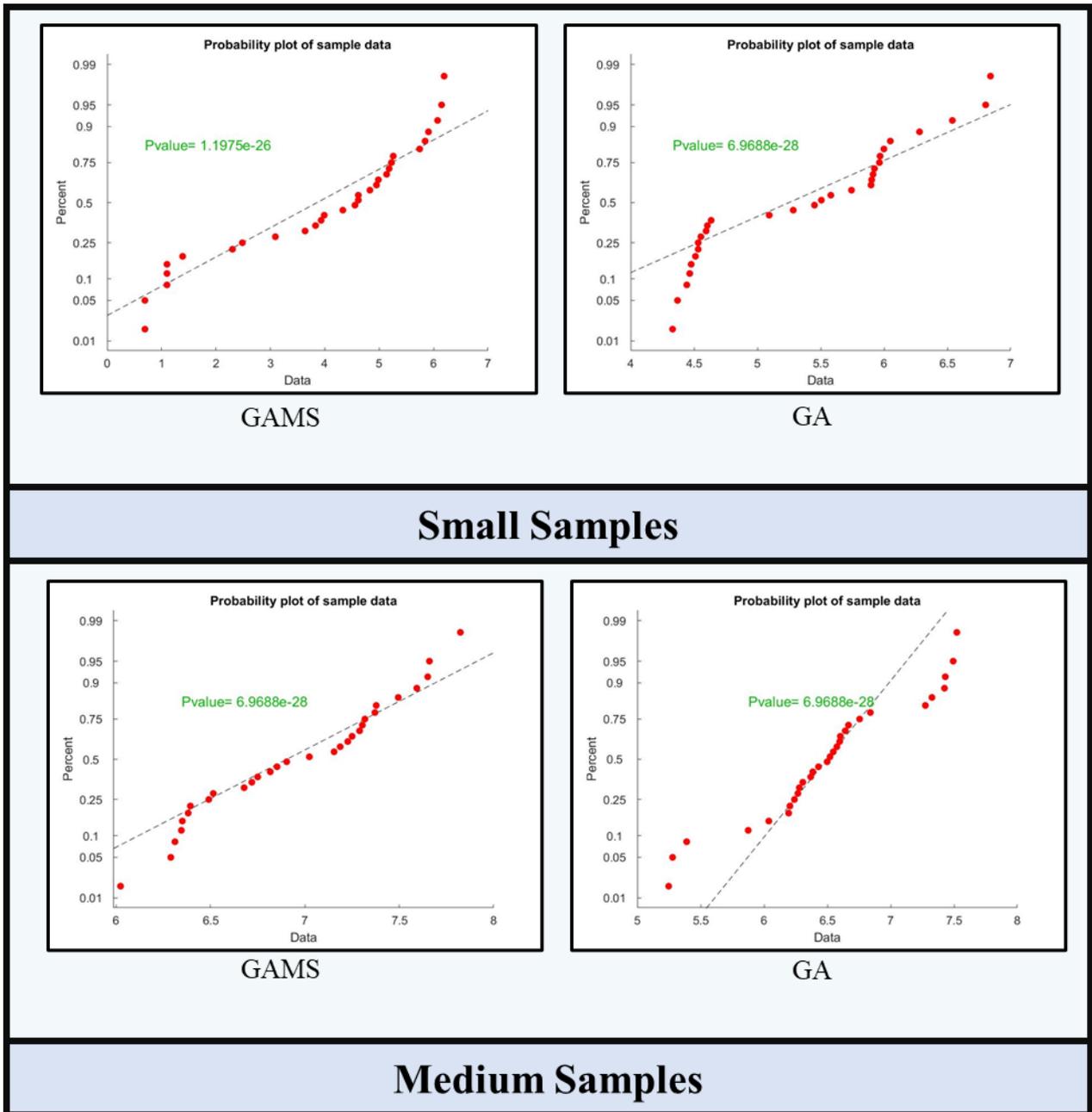
برای مسائل اندازه کوچک، آماره آزمون (H) دارای مقدار p-value ۰/۷۶۷ است که نشان می‌دهد فرضیه صفر (یعنی برابری میان‌های مقادیر تابع هدف به‌دست‌آمده با هر دو روش در هر ۳۰ مثال) در سطوح معنی داری ۰/۰۵ قابل قبول است. این بدان معنی است که عملکرد روش GA پیشنهادی از نظر آماری با

جدول (۷). نتایج حاصل از تحلیل آزمون Kruskal-Wallis به منظور مقایسه‌ی مقادیر تابع هدف دو روش

Kruskal-Wallis test results					
Small size problem					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	Chi-sq	P-Value
Between groups	۲۶۶۷	۱	۲۶۶۶۷	۰۰۰۸۷۶	۰۰۰۷۶۲۲۴۸۰۴
Within groups	۱۷۹۳۳۰۳۳	۵۸	۳۰۹۰۱۹۵		
Total	۱۷۹۶۰	۵۹			
Medium size problem					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	Chi-sq	P-Value
Between groups	۴۸۶	۱	۴۸۶	۰۰۱۵۹۳	۰۰۶۸۹۷۶۰۹۶
Within groups	۱۷۹۴۶۰۴	۵۸	۳۰۹۴۲۰۶۸۹۷		
Total	۱۷۹۹۵	۵۹			

حل دقیق گمز به‌دلیل مشکلات عدم هم‌گرایی پس از مدت‌زمان طولانی بدون حصول نتیجه مطلوب خاتمه می‌یابد. همچنین مشابه تحلیل‌های انجام شده در خصوص مقدار تابع هدف، تحلیل مشابهی نیز در خصوص مدت‌زمان حل انجام داده و نتایج به این صورت گزارش می‌گردد. ابتدا تست کلموگروف - اسمیرنوف انجام پذیرفت که مطابق شکل (۱۲) و از آنجا که مقادیر P-Value برای تمام مثال‌ها کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، بنابراین نتایج ناپارامتریک بوده و نمی‌توان از تست ANOVA یک طرفه استفاده نمود و به-جای آن از تست کروسکال - والیس استفاده می‌شود.

در مورد نمونه‌های کوچک و متوسط، تجزیه و تحلیل آماری نشان داده است که GA پیشنهادی می‌تواند به راه‌حل‌های بهینه به‌دست‌آمده با روش حل دقیق گمز دست یابد. در نتیجه، نتایج به‌دست‌آمده توسط GA در نمونه‌های با اندازه بزرگ را می‌توان دارای کیفیت مناسب در نظر گرفت. در مجموع، ما تأیید کرده‌ایم که الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با روش حل دقیق گمز قابل‌رقابت است در حالی که زمان موردنیاز CPU را نیز به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. علاوه بر این، GA پیشنهادی جواب‌های مناسبی را برای نمونه‌های با اندازه‌بزرگ ارائه کرده است، در حالی که روش



شکل (۱۲). نتایج حاصل از تست کولموگروف - اسمیرنوف جهت مقایسه‌ی آماره‌ی زمان

در مسائل اندازه متوسط نیز مقدار P-Value برابر ۰/۰۰۱ بوده و بنابراین فرض صفر پذیرفته می‌شود. اما در خصوص مثال‌های اندازه بزرگ مقدار P-Value برابر ۰ بوده و شواهد کافی برای پذیرش فرض برابری میانگین‌های مدت زمان حل دو روش حل وجود ندارد و با توجه به نتایج جدول (۶) و شکل (۹) مشخص است که زمان حل روش الگوریتم ژنتیک بسیار کمتر از مدت زمان حل روش حل دقیق در گمز می‌باشد.

نتایج حاصل از مقادیر P-Value که در جدول (۸) درج شده است نشان می‌دهد که در سطح معناداری ۰/۰۵ در مثال‌های کوچک شواهدی برای رد فرض صفر وجود نداشته و می‌توان مدت زمان حل هر دو روش را برابر در نظر گرفت چراکه مقدار P-Value برابر ۰/۰۰۳ بوده و کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد.

جدول (۸). نتایج حاصل از تحلیل آزمون Kruskal-Wallis به‌منظور مقایسه‌ی مدت زمان حل دو روش

Kruskal-Wallis test results for Time					
Small size problem					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	Chi-sq	P-Value
Between groups	۲۶۰۰.۴۲	۱	۲۶۰۰.۴۱۷	۸.۵۲۸۳	۰.۰۰۳۴۹۷
Within groups	۱۵۳۸۹.۵۸	۵۸	۲۶۵.۳۳۸		
Total	۱۷۹۹۰	۵۹			
Medium size problem					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	Chi-sq	P-Value
Between groups	۲۲۵۷.۰۶۷	۱	۲۲۵۷.۰۶۷	۷.۴۰۰۲	۰.۰۰۶۵۲۲
Within groups	۱۵۷۳۷.۹۳	۵۸	۲۷۱.۳۴۳۷		
Total	۱۷۹۹۵	۵۹			

۵-۵- تجزیه و تحلیل حساسیت

همچنین وسایل حمل‌ونقل ۲۷ و ۱۸ و ۲۱ و ۱۷ و ۲۹ و ۱۱ و ۳۳ و ۱۴ و ۲۴ و ۱۰ به ترتیب جهت حمل کالا به فروشگاه‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ تخصیص یافتند. نحوه تخصیص هر وسیله حمل‌ونقل به هر درب و همچنین ترتیب اولویت آن‌ها در درب‌های ورود و خروج و نیز زمان ورود، زمان آغاز بارگیری و زمان خروج هر وسیله حمل‌ونقل نیز مطابق شکل (۱۳) مشخص می‌باشد.

جهت تحلیل حساسیت مدل و نتایج آن نسبت به پارامترهای مختلف، در این قسمت مثال ۲۹ را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم. در این مثال ۵ ناوگان حمل و نقل و در مجموع ۳۵ وسیله‌ی حمل و نقل ناهمگن به صورت بالقوه وجود دارد که می‌بایست سفارش ۱۰ فروشگاه از ۶ تامین‌کننده را حمل نمایند. پس از حل مدل، ناوگان‌های حمل‌ونقل ۲ و ۳ و ۴ انتخاب شدند، و به ترتیب وسایل حمل و نقل ۲۵ و ۲۸ و ۱۳ و (۱۶ و ۲۲) و (۹ و ۳۵) و ۱۵ جهت انتقال کالا از تامین‌کننده‌ی ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ به بارانداز عبوری تخصیص یافتند.



شکل (۱۳). مثال ۲۹ به صورت شماتیک

۴ را انتخاب نمود، و از طرفی زمان ترک آخرین کامیون از انبار عبوری به میزان ۱۳۶ دقیقه افزایش پیدا کرد. در حات دوم هر چهار ناوگان حمل و نقل انتخاب شدند، ولی زمان ترک آخرین کامیون نسبت به حل مثال با داده‌های اولیه تغییری نکرد. یعنی زمانی که هزینه‌های ثابت زیاد باشد، با وجود افزایش مدت زمان سرویس‌دهی و بکارگیری کامیون‌ها، بهتر است با ناوگان‌های

۵-۵-۱- تحلیل حساسیت پارامتر هزینه‌ی ثابت

جهت تحلیل تأثیر پارامتر هزینه‌ی ثابت، در حالت اول مقادیر هزینه‌های ثابت را نسبت به مقادیر مشخص اولیه به ۴ برابر افزایش داده و سپس این مقادیر را نسبت به مقادیر مشخص اولیه به یک چهارم کاهش دادیم. در حالت اول مدل فقط ناوگان ۳ و

ضمن تمرکز بر کاهش تمام هزینه‌ها به صورت یکپارچه در مدل در نظر گرفته شد. همچنین تخصیص مناسب کامیون‌ها به درب‌ها در بارانداز عبوری و نیز توالی و جایگاه کامیون‌ها در صف و زمان‌بندی حضور در بارانداز و ترک بارانداز عبوری باتوجه‌به تأثیر هزینه‌های معطلی هر وسیله حمل‌ونقل در هر ناوگان محاسبه شد، درحالی‌که در سایر مدل‌ها از این دیدگاه به موضوع توجه نشده؛ بلکه صرفاً از دیدگاه پنجره‌های زمانی تعریف شده برای فروشگاه و لحاظ کردن جرایم تأخیر و تعجیل بررسی شده‌اند، حال آنکه در دنیای واقعی علی‌الخصوص برای سازمان‌های دارای فروشگاه‌های زنجیره‌ای، هزینه‌های به‌خدمت‌گرفتن ناوگان‌های حمل‌ونقل عامل سوم، مهم‌تر از پنجره زمانی فروشگاه‌هایی است که متعلق به خود سازمان می‌باشند و جریمه‌ای برای تأخیر و تعجیل آنها در نظر نمی‌گیرند، از این رو بررسی این مسئله از این دیدگاه امری ضروری برای مدیران جهت تصمیم‌گیری‌ها خواهد بود. باتوجه‌به اینکه این مدل از نوع ان پی - دشوار بوده و توانایی حل مسائل بزرگ را ندارد، مدل فراابتکاری الگوریتم ژنتیک نیز برای حل مسائل بزرگ‌تر توسعه داده شد و مطابق تحلیل حساسیت مفصلی که بر روی خروجی مثال‌های عددی انجام شد، محرز گردید که روش پیشنهاد شده مورد تأیید بوده و در ابعاد کوچک بسیار نزدیک به روش دقیق عمل می‌کند، با این تفاوت که روش فراابتکاری پیشنهاد شده توانایی حل مسائل بزرگ‌تر را نیز دارا می‌باشد.

باتوجه‌به اهمیت بررسی زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی به صورت هم‌زمان و یکپارچه در بارانداز عبوری از دیدگاه عامل چهارم و با در نظر گرفتن هزینه‌های انتخاب ناوگان‌ها و هزینه‌های استفاده از وسایل حمل‌ونقل و هزینه‌های معطلی وسایل حمل‌ونقل، پیشنهادهای جهت توسعه بیشتر این مدل مطالعات آتی ارائه می‌گردد:

- ۱- مسئله به صورت چند دوره‌ای مورد مطالعه قرار گیرد.
- ۲- هزینه‌های تأخیر و تعجیل پنجره‌های زمانی با وزنی متناسب نسبت به سایر هزینه‌ها به مدل اضافه شود.
- ۳- همچنین می‌توان بجای هزینه‌های پنجره زمانی، هزینه عدم رضایت فروشگاه‌ها را لحاظ نمود.
- ۴- پیشنهاد می‌شود هزینه‌های عملیاتی، نظیر هزینه تجهیزات تخلیه و بارگیری، هزینه نیروی انسانی به‌ازای هر نفر و نیز هزینه انرژی در زمان مشغول بکار بودن بارانداز، به مدل اضافه شود تا مدل با انجام trade-off جهت افزایش تعداد تجهیزات و نیروی انسانی در عوض کاهش زمان عملیات و به تبع آن کاهش زمان ارسال کالا و کاهش زمان معطلی کامیون‌ها در بارانداز و افزایش رضایت فروشگاه‌ها، مقدار بهینه را محاسبه کند.

کمتری قرارداد بندهیم، و اگر هزینه‌های ثابت کم باشد، قرارداد بستن با ناوگان‌های بیشتر، بهتر است و حتی مدت زمان بکارگیری کامیون‌ها هم افزایش نمی‌یابد.

۵-۲- تحلیل حساسیت پارامتر تعداد درب‌های بارانداز عبوری

در این تحلیل مثال ۲۹ را در حالتی که تعداد درب ورودی و خروجی ۲ عدد می‌باشد حل نموده ایم، اما این بار در دو حالت یعنی یک بار با ۳ درب ورود و خروج و همچنین یک بار هم با ۱ درب ورود و خروج مساله را حل نمودیم. نتیجه حاصل شده بدین قرار بود که افزایش یا کاهش تعداد درب‌های ورودی و خروجی بر روی تعداد ناوگان حمل و نقل انتخاب شده تأثیری نداشته و در هر ۳ حالت، ناوگان‌های ۲ و ۳ و ۴ انتخاب شدند. اما روی زمان خروج آخرین کامیون از انبار عبوری به شدت تأثیرگذار بوده به نحوی که افزایش تعداد درب‌ها منجر به کاهش ۳۴۹ دقیقه ای زمان خروج آخرین کامیون گردید و همچنین کاهش تعداد درب‌ها منجر به افزایش ۵۶۱ دقیقه ای زمان خروج آخرین کامیون نسبت به حل مساله در حالت مبنا با داده‌های اولیه گردید.

۶- نتیجه‌گیری

این مقاله یک مسئله زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در یک سیستم چندین درب انبار عبوری را با در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت انتخاب و انعقاد قرارداد با ناوگان حمل‌ونقل و نیز هزینه‌های انتظار کامیون‌ها در صف در بارانداز عبوری مورد مطالعه قرار داد. مسئله مورد بررسی به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی ریاضی تک‌هدفه جهت حداقل کردن هزینه‌های حمل‌ونقل از تأمین‌کننده به بارانداز عبوری، هزینه‌های انتقال از بارانداز عبوری به خرده‌فروشان، هزینه‌های ثابت جهت انتخاب و عقد قرارداد با ناوگان‌های مورد نظر و نیز حداقل کردن زمان انتظار کامیون‌ها در بارانداز عبوری فرموله شد.

از جمله ویژگی‌هایی که منجر به کاربردی‌تر شدن این مدل در فضای عملیاتی واقعی شده است بررسی این مسئله از دیدگاه عامل چهارم و لحاظ کردن هزینه‌های ثابت انتخاب عوامل سوم مناسب و عقد قرارداد با آن‌ها می‌باشد. همچنین از دیگر ویژگی‌های این مدل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

در این مسئله انتخاب ناوگان‌های مناسب‌تر و همچنین انتخاب تخصیص وسایل نقلیه هر ناوگان جهت حمل کالا از هر تأمین‌کننده و نیز تخصیص وسیله نقلیه مناسب جهت حمل کالا برای هر خرده‌فروشی باتوجه‌به ظرفیت‌های متنوع وسایل حمل‌ونقل و همچنین مقدار سفارش‌های متنوع هر خرده‌فروش

۷- مراجع

- [16] A. M. Fathollahi-Fard, M. Ranjbar-Bourani, N. Cheikhrouhou, and M. Hajiaghahi-Keshteli, "Novel modifications of social engineering optimizer to solve a truck scheduling problem in a cross-docking system," *CIE*, vol. 137, p. 106103, 2019/11/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106103>.
- [17] S. M. T. Fatemi Ghomi, S. Rahmanzadeh, and M. Sheikh Sajadieh, "Cross dock scheduling under multi-period condition," *JISE*, vol. 12, no. 4, pp. 208-226, 2019.
- [18] A. Motaghedi-Larijani, "Solving the number of cross-dock open doors optimization problem by combination of NSGA-II and multi-objective simulated annealing," *WFSC*, vol. 128, p. 109448, 2022/10/01/ 20, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109448>.
- [19] G. Köylüoglu and K. Krumme, "Kriterienfindung für nachhaltige Geschäftsprozesse in der Logistik."
- [20] A. Fassetta, *Implementing Cross-Docking Facilities Within a Third-Party Logistics Provider*. University of Johannesburg (South Africa), 2020.
- [21] W. Becker et al., "Geschäftsmodelle in der digitalen Welt," *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen—Ein konzeptioneller Bezugsrahmen*. Bamberg: Springer Gabler, pp. 15-3, 2019.
- [22] S. Xu, Y. Liu, and M. Chen, "Optimisation of partial collaborative transportation scheduling in supply chain management with 3PL using ACO," *ESA*, vol. 71, pp. 173-191, 2017.
- [23] D. Molavi, A. Shahmardan, and M. S. Sajadieh, "Truck scheduling in a cross docking systems with fixed due dates and shipment sorting," *CIE*, vol. 117, pp. 29-40, 2018.
- [24] M. M. Nasiri, A. Rahbari, F. Werner, and R. Karimi, "Incorporating supplier selection and order allocation into the vehicle routing and multi-cross-dock scheduling problem," *IJPR*, vol. 56, no. 19, pp. 6527-6552, 2018.
- [25] A. Rijal, M. Bijvank, and R. de Koster, "Integrated scheduling and assignment of trucks at unit-load cross-dock terminals with mixed service mode dock doors," *EJOR*, vol. 278, no. 3, pp. 752-771, 2019/11/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.04.028>.
- [26] R. Shahabi-Shahmiri, S. Asian, R. Tavakkoli-Moghaddam, S. M. Mousavi, and M. Rajabzadeh, "A routing and scheduling problem for cross-docking networks with perishable products, heterogeneous vehicles and split delivery," *CIE*, vol. 157, p. 107299, 2021/07/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107299>.
- [27] Y. Qiu, D. Zhou, Y. Du, J. Liu, P. M. Pardalos, and J. Qiao, "The two-echelon production routing problem with cross-docking satellites," *TRE*, vol. 147, p. 10, 2021/01/03/2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102210>.
- [28] O. Theophilus, M. A. Dulebenets, J. Pasha, Y.-y. Lau, A. M. Fathollahi-Fard, and A. Mazaheri, "Truck scheduling optimization at a cold-chain cross-docking terminal with product perishability considerations," *CIE*, vol. 156, p. 107240, 2021/06/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107240>.
- [29] A. Gunawan, A. T. Widjaja, P. Vansteenwegen, and V. F. Yu, "A matheuristic algorithm for the vehicle routing problem with cross-docking," *WFSC*, vol. 103, p. 107163, 2021/05/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107163>.
- [30] P. Rostami, S. Avakh Darestani, and M. Movassaghi, "Modelling cross-docking in a three-level supply chain with stochastic service and queuing system: MOWFA algorithm," *Algorithms*, vol. 15, no. 8, p. 265, 2022.
- [1] K. Moody, "Labour and the contradictory logic of logistics," *Work Organisation, Labour & Globalisation*, 2019.
- [2] H. Ghafari Turan, C. Mahmoudi, and M. Mossadegh Khah, "Providing a new and comprehensive conceptual model framework for logistics integration," *Scientific Journal of SCM*, vol. 23, no. 70, pp. -, 2021. [Online]. Available: https://scmj.ihu.ac.ir/article_206698_d826f15956e2bea71f66b81c17712213.pdf (In persian).
- [3] I. F. A. Vis and K. J. Roodbergen, "Positioning of goods in a cross-docking environment," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 54, no. 3, pp. 677-689, 2008/04/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.10.004>.
- [4] H. G. T. And. H. Badali, "Transit Docking Operations of Current Researches Compared to Industrial Experiences," *SCM Scientific Journal of Imam Hossein University*, 2016.
- [5] V. F. Yu, P. Jewpanya, and A. A. N. P. Redi, "Open vehicle routing problem with cross-docking," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 94, pp. 6-17, 2016/04/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.01.018>. (In persian)
- [6] M. Sh. and. P. Samui, "Using the JIT port analysis method to optimize the layout of the transit dock in the system," *Imam Hossein University Supply Chain Management Scientific Journal*, 2022.
- [7] W. Nassief, I. Contreras, and B. Jaumard, "A comparison of formulations and relaxations for cross-dock door assignment problems," *COR journal*, vol. 94, pp. 76-88, 2018.
- [8] M. Madani-Isfahani, R. Tavakkoli-Moghaddam, and B. Naderi, "Multiple cross-docks scheduling using two meta-heuristic algorithms," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 74, pp. 129-138, 2014.
- [9] G. B. Fonseca, T. H. Nogueira, and M. G. Ravetti, "A hybrid Lagrangian metaheuristic for the cross-docking flow shop scheduling problem," *EJOR*, vol. 275, no. 1, pp. 139-154, 2019.
- [10] M. M. N. Kh. and. F. Shahrazi, "Scheduling and routing of vehicles in a stable transit dock," *University of Tehran thesis*, 2018.
- [11] J. Behnamian, S. M. T. Fatemi Ghomi, F. Jolai, and P. Heidary, "Location-allocation and scheduling of inbound and outbound trucks in multiple cross-dockings considering breakdown trucks," *JOIE*, vol. 11, no. 1, pp. 51-65, 2018.
- [12] S. R. Tootkaleh, S. F. Ghomi, and M. S. Sajadieh, "Cross dock scheduling with fixed outbound trucks departure times under substitution condition," *CAIE*, vol. 92, pp. 50-56, 2016.
- [13] L. Berghman, C. Briand, R. Leus, and P. Lopez, "The truck scheduling problem at cross-docking terminals," 04/01 2012.
- [14] K. Khalili-Damghani, M. Tavana, F. J. Santos-Arteaga, and M. Ghanbarzad-Dashti, "A customized genetic algorithm for solving multi-period cross-dock truck scheduling problems," *Measurement*, vol. 108, pp. 101-118, 2017/10/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.027>.
- [15] F. Heidari, S. H. Zegordi, and R. Tavakkoli-Moghaddam, "Modeling truck scheduling problem at a cross-dock facility through a bi-objective bi-level optimization approach," *JIM*, vol. 29, no. 5, pp. 1155-1170, 2018/06/01 2018, doi: 10.1007/s10845-015-1.3-160