

## ارائه مدل زمان‌بندی یکپارچه بارگیری و توزیع فرآورده‌های نفتی پرمصرف از انبارهای نفت چندگانه در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی

وحید عبدالله‌زاده<sup>۱</sup>، عیسی نخعی کمال‌آبادی<sup>۲\*</sup>، سید محمد حاجی مولانا<sup>۳</sup>، سید حسام‌الدین ذگردی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۲. استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.
۳. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۴. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

### خلاصه

در این تحقیق، زمان‌بندی یکپارچه بارگیری و توزیع فرآورده‌های نفتی پرمصرف از انبارهای نفت چندگانه مورد مطالعه قرار گرفته است. توزیع فرآورده‌های نفتی پرمصرف مستلزم حمل مستقیم بر اساس سفارش‌های صادر شده از سوی مشتریان می‌باشد. در این مقاله مدل ریاضی جهت برنامه‌ریزی یکپارچه بارگیری و توزیع فرآورده‌های نفتی پرمصرف از انبارهای مختلف با هدف حداقل کردن مجموع هزینه‌های خرید، حمل و توزیع و تأخیر در تحویل فرآورده‌ها ارائه می‌گردد. با توجه به ماهیت NP-hard این مسئله، روش حلی ترکیبی، مبتنی بر شبیه‌سازی جهت ایجاد و حفظ پاسخ‌های موجه و الگوریتم‌های فراابتکاری جهت جستجوی فضای جواب ارائه شده است. کارایی رویکرد حل پیشنهادی از طریق حل مسائل نمونه تصادفی در ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفته و عملکرد الگوریتم‌های GA-MPC و SPSO ۲۰۱۱ با ویرایش‌های اولیه این الگوریتم‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج مقایسات، نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم ژنتیک در اغلب مسائل با ابعاد واقعی نسبت به سایر الگوریتم‌های بررسی شده است.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۶/۱۰/۲۹

پذیرش ۱۳۹۷/۰۵/۳۰

کلمات کلیدی:

زمان‌بندی یکپارچه بارگیری و

توزیع

الگوریتم‌های فراابتکاری

مدل‌سازی

حمل مستقیم

### ۱- مقدمه

توزیع فرآورده‌های نفتی از انبارهای نفت به‌عنوان عمده‌فروش به واحدهای صنعتی همچون شرکت‌های پایین دستی و یا جایگاه‌های عرضه سوخت به‌عنوان خرده‌فروش با استفاده از نفت‌کش‌هایی با ظرفیت محدود صورت می‌گیرد. برخی از فرآورده‌ها همچون بنزین و گازوئیل که به‌صورت مستمر مورد سفارش مشتریان می‌باشند، فرآورده‌های پرمصرف شناخته می‌شوند و بخشی از فرآورده‌ها همچون نفت سفید و نفت کوره که عمدتاً مصارف صنعتی دارند فرآورده با تقاضای عادی شناخته می‌شوند.

ناوگان حمل و نقل در انبارهای نفتی، عموماً از منابع بیرونی و شرکت‌های تخصصی حمل و نقل تأمین می‌گردند؛ شرکت‌های حمل و نقل طرف قرارداد شرکت عمده‌فروش، موظف به فراهم نمودن تعداد مشخصی نفت‌کش برای هریک از فرآورده‌ها در هریک از

زنجیره تأمین فرآورده‌های نفتی شامل تأمین نفت خام، پالایش آن به فرآورده‌های نفتی، انتقال فرآورده‌ها به انبارهای نفت و حمل‌ونقل و توزیع فرآورده‌های نفتی به محل‌های مصرف همچون جایگاه‌های عرضه سوخت می‌باشد. حمل نفت خام از مناطق نفت‌خیز به پالایشگاه‌ها از طریق خطوط لوله و کشتی و انتقال فرآورده‌های تولید شده از پالایشگاه‌ها به انبارهای نفتی که در نزدیکی محل‌های مصرف واقع شده‌اند اغلب با استفاده از خطوط لوله، کشتی و یا قطارهای ویژه حمل سوخت صورت می‌گیرد؛ درحالی‌که حمل و

\* نویسنده مسئول: عیسی نخعی کمال‌آبادی

تلفن: ۰۲۱-۸۲۸۸۴۳۸۷؛ پست الکترونیکی: nakhaikamalabadi.i@wtiau.ac.ir

انبارها می‌باشد.

افزوده می‌گردد. به‌طور کلی این مسئله شامل سه متغیر تصمیم اصلی: (۱) تخصیص انبارها به سفارش‌های، (۲) تخصیص بازوهای بارگیری به سفارش‌های، (۳) توالی و زمان‌بندی بارگیری و توزیع سفارش‌های می‌باشد.

باوسچ و همکاران [۱] به‌کارگیری سیستم کامپیوتری جهت گروه‌بندی سفارش‌های و توزیع زمینی فرآورده‌های سنگین همچون روان‌کننده‌ها را در یک شرکت نفتی مورد بررسی قرار دادند. در این مسئله فرض شده است که سفارش‌های به‌صورت بسته‌بندی‌شده در ظرف مشخص حمل و توزیع می‌گردد. همچنین امکان توزیع سفارش‌های هم‌زمان چندین مشتری فراهم است. بعلاوه اینکه امکان توقف جهت جمع‌آوری ظروف خالی نیز فراهم می‌باشد.

مسئله زمان‌بندی یکپارچه بارگیری و توزیع فرآورده‌های نفتی با فرض انبارهای متعدد نفت و با در نظر گرفتن زمان‌های قابل توجه بارگیری و حمل سفارش‌های فرآورده‌های نفتی از انبارهای نفت متعدد، دارای انطباق کامل با شرایط مسئله زمان‌بندی یکپارچه تولید و توزیع با ماشین‌های موازی در محیط چند کارخانه‌ای است. به‌طوری‌که تعدد انبارها، مشابه تعدد کارخانه‌های تولیدی، تجهیزات بارگیری موازی و مشابه، معادل ماشین‌های موازی و زمان بارگیری سفارش‌های، معادل زمان عملیات تولید بر روی ماشین‌ها در نظر گرفته می‌شود؛ تعیین توالی بارگیری سفارش‌های توسط تجهیزات بارگیری، معادل تعیین توالی تولید سفارش‌های بر روی ماشین‌های موازی می‌باشد. با توجه به انطباق شرایط مسائل، در این تحقیق مقالات مرتبط با برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و توزیع در محیط تک کارخانه‌ای و چند کارخانه‌ای نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و توزیع، به‌صورت مستقل و تحت شرایط مختلف عملیاتی، بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. یکی از مقالاتی که دربرگیرنده مرور ادبیات موضوع زمان‌بندی یکپارچه تولید و توزیع می‌باشد، توسط ژانگ چنگ [۴] به نگارش درآمده که دربرگیرنده مجموعه‌ای از اطلاعات ارزشمند و خلاصه مقالات و مطالعات صورت گرفته در این حوزه می‌باشد. یکی از مطالعات اخیر که در رابطه با زمان‌بندی یکپارچه تولید و توزیع صورت گرفته، مربوط به ژاوخیا گو و همکاران [۵] می‌باشد که طی آن فرض می‌شود سفارش‌هایی از مشتریان دریافت شده و سفارش‌های می‌بایست به‌صورت دسته‌ای بین مشتریان توزیع شود. در این مقاله، با توجه به وجود چندین طبقه کارگاهی، ساختار ماشین‌های موازی در نظر گرفته شده است. تادوز [۱۱] در سال ۲۰۱۵ مدلی احتمالی و یکپارچه دوهدفه جهت انتخاب تأمین‌کننده، زمان‌بندی تولید و توزیع در یک زنجیره تأمین چند سطحی ارائه نمود. در این مدل اهداف متضاد شامل حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی سطح سرویس مدنظر قرار گرفت. توکلی مقدم و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۱۲ زمان‌بندی یکپارچه تولید و توزیع را با فرض حمل هوایی و با در نظر گرفتن زمان‌های راه‌اندازی وابسته به‌توالی تولید در نظر گرفته و مسئله را با استفاده از الگوریتم‌های

بارگیری سفارش‌های مشتریان در انبارهای نفت با استفاده از بازوهای بارگیری موازی اختصاص یافته به هر فرآورده صورت می‌پذیرد و به دلیل مسائل کیفی استفاده از یک بازو برای بارگیری چند نوع فرآورده و به‌کارگیری یک نفت‌کش برای حمل فرآورده‌های متفاوت امکان‌پذیر نمی‌باشد. لذا با توجه به اختصاصی بودن تجهیزات بارگیری و نفت‌کش‌ها، برنامه‌ریزی هر فرآورده می‌بایستی مستقل از سایر فرآورده‌ها صورت پذیرد.

بازوهای بارگیری در انبارهای نفتی همانند ماشین‌های موازی بوده که به عملیات بارگیری سفارش‌های اختصاص می‌یابند. هر بازوی بارگیری به بارگیری یک سفارش اختصاص یافته و پس از خاتمه بارگیری حمل آن صورت می‌پذیرد. توزیع فرآورده‌های پرمصرف همچون بنزین، نفت سفید، نفت کوره و نفت گاز پس از دریافت سفارش از مشتری به‌صورت حمل مستقیم و<sup>۱</sup> FTL صورت می‌گیرد. فرایند بارگیری با تخصیص نفت‌کش‌ها به سفارش‌های آغاز شده و نفت‌کش‌ها به ترتیب توالی مشخص شده به بازوهای اختصاصی مراجعه و بارگیری فرآورده مورد درخواست را انجام می‌دهند. هر یک از نفت‌کش‌ها پس از خاتمه بارگیری به مشتری مربوطه مراجعه کرده و پس از تخلیه فرآورده به محل انبار برمی‌گردند.

گسترده‌گی شهرها و ضرورت احداث انبارهای نفتی در خارج از محدوده شهری موجب می‌گردد تا توزیع فرآورده در این نوع کلان‌شهرها از طریق دو و یا چند انبار نفت صورت گیرد. فاصله میان انبارهای نفتی منجر به تفاوت قیمت تمام شده فرآورده قابل‌عرضه در انبارهای مختلف می‌شود. از سوی دیگر هزینه‌های عملیاتی در انبارهای مختلف به دلیل تفاوت تجهیزات بکار گرفته شده متفاوت می‌باشد. در این صورت عرضه فرآورده در انبارهای مختلف می‌بایستی با قیمت‌های متفاوت صورت پذیرد. بعلاوه اینکه عمده‌فروش ترجیح می‌دهد حمل و توزیع فرآورده از نزدیک‌ترین انبار به مشتری صورت گیرد تا هزینه‌ها حمل‌ونقل و همچنین سطح سرویس‌دهی وسایل نقلیه افزایش یابد. از طرفی، تأخیر در تحویل فرآورده نیز موجب ایجاد هزینه‌هایی برای مشتریان می‌شود که این هزینه‌ها در قالب جریمه تأخیر در تحویل به شرکت عمده‌فروش تحمیل می‌گردد. با توجه به اهمیت هر مشتری، هزینه تأخیر در تحویل می‌تواند متفاوت باشد. به‌عنوان مثال تأخیر در تحویل فرآورده به یک مجتمع پتروشیمی و یا نیروگاه با امکان ذخیره‌سازی موجودی اطمینان، متفاوت از هزینه‌های یک جایگاه است. همچنین، هزینه‌های تأخیر در تحویل فرآورده به جایگاه‌های عرضه بنزین نیز به دلایلی همچون موقعیت جغرافیایی جایگاه، تأثیر آن‌ها بر ترافیک منطقه، تعداد جایگاه‌های موجود در اطراف جایگاه و غیره می‌تواند متفاوت باشد. در چنین شرایطی تصمیم‌گیری در رابطه با تخصیص سفارش‌های به انبارها نیز به متغیرهای تصمیم مسئله

1. Full Truck Load (FTL)

پتروشیمی مورد استفاده قرار گرفته است. سان و همکاران [۷] برای اولین بار مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و توزیع در محیط چند کارخانه‌ای با سیستم تولید مبتنی بر سفارش را مطرح نموده و این مسئله را محدودیت‌های حمل‌ونقل دریایی مدنظر قرار دادند. در این مقاله، سفارش‌های پس از تولید به‌صورت زمینی به انبارهای مختلفی منتقل و تا زمان حمل در آن‌ها ذخیره می‌شوند. مدل MILP ارائه شده شامل سه زیر مسئله متعامل: (۱) تخصیص کارها به خطوط تولید؛ (۲) تعیین توالی و زمان‌بندی انجام کار در هر خط؛ (۳) انتخاب روش حمل می‌باشد؛ در روش حل ارائه شده ابتدا زیر مسئله تخصیص و زمان‌بندی تولید حل شده و خروجی این مرحله برای حل زیر مسئله توزیع مورد استفاده قرار گرفته است.

مسئله موضوع تحقیق جاری، دارای شباهت با مسئله مطرح شده توسط سان و همکاران [۷] می‌باشد که در آن تعدد انبارهای فرآورده معادل تعدد کارخانه‌های تولیدی و بازوهای بارگیری موازی معادل ماشین‌های موازی در کارخانه‌ها می‌باشد. از سوی دیگر، مدل ارائه شده در این مقاله از نظر ساختار زنجیره تأمین، سبک و روش‌های حمل و نقل و متغیرهای تصمیم با مدل ارائه شده توسط سان متفاوت است.

علاوه بر تفاوت‌های تشریح شده، نوآوری‌های اصلی این مقاله از قرار موارد زیر می‌باشد:

- ارائه مدل یکپارچه بارگیری و توزیع فرآورده‌های نفتی با در نظر انبارهای متعدد با تجهیزات بارگیری یکسان و موازی و تجهیزات حمل محدود در هریک از انبارها
- در نظر گرفتن تعاملات میان هزینه‌های مربوط به قیمت تمام شده، حمل و توزیع و تأخیر در تحویل دهی به‌عنوان تابع هدف
- در نظر گرفتن سفارش‌های متعدد از مشتریان در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف با زمان‌های تحویل متفاوت
- ارائه روش حلی ترکیبی از شبیه‌سازی تصادفی و الگوریتم‌های فراابتکاری جهت جستجوی فضای جواب

در ادامه مقاله، در بخش دوم تعریف مسئله زمان‌بندی بارگیری و توزیع فرآورده‌های نفتی شامل بیان مفروضات و مدل ریاضی مسئله ارائه شده و در بخش سوم رویکرد پیشنهادی حل مسئله به‌طور کامل تشریح و در بخش چهارم اعتبار رویکرد ارائه شده برای مسائل در ابعاد مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در قسمت پنجم نتایج تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای اصلی مدل ارائه و در نهایت به جمع‌بندی و روند مطالعات آتی پرداخته می‌شود.

## ۲- تعریف مسئله

شرکت عمده‌فروش فرآورده‌های نفتی را در نظر بگیرید که دارای چندین انبار ذخیره‌سازی فرآورده در نقاط مختلف در خارج از محدوده شهری می‌باشد. فرض کنید این شرکت در ابتدای افق برنامه‌ریزی (روزانه) با مجموعه‌ای از سفارش‌های مربوط به یک نوع

فراابتکاری حل کرده‌اند. به‌علاوه اینکه مطالعاتی در رابطه با زمان‌بندی تولید و مسیریابی وسایل نقلیه در ادبیات موضوع قابل مشاهده است که این قبیل می‌توان به [۱۶] و [۱۷] اشاره کرد.

آخرین مرور ادبیات مربوط به زمان‌بندی چند کارخانه‌ای مربوط به بهنامیان و فاطمی قمی [۲] در سال ۲۰۱۴ می‌باشد. در این مرور ادبیات ابتدا به دسته‌بندی مقالات و مطالعات صورت گرفته برحسب ساختار ماشین‌ها پرداخته شده سپس مقالات موجود در هر دسته‌بندی مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت مسیر ادامه مطالعات و فرصت‌های توسعه در مقالات موجود معرفی شده است. همچنین مسئله زمان‌بندی در شرایط چند کارخانه‌ای با در نظر به‌صورت چندهدفه نیز توسط بهنامیان [۱۸] مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. اولین نمونه کاربردی در زمان‌بندی چند کارخانه‌ای مربوط به مطالعه‌ای است که در سال ۱۹۹۶ توسط ویلکینسون [۱۲]، صورت گرفته که طی این مطالعه سه کارخانه تولیدی چندمنظوره بخش عمده‌ای از تقاضای مشتریان خود در سطح اتحادیه اروپا تأمین می‌کنند. تولیدات این کارخانه‌ها در ۱۵ انبار در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف با مدت زمان جایگزینی یک هفته ذخیره‌سازی می‌گردد. این مسئله با رویکرد شبکه منابع فعالیت مدل‌سازی شده و با حذف برخی محدودیت‌ها حل شده است. کرخو و همکاران [۶] نیز با ارائه مدل زمان‌بندی چند کارخانه‌ای با ماشین‌های موازی از این مدل برای زمان‌بندی تولید در صنعت نساجی استفاده کردند. آن‌ها از الگوریتم فراابتکاری ترکیبی شامل الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل در مقیاس بزرگ استفاده کردند. بهنامیان و قمی [۳ و ۱۹] زمان‌بندی چند کارخانه‌ای با ماشین‌های موازی و نرخ تولید متفاوت کارخانه‌ها را در نظر گرفته و با استفاده از روش‌های متهیورستیک به دنبال حداقل سازی حداکثر زمان تکمیل سفارش‌های بودند. یزدانی و همکاران [۹] مدل ارائه شده توسط بهنامیان و قمی را مورد نقد و بررسی قرار داده و مدل‌های جایگزین بهبود یافته در شرایط مختلف برای مسئله ارائه نمودند. آن‌ها روش حلی بتنی بر الگوریتم زنبورعسل جهت حل مسئله ارائه دادند.

تعداد مقالات موجود در رابطه با زمان‌بندی یکپارچه تولید و توزیع در محیط چند کارخانه‌ای بسیار اندک است، اغلب مطالعات صورت گرفته در رابطه با مسئله زمان‌بندی چند کارخانه‌ای<sup>۱</sup> در سیستم‌های تولیدی به‌صورت تولید برای انبار کردن<sup>۲</sup> و با در نظر گرفتن تقاضای مستمر بوده و اغلب با در نظر گرفتن توابع هدف از جنس زمان (همچون حداقل کردن حداکثر زمان تحویل)<sup>۳</sup> مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه می‌توان به مقاله ترزاس و مونرو [۸] اشاره کرد که مسئله زمان‌بندی یکپارچه تولید و توزیع در محیط چند کارخانه‌ای برای حل یک مسئله واقعی در صنعت

1. Multi factory Integrated production and distribution problem (MFIPTP)
2. Make-to-stock (MTS)
3. Make span

4. Make-to-Order (MTO)

- رد سفارش های از سوی شرکت توزیع کننده مجاز نمی باشد؛ به عبارتی تمامی سفارش های مشتریان پذیرفته می شود.
- سفارش های مشتریان از تمامی انبارهای نفت قابل تأمین می باشد.
- هر سفارش فقط از طریق یک بازوی بارگیری در نفت کش بارگیری می شود.
- توقف عملیات بارگیری و یا توزیع امکان پذیر نمی باشد.
- در صورتی که سفارشی برای حمل وجود داشته باشد، نفت کش امکان بیکار ماندن ندارد.

## ۲-۲- مدل ریاضی

اولین قدم برای درک بهتر شرایط مسئله مدل سازی ریاضی مسئله می باشد. در این قسمت مدل ریاضی جهت زمان بندی بارگیری و توزیع فرآورده های نفتی ارائه می شود. جدول ۱، متغیرها، پارامترها و اندیس های به کار گرفته شده در مسئله را نشان می دهد. با توجه به اینکه هیچ سفارشی از سوی شرکت عمده فروش رد نمی شود، لذا میزان درآمد مورد انتظار شرکت توزیع کننده مقدار ثابتی است. در چنین شرایطی حداقل سازی هزینه های عملیاتی سیستم معادل حداکثر سازی سود عمده فروش خواهد شد. یک پاسخ برای مسئله شامل (۱) تخصیص انبارها به سفارش های، (۲) تخصیص بازوهای بارگیری به سفارش های، (۳) تعیین توالی و زمان بندی بارگیری و توزیع سفارش های می باشد.

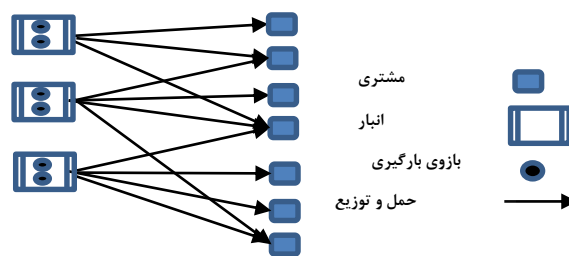
جدول (۱): مجموعه ها، اندیس ها، پارامترها و متغیرهای مدل

مجموعه ها	تشریح
$L$	مجموعه مشتریان
$N$	مجموعه سفارش های
$N_j$	مجموعه سفارش های مشتری $j$ ام
$F$	مجموعه انبارهای نفت
$M_\alpha$	مجموعه بازوهای بارگیری در انبار $\alpha$
$V_\alpha$	مجموعه وسایل نقلیه در انبار $\alpha$
اندیس ها	تشریح
$r, i$	اندیس سفارش های
$j, k$	اندیس مشتریان
$\alpha$	اندیس انبار
$\gamma$	اندیس بازوی بارگیری
$v$	اندیس وسیله نقلیه
پارامترها	
$Q_{ij}$	اندازه سفارش $i$ ام مشتری $j$ ام
$d_{ij}$	زمان تحویل سفارش $i$ ام مشتری $j$ ام
$\hat{\pi}_{ij}$	هزینه تأخیر وابسته به زمان هر واحد از سفارش $i$ ام مشتری $j$ ام
$p_{ij\alpha}$	زمان بارگیری هر واحد از سفارش $i$ ام مشتری $j$ ام
$l_{j\alpha}$	فاصله بین مشتری $j$ از انبار $\alpha$

فرآورده نفتی از صنایع پایین دست یا خرده فروشی های سوخت (پمپ بنزین ها) در نقاط مختلف شهر روبرو است که می بایستی از طریق نفت کش های استاندارد از انبارهای عمده فروش حمل و به مشتریان تحویل گردد. مشتریان سفارش های را با در نظر گرفتن ظرفیت نفت کش ها و در اندازه های کوچک تر یا مساوی ظرفیت نفت کش صادر می کنند. هر یک از سفارش های مشتریان می تواند دارای موعد تحویل متفاوت باشند.

یک شرکت تخصصی حمل و نقل بر اساس قرارداد فی مابین، موظف به تأمین تعداد مشخصی نفت کش در هر یک از انبارها می باشد. سفارش های دریافت شده می بایست به یکی از انبارهای شرکت عمده فروش اختصاص یافته و پس از تخصیص نفت کش و انجام بارگیری، حمل و به مشتری تحویل گردد. هر نفت کش پس از حمل و تحویل بار، به محل انبار شروع سفر بازگشته و حمل سایر سفارش های تأمین نشده را انجام می دهد.

بارگیری فرآورده با استفاده از تعداد معینی بازوی بارگیری موازی و یکسان در هر انبار صورت می گیرد. بازوهای بارگیری در انبارهای مختلف لزوماً یکسان نبوده و با توجه به تکنولوژی و قدمت، تجهیزات می توانند نرخ بارگیری متفاوتی داشته باشند. همچنین تخلیه سفارش های در محل مشتری با استفاده از پمپ های الکتریکی تعبیه شده بر روی نفت کش ها صورت می پذیرد؛ لذا، زمان های بارگیری به عنوان یکی از پارامترهای مسئله در انبارهای مختلف متفاوت می باشد و زمان های تخلیه هر سفارش ناچیز در نظر گرفته شده است. با توجه به محدودیت های مشتریان، تحویل سفارش های قبل از موعد تعیین شده امکان پذیر نبوده و در صورت تحویل پس از موعد، شرکت عمده فروش مشمول جریمه تأخیر وابسته به زمان می شود. شکل ۱، ساختار زنجیره تأمین مسئله را نشان می دهد.



شکل (۱): ساختار زنجیره تأمین

## ۲-۱- مفروضات مسئله

- تمامی پارامترهای مدل قطعی و در زمان برنامه ریزی در دست می باشند.
- هر مشتری می تواند سفارش های متعدد با زمان های تحویل مختلف داشته باشد.
- هر سفارش با استفاده از یک نفت کش به صورت مستقیم حمل و به مشتری تحویل داده خواهد شد.
- تمامی سفارش های مشتریان در زمان صفر در دسترس است.

معادله (i) نشان‌دهنده تابع هدف مسئله می‌باشد که از سه جزء تشکیل شده است. جمله اول نشان‌دهنده هزینه‌های تأمین فرآورده بوده و با توجه به تفاوت قیمت تمام شده فرآورده‌ها در انبارهای مختلف به‌صورت مجموع حاصل‌ضرب مقدار هر سفارش در هزینه تأمین هر واحد از سفارش در هر انبار محاسبه می‌گردد. جمله دوم مربوط به هزینه‌های حمل و نقل بوده و از حاصل‌ضرب مسافت هر بار حمل در هزینه حمل به ازای هر واحد از مسافت طی شده برای هر یک از سفارش‌های محاسبه می‌شود. به‌منظور جامعیت مدل فرض شده است که هزینه حمل سفارش‌های باهم متفاوت هستند. هزینه دیرکرد از مجموع حاصل‌ضرب مدت زمان تأخیر در تحویل سفارش در هزینه تأخیر در واحد زمان برای هر سفارش محاسبه می‌گردد. محدودیت‌های (۱) تضمین می‌کند که برای هر سفارش بیش از یک انبار و یک بازوی بارگیری تخصیص نیابد. محدودیت‌های (۲) تضمین می‌کنند که هر سفارش بعد از یک سفارش بارگیری شده و یا اولین سفارش جهت بارگیری بر روی بازوی بارگیری می‌باشد؛ و محدودیت‌های (۳) تضمین می‌کند که هر سفارش قبل از سفارش دیگر بوده و یا آخرین سفارش جهت بارگیری بر روی بازوی بارگیری است. دسته محدودیت‌های (۴) معادله غیرخطی که تضمین می‌کند که دو سفارش متفاوتی که در دو انبار مجزا بارگیری می‌شوند به‌طور متوالی بر روی یک بازوی بارگیری برنامه‌ریزی نشوند. محدودیت‌های (۵) و (۶) انتخاب یک سفارش به‌عنوان اولین و یک سفارش به‌عنوان آخرین سفارش جهت بارگیری بر روی هر بازوی بارگیری را تضمین می‌کند.

ادامه‌ی جدول (۱): مجموعه‌ها، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل

$vs$	متوسط سرعت وسیله نقلیه
$tc_{ij}$	هزینه حمل سفارش $i$ ام مشتری زام
$pc_{ija}$	قیمت تمام شده هر واحد سفارش $i$ ام مشتری زام چنانچه از انبار $\alpha$ تأمین گردد
متغیرهای تصمیم	تشریح
$x_{ij\alpha\gamma v}$	یک اگر سفارش $i$ ام مشتری زام در انبار $\alpha$ و بر روی بازوی $\gamma$ بارگیری و توسط وسیله نقلیه $v$ حمل گردد؛ صفر در غیر این صورت
$y_{ijk\alpha\gamma v}$	یک اگر سفارش $i$ ام مشتری زام قبل سفارش $r$ ام مشتری $k$ ام بر روی بازوی $\gamma$ در انبار $\alpha$ بارگیری و توسط وسیله نقلیه $v$ حمل گردد؛ صفر در غیر این صورت
$s_{rk\alpha\gamma}$	یک اگر سفارش $r$ ام مشتری $k$ ام اولین سفارش بارگیری شده بر روی بازوی $\gamma$ در انبار $\alpha$ باشد؛ صفر در غیر این صورت
$e_{ij\alpha\gamma}$	یک اگر سفارش $i$ ام مشتری زام آخرین سفارش بارگیری شده بر روی بازوی $\gamma$ در انبار $\alpha$ باشد؛ صفر در غیر این صورت
$Is_{ij}$	متغیر مثبت نشان‌دهنده زمان شروع بارگیری سفارش $i$ ام مشتری زام
متغیرهای میانی	تشریح
$L_{ij}$	زمان خاتمه بارگیری سفارش $i$ ام مشتری زام
$T_{ij}$	طول زمان سفر برای تحویل سفارش $i$ ام مشتری زام
$C_{ij}$	زمان تحویل سفارش $i$ ام مشتری زام

$$\text{Min} \sum_{j \in L} \sum_{i \in N_j} Q_{ij} \sum_{\alpha \in F} pc_{ija} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} x_{ij\alpha\gamma v} + \sum_{j \in L} \sum_{i \in N_j} \sum_{\alpha \in F} l_{ij} tc_{ij} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} x_{ij\alpha\gamma v} + \sum_{j \in L} \sum_{i \in N_j} \hat{\pi}_{ij} Q_{ij} (C_{ij} - d_{ij}) \quad (i)$$

St.

$$\sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} x_{ij\alpha\gamma v} = 1 \quad \forall j \in L, i \in N_j \quad (1)$$

$$\sum_{j \in L} \sum_{i \in N_j} \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} y_{ijk\alpha\gamma v} + \sum_{j \in L} \sum_{i \in N_j} \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} s_{rk\alpha\gamma} = 1 \quad \forall k \in L, r \in N_k, i \neq r, j \neq k \quad (2)$$

$$\sum_{j \in L} \sum_{i \in N_j} \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} y_{ijk\alpha\gamma v} + \sum_{j \in L} \sum_{i \in N_j} \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} e_{ij\alpha\gamma} = 1 \quad \forall j \in L, i \in N_j, i \neq r, j \neq k \quad (3)$$

$$x_{ij\alpha\gamma v} x_{rk\alpha\gamma v} \geq y_{ijk\alpha\gamma v} \quad \forall i \neq r, j \neq k, \alpha \in F, \gamma \in M_\alpha, v \in V_\alpha \quad (4)$$

$$\sum_{j \in L} \sum_{i \in N_j} s_{ij\alpha\gamma} \leq 1 \quad \forall \alpha \in F, \gamma \in M_\alpha, j \in L, i \in N_j \quad (5)$$

$$\sum_{j \in L} \sum_{i \in N_j} e_{ij\alpha\gamma} \leq 1 \quad \forall \alpha \in F, \gamma \in M_\alpha, j \in L, i \in N_j \quad (6)$$

$$s_{ij\alpha\gamma} \leq \sum_{v \in V_\alpha} x_{ij\alpha\gamma v} \quad \forall j \in L, i \in N_j, \alpha \in F, \gamma \in M_\alpha, v \in V_\alpha \quad (7)$$

$$e_{ij\alpha\gamma} \leq \sum_{v \in V_\alpha} x_{ij\alpha\gamma v} \quad \forall j \in L, i \in N_j, \alpha \in F, \gamma \in M_\alpha, v \in V_\alpha \quad (8)$$

$$y_{ijk\alpha\gamma v} + y_{rkj\alpha\gamma v} \leq 1 \quad \forall j, k \in L, i \in N_j, r \in N_k, i \neq r, j \neq k, \alpha \in F, \gamma \in M_\alpha, v \in V_\alpha \quad (9)$$

$$\sum_{k \in L} \sum_{r \in N_k} \sum_{v \in V_\alpha} (y_{ijk\alpha\gamma v} + y_{rkj\alpha\gamma v}) + s_{ij\alpha\gamma} \leq 2 \quad \forall j \in L, i \in N_j, \alpha \in F, \gamma \in M_\alpha, i \neq r, j \neq k \quad (10)$$

$$\sum_{k \in L} \sum_{r \in N_k} \sum_{v \in V_\alpha} (y_{ijk\alpha r v} + y_{rkij\alpha r v}) + e_{ij\alpha r} \leq 2 \quad \forall j \in L, i \in N_j, \alpha \in F, \gamma \in M_\alpha, i \neq r, j \neq k \quad (11)$$

$$L_{ij} = ls_{ij} + \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} Q_{ij} p_{ij\alpha} x_{ij\alpha r v} \quad \forall j \in L, i \in N_j \quad (12)$$

$$ls_{ij} + M \left( 1 - \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} s_{ij\alpha r} \right) \geq 0 \quad \forall j, k \in L, i \in N_j, r \in N_k, i \neq r, j \neq k \quad (13)$$

$$M \left( 1 - \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} s_{ij\alpha r} \right) - ls_{ij} \geq 0 \quad \forall j, k \in L, i \in N_j, r \in N_k, i \neq r, j \neq k \quad (14)$$

$$C_{ij} \geq L_{ij} + T_{ij} \quad \forall j \in L, i \in N_j \quad (15)$$

$$T_{ij} = \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} \frac{l_{j\alpha}}{vs} x_{ij\alpha r v} \quad \forall j \in L, i \in N_j \quad (16)$$

$$C_{ij} \geq d_{ij} \quad \forall j \in L, i \in N_j \quad (17)$$

$$Mvp_{ijk} = \max \left\{ L_{rk} \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} y_{ijk\alpha r v}, L_{ij} + 2 \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} \frac{l_{j\alpha}}{vs} x_{ij\alpha r v} \right\} \quad \forall j \in L, k \in L, r \in N_k, i \in N_j, i \neq r \neq k \quad (18)$$

$$ls_{rk} \geq Mvp_{ijk} - M \left( 1 - \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} y_{ijk\alpha r v} \right) \quad \forall j \in L, k \in L, r \in N_k, i \in N_j, i \neq r, j \neq k \quad (19)$$

$$ls_{rk} \leq Mvp_{ijk} + M \left( 1 - \sum_{\alpha \in F} \sum_{\gamma \in M_\alpha} \sum_{v \in V_\alpha} y_{ijk\alpha r v} \right) \quad \forall j \in L, k \in L, r \in N_k, i \in N_j, i \neq r, j \neq k \quad (20)$$

$$x_{ij\alpha r}, y_{ijk\alpha r v}, s_{ij\alpha r}, e_{ij\alpha r} \in \{0, 1\} \quad (21)$$

$$ls_{ij}, T_{ij}, L_{ij}, C_{ij} \in \mathbb{R}^+ \quad (22)$$

مشتریان فرآورده های پرمصرف همچون بنزین و گازوئیل پراکندگی یکنواختی در محدوده خدمت رسانی داشته و همواره تقاضاهای متعددی از سوی مشتریان جهت تأمین این فرآورده ها صادر می گردد. با توجه به پراکندگی یکنواخت و اهمیت یکسان انبارها در توزیع این نوع فرآورده ها و همچنین امکان تأمین نفت کش از منابع خارجی، تعداد نفت کش های تخصیص یافته به این فرآورده ها در انبارها یکسان فرض می شود. در این صورت، تخصیص سفارش های به انبارها تحت تأثیر تعداد وسایل نقلیه اختصاص یافته به انبارها نبوده و انبارها از ارجحیت یکسانی در این خصوص برخوردار خواهند بود.

لم زیر، مسئله زمان بندی بارگیری و توزیع با فرض وسایل نقلیه متعدد و برابر در انبارها را به مسئله زمان بندی بارگیری و توزیع با یک وسیله نقلیه در هر انبار تقلیل داده و موجب کاهش پیچیدگی مسئله می گردد.

لم: در صورتی که تعداد وسایل نقلیه در انبارها یکسان باشد، در این صورت جواب بهینه تخصیص سفارش های به انبارها و توالی بارگیری سفارش های تحت تأثیر تعداد وسایل نقلیه نخواهد بود.

اثبات: دو انبار  $f_1$  و  $f_2$  را با تعداد یکسان وسیله نقلیه مشابه در هر کارخانه را در نظر بگیرید. فرض کنید فقط دو سفارش  $(i, r)$  کاملاً یکسان و متعلق به دو مشتری مختلف با فواصل یکسان از دو

محدودیت های (۷) و (۸) تضمین ارتباط بین دو متغیر تخصیص انبار و بازوی بارگیری را با سفارش های اول و آخر ایجاد می نماید. به عبارتی تضمین می کنند که چنانچه سفارشی به عنوان اولین و یا آخرین سفارش انتخاب گردید متغیر تخصیص متناظر آن نیز مقدار بگیرد. محدودیت های (۹) تضمین می نماید که هر سفارش قبل و یا بعد از خودش جهت بارگیری و توزیع برنامه ریزی نگردد. محدودیت (۱۰) و (۱۱) عدم ایجاد دور در میان سفارش های بارگیری شده در یک بازوی بارگیری را کنترل می نمایند. معادلات (۱۲) زمان خاتمه بارگیری را محاسبه می نماید. محدودیت های (۱۳) و (۱۴) زمان شروع بارگیری اولین سفارش انتخاب شده برای هر بازو را زمان صفر قرار می دهد. معادلات (۱۵) زمان تحویل سفارش به مشتری را محاسبه می نماید. معادلات (۱۶) مدت زمان مورد نیاز جهت حمل سفارش از انبار به مشتری را با در نظر گرفتن متوسط سرعت وسیله نقلیه محاسبه می کند. محدودیت های (۱۷) تضمین می نماید که زمان تحویل سفارش به مشتری زودتر از موعد تحویل نباشد. محدودیت های (۱۸) بزرگ ترین زمان از بین زمان های در اختیار بودن وسیله نقلیه و زمان خاتمه بارگیری را انتخاب می کند و محدودیت های (۱۹) و (۲۰) زمان شروع بارگیری را حداکثر زمان انتخاب شده از محدودیت (۱۸) قرار می دهد. محدودیت های (۲۱) متغیرهای صفر و یک و محدودیت های (۲۲) متغیرهای حقیقی را نشان می دهند.



۳-۴- محاسبه تابع هدف

با تعیین متغیرهای تصمیم اصلی و میانی در مرحله قبل، تابع هدف برای هر یک از اعضای جمعیت محاسبه و بهترین پاسخ هر مرحله انتخاب می شود. در این مرحله شرایط توقف الگوریتم بررسی شده و در صورت دستیابی به شرایط توقف بهترین پاسخ از میان مراحل مختلف تکرارهای الگوریتم به عنوان پاسخ نهایی ارائه می شود.

۳-۵- ایجاد جمعیت جدید

در صورتی که عدم برقراری شرط توقف در مرحله قبل، جمعیت اولیه با توجه به عملگرهای الگوریتم فراابتکاری، به روز شده و جمعیت جدید را شکل می دهند. با توجه به سابقه گسترده به کارگیری الگوریتم های فراابتکاری GA و PSO در حل مسائل زمان بندی، در این مقاله نیز از ویرایش های مختلف این دو الگوریتم به منظور جستجوی هوشمند فضای جواب مسائل دارای ابعاد واقعی استفاده شده است.

- الگوریتم ژنتیک

در این مقاله از ویرایش اولیه الگوریتم ژنتیک (GA کلاسیک) و یکی از ویرایش های اخیر این الگوریتم تحت عنوان GA-MPC [۱۳] استفاده شده است. در ویرایش GA-MPC، عملگر تقاطع بر روی سه والد جهت ایجاد فرزند اعمال می گردد. همچنین از عملگرهای تقاطع و جهش یکنواخت<sup>۲</sup> در هر دو ویرایش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

- الگوریتم PSO

الگوریتم PSO به کار گرفته شده در این مقاله شامل الگوریتم PSO کانونیک و آخرین ویرایش ارتقاء یافته این الگوریتم تحت عنوان<sup>۳</sup> SPSO ۲۰۱۱ [۱۴] می باشد.

تنظیم پارامترهای الگوریتم های GA، GA-MPC و PSO بر اساس روش طراحی آزمایش های صورت گرفته و نتایج در جدول (۲) نمایش داده شده است و تنظیم پارامترهای الگوریتم SPSO بر اساس مرجع [۱۴] صورت گرفته است. همچنین، ساختار کلی الگوریتم حل مسئله با در نظر گرفتن قدم های یاد شده در شکل ۶ نمایش داده شده است.

هریک با دو تقاضای متفاوت را برنامه ریزی نماید. بدین ترتیب، هر یک از پارامترهای  $\alpha, \gamma, j, i$  بوده و کروموزوم مربوط به این مثال شامل ۱۶ ژن خواهد بود که هر ژن یک عدد تصادفی بین صفر و یک است. ساختار کروموزوم در شکل ۴ نشان داده شده است.

الگوریتم (۱): رویه ایجاد بردارهای اولویت ( $H^1$ )

<p><b>Input data</b> →  <math>i, j, \alpha, \gamma</math>: index of order numbers, batches, warehouses, loading arms  <math>npop</math>: number of population;  <math>sort</math>: sort descending  <math>u_n(i, j, \alpha, \gamma)</math>: random variables <math>\in [0,1]</math>  <b>Procedure</b>                  Reshape the chromosome to <math>u_n(i, j, \alpha, \gamma)</math>  <math>(i, sum(j, \alpha, \gamma)) = \sum_j \sum_\alpha \sum_\gamma u_n(i, j, \alpha, \gamma)</math>  <math>\vec{I} \rightarrow i</math> of sorted <math>(i, sum(j, \alpha, \gamma))</math> by <math>sum(j, \alpha, \gamma)</math>  <math>(j, sum(i, \alpha, \gamma)) = \sum_i \sum_\alpha \sum_\gamma u_n(i, j, \alpha, \gamma)</math>  <math>\vec{J} \rightarrow j</math> of sorted <math>(j, sum(i, \alpha, \gamma))</math> by <math>sum(i, \alpha, \gamma)</math></p>
---

۰/۲	۰/۱	۰/۶	۰/۴	۰/۱	۰/۷	۰/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۶	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۱	۰/۸	۰/۳
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

شکل (۴): ساختار کروموزوم

الگوریتم ۱، ابتدا کروموزوم مسئله را به صورت  $u_n(i, j, \alpha, \gamma)$  تغییر شکل داده و به ازای هر  $i$  مقدار  $\sum_j \sum_\alpha \sum_\gamma u_n(i, j, \alpha, \gamma)$  و به ازای هر  $j$  مقدار  $\sum_i \sum_\alpha \sum_\gamma u_n(i, j, \alpha, \gamma)$  محاسبه می گردد؛ بردارهای  $\vec{I}$  و  $\vec{J}$  با مرتب کردن  $i$  و  $j$  برحسب هر یک از مجموع های به دست آمده محاسبه می گردند. جزئیات محاسبات در شکل ۵ نشان داده شده است.

۳-۳- شبیه سازی عملیاتی

بردارهای اولویت مبنای شبیه سازی عملیاتی و تعیین متغیرهای اصلی مسئله می باشند. سفارش های مشتریان به ترتیب مشخص شده در  $\vec{I}$  و  $\vec{J}$  به انبارها و بازوهای تصادفی تخصیص یافته و بر این اساس مقدار متغیر  $x(i, j, \alpha, \gamma)$  صفر یا یک خواهد بود. با شبیه سازی عملیات بارگیری و توزیع سفارش های، سایر متغیرهای تصمیم شامل زمان های شروع بارگیری و حمل و زمان تحویل سفارش به مشتری محاسبه می شود. این فرایند برای هر یک از اعضای جمعیت جواب تکرار می شود.

تغییر ساختار کروموزوم: $u(1,1,1,1) = 0.2, u(1,1,1,2) = 0.1, u(1,1,2,1) = 0.6, u(1,1,2,2) = 0.4$ $u(2,2,1,1) = 0.1, u(2,2,1,2) = 0.7, u(2,2,2,1) = 0.4, u(2,2,2,2) = 0.3$ $u(1,2,1,1) = 0.1, u(1,2,1,2) = 0.6, u(1,2,2,2) = 0.2, u(1,2,2,1) = 0.4$ $u(2,1,1,1) = 0.5, u(2,1,1,2) = 0.1, u(2,1,2,1) = 0.8, u(2,1,2,2) = 0.3$	$i = 1 \rightarrow \sum_j \sum_\alpha \sum_\gamma u_n(i, j, \alpha, \gamma) = 2.6$ $i = 2 \rightarrow \sum_j \sum_\alpha \sum_\gamma u_n(i, j, \alpha, \gamma) = 3.2$	$\rightarrow \vec{I} = (2,1)$
	$j = 1 \rightarrow \sum_i \sum_\alpha \sum_\gamma u_n(i, j, \alpha, \gamma) = 3$ $j = 2 \rightarrow \sum_i \sum_\alpha \sum_\gamma u_n(i, j, \alpha, \gamma) = 2.8$	

شکل (۵): ساختار رویه ایجاد بردارهای اولویت<sup>۴</sup>

1. Genetic algorithm with multi-parent crossover operator
2. Uniform cross over and mutation
3. Standard particle swarm optimization 2011 (SPSO 2011)



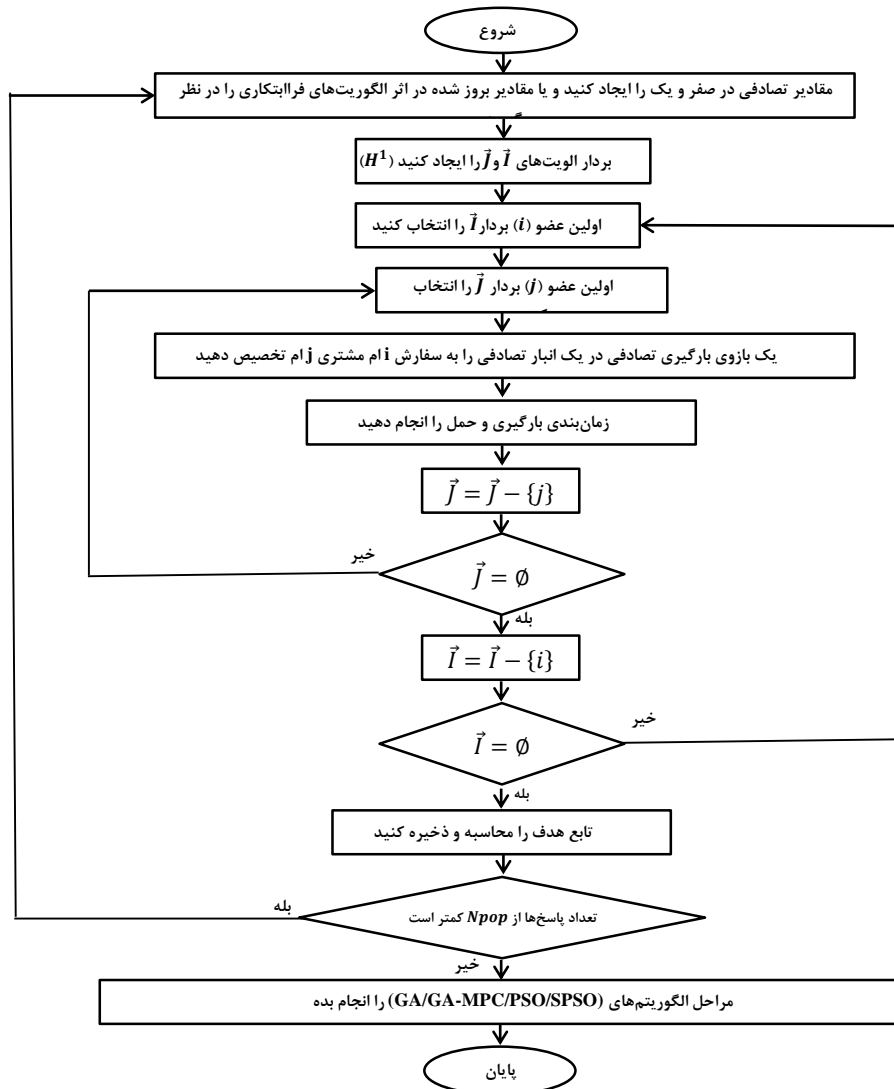
جدول (۲): پارامترهای الگوریتم‌های فراابتکاری

Algorithm	Parameters	Small-scale	Medium and Large-scale
GA	Npop	۴۰	۸۰
	Iterations	۲۰۰	۳۰۰
	$P_c$	۰/۶	۰/۶
	$P_m$	۰/۴	۰/۴
GA-MPC	Npop	۴۰	۸۰
	Iterations	۲۰۰	۳۰۰
	$P_c$	۰/۵	۰/۵
	$P_m$	۰/۵	۰/۵
PSO	Npop	۴۰	۸۰
	Iterations	۲۰۰	۳۰۰
	W	۰/۳	۰/۳
	$C_1$	۳	۳
	$C_2$	۳	۳

۴- بررسی اعتبار و تحلیل عملکرد رویکرد حل

اعتبار مدل ریاضی و عملکرد روش حل و هریک از الگوریتم‌های فراابتکاری عنوان شده در بخش قبل، از طریق حل مسائل نمونه تصادفی در ابعاد مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. پارامترهای مسائل نمونه به صورت تصادفی و مطابق جدول (۳) است. مدل ریاضی خطی شده در نرم افزار گمز و روش حل پیشنهادی با در نظر گرفتن هریک الگوریتم‌های فراابتکاری در نرم افزار متلب ویرایش ۲۰۱۵ کد نویسی شده و بر روی کامپیوتری با مشخصات Intel Core i7 (۲/۹۳ GH and ۴GB of RAM) جهت حل مسائل تصادفی اجرا شده است.

هریک از مسائل نمونه تصادفی در ابعاد کوچک و بزرگ ۳۰ مرتبه توسط هریک از الگوریتم‌های فراابتکاری حل شده و با استفاده از دو معیار میانگین درصد انحرافات (MPD) و انحراف معیار نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل (۶): الگوریتم حل مسئله

پارامتر	مقدار	جدول (۳): پارامترهای مسائل نمونه	تقاضا (لیتر)
			[۴۰۰۰۰-۳۰۰۰۰]
			[۳-۲]

انبار برخوردار می باشند؛ انتظار می رود با توسعه شهرها و افزایش میزان تقاضا، روند استفاده از انبارهای متعدد در تأمین فرآورده های بر مصرف، در سایر کلان شهرها نیز مورد توجه قرار گیرد.

بنابراین، مسائلی با در نظر گرفتن شرایط مسئله در واقعیت با دو یا سه انبار و تعداد سفارش های حداکثر سه سفارش برای هر مشتری به صورت تصادفی ایجاد شده و پس از تنظیم پارامترهای الگوریتم ها، هر مسئله ۳۰ مرتبه توسط هر یک از الگوریتم ها حل شده و علاوه بر محاسبه میانگین انحرافات مقدار تابع هدف از بهترین پاسخ مشاهده شده (MPD)، انحراف معیار نمونه (SD) مقادیر تابع هدف مطابق با رابطه (۲۴) و نیز میانگین زمان اجرای الگوریتم (ACT) محاسبه و به عنوان معیار ارزیابی عملکرد روش حل ارائه شده، قرار گرفته است.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Fit_i - \bar{Fit})^2}{N - 1}} \quad (24)$$

که  $Fit_i$  مقدار تابع هدف در اجرای  $i$  ام،  $\bar{Fit}$  میانگین مقادیر تابع هدف از  $N$  بار حل هر مسئله نمونه با استفاده از هر یک از الگوریتم های فراابتکاری می باشد که در این مقاله مقدار آن ۳۰ می باشد.

همچنین، در محاسبه شاخص MPD مسائل بزرگ،  $Fit^*$  کمترین مقدار مشاهده شده برای تابع هدف است که از تکرار حل مسئله با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری مختلف به دست آمده است. جدول ۵ نشان دهنده نتایج معیارهای ارزیابی در رابطه با هر یک از الگوریتم های به کار گرفته شده است. همچنین عملکرد الگوریتم ها در مسائل واقعی با استفاده از آنالیز واریانس مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

مقایسه MPD الگوریتم های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. بر اساس شاخص MPD، عملکرد الگوریتم GA کلاسیک در مقایسه با الگوریتم های GA-MPC و SPSO نسبتاً بهتر بوده و بسیار قابل قبول تر از عملکرد PSO کانونیک می باشد؛ به عبارت دیگر، عملکرد الگوریتم PSO کانونیک از سه الگوریتم دیگر نامطلوب تر است. هر چند MPD مربوط به GA کلاسیک نسبتاً بهتر از GA-MPC و عملکرد GA-MPC نسبتاً بهتر از SPSO می باشد، ولیکن بر اساس نتایج آزمون آنالیز واریانس، مطابق جدول ۶، فرض برابری میانگین های الگوریتم های عنوان شده رد نمی شود، از این رو می توان ادعا کرد که علی رغم برتری کیفیت پاسخ های به دست آمده از GA، هر سه الگوریتم از نظر آماری، تقریباً عملکرد یکسانی دارند. با در نظر گرفتن عملکرد بهتر GA کلاسیک نسبت به GA-MPC و عملکرد قابل قبول تر SPSO نسبت به PSO کانونیک و همچنین به منظور ارزیابی میزان پایداری الگوریتم های فراابتکاری،

1. Standard deviation (SD)
2. Average of CPU time (ACT)

جدول (۴): مقایسه عملکرد الگوریتم های مختلف برای مسائل با مقیاس کوچک

تعداد مشتریان	[۲۰۰-۱۰۰]
فاصله مشتریان تا انبار (کیلومتر)	[۱۰۰-۵]
کارمزد هر لیتر فرآورده در هر انبار (واحد پول)	۵، ۸، ۱۰
هزینه تأخیر در تحویل هر واحد فرآورده در هر دقیقه	[۱۰-۵]
معدت تحویل سفارشات (دقیقه)	[۴۲۰-۶۰]

جهت محاسبه میانگین درصد انحرافات، ابتدا شاخص درصد انحراف از بهترین پاسخ مشاهده شده (PD) برای هر بار اجرای الگوریتم با استفاده از رابطه (۲۳) محاسبه شده و میانگین انحرافات تحت عنوان MPD مبنای ارزیابی عملکرد هر یک از الگوریتم ها قرار گرفته است.

$$PD_a = \frac{Fit_a - Fit^*}{Fit^*} \times 100 \quad (23)$$

در رابطه فوق،  $Fit_a$  مقدار تابع هدف مسئله در صورت استفاده از الگوریتم (a) و  $Fit^*$  بهترین پاسخ مشاهده شده برای مسئله می باشد.

#### ۴-۱- تحلیل عملکرد روش حل برای مسائل کوچک

به منظور ارزیابی عملکرد روش حل پیشنهادی در مسائل کوچک، ۳۰ مسئله تصادفی کوچک تولید و هر مسئله به تعداد ۳۰ مرتبه با استفاده از رویکرد حل پیشنهادی و به کارگیری هر یک از الگوریتم ها فراابتکاری حل شده و نتایج ثبت شده مبنای محاسبه شاخص MPD جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم های فراابتکاری قرار گرفت. در محاسبه شاخص MPD مسائل کوچک،  $Fit^*$  مقدار بهینه محاسبه شده توسط نرم افزار گمز می باشد. جدول ۴ نشان دهنده نتایج شاخص MPD برای هر یک از الگوریتم های فراابتکاری به کار گرفته شده در روش حل پیشنهادی می باشد. مقادیر صفر در این جدول، نشان دهنده انطباق پاسخ به دست آمده از الگوریتم فراابتکاری در تمامی اجراهای برنامه با مقدار بهینه به دست آمده از نرم افزار گمز می باشد. در آزمایش هایی که شاخص برای تمامی الگوریتم ها یکسان است، بدین معنی است که پاسخ تمامی مشاهدات در هر چهار الگوریتم یکسان می باشد.

#### ۴-۲- بررسی عملکرد روش حل برای مسائل بزرگ

میزان تقاضا و مصرف بنزین در کلان شهری مانند تهران با ۲۲۰ جایگاه عرضه سوخت در شرایط عادی به طور متوسط حدود ۱۵ میلیون لیتر در روز می باشد [۲۰] که با فرض توزیع این فرآورده از طریق نفت کش هایی با ظرفیت ۳۰ تا ۴۰ هزار لیتر می توان به طور متوسط ۱/۷ تا ۲/۳ سفارش از هر جایگاه را در طی هر شبانه روز انتظار داشت. از سوی دیگر، در شرایط فعلی فقط شهر تهران با دارا بودن سه انبار نفت در شمال غرب، جنوب و شرق، فرآورده های مورد نیاز در جایگاه های عرضه سوخت و مصرف کنندگان صنعتی را از طریق این انبارها تأمین می نماید؛ سایر شهرهای کشور صرفاً از یک

			GA	GA-MPC	PSO	SPSO
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۲/۲/۲	۳۰	۱۱۲	.	.	.	.
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	۱/۶	۱/۶	۱/۶	۱/۶
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	.	.	.	.
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	.	.	.	.
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	.	.	.	.
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	۲/۳	۲/۳	۲/۳	۲/۳
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	.	.	.	.
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	.	.	.	.
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	.	.	.	.
۳/۲/۲	۳۰	۲۴۰	۱/۲۳	۱/۲۳	۱/۲۳	۱/۲۳
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	.	.	.	.
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	۱/۰۴	۱/۳۴	۱/۲۱	۱/۲۱
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	۲/۱	۲/۸۱	۲/۱	۲/۱
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	۹/۶	۱۰/۳	۸/۹	۸/۹
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	۲/۴	۲/۴	۲/۴	۲/۴
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	۳/۴	۴/۲۳	۳/۴	۳/۴
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	۱/۰۳	۲/۶۵	۱/۰۳	۱/۰۳
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۴۵
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	.	.	.	.
۲/۳/۲	۳۰	۲۴۰	۲/۱۲	۲/۱۲	۲/۱۲	۲/۱۲

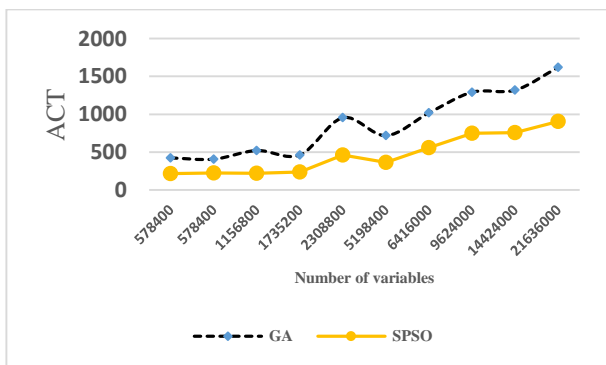
جدول (۵): مقایسه عملکرد الگوریتم‌های مختلف برای مسائل با مقیاس واقعی ( $SD(\times 10^{11})$ ,  $MPD(\%)$ ,  $ACT(s)$ )

$i/j/f/m$	دفعات اجرا	متغیرهای تصمیم	GA			GA-MPC			PSO			SPSO		
			MPD	SD	ACT	MPD	SD	ACT	MPD	SD	ACT	MPD	SD	ACT
۱/۲۴۰/۲/۵	۳۰	۵۷۸۴۰۰	۵/۲۱	۸۲/۲	۴۲۴	۶/۳۲	۷۳/۸	۴۱۹	۲۸/۶	۴۹/۸	۱۲۶	۱۳/۵	۱۲۶	۲۱۳
۲/۱۲۰/۲/۵	۳۰	۵۷۸۴۰۰	۶/۳۲	۹۳/۸	۴۰۷	۸/۱	۴۳	۴۷۷	۲۵/۱	۵۵/۸	۱۳۲	۱۴/۵	۱۱۵	۲۲۵
۲/۱۲۰/۲/۱۰	۳۰	۱۱۵۶۸۰۰	۳/۹۷	۳۴/۸	۵۲۱	۴/۷	۳۱/۳	۴۹۳	۳۳/۳	۲۶/۱	۸۵	۸/۴	۳۵/۹	۲۱۹
۲/۱۲۰/۲/۱۵	۳۰	۱۷۳۵۲۰۰	۶/۷۴	۲۵/۱	۴۶۲	۶/۴	۲۴	۴۶۴	۴۰/۹	۳۵/۲	۸۷	۱۰/۲	۳۸/۹	۲۳۵
۲/۲۴۰/۲/۵	۳۰	۲۳۰۸۸۰۰	۷/۸۴	۲۷۵	۹۵۴	۸/۱۲	۱۲۶	۸۵۷	۲۱/۳	۱۵۹	۱۸۷	۹/۶۱	۲۲۷	۴۶۰
۲/۲۰۰/۲/۲۰	۳۰	۶۴۱۶۰۰۰	۲/۷۰	۳۲/۵	۱۰۱۸	۳/۸۵	۱۹/۸	۱۰۳۰	۳۴/۹	۵۴/۵	۱۷۰	۹/۳۳	۴۸/۳	۵۵۸
۲/۲۰۰/۳/۲۰	۳۰	۹۶۲۴۰۰۰	۲/۹۷	۲۹/۷	۱۲۹۱	۳/۷۲	۲۵	۱۳۵۲	۳۵/۴	۴۶/۷	۲۱۶	۸/۷۷	۶۰/۹	۷۴۷
۳/۱۲۰/۲/۲۰	۳۰	۵۱۹۸۴۰۰	۴/۳۵	۳۴/۸	۷۱۸	۵/۸۲	۲۸/۴	۶۹۵	۴۰/۴	۳۰/۴	۱۴۳	۱۲/۹	۷۵/۱	۳۶۲
۳/۲۰۰/۲/۲۰	۳۰	۱۴۴۲۴۰۰۰	۲/۴۸	۴۲/۳	۱۳۱۸	۳/۳۲	۴۲/۹	۱۳۹۰	۲۸/۹	۶۸/۱	۲۲۵	۷/۳۵	۱۹۰	۷۵۸
۳/۲۰۰/۳/۲۰	۳۰	۲۱۶۳۶۰۰۰	۴/۱۲	۶۴/۴	۱۶۱۹	۵/۷۳	۳۱/۸	۱۵۸۴	۳۴/۸	۵۷/۷	۲۸۵	۱۰/۲	۷۶/۹	۹۰۳

جدول (۶): نتایج آنالیز واریانس برای بررسی عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری

	DF	SS	MS	F-Value	P-Value	Test results
GA-GAMPC	۱	۱/۶۶۳۲۸E+۲۶	۱/۶۶۳۲۸E+۲۶	۰/۲۹	۰/۵۹۵	Means are equal

Error	۱۸	۱/۰۲۰۶۵E+۲۸	۵/۶۷۰۲۹E+۲۶			
Total	۱۹	۱/۰۳۷۲۹E+۲۸				
GA-SPSO	۱	۱/۰۲۰۲۱E+۲۵	۱/۰۲۰۲۱E+۲۵	۰/۰۲	۰/۸۹۴	Means are equal
Error	۱۸	۱/۰۰۱۹۴E+۲۸	۵/۵۶۶۳۶E+۲۶			
Total	۱۹	۱/۰۰۲۹۶E+۲۸				
GAMPC-SPSO	۱	۹/۴۱۴۳۵E+۲۵	۹/۴۱۴۳۵E+۲۵	۰/۱۶	۰/۶۹۴	Means are equal
Error	۱۸	۱/۰۶۱۷۵E+۲۸	۵/۸۹۸۵۹E+۲۶			
Total	۱۹	۱/۰۷۱۱۶E+۲۸				



شکل (۹): مقایسه انحراف میانگین زمانهای اجرا

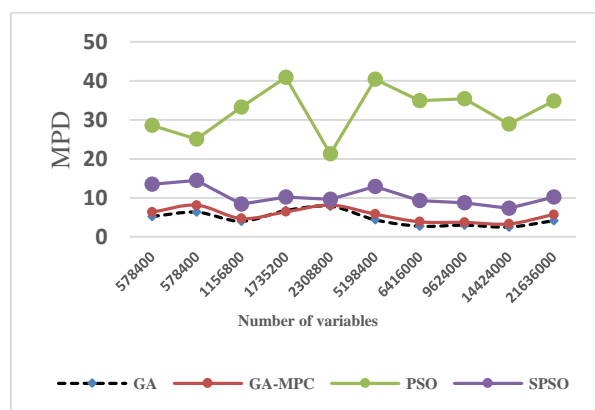
### ۵- تحلیل حساسیت

تقاضا یکی از مهم ترین پارامترهای مؤثر بر عملکرد عملیات توزیع فرآورده های نفتی بشمار می آید. تقاضای فرآورده در اغلب کلان شهرها در شرایط خاص محیطی همچون وقوع حوادث طبیعی یا آغاز سفرهای فصلی همواره با رشد مقطعی قابل توجه در حدود ۲۰٪ تا ۸۰٪ مواجه می باشد. همچنین، افزایش تعداد انبارها همواره به عنوان راهکاری استراتژیک جهت افزایش سطح سرویس دهی و کاهش هزینه های عملیاتی به شمار می رود. در این بخش میزان حساسیت تابع هزینه به افزایش تقاضا و افزایش تعداد انبارهای نفتی به تفکیک مورد بررسی قرار می گیرد.

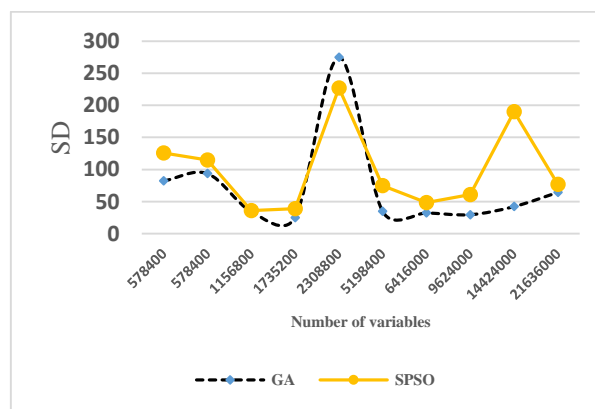
شکل ۱۰ نشان دهنده تغییرات تابع هدف در اثر افزایش تعداد سفارش های در یک مسئله با ابعاد واقعی و شامل ۲ انبار نفت می باشد. همان گونه که مشاهده می شود، با افزایش تعداد سفارش های از ۳۵۰ به ۸۰۰ سفارش، نرخ رشد هزینه های عملیاتی افزایش می یابد.

شکل ۱۱ نشان دهنده حساسیت تابع هزینه به افزایش تعداد انبارهای فرآورده در یک مسئله با ۶۰۰ سفارش و ۲۰۰ مشتری می باشد. با توجه به این نمودار، هزینه های عملیاتی با افزایش تعداد انبارهای نفتی کاهش می یابد. از سوی دیگر، نرخ کاهش هزینه های عملیاتی با افزایش تعداد انبارها و با فرض ثابت بودن سایر پارامترها از روندی کاهش برخوردار است. به طوری که با افزایش تعداد انبارها از یک انبار به دو انبار حدود ۴۰ درصد کاهش هزینه مشاهده می گردد در حالی که افزایش تعداد انبارها از ۴ به ۵، فقط ۳/۷ درصد کاهش در هزینه های عملیاتی در پی خواهد داشت. لذا، با در نظر گرفتن هزینه های سرمایه گذاری، احداث انبارهای جدید نیازمند

انحراف معیار تابع هدف و میانگین زمان اجرای این دو الگوریتم برای هر یک از مسائل تصادفی طی شکل های ۸ و ۹ مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل (۷): مقایسه میانگین انحرافات از بهترین پاسخ



شکل (۸): مقایسه انحراف معیارها

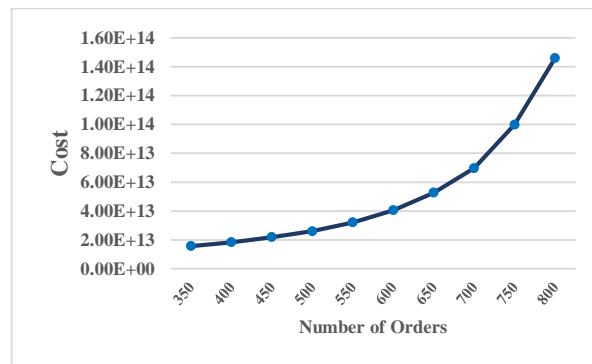
شکل ۸ نشان دهنده انحراف معیار مسائل نمونه در صورت استفاده از دو الگوریتم GA کلاسیک و SPSO می باشد. این شکل نشان می دهد که به غیر یک گروه از مسائل، انحراف معیار پاسخ های GA از SPSO کمتر می باشد که نشان از پایداری قابل قبول تر GA کلاسیک نسبت به SPSO دارد. همچنین شکل ۹، نشان دهنده میانگین زمان های اجرای دو الگوریتم یاد شده می باشد. همان گونه که از این استنباط می شود، علی رغم کیفیت مطلوب تر پاسخ های به دست آمده از الگوریتم GA، این الگوریتم از عملکرد ضعیف تری نسبت به SPSO از لحاظ معیار میانگین زمان های اجرا (ACT) برخوردار می باشد؛ به طوری که در تمامی مسائل نمونه، متوسط زمان اجرای الگوریتم GA بیشتر از الگوریتم SPSO می باشد.

نیز می‌باشد و همچنین در نظر گرفتن شرایط برون‌سپاری حمل و توزیع و ارائه مدلی دوسطحی می‌تواند روندی برای تحقیقات آینده این مسئله به شمار آیند.

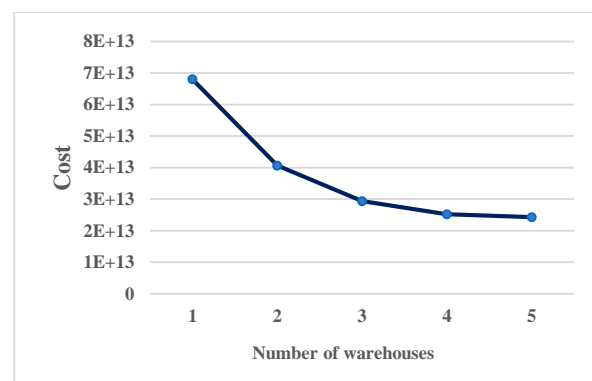
### مراجع

- [1] Bausch, D.O., Brown, G.G., Ronen, D., (1995). "Consolidating and dispatching truck shipments of Mobil heavy petroleum products", *Interfaces*, 25(2): 1-17.
- [2] Behnamian, J., Ghomi, S.F., (2016). "A survey of multi-factory scheduling", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(1): 231-249.
- [3] Behnamian, J., Ghomi, S.F., (2013). "The heterogeneous multi-factory production network scheduling with adaptive communication policy and parallel machine", *Information Sciences*, 219: 181-196.
- [4] Chwen, Z.L., (2010). "Integrated production and outbound distribution scheduling: review and extensions", *Operations Research*, 58(1): 130-148.
- [5] Guo, Z., Shi, L., Chen, L., Liang, Y., (2017). "A harmony search-based memetic optimization model for integrated production and transportation scheduling in MTO manufacturing", *Omega*, 66: 327-343.
- [6] Kerkhove, L.P., Vanhoucke, M., (2014). "Scheduling of unrelated parallel machines with limited server availability on multiple production locations: a case study in knitted fabrics", *International Journal of Production Research*, 52(9): 2630-2653.
- [7] Sun, X.T., Chung, S.H., Chan, F.T., (2015). "Integrated scheduling of a multi-product multi-factory manufacturing system with maritime transport limits", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79: 110-127.
- [8] Terrazas-Moreno, S., Grossmann, I.E. (2011). "A multiscale decomposition method for the optimal planning and scheduling of multi-site continuous multiproduct plants", *Chemical Engineering Science*, 66(19): 4307-4318.
- [9] Yazdani, M., Gohari, S., Naderi, B. (2015). "Multi-factory parallel machine problems: Improved mathematical models and artificial bee colony algorithm", *Computers & Industrial Engineering*, 81: 36-45.
- [10] Bean, J.C., (1994). "Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization", *ORSA Journal on Computing*, 6(2): 154-160.
- [11] Tadeusz, S., (2015). "Integrated supply, production and distribution scheduling under disruption risks", *Omega*.
- [12] Wilkinson, S.J., Cortier, A., Shah, N., Pantelides, C.C., (1996). "Integrated production and distribution scheduling on a Europe-wide basis", *Computers & chemical Engineering*, 20: 1275-1280.
- [13] Elsayed, S.M., Sarker, R.A., Essam, D.L., (2014). "A new genetic algorithm for solving optimization problems", *Engineering Applications of Artificial*

بررسی دقیق مالی و اقتصادی می‌باشد.



شکل (۱۰): تغییرات تابع هدف در اثر افزایش تعداد سفارشات



شکل (۱۱): تغییرات تابع هدف در اثر افزایش تعداد انبارهای نفت

### ۶- جمع‌بندی و پیشنهاد تحقیقات آینده

در این مقاله، ابتدا به اهمیت زمان‌بندی توزیع فرآورده‌های نفتی در کلان شهرها بخصوص کلان‌شهر تهران پرداخته شده و مدل ریاضی مسئله زمان‌بندی بارگیری و توزیع فرآورده‌های پرمصرف همچون بنزین، گازوئیل و نفت سفید با فرض انبارهای متعدد و حمل مستقیم سفارش‌های ارائه گردید. همچنین، روشی ترکیبی مبتنی بر شبیه‌سازی تصادفی و الگوریتم‌های فراابتکاری به‌عنوان رویکرد حل مسائل در ابعاد واقعی پیشنهاد گردید. سپس، عملکرد برخی از ویرایش‌های الگوریتم ژنتیک و PSO در ترکیب با روش حل پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفت. در میان دو ویرایش الگوریتم ژنتیک ارزیابی‌شده، الگوریتم ژنتیک کلاسیک و بین ویرایش‌های الگوریتم PSO الگوریتم SPSO از عملکرد بهتری برخوردار بودند. هرچند نتایج آزمون آنالیز واریانس نشان از عملکرد مشابه الگوریتم‌های GA، GA-MPC و SPSO داشت، ولیکن بر اساس تحلیل‌های گرافیکی، کیفیت پاسخ‌های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک کلاسیک (GA) قابل‌قبول‌تر از سایر الگوریتم‌ها بود. همچنین در این مقاله به یکی از چالش‌های اساسی مدیریت یعنی ارتباط هزینه‌ها با تقاضا و تعداد انبارهای توزیع پاسخ داده شده است.

در نظر گرفتن این مسئله برای فرآورده‌های کم‌مصرف با فرض تجهیزات حمل و نقل شهری که مستلزم مسیریابی حمل و توزیع

## Industrial Engineering.

- [۱۸] بهنامیان، جواد، (۱۳۹۴). "زمان‌بندی چند هدفه شبکه‌های تولید چند کارخانه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک زیر جمعیت و روش ارتجاعی"، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید ۳(۶): ۱۳۳-۱۴۷.
- [۱۹] بهنامیان، جواد، فاطمی قمی، سیدمحمدتقی، (۱۳۹۲). "ارائه الگوریتم ترکیبی بر پایه بهینه‌سازی گروه ذرات و روش هایپرهیوریستیک برای زمان‌بندی کارخانه‌های توزیع‌شده با اتحاد مجازی"، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۱(۱): ۱-۱۱.
- [۲۰] سایت رسمی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، <https://www.niopdc.ir>

Intelligence, 27: 57-69.

- [14] Maurice, C., (2012). "Standard particle swarm optimization", <hal-00764996>15 pages.
- [15] Tavakkoli-Moghaddam, R., Yazdani, M., Molla-Alizadeh-Zavardehi, S., (2012). "Scheduling an Integrated Production and Air Transportation in Supply Chain with Sequence-Dependent Setup Times", Journal of Industrial engineering, 23(3): 351-362.
- [16] Beheshtinai, Arabi (2017). "A Genetic Algorithm for Integration of Vehicle Routing Problem and Production Scheduling in Supply Chain (Case Study: Medical Equipment Supply Chain)", Journal of Industrial engineering. 51(2): 147-160.
- [17] Moons, S., Ramaekers, K., Caris, A., Arda, Y., (2016). "Integrating production scheduling and vehicle routing decisions at the operational decision level: a review and discussion", Computers &



## Integrated Loading and Distribution Scheduling of High Consumption Oil Products from Distributed Warehouses

V. Abdollahzadeh<sup>1</sup>, I. Nakhaikamalabadi<sup>2,\*</sup>, S.M. Haji-molana<sup>1</sup>, S.H. Zegordi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran.

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Kurdistan University, Kurdistan, Iran.

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 19 January 2018

Accepted 21 August 2018

#### Keywords:

Integrated loading and distribution scheduling  
Modelling  
Direct shipment  
Meta-heuristic algorithms

### ABSTRACT

In this research, the scheduling of loading and distribution for high consumption oil products from dispersed warehouses is studied. The high consumption of oil products requires direct shipment of orders issued by different customers in different geographical locations. In this paper, an integrated nonlinear model is proposed to minimize the total cost of the supply chain including purchasing cost, loading, transportation, and late delivery costs. Because of the NP-hard nature of problem, a new hybrid solution approach based on simulation and meta-heuristic algorithms is proposed. Operations simulation ensure always feasible salutation and meat-heuristic algorithms provide intelligent search within the feasible solutions. The efficiency of proposed solution approach is evaluated through several random test problems. Moreover, the performance of a latest versions of genetic algorithm (GA-MPC) and particles swarm optimization (SPSO 2011) as well as the traditional versions are evaluated within the proposed solution approach to solve the real-world scale problems. The results illustrate the better performance of genetic algorithm for large-scale problems.

\* Corresponding author. Isa Nakhaikamalabad

Tel.: 021-82884387; E-mail address: [nakhaikamalabadi.i@wtiau.ac.ir](mailto:nakhaikamalabadi.i@wtiau.ac.ir)