پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶

طراحی مدل زمان‌بندی کامیون‌ها در سیستم انبار عبوری موقت چند دربه با رویکرد توقف عملیات

مهدیه باقر[۱*]، مسعود کسائی[۲]، اکبر عالم تبریز[۳]، مصطفی زندیه[۴]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- استاد، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴- دانشیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶

چکیده

انبار عبوری موقت[۲] یک استراتژی توزیع در زنجیره تأمین است که در آن، کالاها و محصولات به‌طور مستقیم از قسمت دریافت به قسمت ارسال منتقل می‌شوند؛ بدون اینکه در مرکز توزیع یا انبار نگه‌داری شوند. هدف این تحقیق، طراحی مدل زمان‌بندی کامیون‌ها در سیستم انبار عبوری موقت چند دربه با رویکرد توقف عملیات است. در این سناریو از زمان‌بندی انبار عبوری موقت، کامیون‌ها مجاز هستند که در حین فعالیت تخلیه و بارگیری متوقف شوند و درزمانی دیگر، فعالیت را از سر بگیرند (رویکرد توقف عملیات[۳]). بنابراین، هم کامیون‌های ورودی و هم کامیون‌های خروجی می‌توانند به‌صورت متناوب داخل و خارج انبار شوند. برای این سناریو، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی توسعه داده شده است. علاوه بر مدل ریاضی، با توجه به ماهیت پیچیده این مسائل، سه الگوریتم فراابتکاری[۴] برای حل آن و ساختار جدیدی برای نمایش جواب مسئله پیشنهاد شده است. همچنین به‌منظور افزایش کارایی الگوریتم‌ها، از روش تنظیم پارامتر تاگوچی[۵] استفاده شده

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: m_bagher@sbu.ac.ir

۲. Cross dock
۳. Preemption
٤. Meta heuristic algorithm
٥. Taguchi method

است. نتایج تجربی نشان می‌دهند که الگوریتم ژنتیک[۱] از دو الگوریتم دیگر (شبیه‌سازی تبرید[۲] و جستجوی ممنوعه[۳]) عملکرد بهتری داشته است.

کلیدواژه‌ها: انبار عبوری موقت، طراحی مدل زمان‌بندی کامیون، الگوریتم فرا ابتکاری.

۱- مقدمه

در دنیای رقابتی امروز، استفاده از انبارهای عبوری موقت یک استراتژی توزیع و ایده‌ای نو است. این استراتژی نقش مهمی در بالا بردن کارایی شبکه‌های توزیع زنجیره تأمین از طریق کاهش زمان انتقال کالاها، کاهش سطح کالاهای موجود در انبارها و کاهش زمان پاسخگویی به نیاز مشتریان دارد. در روش تخلیه و بارگیری کالا از طریق انبارهای عبوری موقت، کالاها به‌وسیله‌ی کامیون‌های ورودی تخلیه و با اندکی وقفه زمانی (گاهی اوقات بدون هیچ‌گونه معطلی)، در بخش انبارش موقت، به‌صورت مستقیم در کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند. اغلب، زمان نگهداری کالاها در انبار، کمتر از ۲۴ ساعت است. تفاوت عمده بین سیستم انبار عبوری موقت و سیستم انبارداری سنتی در میزان کالاهایی که انبار می‌شوند و مدت‌زمانی که کالاها در انبار ذخیره می‌شوند، است [۱].

عوامل بسیاری بر نحوه زمان‌بندی این نوع انبارها تأثیرگذارند؛ به‌طوری‌که می‌توان سناریوهای متنوعی را برای انبار عبوری موقت مدنظر قرار داد. یو[۴] [۲]، ۳۲ نوع عملیات مختلف را در پایانه‌های انبار عبوری موقت، شناسایی و در غالب سه سناریوی کلی، طبقه‌بندی کرده است. سناریوی اول مدل انبار عبوری موقتی را در نظر می‌گیرد که در آن، هم کامیون‌های ورودی و هم کامیون‌های خروجی باید تا زمانی که عملیات تخلیه و بارگیری را به پایان می‌رسانند، در انبار عبوری موقت بمانند. برای انجام این کار ممکن است نیاز باشد برخی از کالاهای تخلیه‌شده تا زمان حضور کامیون خروجی جهت بارگیری، در قسمت انبارش موقت نگهداری شوند. سناریوی دوم حالتی تک‌درب از انبارهای عبوری موقت را بررسی می‌کند که

---

۱. Genetic algorithm
۲. Simulated Annealing
۳. Tabu search
٤. Yu

کامیون‌های ورودی و خروجی در حین انجام عملیات می‌توانند به‌صورت مکرر داخل و خارج انبار عبوری موقت شوند. به‌عبارت‌دیگر، محدودیتی وجود ندارد که همه‌ی کامیون‌ها به‌صورت یک‌باره باید کالاهایشان را بارگیری یا تخلیه نمایند. در این نوع از مسائل، ظرفیت انبارش موقت صفر است. این نوع سیاست عدم انبارش موقت برای توزیع اقلام فاسدشدنی مانند مواد غذایی، مواد دارویی و... توصیه می‌شود [۳]. سناریوی سوم ترکیبی از سناریوی اول و دوم را در نظر می‌گیرد.

اما انبارهای عبوری موقتی که تنها یک درب ورودی و یک درب خروجی دارند، در عمل و در دنیای واقعی کاربردی ندارند [۲]. گرچه تحقیقات بسیاری انبارهای عبوری موقت چند دربه را مطالعه کرده‌اند، ولی همگی آن‌ها روی سناریوی اول تمرکز کرده‌اند. لذا در این تحقیق، مطالعه بر روی طراحی مدل زمان‌بندی کامیون‌ها و تخصیص بهینه کامیون‌ها به انبارها در یک سیستم توزیع که چندین انبار موقت دارد، با رویکرد توقف عملیات و هدف کمینه‌سازی زمان کل عملیات، انجام شده است. همچنین یک مدل ریاضی برای این مسئله ارائه شده و توسط نرم‌افزار CPLEX اعتبار سنجی شده است. به دلیل ماهیت پیچیده این‌گونه مسائل و قرار گرفتن در زمره مسائل NP-hard، حل آن‌ها و رسیدن به جواب بهینه مستلزم صرف زمان زیادی است و در بسیاری از موارد دشوار است؛ بنابراین، برای حل این مسئله از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید و جستجوی ممنوعه استفاده شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مطالعات انجام‌شده در زمینه انبار عبوری موقت را می‌توان به دو بخش مدل‌های تک‌درب و مدل‌های چند درب طبقه‌بندی نمود. در ادامه، به‌مرور این مطالعات می‌پردازیم:

- مسائل انبار عبوری تک‌دربه

یو [۲]، ۳۲ مدل مختلف مسائل زمان‌بندی کامیون‌ها را بر اساس ۵ عامل اصلی در نظر گرفت و برای هر مسئله یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح همراه با یک روش ابتکاری پیشنهاد داد. برای مدل اول، وحدانی و زندیه یک حد پائین برای تابع هدف در

نظر گرفتند و ۵ الگوریتم فرا ابتکاری را پیاده‌سازی کردند [۵]. عربانی و همکاران مسئله مشابه‌ای را با تابع هدف کمینه کردن تعداد کالاهایی که به انبارش موقت منتقل می‌شوند، در نظر گرفتند [۸]. همچنین الگوریتم رقابت استعماری را برای حل مسائل پیشنهاد دادند و نتایج به‌دست‌آمده را با نتایج الگوریتم ژنتیک مقایسه کردند. از سایر تحقیقات انجام‌شده درزمینه انبار عبوری تک‌درب می‌توان به یو و همکاران [۹]، عربانی و زندیه [۱۱] و بویسن و همکاران[۱] [۱۲] اشاره نمود.

- مسائل انبار عبوری چند دربه و چند انباره

بویسن و فیلدنر[۲] [۳] مدل چند دربی با تخصیص از پیش تعیین‌شده کامیون‌های خروجی با هدف کمینه کردن تعداد کامیون‌های خروجی با تأخیر پیشنهاد دادند. مطالعه بویسن [۴] در زمینه صنایع غذایی فاسدشدنی است. نویسنده رویکرد برنامه‌ریزی پویا را برای زمان‌بندی کامیون‌ها با هدف حداقل کردن زمان کلی فرآیند، زمان کلی جریان و دیرکرد کلی در نظر گرفته است. فن بل و همکاران[۳] [۱۵] مسائل زمان‌بندی کامیون‌ها را، درحالی‌که کامیون‌های خروجی از پیش زمان‌بندی‌شده‌اند، در نظر گرفتند. جو و کیم[۴] [۱۷] تسهیلات انبار عبوری موقت چند دربه‌ای را طراحی کرده‌اند که در آن علاوه بر کامیون‌های ورودی و خروجی، کامیون‌هایی وجود دارند که هم می‌توانند نقش کامیون ورودی را ایفا کنند و هم می‌توانند در مقاطعی به‌عنوان کامیون خروجی عمل کنند. مدنی اصفهانی و همکاران [۱۸] مدل چند انباره‌ای را طراحی کردند که در آن، ظرفیت انبارش موقت دارای محدودیت مشخصی است و درواقع، سناریوی سوم یو را به مدل چند دربه توسعه دادند. میائو و همکاران[۵] [۱۹] مسئله تخصیص کامیون‌ها را با تابع هدف کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌ی جریمه برای کامیون‌های خروجی که از حداکثر ظرفیتشان استفاده نکرده‌اند، در نظر گرفتند و روش حلی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری[۶] برای حل مسائل با اندازه بزرگ ارائه دادند. از سایر تحقیقات انجام‌شده درزمینه انبار عبوری چند درب،

---

۱. Boysen et al.
۲. Fliedner
۳. Van Bell et al.
٤. Joo and Kim
۵. Miao et al.
٦. Metaheuristic

می‌توان به لیائو و همکاران[۱] [۲۰]، لی و همکاران[۲] [۲۱]، کنور و گولیاس[۳] [۲۲] و کو[۴] [۲۳] اشاره نمود.

مرور پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه مدل‌های تک‌دربه و چند دربه حاکی از آن است که اغلب مطالعات بر پایه سناریوی اول یو انجام شده‌اند و در آن‌ها انبارش موقت، مجاز و همچنین وقفه طی عملیات کامیون‌ها ممنوع دانسته شده است. همچنین اغلب تحقیقات موجود که انبار عبوری بدون انبارش موقت را بررسی کرده‌اند [۱۳، ۱۴]، تنها مدل تک درب یا تک انباره را ارائه داده‌اند؛ هرچند در عمل و در دنیای واقعی، یک سیستم انبار عبوری موقت شامل چندین درب (یا انبار) هم برای کامیون‌های ورودی و هم برای کامیون‌های خروجی است. با توجه با کاستی‌های موجود در تحقیقات پیشین، این پژوهش به طراحی مدل زمان‌بندی انبار عبوری چند دربه با رویکرد توقف عملیات و با تابع هدف کمینه‌سازی زمان کل عملیات پرداخته است.

۳- تشریح مسئله

در این بخش، به بیان مفروضات مسئله پرداخته شده است:

۱- درب‌های ورودی فقط مختص کامیون‌های ورودی و درب‌های خروجی مختص کامیون‌های خروجی هستند؛ ۲- وقفه حین عملیات هم برای کامیون‌های ورودی و هم برای کامیون‌های خروجی مجاز است؛ ۳- الگوی ورودی کامیون‌ها متمرکز است. درنتیجه کامیون‌های ورودی در زمان صفر در محوطه انبار حاضر هستند؛ ۴- زمان انجام عملیات کامیون‌ها ثابت نیست و وابسته به تعداد کالاهای انتقال داده‌شده بین کامیون‌هاست؛ ۵- هیچ‌گونه موعد تحویل[۵] برای کامیون‌های ورودی و کامیون‌های خروجی در نظر گرفته نشده است؛ ۶- انبارش موقت کالاها داخل انبارها ممنوع است؛ ۷- هیچ‌گونه محدودیتی در تخصیص کامیون‌ها به درب‌ها وجود ندارد؛ ۸- زمان انتقال کالاها از درب ورودی به درب خروجی مقدار ثابتی است و فاصله بین همه درب‌های ورودی و خروجی یکسان فرض شده است؛ ۹- هیچ‌گونه تخصیص از پیش

---

۱. Liao et al.
۲. Lee et al.
۳. Konur and Golias
۴. Kuo
۵. Due date

مشخص‌شده‌ای مبنی بر اینکه کدام کامیون ورودی به کدام کامیون خروجی کالا خواهند داد، وجود ندارد؛ ۱۰- فاصله زمانی تعویض کامیون‌ها در درب‌ها نسبت به زمان انتقال کالاها بین کامیون‌ها ناچیز است؛ ۱۱- زمان موردنیاز برای انتقال یک واحد کالا، یک واحد زمانی در نظر گرفته شده است.

۱-۳- مدل ریاضی مسئله

در این تحقیق، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی طراحی و ایجاد شده است. در ادامه، به تشریح متغیرهای تصمیم مسئله و مدل ریاضی می‌پردازیم. به‌منظور ارائه مدل ریاضی، از نمادهای زیر استفاده شده است:

۱-۱-۳- اندیس‌ها

i: شمارنده تعداد کامیون‌های ورودی

j: شمارنده تعداد کامیون‌های خروجی

k: شمارنده نوع کالاها

d : شمارنده انبار عبوری

۲-۱-۳- پارامترها

R :تعداد کامیون‌های ورودی.

S :تعداد کامیون‌های خروجی

N : تعداد نوع کالاها.

r_{ik} : تعداد کالاهای نوع k که در کامیون ورودی i وجود دارد.

s_{jk} : تعداد کالاهای نوع k که در کامیون خروجی j وجود دارد.

C : تعداد انبارهای عبوری موقت.

D : زمان تعویض کامیون‌ها در درب‌ها.

V : زمان موردنیاز برای انتقال کالاها از درب ورودی انبار به درب خروجی.

M : عدد بزرگ.

۳-۱-۳- متغیرهای گسسته (متغیر تصمیم)

x_{ijkd} : تعداد کالاهای نوع k که در انبار عبوری موقت d ام از کامیون ورودی i ام به کامیون خروجی j ام منتقل می‌شود.

t_{ijd}: تعداد کل کالاهایی که در انبار عبوری موقت d ام از کامیون ورودی i ام به کامیون خروجی j ام منتقل می‌شود.

۴-۱-۳- متغیرهای پیوسته

T: زمان اتمام عملیات.

U_{ijd}: زمان شروع عملیات انتقال t_{ijd} کالا از کامیون ورودی i ام به کامیون خروجی j ام در انبار عبوری موقت d ام.

L_{ijd}: زمان پایان عملیات انتقال t_{ijd} کالا از کامیون ورودی i ام به کامیون خروجی j ام در انبار عبوری موقت d ام.

۵-۱-۳- متغیرهای باینری

v_{ijd}:
۱، اگر کالا از کامیون ورودی i ام به کامیون خروجی j ام در انبار عبوری d ام انتقال یابد.
۰، در غیر این صورت.

$y_{iji'j'd}$:
۱، اگر در توالی مربوط به زوج درب ورودی و خروجی انبار d، زوج کامیون (i,j) زودتر از زوج کامیون (i',j') عملیاتشان را انجام دهند.
۰، در غیر این صورت.

y_{ij00d}:
۱، اگر در توالی مربوط به زوج درب ورودی و خروجی انبار d، زوج کامیون (i,j) اولین زوج کامیون ورودی و خروجی باشد که در درب‌های ورودی و خروجی انبار d ام حاضر می‌شود.
۰، در غیر این صورت.

$y_{00iji'd}$:
۱، اگر در توالی مربوط به زوج درب ورودی و خروجی d، زوج کامیون (i,j) آخرین زوج کامیون ورودی و خروجی باشد که در درب‌های ورودی و خروجی d ام حاضر می‌شود.
۰، در غیر این صورت.

۶-۱-۳- مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط

مدل ریاضی توسعه داده‌شده برای مسئله انبار عبوری موقت چند دربه را می‌توان به‌صورت زیر شرح داد:

Min T

Subject to:

$$T \geq L_{ijd} \qquad \forall i, j, d \qquad (۱)$$

$$\sum_{d=1}^{C}\sum_{j=1}^{S} x_{ijkd} = r_{ik} \qquad \forall i, k \qquad (۲)$$

$$\sum_{d=1}^{C}\sum_{i=1}^{R} x_{ijkd} = s_{jk} \qquad \forall j, k \qquad (۳)$$

$$\sum_{k=1}^{N} x_{ijkd} = t_{ijd} \qquad \forall i, j, d \qquad (۴)$$

$$v_{ijd} \leq t_{ijd} \qquad \forall i, j, d \qquad (۵)$$

$$x_{ijkd} \leq M v_{ijd} \qquad \forall i, j, k, d \qquad (۶)$$

$$\sum_{d=1}^{C} v_{ijd} \leq 1 \qquad \forall i, j \qquad (۷)$$

$$v_{ijd} = \sum_{j'=1}^{S}\sum_{i'=1}^{R} y_{iji'j'd} + y_{ij..d} \qquad \forall i, j, d \qquad (۸)$$

$$v_{i'j'd} = \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} y_{iji'j'd} + y_{..i'j'd} \qquad \forall i', j', d \qquad (۹)$$

$$\sum_{i'=1}^{R}\sum_{j'=1}^{S} y_{..i'j'd} = 1 \qquad \forall d \qquad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} y_{ij..d} = 1 \qquad \forall d \qquad (11)$$

$$y_{iji'j'd} = 0 \qquad \forall i, j, i', j', d \ \ and \ \ where \ i = i' \ \& \ j = j' \qquad (12)$$

$$U_{i'j'd} \geq U_{ijd} + t_{ijd} + D - M(1 - y_{iji'j'd}) \qquad \forall i, i', j, j', d \qquad (13)$$

$$L_{i'j'd} \geq L_{ijd} + t_{i'j'd} + D - M(1 - y_{iji'j'd}) \qquad \forall i, i', j, j', d \qquad (14)$$

$$L_{ijd} \geq U_{ijd} + t_{ijd} + V \qquad \forall i, j, d \qquad (15)$$

$$U_{i'j'd} \geq L_{ijd} - V - M(1 - y_{iji'j'd}) - M(2 - v_{ijd} - v_{i'j'd}) \qquad \forall i, j, i', j', d \ \ and \ \ i \neq i' \ or \ \ j \neq j' \qquad (16)$$

$$U_{ijd'} \geq L_{ij'd} + D - V - M(2 - v_{ijd'} - v_{ij'd}) \quad \forall i, j, j', d, d' \ and \ \ d \neq d' \qquad (17)$$

$$U_{ijd'} \geq L_{i'jd} + D - V - M(2 - v_{ijd'} - v_{i'jd}) \quad \forall i, i', j, d, d' \ and \ \ d \neq d' \qquad (18)$$

محدودیت (۱) نشان می‌دهد که زمان کلی عملیات، بزرگ‌تر یا مساوی زمان پایان بارگیری کامیون خروجی متعلق به آخرین زوج کامیون است. محدودیت (۲) بیانگر

محدودیت عرضه و محدودیت (۳) بیانگر محدودیت تقاضا است. محدودیت (۴) زمان انتقال کالا از کامیون i در انبار متقاطع d ام به کامیون j ام را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۵) و (۶) ارتباط صحیح و منطقی را بین متغیرهای V_{ijd}، x_{ijkd} و t_{ijd} برقرار می‌سازند. محدودیت (۷) مشخص می‌کند هر انتقالی بین دو کامیون ورودی و خروجی فقط یک‌بار و آن‌هم در یک انبار متقاطع انجام می‌شود. محدودیت‌های (۸) و (۹) توالی حضور هر دو زوج کامیون ممکن ij و $i'j'$ را در تمامی انبارهای متقاطع مشخص می‌کنند. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که در هر انبار متقاطع فقط یک زوج کامیون می‌تواند در توالی اول باشد. محدودیت (۱۱) مشخص می‌کند که در هر انبار متقاطع، فقط یک زوج کامیون می‌تواند در توالی آخر باشد. محدودیت (۱۲) تعیین می‌کند که هیچگاه دو زوج کامیون یکسان با هم توالی ندارند. محدودیت (۱۳) زمان‌های شروع عملیات تخلیه کامیون ورودی و محدودیت (۱۴) زمان‌های پایان عملیات بارگیری کامیون خروجی را مشخص می‌کند. محدودیت (۱۵) بیان می‌کند که زمان پایان عملیات بارگیری کامیون خروجی هر زوج کامیون، بزرگ‌تر یا مساوی است با زمان تخلیه کالاهای t_{ijd} به‌اضافه زمان شروع تخلیه U_{ijd} به‌اضافه مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا کالاها از درب ورودی انبار متقاطع به درب خروجی انبار متقاطع برسند. محدودیت (۱۶) بیان می‌کند که اگر دو زوج کامیون در یک درب توالی داشتند، زمان شروع تخلیه زوج کامیون دوم $U_{i'j'd}$ برابر می‌شود با زمان پایان بارگیری کالاها در زوج کامیون اول منهای مدت‌زمانی که طول می‌کشد که کالاها از درب ورودی به درب خروجی برسند. محدودیت‌های (۱۷) و (۱۸) توالی را بین دو زوج کامیون t_{ijd} و $t_{i'j'd}$ را در حالتی بررسی می‌کنند که انبار متقاطعی که این زوج کامیون‌ها در آن‌ها عملیات انجام می‌دهند، یکسان نباشد ($d \neq d'$).

۴- الگوریتم‌های فرا ابتکاری

چن[۱] و لی[۲] [۲۴] اثبات کردند که مسئله زمان‌بندی کامیون‌ها در سیستم انبار عبوری موقت، به‌شدت یک مسئله دارای پیچیدگی محاسباتی و زمانی[۳] است. به دلیل اینکه

۱. Chen
۲. Lee
۳. NP- hard: non-deterministic polynomial-time hard

زمان محاسبه و پردازش مسئله، همزمان با افزایش اندازه آن به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد، روش‌های قطعی دیگر برای حل این مسائل کاربرد نخواهد داشت یا بسیار زمان‌بر خواهد بود. بنابراین، در این تحقیق از روش‌های فرا ابتکاری برای حل مدل طراحی‌شده، استفاده شده است که شامل سه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، جستجوی ممنوعه و ژنتیک است. از کاربردهای الگوریتم‌های فرا ابتکاری در حل مسائل زنجیره تأمین می‌توان به [۲۵] و [۲۶] اشاره نمود. مراحل ساخت الگوریتم‌های پیشنهادی به شرح ذیل است:

۱-۴- نمایش شکل جواب

در این تحقیق، شکل جدیدی برای نمایش جواب‌های مسئله ارائه شده است که شامل ۵ بخش مجزاست. اصلی‌ترین قسمت شکل جواب، شامل دو ردیف و $R \; x \; S$ ستون است که در آن هر ستون متعلق به هریک از زوج کامیون‌های ورودی و خروجی است.

۲-۴- روش ایجاد جواب اولیه

در ادامه، مراحل ایجاد جواب‌های اولیه و روش استخراج جواب نهایی تشریح شده است:

در مرحله اول، به‌صورت تصادفی به هریک از زوج کامیون‌های ورودی و خروجی یک انبار تخصیص داده می‌شود که شماره این انبارها از ۰، ۱، .... تا d هستند. در مرحله دوم، توالی زوج کامیون‌ها و در مرحله سوم، نوع و تعداد کالاهایی که بین کامیون‌های ورودی و خروجی انتقال می‌یابد، تعیین می‌شود. به‌طور مثال درصورتی‌که سه انبار عبوری، سه کامیون ورودی و سه کامیون خروجی وجود داشته باشد، شکل جواب مطابق شکل ۲ نمایش داده شده است.

زوج کامیون ورودی و خروجی	(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)	(۳،۱)	(۳،۲)	(۳،۳)
شماره‌ی انبار	۱	۰	۲	۰	۱	۲	۳	۳	۰
شماره توالی زوج کامیون	۱	۰	۲	۰	۲	۱	۲	۱	۰

شکل ۲ توالی زوج کامیون‌ها در انبارها

به‌منظور تعیین نوع و تعداد کالاهایی که بین کامیون‌های ورودی و کامیون‌های خروجی منتقل می‌شود، از یک روش ابتکاری (هیوریستیک) که توسط یو [۲] برای

تخصیص کالاها ارائه‌شده، استفاده شده است که در این روش، معیار برای اولویت‌بندی تخصیص کالاها، میزان جریان کالا بین دو کامیون ورودی و خروجی (α_{ij}) است.

$$\alpha_{ij} = \sum_{k=1}^{N} \min(r'_{ik}, s'_{jk}) \qquad \forall i, j \tag{۱۹}$$

در مرحله چهارم، زمان‌های شروع عملیات تخلیه بار از کامیون ورودی U_{ijd} و زمان اتمام عملیات بارگیری توسط کامیون خروجی L_{ijd} و درنهایت، مقدار تابع هدف T محاسبه می‌شود.

۳-۴- الگوریتم جستجوی ممنوعه

یکی از الگوریتم‌های توسعه داده‌شده جهت حل مسائل زمان‌بندی، الگوریتم جستجوی ممنوع است. این الگوریتم بهینه‌سازی فرا ابتکاری، ابتدا توسط گلوور[۱] [۲۷] معرفی شد. عملکرد الگوریتم جستجوی ممنوعه به شرح زیر است:

۱-۳-۴- ایجاد یک جواب اولیه

الگوریتم جستجوی ممنوعه با ایجاد یک جواب به‌صورت تصادفی و قرار دادن آن جواب به‌عنوان بهترین جواب آغاز می‌شود.

۲-۳-۴- ایجاد جواب همسایگی

برای تولید جواب‌های همسایگی برای جواب فعلی، از روش جابجایی[۲] استفاده شده است (شکل ۳). در این نوع الگوی جستجو، دو ستون به‌طور تصادفی انتخاب و جابه‌جا می‌شوند.

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲

⇒

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲

۱. Glover
۲. Swap

۲	۱	۱	۳	۰	۲

۲	۰	۱	۳	۱	۲

شکل ۳ عملگر جابه‌جایی

۳-۳-۴- حرکت به سمت بهترین همسایگی و به‌روزرسانی فهرست ممنوعه

بعد از حرکت به سمت بهترین جواب همسایگی جدید، نوع حرکت و ویژگی‌هایش در فهرست ممنوعه ذخیره می‌شود و فهرست ممنوعه بروز رسانی می‌شود و اگر که جواب جدید مقدار بهینه‌تری نسبت به بهترین جواب فعلی داشته باشد، به‌عنوان بهترین جواب در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳-۴- شرایط توقف

الگوریتم تا تحقق شرط خاتمه به جستجوی همسایگی ادامه می‌دهد. شرط توقف الگوریتم زمان در نظر گرفته شده است.

۴-۴- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

شبیه‌سازی تبرید یکی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مبتنی بر نقطه است که توسط کرک پاتریک و همکاران[۱] در سال ۱۹۸۳ [۲۸] معرفی شد. ایده‌ی این الگوریتم از فرآیند باز پخت[۲] جامدات در متالورژی گرفته شده است. مراحل این الگوریتم به شرح زیر است:

۱-۴-۴- ایجاد جواب اولیه

مرحله اول الگوریتم شبیه‌سازی تبرید با ایجاد یک جواب اولیه تصادفی آغاز می‌شود.

۲-۴-۴- جستجوی محلی

در این مرحله، یک همسایگی جواب اولیه تولید و مقدار تابع هدف همسایگی محاسبه می‌شود. برای تولید جواب جدید همسایگی، از سه روش جستجوی محلی (جابجایی[۳] (شکل ۴)، انتقال و معکوس‌سازی (شکل ۵) و در نهایت، حذف (شکل ۶)) استفاده شده است.

---

۱. Kirkpatrick et al.
۲. Annealing
۳. Swap

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲
۲	۱	۱	۳	۰	۲

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲
۲	۰	۱	۳	۱	۲

شکل ۴ عملگر جابه‌جایی

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۱	۲	۱	۱	۲
۲	۴	۱	۶	۱	۲

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۱	۱	۲	۱	۲
۲	۱	۶	۱	۴	۲

شکل ۵ عملگر معکوس سازی

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۱	۲	۱	۱	۲
۲	۴	۱	۶	۱	۲

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۱	۲
۲	۱	۶	۴	۱	۲

شکل ۶ عملگر حذف و انتقال

۳-۴-۴- احتمال‌های پذیرش جواب جدید

اگر مقدار تابع هدف جواب جدید بهتر از مقدار تابع هدف جواب اولیه باشد، پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت، احتمال پذیرش جواب جدید با استفاده از قاعده پذیرش معیار متروپولیس[۱] تعیین می‌شود (معادله ۲۰).

$$\Delta f = f_{new} - f > 0 \text{ که در آن } P = e^{-\frac{\Delta f}{T}}. \qquad (۲۰)$$

۱. Metropolics criterion

۴-۴-۴- برنامه (کاهش دما) سرد کردن

در این مرحله، قبل از شروع تکرار جدید، دما را کاهش می‌دهیم. روش‌های متعددی برای فرآیند کاهش دما وجود دارد. دما در تکرار بعدی i با استفاده از معادله‌ی (۲۱) مشخص خواهد شد.

$$T(i)=kT(i-1) \quad \text{که } k \text{ نرخ کاهش دماست و } 0<k<1 \qquad (۲۱)$$

۴-۴-۵- معیار خاتمه

معیار خاتمه، زمان در نظر گرفته شده است.

۴-۵- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری و مبتنی بر اصول ژنتیک و انتخاب طبیعی است که اولین بار توسط هالند[۱] مطرح شد [۲۹]. در ادامه، چارچوب عملکرد الگوریتم به‌طور خلاصه توضیح داده شده است:

۴-۵-۱- ایجاد جمعیت اولیه

جمعیت اولیه‌ای از کروموزوم‌ها به‌طور تصادفی ایجاد می‌شود.

۴-۵-۲- محاسبه مقدار تابع هدف

مقدار تابع هدف برای هر یک از کروموزوم‌ها محاسبه می‌شود.

۴-۵-۳- انتخاب کروموزوم‌های والد

در این مرحله کروموزوم‌های والد بر اساس سه مکانیزم انتخاب مسابقه‌ای[۲]، چرخه رولت[۳] و انتخاب تصادفی، انتخاب می‌شوند.

---

۱. Holland
۲. Tournament Selection
۳. Roulette wheel selection

۴-۵-۴- ایجاد جمعیت نسل بعد

تعداد $P_c \times n_{p0p}$ کروموزوم نسل بعدی با استفاده از عملگر تقاطع و تعداد $P_m \times n_{p0p}$ کروموزوم نسل بعدی با استفاده از عملگر جهش تولید می‌شوند که P_c احتمال تقاطع، P_m احتمال جهش و n_{p0p} تعداد جمعیت نسل بعد است. در ادامه، عملگرهای الگوریتم تشریح خواهد شد:

عملگر تقاطع: در این تحقیق، از عملگر تقاطع یکنواخت استفاده شده است. در عملگر تقاطع یکنواخت، مطابق آنچه در شکل ۷ نشان داده شده است، بعد از انتخاب والدین، یک ماتریس تصادفی به اسم آلفا ایجاد شده که عناصر برخی از ستون‌های آن ۱ و عناصر دیگر ستون‌ها صفر است. فرزندان طبق آنچه در معادله (۲۲) اشاره شد، ایجاد می‌شوند.

$$Child\,1 = alpha * parent\,1 + (1 - alpha) * parent\,2$$
$$Child\,2 = alpha * parent\,2 + (1 - alpha) * parent\,1 \qquad (۲۲)$$

طبق معادله ۲۲ ژن‌هایی از والد اول به فرزند منتقل می‌شود که ستون متناظر با آن در ماتریس آلفا یک باشد و مابقی ژن‌ها از والد دوم منتقل می‌شود.

alpha							(1-alpha)						
	(۱,۱)	(۱,۲)	(۱,۳)	(۲,۱)	(۲,۲)	(۲,۳)		(۱,۱)	(۱,۲)	(۱,۳)	(۲,۱)	(۲,۲)	(۲,۳)
	۰	۱	۱	۰	۱	۰		۱	۰	۰	۱	۰	۱
	۰	۱	۱	۰	۱	۰		۱	۰	۰	۱	۰	۱
والد اول							**والد دوم**						
	(۱,۱)	(۱,۲)	(۱,۳)	(۲,۱)	(۲,۲)	(۲,۳)		(۱,۱)	(۱,۲)	(۱,۳)	(۲,۱)	(۲,۲)	(۲,۳)
	۱	۲	۱	۱	۲	۰		۱	۲	۲	۰	۱	۱
	۲	۱	۳	۱	۲	۰		۱	۲	۱	۰	۳	۲
فرزند اول							**فرزند دوم**						
	(۱,۱)	(۱,۲)	(۱,۳)	(۲,۱)	(۲,۲)	(۲,۳)		(۱,۱)	(۱,۲)	(۱,۳)	(۲,۱)	(۲,۲)	(۲,۳)
	۱	۲	۱	۰	۲	۱		۱	۲	۲	۱	۱	۰
	۱	۱	۳	۰	۲	۲		۲	۲	۱	۱	۳	۰

شکل ۷ عملگر تقاطع

عملگر جهش: برای عملگر جهش، از روش جابه‌جایی دونقطه‌ای استفاده شده است. بدین ترتیب که دو نقطه از کروموزوم به‌صورت تصادفی انتخاب و ستون متناظر با آن جابه‌جا می‌شود.

۵-۵-۴- سازوکار موجه سازی جواب‌های غیرموجه

به دلیل اینکه استفاده از عملگر تقاطع یکنواخت باعث ایجاد جواب‌های ناموجه می‌شود، باید در مرحله پنجم جواب‌های ناموجه اصلاح یا حذف شوند.

۱-۵-۵-۴- اگر توالی که به یک زوج اختصاص داده شده است صفر باشد، درحالی‌که انباری که به آن اختصاص داده شده غیر صفر باشد، باید شماره توالی زوج کامیون اصلاح شود. بزرگترین شماره توالی بین زوج کامیون‌هایی که به همان انبار تخصیص داده‌شده‌اند را مشخص کرده و یک واحد به آن اضافه و به‌عنوان شماره توالی زوج کامیونی که شماره توالی‌اش صفر بود، تعیین می‌شود (شکل ۸).

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲
۲	۱	۱	۴	۳	۲

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲
۲	۱	۱	۴	۳	۲

شکل ۸ سازوکار موجه سازی ۱

۲-۵-۵-۴- اگر شماره توالی دو زوج کامیونی که به یک درب تخصیص داده شده است، ترتیب درستی نداشته باشد، باید ترتیب آن اصلاح شود. برای مثال، شماره‌های توالی انبار عبوری موقت اول، ۱ و ۴ برای زوج کامیون (۲،۱) هستند. درنتیجه، ما شماره‌ی توالی زوج کامیون (۲،۱) را ۳ در نظر می‌گیریم (شکل ۹).

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲
۲	۱	۱	۴	۳	۲

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲
۲	۱	۱	۳	۳	۲

شکل ۹ سازوکار موجه‌سازی ۲

۳-۵-۵-۴- اگر شماره توالی دو زوج کامیونی که به یک درب تخصیص داده شده است یکسان باشد، باید یکی از آن‌ها اصلاح شود. برای مثال، شماره‌های توالی زوج

کامیون (۱،۱) و (۲،۱) که به انبار ۱ تخصیص داده شده‌اند ۲ است. درنتیجه شماره توالی زوج کامیون (۲،۱)، ۳ در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱۰).

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲
۲	۱	۱	۴	۳	۲

⇒

(۱،۱)	(۱،۲)	(۱،۳)	(۲،۱)	(۲،۲)	(۲،۳)
۱	۲	۱	۱	۲	۲
۲	۱	۱	۳	۳	۲

شکل ۱۰ سازوکار موجه‌سازی ۳

۶-۵-۴- ادغام

در این مرحله جمعیت تولیدشده را با جمعیت قبلی ادغام و بهترین‌های آن‌ها برای انتقال به نسل بعدی انتخاب می‌شود و تا تحقق شرط توقف، به مرحله دوم بازمی‌گردد.

۵- تنظیم پارامتر

عملکرد الگوریتم، متأثر از مقادیر پارامترهای اساسی الگوریتم است؛ بنابراین، از روش تاگوچی برای تنظیم پارامتر الگوریتم استفاده شده است. یکی از ابزارهای روش تاگوچی به‌منظور تغییر و آزمون نظام‌مند سطوح مختلف هر عامل محاسبه، درصد انحرافات نسبی[۱] است [۳۰] (معادله ۲۳).

$$RPD = \frac{Alg_{sol} - Min_{sol}}{Min_{sol}} \times ۱۰۰ \qquad (۲۳)$$

که در آن Alg_{sol}، جواب الگوریتم پیشنهادی و Min_{sol}، بهترین جواب است. سطوح پارامترها برای دو الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید در جدول ۱ مشخص شده است.

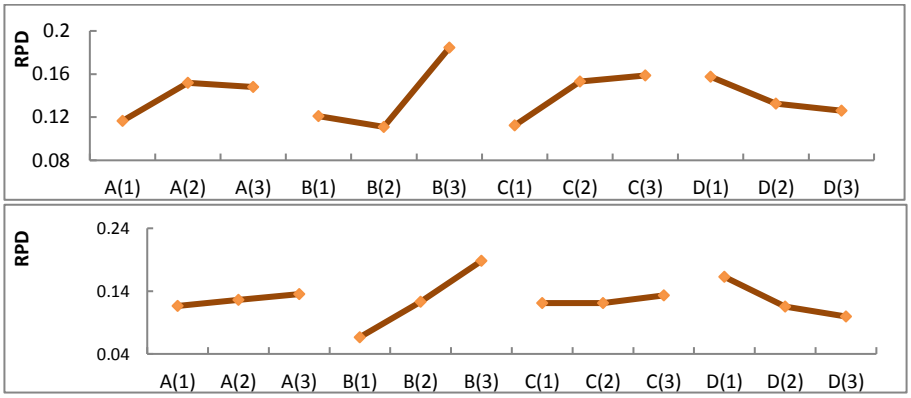
۱. Relative percentage of deviation (RPD)

جدول ۱ سطوح پارامترهای الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید

پارامترهای الگوریتم GA	نام پارامتر	سطح	مقدار
		A(۱)	۵۰
	جمعیت اولیه	A(۲)	۱۰۰
		A(۳)	۲۰۰
		B(۱)	(۰/۵,۰/۵)
	(نرخ تقاطع، نرخ جهش)	B(۲)	(۰/۷,۰/۳)
		B(۳)	(۰/۹,۰/۱)
		C(۱)	چرخه رولت
	روش انتخاب	C(۲)	رقابتی
		C(۳)	تصادفی
		D(۱)	تک‌نقطه‌ای
	روش تقاطع	D(۲)	دونقطه‌ای
		D(۳)	یکنواخت

پارامترهای الگوریتم SA	نام پارامتر	سطح	مقدار
		A(۱)	۰,۹۵
	نرخ کاهش دما	A(۲)	۰,۹
		A(۳)	۰/۸۵
	روش جستجوی همسایگی (جابه‌جایی، معکوس‌سازی، انتقال)	B(۱)	(۰/۶,۰/۳,۰/۱)
		B(۲)	(۰/۱,۰/۳,۰/۶)
		B(۳)	(۰/۱,۰/۶,۰/۳)
		C(۱)	۵
	تعداد تکرار	C(۲)	۱۰
		C(۳)	۱۵
		D(۱)	۱۰
	دمای اولیه	D(۲)	۱۰۰
		D(۳)	۱۰۰۰

روش تاگوچی از یک رویکرد نموداری برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها استفاده می‌کند. در این رویکرد، نمودار درصد انحرافات نسبی برای هر عامل و به ازای سطوح مختلف آن‌ها، ترسیم می‌شوند. سطوح بهینه هر عامل جایی است که نمودار درصد انحرافات نسبی، کمینه می‌شود (این موضوع وابسته به نوع هدف است). در نمودار ۱، نمودار RPD به ازای معیار تابع هدف و برای هر یک از الگوریتم‌ها نشان داده شده‌اند.



نمودار ۱ سطوح بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید

همان‌طور که مشاهده می‌شود، سطوح بهینه پارامترها در هریک از الگوریتم‌ها به شرح جدول ۲ است.

جدول ۲ سطوح بهینه پارامترها

	الگوریتم ژنتیک	الگوریتم شبیه‌سازی تبرید
A	۱۰۰	۰/۹
B	(۰/۷,۰/۷)	(۰/۱,۰/۶,۰/۳)
C	رقابتی	۱۰
D	دونقطه‌ای	۱۰۰

۶- مسائل آزمایشی

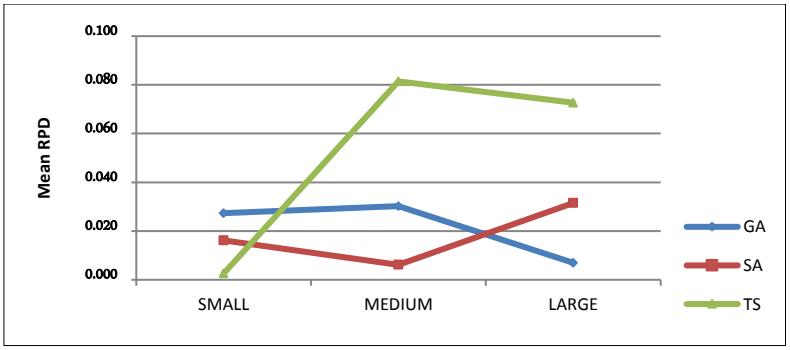
در این بخش، به‌منظور مقایسه کارایی الگوریتم‌ها،۲۳ نمونه مسئله آزمایشی تصادفی ایجاد و نتایج حل آن‌ها با هم مقایسه شده است (جدول۴). مسائل بر اساس تعداد درب ورودی و خروجی، تعداد کامیون‌های ورودی و خروجی، تعداد کالاها و تعداد انبارها به سه دسته مسائل کوچک، بزرگ و متوسط طبقه‌بندی شده‌اند. به‌منظور اعتبارسنجی جواب الگوریتم‌ها، مسائل اندازه کوچک با استفاده از نرم‌افزار CPLEX حل شده‌اند. به دلیل اینکه مسئله این تحقیق، ترکیبی از مسئله تخصیص درب (تخصیص انبار) و مسئله زمان‌بندی کامیون‌هاست و هر یک از این مسائل قویاً Np-hard هستند، حل کردن مسائل اندازه بزرگ‌تر بسیار پیچیده‌تر است و نرم‌افزار CPLEX قادر به حل مسئله در مدت‌زمان مناسب و معقول نیست.

بنابراین، برای حل مسائل آزمایشی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری (ژنتیک، جستجوی ممنوعه و شبیه‌سازی تبرید) استفاده شده است. هریک از الگوریتم‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB ۷،٦ کدنویسی شده و سپس با استفاده از رایانه‌ای هفت هسته‌ای Corei۷ ۲،۸ گیگاهرتز، و دارای حافظه داخلی ۴ گیگابایت DDR۳ اجرا شده است. زمان تأخیر برای تعویض کامیون‌ها در درب‌ها ۲۰ واحد زمانی، زمان موردنیاز برای انتقال کالاها از درب ورودی به درب خروجی ۱۰ واحد زمانی و زمان موردنیاز برای تخلیه و بارگیری کالاها، یک واحد زمانی است. در این تحقیق، زمان به‌عنوان معیار توقف در نظر گرفته شده است. نتایج اجرای الگوریتم‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مسائل با اندازه کوچک، الگوریتم جستجوی ممنوعه از الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید عملکرد بهتری دارد. در مسائل

متوسط، عملکرد الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بهتر از دو الگوریتم دیگر است و درنهایت، هرچقدر اندازه مسئله بزرگ‌تر می‌شود، الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دارد (نمودار ۳). در مسائل با اندازه بزرگ، با توجه به اینکه الگوریتم جستجوی ممنوعه بر اساس جستجوی همسایگی عمل می‌کند، در هر تکرار انتخاب‌های محدودی دارد و فهرست ممنوعه نیز این انتخاب‌های محدود را محدودتر خواهد کرد؛ لذا جستجوی متنوع‌تر فضای جواب مشکل‌تر خواهد بود.

جدول ۳ نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید و جستجوی ممنوعه

مسائل آزمایشی	شماره مسئله	تعداد کامیون‌های ورودی	تعداد کامیون‌های خروجی	تعداد نوع کالاها	تعداد انبارها	تعداد کل کالاها	تابع هدف			MIN	RPD			زمان (ثانیه)
							GA	SA	TS		GA	SA	TS	
کوچک	۱	۴	۴	۷	۲	۷۱۰۰	۳۶۷۰	۳۶۵۵	۳۶۳۰	۳۶۳۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	۰	۲۰۰
	۲	۶	۴	۵	۲	۴۰۷۰	۱۹۳۰	۱۹۱۵	۱۹۰۵	۱۹۰۵	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	۰	۲۰۰
	۳	۸	۹	۵	۳	۵۶۵۰	۲۴۵۰	۲۳۹۰	۲۴۰۵	۲۳۹۰	۰/۰۲۵	۰	۰/۰۰۶	۳۰۰
	۴	۸	۶	۶	۵	۶۸۵۰	۱۷۷۰	۱۷۹۵	۱۶۸۰	۱۶۸۰	۰/۰۵۴	۰/۰۶۸	۰	۳۰۰
	۵	۱۱	۱۱	۷	۴	۸۷۱۰	۳۰۲۵	۲۹۲۵	۲۹۴۵	۲۹۲۵	۰/۰۳۴	۰	۰/۰۰۷	۳۰۰
متوسط	۶	۱۱	۱۲	۷	۴	۹۴۵۰	۳۱۰۵	۳۱۱۰	۳۱۹۵	۳۱۰۵	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۳۶۰
	۷	۱۲	۱۲	۸	۵	۱۱۴۷۰	۳۲۶۵	۳۰۵۵	۳۳۶۰	۳۰۵۵	۰/۰۶۹	۰	۰/۰۱۱	۳۶۰
	۸	۱۱	۱۲	۸	۷	۹۸۵۰	۲۲۳۵	۲۲۶۵	۲۴۲۵	۲۲۳۵	۰	۰/۰۱۳	۰/۰۸۵	۵۰۰
	۹	۱۳	۱۲	۸	۵	۱۱۸۱۰	۳۳۴۰	۳۲۶۵	۳۲۲۵	۳۲۶۵	۰/۰۲۲	۰	۰/۰۸	۵۰۰
	۱۰	۱۳	۱۳	۹	۶	۱۴۰۶۰	۳۵۶۵	۳۱۸۵	۳۳۹۵	۳۱۸۵	۰/۱۱۹	۰	۰/۰۶۶	۶۰۰
	۱۱	۱۴	۱۳	۹	۶	۱۵۴۹۰	۳۷۹۵	۳۸۲۵	۳۹۸۰	۳۷۹۵	۰	۰/۰۰۸	۰/۰۴۹	۶۰۰
	۱۲	۱۳	۱۴	۱۰	۶	۱۷۴۹۰	۴۰۱۵	۴۰۰۰	۴۰۷۰	۴۰۰۰	۰/۰۰۴	۰	۰/۰۱۸	۷۲۰
	۱۳	۱۴	۱۴	۱۰	۷	۱۸۶۹۰	۴۴۸۵	۴۳۲۵	۵۰۷۵	۴۳۲۵	۰/۰۳۷	۰	۰/۱۷۳	۷۲۰
	۱۴	۱۵	۱۴	۱۱	۸	۲۲۶۰	۴۸۳۵	۵۰۵۰	۵۳۱۵	۴۸۳۵	۰	۰/۰۴۴	۰/۰۹۹	۷۲۰
	۱۵	۱۶	۱۱	۸	۲۳۵۲۰	۴۷۵۵	۴۴۷۵	۵۰۲۵	۴۴۷۵	۰/۰۶۳	۰	۰/۱۲۳	۷۲۰	
	۱۶	۱۷	۱۶	۱۲	۹	۲۶۰۵۰	۵۸۷۰	۵۷۶۵	۶۱۹۵	۵۷۶۵	۰/۰۱۸	۰	۰/۰۷۵	۹۰۰
بزرگ	۱۷	۱۷	۱۷	۱۳	۱۰	۳۱۹۲۰	۶۱۸۰	۶۵۷۰	۶۲۲۰	۶۱۸۰	۰	۰/۰۶۳	۰/۰۰۶	۹۰۰
	۱۸	۱۷	۱۸	۱۳	۱۰	۳۲۶۸۰	۶۵۷۵	۶۲۹۰	۶۷۲۰	۶۲۹۰	۰/۰۴۵	۰	۰/۰۶۸	۹۰۰
	۱۹	۱۶	۱۳	۹	۱۲	۲۵۴۵۰	۳۰۲۰	۳۰۱۰	۳۱۶۵	۳۰۱۰	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۵۱	۱۲۰۰
	۲۰	۱۸	۱۸	۱۴	۱۱	۳۷۰۷۰	۸۳۲۰	۸۹۵۰	۹۰۳۵	۸۳۲۰	۰/۰۷۶	۰/۰۶۸	۱۲۰۰	
	۲۱	۱۸	۱۹	۱۵	۱۱	۴۰۸۴۰	۸۶۶۰	۸۹۸۰	۹۲۸۰	۸۶۶۰	۰/۰۳۷	۰/۰۷۲	۱۲۰۰	
	۲۲	۱۹	۱۸	۱۵	۱۲	۳۹۹۲۰	۸۴۵۵	۸۵۳۰	۹۰۶۵	۸۴۴۵	۰/۰۱	۰/۰۷۳	۱۵۰۰	
	۲۳	۲۰	۱۹	۱۶	۱۶	۴۵۲۰۰	۱۰۶۷۵	۱۱۰۴۵	۱۲۲۹۵	۱۰۶۷۵	۰/۰۳۵	۰/۰۷۲	۱۵۰۰	



نمودار ۲ مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها در مسائل کوچک، متوسط و بزرگ

به‌منظور بررسی معنی‌داری اختلاف بین عملکرد الگوریتم‌ها مقایسات آماری مبتنی بر تحلیل واریانس صورت گرفته است. فرضیه آماری به‌صورت زیر بیان می‌شود:

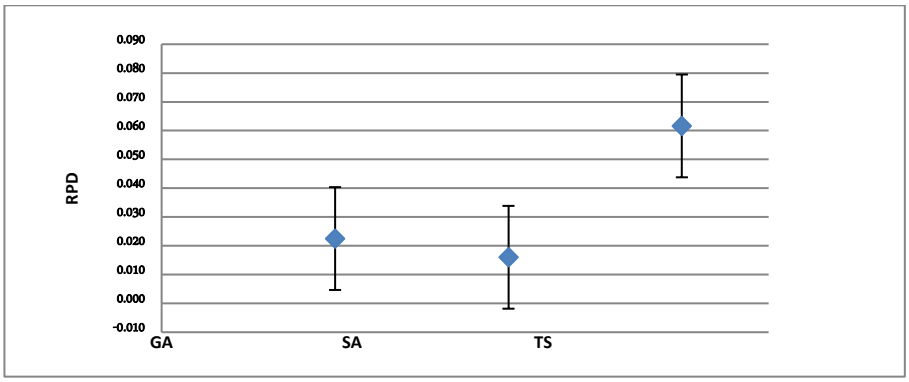
$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \\ H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \end{cases} \quad (۲۴)$$

فرض H_0 بیانگر تساوی عملکرد الگوریتم‌هاست؛ یعنی اختلاف معنی‌داری بین عملکرد الگوریتم‌ها وجود ندارد و فرض H_1 نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین عملکرد الگوریتم‌هاست. نتایج تحلیل واریانس در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به اینکه مقدارP-value کمتر از ۰/۰۵ است، فرض برابری میانگین‌ها (H_0) رد می‌شود؛ یعنی حداقل یک الگوریتم وجود دارد که عملکرد بهتری دارد و اختلاف معنی‌داری بین عملکرد الگوریتم‌ها وجود دارد.

جدول ۴ نتایج آنالیز واریانس

Source of Variation	SS	dF	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	۰/۰۲۸	۲	۰/۰۱۴	۱۰/۶۴۰	۹/۸۷E-۰۵	۳/۱۳۵
Within Groups	۰/۰۸۶	۶۶	۰/۰۰۱			
Total	۰/۱۱۴	۶۸				

به‌منظور بررسی تفاوت بین عملکرد الگوریتم‌ها از روش حداقل اختلاف معنی‌دار استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد عملکرد الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید بهتر و مشابه بوده است. همچنین اختلاف معنی‌داری بین عملکرد الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک با الگوریتم جستجوی ممنوعه وجود دارد (نمودار ۳).



نمودار ۳ نتایج آزمون LSD

۷- جمع‌بندی و پیشنهاد مطالعات آتی

این تحقیق به طراحی مدل و حل مسائل زمان‌بندی انبار عبوری موقت چند دربه با رویکرد توقف عملیات و با هدف کمینه‌سازی زمان کل عملیات، پرداخته است. به‌منظور اعتبار سنجی مدل از نرم‌افزار سی. پلکس برای مسائل با اندازه کوچک حل شده است. با توجه به ماهیت Np-hard این دسته از مسائل از روش‌های فراابتکاری برای حل مسئله استفاده شده است که شامل سه الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک، شبیه-سازی تبرید و جستجوی ممنوعه می‌شود. همچنین در این تحقیق، شکل نمایش جواب جدیدی برای نمایش انبار تخصیص داده شده به زوج کامیون و توالی آن زوج کامیون در آن انبار، ارائه شده است. برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها از روش تاگوچی استفاده شده است. نتایج اجرای الگوریتم‌ها نشان می‌دهد در مسائل با اندازه کوچک، الگوریتم جستجوی ممنوعه از الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید عملکرد بهتری

دارد. در مسائل متوسط، عملکرد الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بهتر از دو الگوریتم دیگر است و درنهایت، هرچقدر اندازه مسئله بزرگ‌تر می‌شود، الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دارد. با توجه به مطالب ذکرشده، در تحقیقات آینده می‌توان حوزه‌های گسترش مدل مسئله و رویکرد حل مسئله موردتوجه قرار گیرند. موضوعاتی که می‌تواند در تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرد شامل لحاظ کردن محدودیت خدمات‌رسانی برای درب‌های ورودی و خروجی انبار عبوری، طراحی مدل چندهدفه زمان‌بندی کامیون‌ها با رویکرد توقف عملیات، در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت برای پارامترهای ورودی مدل و به‌کارگیری سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری و مقایسه کارایی آن‌ها می‌شود.

۸- منابع

[۱] Apte UM, Viswanathan S. (۲۰۰۰). Effective cross docking for improving distribution efficiencies. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 3(3), 291–302.

[۲] Yu W, (2002), Operational strategies for cross docking systems, Dissertation, Iowa state University, Ames, IA, USA.

[۳] Boysen N, and Fliedner M, (2010), Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda, *Omega*, 38, 413–422.

[٤] Boysen N, (2010), Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals, *Computers and Operations Research*, 37, 32–41.

[٥] Vahdani B, Zandieh M, (2010), Scheduling trucks in cross-docking systems: robust meta-heuristics, *Computers and Industrial Engineering*, 58(1), 12–24.

[٦] Yu W, and Pius J. E, (2008), Scheduling of inbound trucks in cross docking systems with temporary storage, *European Journal of Operational Research*, ۱۸۴(۱), ۳۷۷–۳۹۶.

[۷] Arabani ARB, Ghomi SMTF, Zandieh M, (2011), Meta-heuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage, *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1964–79.

[۸] Forouharfard S, Zandieh M, (2010), An imperialist competitive algorithm to schedule of receiving and shipping trucks in cross-docking systems, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(9), 1179–۹۳.

[۹] Arabani ARB, Ghomi SMTF, Zandieh M, (2010), A multi-criteria cross-docking scheduling with just-in-time approach, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(5), 741–56.

[۱۰] Boloori Arabani A, Zandieh M, and Fatemi Ghomi S.M.T, (2012), A cross-docking scheduling problem with sub-population multi-objective algorithms, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58, 741–۷۶۱.

[۱۱] Boloori Arabani, A. R., Zandieh, M., & Fatemi Ghomi, S. M. T, (2011), Mulit-objective genetic-based algorithms for a cross-docking scheduling problem, *Applied Soft Computing*, 11, 1954–4970.

[۱۲] Boysen N, Fliedner M, and Scholl A, (2010), Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. *OR Spectrum*, 32, 135–161.

[۱۳] Vahdani B, Soltani R, and Zandieh M, (2009), Scheduling the truck holdover recurrent dock cross-dock problem using robust meta-heuristics, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46, 769-783.

[۱٤] Soltani R, Sadjadi SJ, (2010), Scheduling trucks in cross-docking systems: a robust meta-heuristics approach, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), 650–66.

[۱٥] Van Belle J, Valckenaers P, and Cattrysse D, (2012), Cross-docking: State of the art, *Omega*, 40, 827–846.

[۱٦] Belle J V, Valckenaers P, Berghe G V, and Cattrysse D, (2013), A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows, *Computers and Industrial Engineering*, 66(4), 818–826.

[۱۷] Joo C M, and Kim B S, (2013), Scheduling compound trucks in multi-door cross-docking terminals, Int*ernational Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64, 977–988.

[۱۸] Madani-Isfahani M, Tavakoli-Moghaddam R, Naderi B, (2010), Multiple cross-docks scheduling using two meta-heuristic algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, S0360-8352(14)00154-5.

[۱۹] Miao Z, Lim A, and Ma H, (2009), Truck dock assignment problem with operational time constraint within cross docks, *European Journal of Operational Research*, 192, 105–115.

[۲۰] Liao T, Egbelu P J, and Chang P C, (2013), Simultaneous dock assignment and sequencing of inbound trucks under a fixed outbound truck schedule in multi door cross docking operations, *International Journal of Production Economics*,141, 212–229.

[۲۱] Lee K, Kim B S, and Joo C M, (2012), Genetic algorithms for door-assigning and sequencing of trucks at distribution centers for the improvement of operational performance, *Expert Systems with Applications*, 39, 12975–12983.

[۲۲] Konur D, and Golias M M, (2013), Analysis of different approaches to cross-dock truck scheduling with truck arrival time uncertainty, *Computers and Industrial Engineering*, 65(4), 663–672.

[۲۳] Kuo Y, (2013), Optimizing truck sequencing and truck dock assignment in a cross docking system, *Expert Systems with Applications*, 40(14), 5532-5541.

[۲٤] Chen F, Lee CY, (2009), Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem, *European Journal of Operational Research*, ۱۹۳(۱), ۵۹–۷۲.

[۲۵] Amiri M,Taghavi fard M, and Aghaei M, (2016), Development of three-objective model for the location – allocation of assistance centers in a probabilistic condition of availability to emergency vehicles, Modern Researches in Decision making, 1(2), 1-27.

[۲٦] Notash M, Zandieh M, and Dorri Nokarani B, (2015), Using a Genetic algorithm approach for designing multi-objective supply chain network, Management Researches in Iran, 4(18), 183-203.

[۲۷] Glover F, (1989), Tabu search. Part I *ORSA Journal on Computing*, 1, 190–۲۰۶.

[۲۸] Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P, (1983), Optimization by simulated annealing, *Science 220* (4598), 671–680.

[۲۹] Holland JH, (1975), Adaptation in natural and artificial systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, IL.

[۳۰] Taguchi G, (1986), Introduction to quality engineering, White Plains: *Asian Productivity Organization*.