

الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل برنامه‌ریزی چند هدفه مکانیابی و تخصیص سه سطحی در لجستیک امداد

فرناز برزین‌پور^{۱*}، محسن صفاریان^۲، ابراهیم تیموری^۱

۱- استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۱ دی ۱۳۹۲

پذیرش مقاله: ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۳

چکیده

از آنجا که ایران یک کشور حادثه خیز است برنامه‌ریزی‌های لجستیکی در زنجیره امداد سوانح می‌تواند نقش اساسی در ارائه خدمات به آسیب‌دیدگان داشته باشد. در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه امکانی برای مکانیابی دوره‌ای انبارهای موقت و تخصیص آن‌ها به مناطق آسیب‌دیده به منظور توزیع کالاهای امدادی ارائه گردیده است. در مطالعه انجام شده، پارامترهای مساله، شامل هزینه‌های جابه‌جایی کالا، میزان تقاضای مناطق آسیب‌دیده و میزان عرضه مراکز تامین به صورت غیرقطعی و فازی در نظر گرفته شده است. دو هدف اصلی مدل، شامل حداقل کردن هزینه‌های راه‌اندازی و هزینه‌های جابه‌جایی بین مراکز تامین، انبارهای موقت و مناطق آسیب‌دیده همچنین حداکثر کردن مجموع حداقل نسبت‌های تقاضای پوشش یافته به منظور رعایت انصاف در توزیع کالا می‌باشد. در این مقاله دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای حل مدل ارائه شده است که برای مسایل با سائز کوچک با جواب دقیق حاصل از نرم افزار لینگو مقایسه شده‌اند. برای مسایل با سائز بزرگ، این دو الگوریتم فراابتکاری از نظر کارایی مورد بررسی قرار گرفته و با هم مقایسه شده‌اند. نتایج محاسباتی، اهمیت و کارایی مدل طراحی شده را برای مسایل واقعی نشان می‌دهد. در نهایت یک مطالعه موردی برای استان خراسان جنوبی به عنوان یکی از استان‌های حادثه خیز کشور انجام گرفته است.

کلمات کلیدی: لجستیک امداد، مکانیابی - تخصیص، بهینه‌سازی چند هدفه، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم شبیه سازی تبرید.

۱ مقدمه

وجود یک سیستم علمی مناسب برای لجستیک مدیریت بحران که دارای یک مدیریت معین و کلیه فرآیندهای آن از قبل تعریف و وظایف هر زیر مجموعه، مشخص شده باشد، امری اجتناب‌ناپذیر است؛ لجستیک و زنجیره امداد حوزه‌هایی هستند که بهبود در آن‌ها می‌تواند نتایج اثر بخشی در راستای رسیدن به اهدافی مانند پشتیبانی و

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: barzinpour@iust.ac.ir

امداد رسانی به موقع مدیریت لجستیک امداد داشته باشد [۱]. لجستیک، باعث هماهنگی بیشتر برای تحویل کالاهای امدادی و افزایش سرعت تحویل و کاهش زمان پاسخ گویی می شود [۲ و ۳]. یکی از بخش های لجستیک که در شرایط بحرانی می تواند نقش راهبردی داشته باشد؛ مکانیابی از پیش انبارها و ذخیره سازی موجودی در آن ها است [۲]. مکانیابی از پیش انبارها با توجه به فاکتورهایی مانند هزینه، زمان پاسخ گویی و عدالت در توزیع در لجستیک مورد توجه می باشد و بیشتر در فاز آمادگی صورت می گیرد [۴].

اگرچه تحقیقات در زمینه مسایل جاییابی تسهیلات هم در زمینه تئوری و هم کاربرد به طور بسیار گسترده ای صورت گرفته است ولی از این مسایل در حوزه امداد انسان دوستانه تاکنون استفاده چندانی نشده [۵]. از آنجایی که تعداد و موقعیت تسهیلات و مراکز توزیع و میزان موجودی کالایی که در آن ها ذخیره می شود؛ نسبت مستقیمی با به موقع بودن و هزینه پاسخ و واکنش در زنجیره امداد دارد؛ تصمیم گیری در زمینه جاییابی تسهیلات بر عملکرد عملیات امداد دارای تاثیر زیادی است.

از کاربردهایی که برای مکانیابی در مساله لجستیک امداد قابل تصور است؛ می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مکانیابی مراکز مدیریت بحران در سطح شهر یا استان و تخصیص کالاهای اضطراری نظیر آب، بسته های غذایی و چادر از این مراکز به مناطق آسیب دیده.
- مکانیابی انبارهای هلال احمر و بحث تخصیص این انبارها به شهرها و استان های آسیب دیده در زمان بحران های طبیعی یا حتی در شرایط وقوع جنگ.
- مکانیابی پایگاه های آمبولانس در سطح شهری، بین شهری و استانی.

در مدیریت بحران در دو فاز آمادگی و واکنش با مساله مکانیابی مواجه هستیم؛ در فاز نخست مساله مکانیابی به مکانیابی از پیش نیز معروف است. این مقاله در ۸ بخش ارائه شده که در بخش ۲ به مرور ادبیات موضوع می پردازیم و در بخش ۳ بیان مساله و مفروضات مدل ارائه می گردد. در بخش ۴ و ۵ به ترتیب طراحی الگوریتم ژنتیک و شبیه سازی تبرید آورده شده است و در بخش ۶ نتایج محاسباتی، در بخش ۷ مطالعه موردی و در نهایت در بخش ۸ نتیجه گیری ارائه می گردد.

۲ مروری بر ادبیات موضوع

گرچه مکانیابی و تعیین ظرفیت تسهیلات در مدیریت بلایا جزو مباحث اساسی هستند ولی تحقیقات کمی در این زمینه به عنوان برنامه ریزی از پیش، متمرکز شده است [۶].

آکیهال [۷] به ارائه یک مدل برای مکانیابی مراکز مدیریت بحران جهت مدیریت کالاهای امدادی پرداخته است. ترنگ و همکاران [۸] یک مدل چند معیاره قطعی برای توزیع کالاهای امداد به مناطق آسیب دیده با مد نظر قرار دادن هزینه، زمان پاسخ گویی و میزان رضایت آسیب دیدگان ارائه نمودند و آن را به کمک برنامه ریزی چند هدفه فازی حل کردند. بالکیک و بیمون [۲] در سال ۲۰۰۸ مکانیابی تسهیلات در لجستیک امداد برای پاسخ گویی به آسیب دیدگان ارائه کردند. به عبارت دیگر مدلی برای تعیین تعداد و موقعیت مراکز توزیع در شبکه امداد و میزان اقلام امدادی که باید در هر مرکز توزیع برای برآوردن نیاز مردم آسیب دیده ذخیره

شوند؛ ایجاد نمودند. برادلی و برونی [۹] نیز در سال ۲۰۰۹ یک مدل احتمالی به منظور مکانیابی بهینه تسهیلات امدادی در یک محیط غیر قطعی ارائه کردند. مته و زینسکی [۱۰] در سال ۲۰۱۰ یک مدل بهینه‌سازی تصادفی برای برنامه‌ریزی به منظور ذخیره و توزیع کالاهای پزشکی در شرایط بحرانی ارائه دادند. همچنین جبل عاملی و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۱ یک مدل مکانیابی و توزیع ارائه نموده؛ آن را به کمک روش‌های فازی حل نمودند.

دوران و همکاران [۱۲] مدل مکانیابی موجودی را مطالعه کرده؛ برای آن یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط ارائه دادند. این مدل تاثیر مکانیابی از پیش را بر روی میانگین زمان پاسخگویی بررسی می‌کند. در مدل آن‌ها حداکثر تعداد انبار و محدودیت سطح موجودی در مکان‌های از پیش مکانیابی شده در نظر گرفته شده‌است. راولز و تورنکوئیست [۶] در سال ۲۰۱۰ یک مدل برنامه‌ریزی دو مرحله‌ای را برای تعیین مکانیابی از پیش و ظرفیت مکان‌های انبارها و همچنین تعیین مقدار کالاهای تخصیص داده شده به این مکان‌ها، ارائه کردند. زنگ مینگانگ و همکاران [۱۳] مساله مکانیابی و مسیریابی را در شرایط امداد به صورت دو مرحله‌ای در نظر گرفتند. یعنی ابتدا مکانیابی و سپس مسیریابی را طوری حل کردند که هزینه کل حداقل گردد و سپس از یک الگوریتم ابتکاری دو مرحله‌ای برای حل آن استفاده نمودند؛ طوری که در مرحله اول یک خوشه‌بندی صورت گرفت و بر اساس آن مکانیابی مشخص شد و در گام دوم یک الگوریتم مورچگان برای مسیریابی مورد استفاده قرار گرفت.

اسمید [۱۴] در سال ۲۰۱۲ یک مدل احتمالی برای مساله مکانیابی مجدد و توزیع به صورت دینامیکی ارائه نمود و آن را به کمک روش برنامه‌ریزی دینامیکی حل کرد. چریتینه و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۱۲ یک مساله مکانیابی و توزیع ارائه کردند که دو هدف شامل حداقل کردن هزینه‌های راه اندازی و حداقل نمودن هزینه دسترسی را مورد توجه قرار دادند و سپس یک الگوریتم شاخه برش برای حل آن استفاده نمودند. هکتور ترویدیز و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۱۳ یک مدل ریاضی برای مساله مکانیابی و توزیع ارائه دادند و آن را به کمک یک الگوریتم ژنتیک حل کردند. برزین پور و اسماعیلی [۱۷] یک مدل مکانیابی و توزیع چند هدفه به منظور توزیع کالا در مناطق آسیب دیده ارائه نمودند و یک مطالعه موردی بر روی شهر تهران انجام دادند.

اسماعیلی و برزین پور [۱۸] در سال ۲۰۱۴ یک مدل چند هدفه مکان‌یابی و توزیع ارائه داده؛ سپس الگوریتم ژنتیکی برای حل آن طراحی کردند و مطالعه موردی برای شهر تهران انجام گرفت.

اکثر تحقیقاتی که در حوزه مکانیابی و توزیع در لجستیک امداد صورت گرفته است مربوط به فاز آمادگی می‌باشد و در واقع بر اساسی پیش‌بینی شرایط برنامه‌ریزی صورت می‌گیرد. حال سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا همان برنامه‌ریزی‌های از پیش، می‌تواند ملاک عملیات باشد یا اینکه بر اساسی شرایط پیش آمده و اطلاعات در دسترس باید برنامه‌ریزی جدیدی انجام داد. معمولاً پس از وقوع حادثه در ۷۲ ساعت اولیه به کمک کالاهای ذخیره شده از پیش در مراکز توزیع، خدمت‌رسانی صورت می‌گیرد. بنابراین می‌توان در طول آن ۷۲ ساعت بر اساس اطلاعات حاصل از مناطق آسیب‌دیده برای دوره‌های بعد برنامه‌ریزی جدیدی انجام داد؛ طوری که با حداقل میزان هزینه صورت گرفته؛ در کمترین زمان، بیشترین میزان خدمت‌رسانی را جهت افزایش رضایتمندی آسیب‌دیدگان به اجرا گذاشت. در این تحقیق، هدف ارائه مدلی است که به مکانیابی دوره‌ای مراکز

توزیع و همچنین نحوه توزیع کالاها بین مناطق آسیب دیده پیردازد طوریکه هزینه راه اندازی مراکز توزیع موقت و همچنین هزینه تخصیص کالا حداقل شده؛ میزان حداقل سطح پوشش تقاضای مناطق آسیب دیده حداکثر گردد.

۳ بیان مساله و مفروضات مدل

یک سیستم سه سطحی شامل تامین کنندگان کالاهای امدادی، انبارهای موقت و مناطق آسیب دیده در نظر گرفته شده است. در این سیستم، شهرهایی به عنوان تامین کنندگان در نظر گرفته می شود و مناطقی به عنوان نقاط کاندیدا جهت استقرار انبارهای موقت وجود دارد. اطلاعات سیستم برای دوره های مختلف شامل: میزان کالاهایی که در مراکز تامین وجود دارد، میزان تقاضای مناطق آسیب دیده در دوره های مختلف و هزینه های جابه جایی کالا، به صورت اعداد فازی در اختیار است. حال هدف ما تعیین انبارهای موقت فعال در دوره های مختلف و همچنین نحوه توزیع کالاها بین مناطق مختلف در دوره های برنامه ریزی به قسمی است که هزینه ها حداقل و سطح پوشش حداکثر گردد. لازم به ذکر است امکان جابه جایی کالا بین مراکز تامین و انبارهای موقت فعال وجود دارد و کالاها از مراکز تامین به انبارهای موقت جابه جا شده؛ از آنجا بین مناطق آسیب دیده توزیع می شوند. مکانیابی و توزیع کالا، باید به صورتی انجام پذیرد که نخست هزینه های جابه جایی کالاها حداقل شود و سپس رعایت انصاف و عدالت در توزیع کالا صورت گیرد.

۳-۱ مفروضات مدل

- ✓ میزان موجودی مراکز تامین در دوره های مختلف به صورت اعداد فازی مثلثی در دسترس است.
- ✓ میزان تقاضای مناطق آسیب دیده در دوره های مختلف به صورت اعداد فازی مثلثی در دسترس است.
- ✓ چند نوع کالای امدادی وجود دارد.
- ✓ هزینه های جابه جایی بین مناطق مختلف به صورت اعداد فازی مثلثی در دسترس است
- ✓ امکان انتقال موجودی از یک دوره به دوره بعد در یک انبار موقت وجود دارد.

۳-۲ شناسگرهای مدل

- | | |
|---|--|
| I_t : مجموعه مراکز تامین در دوره t | i : شناسگر مربوط به مراکز تامین |
| J_t : مجموعه نقاط کاندیدا جهت استقرار انبارهای موقت در دوره t | j : شناسگر مربوط به انبارهای موقت |
| K_t : مجموعه مناطق آسیب دیده در دوره t | k : شناسگر مربوط به مناطق آسیب دیده |
| C : مجموعه کالاهای امدادی | c : شناسگر مربوط به کالا |
| T : مجموعه دوره های برنامه ریزی | t : شناسگر مربوط به دوره های برنامه ریزی |

۳-۳ پارامترهای مدل

$\tilde{C}_{\backslash cijt}$: هزینه جابه‌جایی هر واحد کالای c از تامین کننده i به انبار موقت j در دوره t که یک عدد فازی مثلثی می‌باشد.

$\tilde{C}_{\backslash cjkt}$: هزینه جابه‌جایی هر واحد کالای c از انبار موقت j به منطقه آسیب‌دیده k در دوره t که یک عدد فازی مثلثی می‌باشد.

$\tilde{C}_c$: هزینه انبارداری هر واحد کالای c برای هر دوره.

$\tilde{q}_j$: هزینه راه‌اندازی انبار j که یک عدد فازی مثلثی می‌باشد.

p_c : جریمه کمبود کالای c

$\tilde{d}_{ckt}$: مقدار تقاضای منطقه آسیب‌دیده k در دوره t برای کالای c که یک عدد فازی مثلثی می‌باشد.

$\tilde{S}_{ict}$: مقدار کالای c موجود در تامین کننده i در دوره t که یک عدد فازی مثلثی می‌باشد.

c_t : حداکثر تعداد مراکز توزیع فعال در دوره t

۳-۴ متغیرهای تصمیم

$x_{\backslash cijt}$: مقدار کالای c که از تامین کننده i به انبار موقت j منتقل می‌شود.

$x_{\backslash cjkt}$: مقدار کالای c که از انبار موقت j به منطقه آسیب‌دیده k ارسال می‌شود.

Inv_{jct} : مقدار کالای c منتقل شده از دوره t به دوره $t+1$ در انبار موقت j

y_{jt} : اگر انبار موقت j در دوره t فعال باشد مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر به خود می‌گیرد.

۳-۵ مدل ریاضی پیشنهاد شده

$$\min f_{\backslash} = \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I_t} \sum_{j \in J_t} \tilde{C}_{\backslash cijt} x_{\backslash cijt} + \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in J_t} \tilde{C}_{\backslash cjkt} x_{\backslash cjkt} \quad (1)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in J_t} \max(\cdot, y_{jt} - \sum_{l=1}^{t-1} y_{lt}) \tilde{q}_j + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{c \in C} p_c \left(\tilde{d}_{ckt} - \sum_{j \in J_t} x_{\backslash cjkt} \right) + \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J_t} \tilde{C}_{\backslash c} inv_{jct}$$

$$\max f_{\backslash} = \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \min_{k \in K_t} \left[\frac{\sum_{j \in J_t} x_{\backslash cjkt}}{\tilde{d}_{ckt}} \right] \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I_t} x_{\backslash cijt} + Inv_{jc(t-1)} y_{j(t-1)} - \sum_{k \in K_t} x_{\backslash cjkt} = Inv_{jct} \quad \forall t \in T, j \in J_t, c \in C \quad (3)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{i \in I_t} x_{\backslash cijt} + \sum_{c \in C} \sum_{k \in K_t} x_{\backslash cjkt} \leq Mbig \times y_{jt} \quad \forall t \in T, j \in J_t \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J_t} x_{\backslash cjkt} \leq \tilde{d}_{ckt} \quad \forall t \in T, c \in C, k \in K_t \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J_t} x_{\backslash cijt} \leq \tilde{S}_{ict} \quad \forall t \in T, i \in I_t, c \in C \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J_t} y_{jt} \leq C_t \quad \forall t \in T \quad (7)$$

$$Inv_{jc|T|} = 0 \quad \forall j \in J_{|T|}, c \in C \quad (8)$$

$$x_{\backslash cijt} \in Integer \geq 0 \quad \forall t \in T, j \in J_t, i \in I_t, c \in C \quad (9)$$

$$x_{\backslash cjkt} \in Integer \geq 0 \quad \forall t \in T, j \in J_t, k \in K_t, c \in C \quad (10)$$

$$Inv_{jct} \in Integer \geq 0 \quad \forall t \in T, j \in J_t, c \in C \quad (11)$$

$$y_{jt} \in \{0, 1\} \quad \forall t \in T, j \in J_t \quad (12)$$

تابع هدف (۱) مجموع کل هزینه ها، شامل هزینه راه اندازی انبارهای موقت، هزینه های جابه جایی کالا بین مراکز تامین، انبارهای موقت و مناطق آسیب دیده، هزینه کمبود کالا و هزینه های انبارداری را حداقل می کند.

تابع هدف (۲) مجموع حداقل نسبت تقاضاهای پوشش داده شده را حداکثر می کند. هدف از این تابع توزیع منصفانه کالا بین مناطق آسیب دیده می باشد.

محدودیت (۳) یک رابطه تعادل موجودی است که در آن، میزان موجودی منتقل شده از یک دوره به دوره بعد در یک انبار موقت برابر است با موجودی منتقل شده از دوره قبل به علاوه کلیه کالاهای که از مراکز تامین به انبار موقت وارد می شود. منهای میزان کالایی که از انبار موقت به مناطق آسیب دیده ارسال می گردد.

محدودیت (۴) بیان می کند که یک انبار موقت در صورتی می تواند در عملیات نقل و انتقال کالا نقش داشته باشد که یک انبار موقت فعال باشد.

محدودیت (۵) نشان می دهد میزان کالایی که به یک منطقه آسیب دیده وارد می شود از میزان تقاضای آن کمتر یا مساوی آن است.

محدودیت (۶) بیان می کند میزان کالایی که از یک مرکز تامین خارج می شود کوچکتر مساوی میزان موجودی آن است.

محدودیت (۷) بیان کننده حداکثر تعداد مراکز توزیع فعال در هر دوره است.

محدودیت (۸) بیان می کند که موجودی انبارهای موقت در پایان دوره برنامه ریزی صفر باشد و محدودیت های (۹) تا (۱۲) مقادیر مجاز متغیرهای تصمیم را نشان می دهند.

در مدل ارائه شده، یک برنامه ریزی امکان وجود دارد که می توان آن را به صورت زیر به چند تابع هدف

تبدیل نمود.

$$\begin{aligned} \min f_1 = & \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I_t} \sum_{j \in J_t} (\tilde{c}_{cijt}^u - \tilde{c}_{cijt}^m) x_{\backslash cijt} + \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in J_t} (\tilde{c}_{\backslash cjkt}^u - \tilde{c}_{\backslash cjkt}^m) x_{\backslash cjkt} \\ & \sum_{t \in T} \sum_{j \in J_t} \max(0, y_{jt} - \sum_{l=1}^{t-1} y_{lt}) (\tilde{q}_j^u - \tilde{q}_j^m) + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{c \in C} p_c \left((\tilde{d}_{ckt}^u - \tilde{d}_{ckt}^m) - \sum_{j \in J_t} x_{\backslash cjkt} \right) + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J_t} (\tilde{c}_{\backslash cjc}^u - \tilde{c}_{\backslash cjc}^m) inv_{jct} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\min f_{\text{vr}} = \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I_t} \sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{\text{cijt}}^m x_{\text{cijt}} + \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{\text{ckjt}}^m x_{\text{ckjt}} \quad (14)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in J_t} \max(0, y_{jt} - \sum_{l=1}^{t-1} y_{lt}) \tilde{q}_j^m + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{c \in C} p_c \left(\left(\tilde{d}_{\text{ckt}}^m - \sum_{j \in J_t} x_{\text{ckjt}} \right) + \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{\text{rc}}^m \text{inv}_{jct} \right) \\ \min f_{\text{vr}} = \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I_t} \sum_{j \in J_t} (\tilde{c}_{\text{cijt}}^m - \tilde{c}_{\text{cijt}}^l) x_{\text{cijt}} + \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in J_t} (\tilde{c}_{\text{ckjt}}^m - \tilde{c}_{\text{ckjt}}^l) x_{\text{ckjt}} \\ \sum_{t \in T} \sum_{j \in J_t} \max(0, y_{jt} - \sum_{l=1}^{t-1} y_{lt}) (\tilde{q}_j^m - \tilde{q}_j^l) + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{c \in C} p_c \left(\left(\tilde{d}_{\text{ckt}}^m - \tilde{d}_{\text{ckt}}^l - \sum_{j \in J_t} x_{\text{ckjt}} \right) + \right. \\ \left. \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J_t} (\tilde{c}_{\text{rc}}^m - \tilde{c}_{\text{rc}}^l) \text{inv}_{jct} \right) \quad (15)$$

۳-۶ خطی سازی و فازای زدایی مدل

تابع هدف (۲) غیر خطی می باشد که برای خطی سازی آن متغیر کمکی y'_{tc} را طوری در نظر می گیریم که در رابطه (۱۷) صدق نماید. سپس تابع هدف (۲) را به صورت رابطه (۱۶) تعریف می کنیم.

$$\max f_{\text{vr}} = \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} y'_{tc} \quad (16)$$

$$y'_{tc} \leq \frac{\sum_{j \in J_t} x_{\text{ckjt}}}{\tilde{d}_{\text{ckt}}} \quad \forall t \in T, k \in K_t, c \in C \quad (17)$$

با توجه به اینکه عبارت $\text{Inv}_{jc(t-1)} y_{j(t-1)}$ در محدودیت (۳) یک عبارت غیر خطی است برای خطی سازی آن، مقدار $\text{Inv}_{jc(t-1)}$ را با شرایط زیر جایگزین آن می کنیم

$$\text{Inv}_{jc(t-1)} \leq \text{Inv}_{jc(t-1)} \quad \forall t \in T, j \in J_t, c \in C \quad (18)$$

$$\text{Inv}_{jc(t-1)} \leq \text{Mbig} \times y_{j(t-1)} \quad \forall t \in T, j \in J_t, c \in C \quad (19)$$

$$\text{Inv}_{jc(t-1)} \geq \text{Inv}_{jc(t-1)} - \text{Mbig} \times (1 - y_{j(t-1)}) \quad \forall t \in T, j \in J_t, c \in C \quad (20)$$

برای فازای زدایی محدودیت های مدل، از روش مرکز ناحیه استفاده می کنیم [۱۱]، که در نتیجه، محدودیت ها به صورت زیر در می آیند.

$$y'_{tc} \leq \frac{\sum_{j \in J_t} x_{\text{ckjt}}}{\frac{(d_{\text{ckt}}^u - d_{\text{ckt}}^l) + (d_{\text{ckt}}^m - d_{\text{ckt}}^l)}{3} + d_{\text{ckt}}^l} \quad \forall t \in T, k \in K_t, c \in C \quad (21)$$

$$\sum_{j \in J_t} x_{\text{ckjt}} \leq \frac{(d_{\text{ckt}}^u - d_{\text{ckt}}^l) + (d_{\text{ckt}}^m - d_{\text{ckt}}^l)}{3} + d_{\text{ckt}}^l \quad \forall t \in T, k \in K_t, c \in C \quad (22)$$

برترین پورو به کاران، الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل برنامه ریزی چندهدفه مکانیابی و تخصیص سه سطحی در بستر یک امداد

$$\sum_{j \in J_t} x_{cjk} \leq \frac{(s_{ict}^u - s_{ict}^l) + (s_{ict}^m - s_{ict}^l)}{3} + s_{ict}^l \quad \forall t \in T, i \in I_t, c \in C \quad (23)$$

همان طور که توضیح داده شد یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه قطعی به صورت زیر حاصل می شود.

MOLP:

$$(13)-(16) \quad (24)$$

s.t.

$$(3)-(4), (7)-(12), (18)-(23)$$

۳-۷ روش معیار جامع برای حل مدل چند هدفه

مدل چند هدفه زیر را در نظر بگیرید

$$\max [f_1(x), \dots, f_k(x)] \quad (25)$$

$$g_i(x) \geq 0$$

هر یک از توابع هدف مدل، به طور مستقل در نظر گرفته می شوند و بر روی محدودیت ها، بهینه می گردند. فرض کنید که جواب های بهینه مستقل حاصل از هر مساله را با $f_i^*(x)$ نمایش دهیم. حال مدل زیر را تشکیل می دهیم.

$$\min F(x) = \left[\sum_{i=1}^k w_i \left(\frac{f_i^*(x) - f_i(x)}{f_i^*(x)} \right)^r \right]^{\frac{1}{r}} \quad (26)$$

$$g_i(x) \geq 0$$

در مدل فوق w_i میزان اهمیت تابع هدف مربوط را نشان می دهد که توسط تصمیم گیرنده مشخص می شود. بنابراین می توان با حل مدل تک هدفه تولید شده مدل چند هدفه اولیه را حل نمود [۱۹ و ۲۰ و ۲۱].

۴ طراحی الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، الهامی از علم ژنتیک و نظریه ی تکامل داروین می باشد و بر اساس بقای برترین ها یا انتخاب طبیعی استوار است. یک کاربرد متداول الگوریتم ژنتیک، استفاده از آن در مسایل بهینه یابی می باشد. مراحل زیر را برای پیاده سازی الگوریتم مذکور یک به یک توضیح می دهیم.

۴-۱ تعریف کروموزم

برای نمایش کروموزم از چهار ماتریس استفاده نموده ایم که مقادیر ماتریس اول از نوع صفر و یک و مقادیر ماتریس دوم و سوم و چهارم از نوع عدد صحیح مثبت هستند.

ماتریس اول، ماتریس Location است که مربوط به انبارهای موقت بوده؛ هر سطر آن مربوط به یک دوره زمانی می باشد. عناصر آن سطر متناظر با مراکز توزیع است. ابعاد این ماتریس $|T| \times \max_{t \in T} |I_t|$ است که سطرهای آن تعداد دوره ها و ستون های آن تعداد نقاط کاندیدا را جهت استقرار انبارهای موقت نشان می دهد. درایه های این ماتریس صفر و یک می باشد و صفر بودن هر عنصر به معنای عدم فعال بودن مرکز توزیع متناظر با آن و یک بودن آن به معنی فعال بودن مرکز توزیع متناظر است.

$$Location = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1|I_1|} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & L_{2|I_2|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{|T|1} & L_{|T|2} & \dots & L_{|T||I_{|T|}|} \end{bmatrix}_{|T| \times \max_{t \in T} |I_t|}$$

ماتریس دوم، ماتریس Deli_depot است که متناظر با هر کالا، یک ماتریس مرکب شامل $|T|$ زیر ماتریس با ابعاد $|I_t| \times \max_{t \in T} |I_t|$ در اختیار است. هر عنصر این زیر ماتریس ها، میزان کالایی را که از تامین کننده مربوط به انبار موقت متناظر فرستاده می شود؛ نشان می دهد. برای مقدار دهی به این ماتریس، با توجه به میزان عرضه مراکز تامین، شروع به تخصیص کالا به انبارهای موقت فعال می کنیم.

$$Deli_depot_|c| = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{11} & i_{12} & \dots & i_{1|I_1|} \\ i_{21} & i_{22} & \dots & i_{2|I_2|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{|I_1|1} & i_{|I_1|2} & \dots & i_{|I_1||I_1|} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} i_{11} & i_{12} & \dots & i_{1|J_{|T|}|} \\ i_{21} & i_{22} & \dots & i_{2|J_{|T|}|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{|I_{|T|}|1} & i_{|I_{|T|}|2} & \dots & i_{|I_{|T|}||J_{|T|}|} \end{bmatrix} \end{bmatrix}_{|T|}$$

ماتریس سوم، ماتریس Deli_Demand است که متناظر با هر کالا، یک ماتریس مرکب شامل $|T|$ زیر ماتریس با ابعاد $|J_t| \times \max_{t \in T} |J_t|$ در اختیار است. هر عنصر این زیر ماتریس ها، میزان کالایی را که انبار موقت مربوطه به منطقه آسیب دیده متناظر می فرستد؛ نشان می دهد. برای مقدار دهی به این ماتریس، با توجه به میزان تقاضای مناطق آسیب دیده و میزان موجودی انبارهای موقت، شروع به تخصیص کالا از انبار موقت فعال به منطقه آسیب دیده می کنیم.

برترین پورو، بکاران، الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل برنامه ریزی چندهدفه مکانیابی و تخصیص سه سطحی در شبکه امداد

$$Deli_demand_|c| = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{11} & i_{12} & \dots & i_{1|K_1|} \\ i_{21} & i_{22} & \dots & i_{2|K_1|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{|J_1|1} & i_{|J_1|2} & \dots & i_{|J_1||K_1|} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} i_{11} & i_{12} & \dots & i_{1|K_{|T|}|} \\ i_{21} & i_{22} & \dots & i_{2|K_{|T|}|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{|J_{|T|}|1} & i_{|J_{|T|}|2} & \dots & i_{|J_{|T|}||K_{|T|}|} \end{bmatrix} \end{bmatrix}^{|T|}$$

ماتریس چهارم، یک ماتریس مرکب می باشد که متناظر با هر کالا یک ماتریس با ابعاد $\max_{t \in T} |J_t| \times |T|$ در نظر گرفته می شود و هر کدام، میزان موجودی منتقل شده را از یک دوره به دوره بعد در هر انبار موقت نشان می دهد.

$$Inventory_|c| = \begin{bmatrix} inv_{11} & inv_{12} & \dots & inv_{1|T|} \\ inv_{21} & inv_{22} & \dots & inv_{2|T|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ inv_{|J_1|1} & inv_{|J_1|2} & \dots & inv_{|J_1||T|} \end{bmatrix}_{\max_{t \in T} |J_t| \times |T|}$$

۴-۲ ایجاد جمعیت اولیه

اولین مرحله بعد از تعیین روشی که برای تبدیل هر جواب به یک کروموزوم به کار می رود؛ ایجاد یک جمعیت اولیه از کروموزوم هاست. در این مرحله برای تولید ماتریس Location به صورت تصادفی و با توجه به محدودیت تعداد مراکز توزیع فعال در هر دوره عمل می شود. برای تولید ماتریس های Deli_depot از منطق چرخ رولت کمک می گیریم. به این صورت که در هر دوره بر اساس ماتریس Location مراکز توزیع فعال را شناسایی کرده؛ سپس برای هر مرکز توزیع فعال j و هر کالای c در دوره t ، برداری به ابعاد تعداد مراکز تامین در آن دوره به صورت زیر در نظر می گیریم.

$$\left[\frac{\sum_{i \in I_t} \tilde{c}_{cijt}}{\tilde{c}_{c1jt}}, \frac{\sum_{i \in I_t} \tilde{c}_{cijt}}{\tilde{c}_{c2jt}}, \dots, \frac{\sum_{i \in I_t} \tilde{c}_{cijt}}{\tilde{c}_{c|I_t|jt}} \right] \quad (27)$$

همان طور که مشخص است؛ مراکز تامینی که هزینه تخصیص کمتری دارند؛ دارای شانس بیشتری برای انتخاب هستند.

حال برای مرکز توزیع فعال j در دوره t که به صورت تصادفی انتخاب می شود؛ یک دنباله به طول تعداد مراکز تامین در آن دوره به کمک چرخ رولت که بر اساس بردار (۲۷) تشکیل شده است؛ تولید می کنیم و آن را $List_{depot} = (d_1, d_2, \dots, d_{|I_t|})$ در نظر می گیریم. اینک برای تولید ستون j ام زیر ماتریس t ام از ماتریس Deli_depot_c، میزان کالای دریافتی مرکز توزیع j از مرکز تامین d_1 به صورت یک مقدار تصادفی

بین $D_{d,jct} = [0, S_{d,ct}]$ به دست آورده می شود و سپس موجودی مرکز تامین d_1 به روز رسانی می گردد. در ادامه میزان کالای دریافتی مرکز توزیع J از مرکز تامین d_2 به صورت یک مقدار تصادفی بین $D_{d,jct} = [0, \min(S_{d,ct}, D_{d,jct})]$ به دست می آید و موجودی مرکز تامین d_3 نیز به روز رسانی می گردد. عمل فوق تا مشخص شدن تمام مقادیر ستون J ام زیر ماتریس t ام از ماتریس Deli_depot_c ادامه می یابد. سپس برای سایر مراکز توزیع فعال دیگر نیز به صورت فوق عمل می شود تا کلیه ماتریس های Deli_depot مقداردهی شوند. روش فوق باعث می گردد مراکز توزیع فعال، بیشتر موجودی خود را از مراکز تامین نزدیکتر به خود تهیه نمایند. به منظور برقراری محدودیت (۸) که بیان می کند؛ موجودی مراکز توزیع در آخرین دوره صفر باشد. در هنگام تخصیص کالا باید توجه نمود که جمع کل کالاهای تخصیص داده شده از مراکز تامین به مراکز توزیع از جمع کل تقاضاهای مناطق آسیب دیده کمتر باشد.

برای تولید ماتریس های Deli_demand نیز از چرخ رولت استفاده شده است؛ به این صورت که برای هر منطقه آسیب دیده k و هر کالای c در دوره t ، براداری به ابعاد تعداد مراکز توزیع فعال در آن دوره به صورت زیر در نظر می گیریم.

$$\left[\frac{\sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{vjkt}}{\tilde{c}_{v \setminus kt}}, \frac{\sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{vjkt}}{\tilde{c}_{v \setminus kt}}, \dots, \frac{\sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{vjkt}}{\tilde{c}_{v \setminus kt}} \right] \quad (28)$$

همان طور که مشخص است؛ مراکز توزیعی که هزینه تخصیص کمتری دارند؛ دارای شانس بیشتری برای انتخاب هستند.

حال جمع کل تقاضاهای مناطق آسیب دیده و جمع کل موجودی مراکز توزیع فعال در دوره t را به دست آورده؛ با تقسیم آن ها بر یکدیگر حداکثر میزان پوشش هر منطقه آسیب دیده به دست می آید. اینک برای منطقه آسیب دیده k در دوره t که به صورت تصادفی انتخاب می شود؛ یک مرکز توزیع فعال به کمک چرخ رولت که بر اساس بردار (۲۸) تشکیل شده است؛ در نظر گرفته می شود و منطقه آسیب دیده تا جایی که ممکن است تقاضای خود را از آن مرکز دریافت می کند؛ اگر موجودی مرکز توزیع کافی نباشد سایر تقاضا از طریق مرکز توزیع دیگری که به کمک چرخ رولت انتخاب می شود بر آورده می گردد. عمل فوق تا زمانی که منطقه آسیب دیده به اندازه حداکثر سطح پوشش تقاضا کالا دریافت کند و تا مشخص شدن تمام مقادیر ماتریس های Deli_demand ادامه می یابد. سپس به کمک ماتریس های Deli_demand و Deli_depot ماتریس های Inventory نیز قابل محاسبه می باشند.

۴-۳ مکانیزم نمونه گیری

مکانیزم نمونه گیری به چگونگی انتخاب کروموزوم ها از فضای نمونه گیری مربوط می شود. در این تحقیق از روش انتخاب براساس تورنمنت استفاده شده است.

۴-۴ عملگرهای ژنتیکی

برای تولید نسل جدید از کروموزوم‌های نسل جاری از دو عملگر ژنتیکی مرسوم زیر استفاده خواهد شد.

۴-۴-۱ عملگرهای تقاطعی

در این عملگر تقاطع، انبارهای موقت یک دوره زمانی از یک جواب، با انبارهای موقت همان دوره زمانی در جواب دیگر تعویض می‌شوند. به عبارت دیگر، یک عدد تصادفی از بازه $[1, T]$ به عنوان دوره انتخابی در نظر گرفته می‌شود و سطر مربوطه به آن دوره، از دو جواب را با هم تعویض می‌کنیم. همچنین در ماتریس Deli_demand و Deli_depot نیز مقادیر متناظر با دوره انتخابی با هم تعویض می‌گردد و به‌روز رسانی آن صورت می‌گیرد. شکل (۱) نحوه انجام عمل تقاطع را نشان می‌دهد.

۴-۴-۲ عملگرهای جهشی

عملگر جهش در الگوریتم توسعه داده شده بر روی هسته مرکزی یعنی ماتریس Location اجرا می‌شود. در این تحقیق، دو نوع عملگر جهش تعریف می‌کنیم. عملگر جهش اول، در هر دوره دو انبار موقت در نظر می‌گیرد و عناصر متناظر با آن‌ها را با هم تعویض می‌کند. با توجه به اینکه شرایط استقرار مراکز توزیع تغییر می‌کند لذا با توجه به شرایط استقرار جدید، ماتریس Deli_demand و Deli_depot با توجه به محدودیت عرضه در مراکز تامین و میزان تقاضای مناطق آسیب‌دیده و به کمک به روش گفته شده در قسمت ۳-۲- مقداردهی مجدد می‌گردد. شکل (۲) نحوه انجام عمل جهش را نشان می‌دهد.

در عملگر جهش دوم، در هر دوره یک انبار موقت در نظر گرفته می‌شود و مقدار متناظر با آن در صورت صفر بودن مقدار یک و در صورت یک بودن مقدار صفر به خود می‌گیرد. از آنجا که شرایط استقرار مراکز توزیع تغییر می‌کند، لذا با توجه به شرایط استقرار جدید، ماتریس Deli_demand و Deli_depot بر اساس روش گفته شده در قسمت ۳-۲- مقداردهی مجدد می‌گردد.

۴-۵ انتخاب براساس نخبه‌گرایی

از روش نخبه‌گرایی برای نگهداری یک کپی از بهترین کروموزوم‌ها در نسل جدید استفاده می‌شود.

۴-۶ معیار توقف الگوریتم

برای توقف الگوریتم، از معیار حداکثر تعداد تکرار الگوریتم یا به عبارتی تعداد نسل‌های تولید شده، استفاده می‌شود.

۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰
۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰

والد دوم

۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰
۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱
۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰
۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰

والد اول

شکل ۱-الف. قبل از عملگر تقاطع

۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱
۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱
۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰
۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰

فرزند دوم

۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰
۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰

فرزند اول

شکل ۱-ب. بعد از عملگر تقاطع

۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰

بعد از جهش

۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱
۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰
۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰

قبل از جهش

شکل ۲. عملگر جهش

۵ الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

شبیه‌سازی تبرید، رویکردی است که بر مبنای مدل مونت کارلو برای بررسی رابطه بین ساختار اتمی، آنتروپی و دما در طول تبرید یک ماده استفاده می‌شود. فرآیند تبرید با ماده‌ای در وضعیت گداخته آغاز شده؛ سپس به تدریج دمای آن کاهش می‌یابد. در هر دما جسم مجاز به رسیدن به تعادل گرمایی است. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید یک الگوریتم فراابتکاری برای یافتن نقاط بهینه کلی با استفاده از روابط ریاضی و احتمال می‌باشد. به عبارت دیگر این الگوریتم سعی در یافتن تخمین مناسبی از جواب بهینه در فضای کلی جواب دارد. در بسیاری از روش‌های فراابتکاری نقاط بهینه محلی جزو مشکلات اساسی می‌باشد به گونه‌ای که مدل به جای بهینه کلی به سمت بهینه محلی همگرا می‌شود. اما الگوریتم فراابتکاری تبرید برای مواجهه با چنین مشکلی جواب‌های بدتر را با مکانیزمی احتمالی می‌پذیرد؛ به طوری که احتمال پذیرش جواب‌ها با کاهش دما رابطه مستقیمی دارد و کاهش می‌یابد [۲۲]. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید با تولید تصادفی جواب اولیه شروع می‌شود و پس از ارزیابی آن با تابع هزینه یک همسایگی جدید تولید خواهد شد. چنانچه جواب همسایگی جدید مقدار تابع هزینه را بهبود دهد پذیرفته خواهد شد و در حالتی که مقدار تابع هزینه جواب همسایگی بدتر باشد به شرط ارضای رابطه $e^{-\frac{\Delta f}{T}} \geq r$ باز هم می‌توان آن را پذیرفت. در این رابطه r یک عدد تصادفی است که با استفاده از تصادفی یکنواخت بین ۰ و

۱ تولید می شود. Δ اختلاف بین مقادیر تابع هزینه جواب جاری و همسایگی جدید و T دمای جاری می باشد. این دما که مقداری مثبت است با پیشرفت الگوریتم مطابق رویه خنک سازی از یک مقدار نسبتاً بالا به یک مقدار نزدیک به صفر حرکت می کند و بنابراین در مراحل اولیه شبیه سازی تبرید حرکت های بدتر کننده جواب پذیرفته می شوند. اما در مراحل پایانی احتمال پذیرش جواب های بهبود دهنده بیشتر است. عملکرد الگوریتم تحت تاثیر فاکتورهای نظیر: دمای اولیه، دمای نهایی، تعداد تکرار در هر دما و نرخ سرد شدن قرار می گیرد. برای نمایش اجزای این الگوریتم به صورت زیر عمل می کنیم.

- مکانیزم نمایش جواب: برای نمایش جواب در این الگوریتم مانند نحوه نمایش کروموزوم در الگوریتم ژنتیک بیان شده استفاده می شود.
- مکانیزم تولید همسایگی: برای تولید همسایگی از دو روش استفاده می شود که همان عملگرهای جهش بیان شده در الگوریتم ژنتیک طراحی شده می باشد.

۶ نتایج محاسباتی

در این قسمت الگوریتم های طراحی شده بر روی چند مساله نمونه که به صورت تصادفی تولید شده اند؛ مورد استفاده قرار می گیرد و کارایی آن ها مورد بررسی واقع می شود. مدل با نرم افزار لینگوی ۱۱ و بر روی کامپیوتری با مشخصات intel(r) core(tm) i3 cpu M330@2.13Ghz و 4G RAM حل گردید.

همان طور که بیان شد الگوریتم ژنتیک و شبیه سازی تبرید شامل فاکتورها و پارامترهایی هستند که به نوعی بر روی نتایج نهایی و کارایی الگوریتم ها اثر می گذارند. بنابراین ترکیب مناسب این فاکتورها بر روی عملکرد الگوریتم ها موثر است. در این مقاله برای تعیین پارامترها از روش تاگوشی استفاده شده. در این روش به کمک بیشینه کردن نسبت سیگنال به پارازیت که با S/N نمایش داده می شود؛ ترکیب بهینه پارامترها را به دست می آوریم. لازم به ذکر است برای مسایل کمینه سازی، مقدار S/N به صورت زیر تعریف می شود.

$$S/N \text{ ratio} = -10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (29)$$

برای هر فاکتور، سطحی که بیشترین مقدار S/N را داشته باشد؛ انتخاب می گردد. همچنین برای هر فاکتور، سطحی که کمترین مقدار متوسط تابع هدف را داشته باشد؛ در نظر گرفته می شود. به کمک این دو شاخص، بهترین ترکیب پارامترها در هر الگوریتم به دست می آید. در الگوریتم ژنتیک، چهار فاکتور شامل: نرخ تقاطع، نرخ جهش، اندازه جمعیت و تعداد نسل که هر کدام دارای سه سطح است و در الگوریتم شبیه سازی تبرید نیز چهار فاکتور شامل: نرخ کاهش دما، تعداد جستجو در هر دما، دمای نهایی و دمای اولیه که هر کدام دارای سه سطح است در نظر گرفته می شود. در جدول (۱) و (۲) سطوح مختلف مربوط به پارامترهای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه سازی تبرید برای مسایل با اندازه کوچک و بزرگ ارائه شده است.

جدول ۱. فاکتورها و سطوح مربوط به الگوریتم ژنتیک

اندازه مساله	سطح فاکتورها	نرخ تقاطع (A)	نرخ جهش (B)	اندازه جمعیت (C)	تعداد نسل (D)
کوچک	۱	۰/۷	۰/۰۵	۸۰	۴۰۰۰
	۲	۰/۸	۰/۰۲	۱۰۰	۶۰۰۰
	۳	۰/۹	۰/۰۱	۱۲۰	۸۰۰۰
بزرگ	۱	۰/۷	۰/۰۵	۱۰۰	۶۰۰۰
	۲	۰/۸	۰/۰۲	۱۵۰	۱۰۰۰۰
	۳	۰/۹	۰/۰۱	۲۰۰	۱۲۰۰۰

جدول ۲. فاکتورها و سطوح مربوط به الگوریتم شبیه سازی تبرید

اندازه مساله	سطح فاکتورها	نرخ سرد شدن (A)	جستجو در هر دما (B)	دمای نهایی (C)	دمای اولیه (D)
کوچک	۱	۰/۹۵	۴۰	۰/۰۰۰۰۱	۲۵۰۰
	۲	۰/۹۶	۶۰	۰/۰۰۰۰۱	۴۰۰۰
	۳	۰/۹۷	۸۰	۰/۰۰۰۰۵	۵۵۰۰
بزرگ	۱	۰/۹۷	۸۰	۰/۰۰۰۰۱	۳۵۰۰
	۲	۰/۹۸	۱۰۰	۰/۰۰۰۰۱	۶۰۰۰
	۳	۰/۹۹	۱۲۰	۰/۰۰۰۰۵	۸۵۰۰

با بررسی جداول تاگوجی، جدول مربوط به آرایه‌های متعامد، حالت L9 که در جدول (۳) آمده است؛ انتخاب می‌گردد. دو مساله با اندازه کوچک و بزرگ در نظر گرفته؛ هر کدام از الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه سازی تبرید را بر روی هر مساله ۱۰ بار اجرا می‌کنیم. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌ها در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۳. آرایه متعامد L9

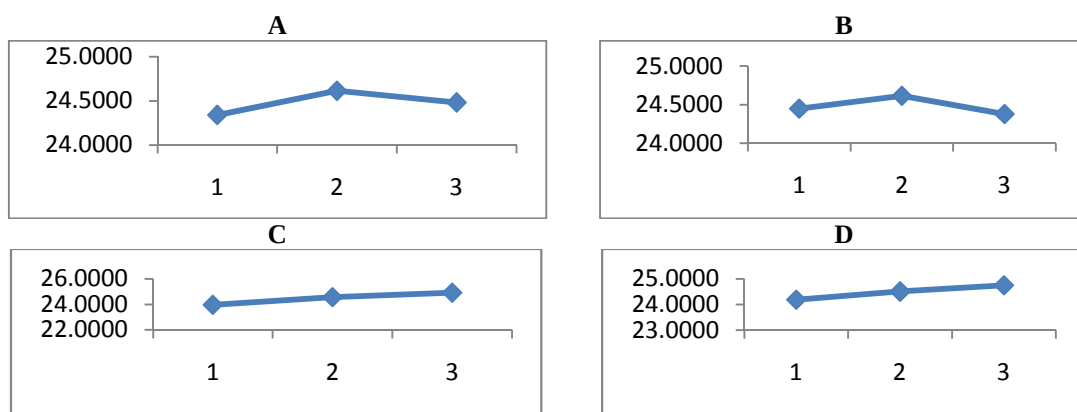
فاکتور D	فاکتور C	فاکتور B	فاکتور A	شماره آزمایش	فاکتور D	فاکتور C	فاکتور B	فاکتور A	شماره آزمایش
D(۲)	C(۱)	B(۳)	A(۲)	۶	D(۱)	C(۱)	B(۱)	A(۱)	۱
D(۲)	C(۳)	B(۱)	A(۳)	۷	D(۲)	C(۲)	B(۲)	A(۱)	۲
D(۳)	C(۱)	B(۲)	A(۳)	۸	D(۳)	C(۳)	B(۳)	A(۱)	۳
D(۱)	C(۲)	B(۳)	A(۳)	۹	D(۱)	C(۲)	B(۱)	A(۲)	۴
					D(۱)	C(۳)	B(۲)	A(۲)	۵

نمودار مربوط به میانگین نرخ S/N برای مساله با اندازه کوچک در الگوریتم ژنتیک و همچنین نمودار مربوط به میانگین تابع هدف برای مساله با اندازه کوچک در الگوریتم ژنتیک در شکل‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده است. ترکیب مناسب فاکتورها بر اساس میانگین نرخ S/N و میانگین تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید طراحی شده در جدول (۶) و بهترین ترکیب پارامترها برای هر کدام از دو الگوریتم و برای مسایل کوچک و بزرگ در جدول (۵) ارائه گردیده است.

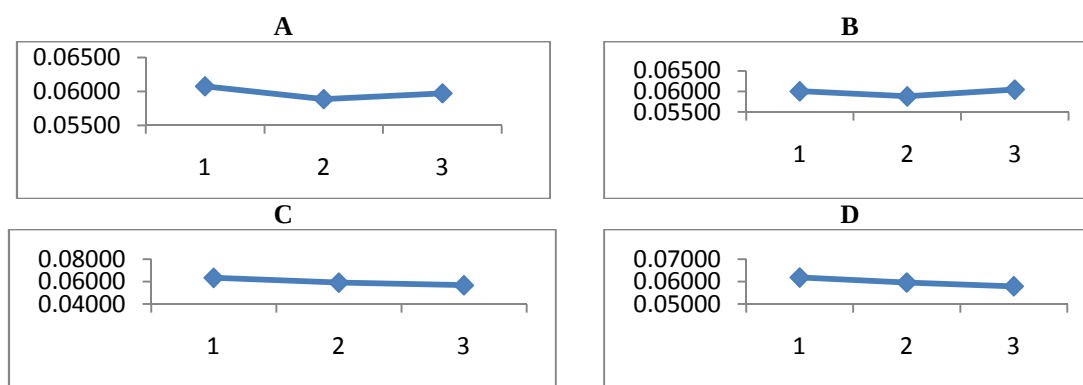
جدول ۴. مشخصات مسایل نمونه کوچک و بزرگ

اندازه مساله	شماره مساله	تعداد دوره	تعداد مراکز تامین در دوره های مختلف	تعداد مناطق آسیب دیده در دوره های مختلف	حداکثر تعداد مراکز توزیع فعال در دوره های مختلف	تعداد مناطق جهت استقرار مراکز توزیع در دوره های مختلف
کوچک	۱	۳	(۱،۱،۱)	(۷،۷،۷)	(۱،۱،۱)	(۳،۴،۴)
	۲	۳	(۱،۱،۱)	(۹،۹،۹)	(۱،۲،۲)	(۳،۴،۴)
	۳	۳	(۳،۳،۳)	(۹،۹،۹)	(۳،۴،۴)	(۵،۵،۵)
	۴	۳	(۳،۳،۳)	(۹،۹،۱۰)	(۳،۴،۴)	(۶،۶،۸)
	۵	۳	(۳،۳،۳)	(۱۰،۱۰،۱۲)	(۴،۴،۴)	(۸،۸،۸)
	۶	۳	(۳،۳،۳)	(۱۲،۱۲،۱۲)	(۴،۴،۵)	(۸،۱۰،۱۰)
	۷	۵	(۱،۱،۲،۲،۲)	(۵،۵،۷،۷،۷)	(۱،۱،۲،۲،۲)	(۴،۴،۵،۵،۵)
	۸	۵	(۱،۱،۲،۲،۲)	(۷،۷،۹،۹،۹)	(۲،۲،۳،۳،۳)	(۵،۵،۵،۶،۶)
بزرگ	۹	۵	(۵،۵،۵،۶،۶)	(۳۰،۳۰،۳۰،۳۵،۳۵)	(۴،۴،۴،۵،۵)	(۱۲،۱۲،۱۲،۱۴،۱۴)
	۱۰	۵	(۵،۵،۵،۶،۶)	(۳۰،۳۰،۳۵،۳۵،۳۵)	(۴،۴،۴،۵،۵)	(۱۲،۱۲،۱۲،۱۴،۱۴)
	۱۱	۵	(۵،۵،۶،۶،۶)	(۳۵،۳۵،۳۵،۴۰،۴۰)	(۵،۵،۶،۶،۶)	(۱۲،۱۲،۱۴،۱۴،۱۴)
	۱۲	۵	(۶،۶،۸،۸،۸)	(۴۰،۴۰،۴۰،۳۵،۳۵)	(۶،۶،۶،۶،۶)	(۱۲،۱۲،۱۴،۱۴،۱۴)
	۱۳	۵	(۶،۶،۸،۸،۸)	(۴۵،۴۵،۴۵،۴۰،۴۰)	(۶،۶،۸،۸،۸)	(۱۴،۱۴،۱۴،۱۶،۱۶)
	۱۴	۵	(۸،۸،۸،۸،۸)	(۴۰،۴۰،۴۰،۴۵،۴۵)	(۶،۶،۸،۸،۸)	(۱۶،۱۶،۱۶،۱۸،۱۸)
	۱۵	۵	(۸،۸،۱۰،۱۰،۱۰)	(۵۰،۵۰،۵۰،۴۵،۴۵)	(۸،۸،۱۰،۱۰،۱۰)	(۲۰،۲۰،۲۰،۲۵،۲۵)
	۱۶	۳	(۸،۱۰،۱۰)	(۵۰،۵۰،۵۰)	(۱۰،۱۰،۱۰)	(۲۵،۲۵،۳۰)
	۱۷	۳	(۸،۱۰،۱۰)	(۵۰،۶۰،۶۰)	(۱۰،۱۰،۱۲)	(۲۵،۲۵،۳۰)
	۱۸	۳	(۱۰،۱۰،۱۰)	(۶۰،۷۰،۷۰)	(۱۰،۱۲،۱۲)	(۲۵،۳۰،۳۰)
	۱۹	۳	(۱۰،۱۰،۱۰)	(۷۰،۷۰،۸۰)	(۱۲،۱۲،۱۲)	(۲۵،۳۰،۳۰)
	۲۰	۳	(۱۰،۱۰،۱۰)	(۸۰،۸۰،۸۰)	(۱۲،۱۲،۱۲)	(۳۰،۳۵،۳۵)
	۲۱	۳	(۱۰،۱۲،۱۲)	(۸۰،۹۰،۹۰)	(۱۲،۱۲،۱۲)	(۳۰،۳۵،۳۵)
	۲۲	۳	(۱۰،۱۲،۱۲)	(۹۰،۹۰،۹۰)	(۱۲،۱۴،۱۴)	(۳۵،۳۵،۴۰)
	۲۳	۳	(۱۰،۱۲،۱۲)	(۹۰،۱۰۰،۱۰۰)	(۱۲،۱۴،۱۴)	(۳۵،۳۵،۴۰)
	۲۴	۳	(۱۲،۱۲،۱۲)	(۱۰۰،۱۰۰،۱۰۰)	(۱۲،۱۴،۱۴)	(۴۰،۴۰،۴۰)
	۲۵	۳	(۱۲،۱۲،۱۲)	(۱۰۰،۱۲۰،۱۲۰)	(۱۲،۱۴،۱۴)	(۴۰،۴۰،۴۰)

حال پس از تعیین پارامترهای مناسب برای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه سازی تبرید، مسایلی با سایز کوچک تولید می نماییم و ضمن حل آن به کمک نرم افزار لینگو و به دست آوردن جواب بهینه، آن مسایل را به کمک دو الگوریتم طراحی شده نیز حل کرده؛ نتایج در جدول (۷) آورده شده است. با بررسی نتایج مشاهده می شود که از لحاظ زمانی هر دو الگوریتم در زمانی قابل قبول جواب های نسبتاً مناسبی تولید می کنند.



شکل ۳. میانگین نرخ S/N برای مساله با اندازه کوچک در الگوریتم ژنتیک



شکل ۴. میانگین تابع هدف برای مساله با اندازه کوچک در الگوریتم ژنتیک

از نظر میانگین جواب، در هر ۸ مورد مساله نمونه، الگوریتم ژنتیک از الگوریتم شبیه سازی تبرید بهتر جواب داده است. در خصوص بهترین جواب نیز در دو مورد هر دو الگوریتم جواب بهینه را به دست آورده اند و در سایر موارد باز هم الگوریتم ژنتیک شرایط بهتری دارد. متوسط انحراف استاندارد برای الگوریتم ژنتیک کمتر از الگوریتم شبیه سازی تبرید می باشد. این امر نشان می دهد که جواب ها در الگوریتم ژنتیک در تکرارهای مختلف پراکندگی کمتری نسبت به الگوریتم شبیه سازی تبرید دارند. از نظر زمان اجرا نیز الگوریتم ژنتیک به طور متوسط سریع تر از الگوریتم شبیه سازی تبرید جواب می دهد.

جدول ۵. مقدار بهینه فاکتورها برای الگوریتم های طراحی شده

الگوریتم	اندازه مساله	A	B	C	D
ژنتیک	کوچک	۰/۸	۰/۰۲	۱۲۰	۸۰۰۰
	بزرگ	۰/۹	۰/۰۲	۲۰۰	۱۲۰۰۰
شبیه سازی تبرید	کوچک	۰/۹۷	۸۰	۰/۰۰۰۰۱	۵۵۰۰
	بزرگ	۰/۹۹	۱۲۰	۰/۰۰۰۱	۸۵۰۰

برترین پورو، بکاران، الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل برنامه ریزی چندهدفه مکانیابی و تخصیص سه سطحی در بستر شبکه امداد

جدول ۶. ترکیب مناسب فاکتورها بر اساس میانگین نرخ S/N و میانگین تابع هدف

اندازه مساله						فاکتور		سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح بهینه
الگوریتم ژنتیک	S/N میانگین نرخ	کوچک	A	۲۴/۳۴۱۸	۲۴/۶۱۴۷	۲۴/۴۸۳۱	۲				
			B	۲۴/۴۴۸۰	۲۴/۶۱۳۹	۲۴/۳۷۷۷	۲				
			C	۲۳/۹۵۶۱	۲۴/۵۶۴۰	۲۴/۹۱۹۵	۳				
			D	۲۴/۱۸۷۷	۲۴/۵۰۴۶	۲۴/۷۴۷۳	۳				
	بزرگ	A	۲۰/۳۷۸۰	۲۰/۶۵۰۴	۲۰/۶۵۴۵	۳					
		B	۲۰/۴۳۵۶	۲۰/۶۳۶۵	۲۰/۶۰۹۹	۲					
		C	۲۰/۰۹۰۰	۲۰/۵۴۷۶	۲۱/۰۴۵۴	۳					
		D	۲۰/۰۷۸۳	۲۰/۶۴۷۸	۲۰/۹۵۶۹	۳					
الگوریتم شبیه سازی تبرید	S/N میانگین نرخ	کوچک	A	۰/۰۶۰۷۵	۰/۰۵۸۸۵	۰/۰۵۹۷۱	۲				
			B	۰/۰۶۰۰۴	۰/۰۵۸۸۰	۰/۰۶۰۴۷	۲				
			C	۰/۰۶۳۴۰	۰/۰۵۹۱۶	۰/۰۵۶۷۶	۳				
			D	۰/۰۶۱۸۱	۰/۰۵۹۵۸	۰/۰۵۷۹۲	۳				
	بزرگ	A	۰/۰۹۶۱۲	۰/۰۹۲۷۷	۰/۰۹۲۷۷	۲،۳					
		B	۰/۰۹۵۴۶	۰/۰۹۲۸۸	۰/۰۹۳۳۱	۲					
		C	۰/۰۹۹۱۳	۰/۰۹۳۸۸	۰/۰۸۸۶۴	۳					
		D	۰/۰۹۹۲۷	۰/۰۹۲۸۲	۰/۰۸۹۵۶	۳					
الگوریتم شبیه سازی تبرید	S/N میانگین نرخ	کوچک	A	۲۴/۲۵۱	۲۴/۳۴۱۷	۲۴/۵۱۹۱	۳				
			B	۲۳/۷۴۹	۲۴/۵۲۴۷	۲۴/۸۳۸۴	۳				
			C	۲۴/۴۵۴	۲۴/۴۲۶۳	۲۴/۲۳۱۹	۱				
			D	۲۴/۲۲۳	۲۴/۳۵۸۹	۲۴/۵۳	۳				
	بزرگ	A	۱۹/۹۳۲۹	۲۰/۶۳۵۸	۲۰/۷۴۶۷	۳					
		B	۲۰/۱۷۸۷	۲۰/۴۵۳۲	۲۰/۶۸۳۵	۳					
		C	۲۰/۲۲۵۲	۲۰/۷۰۴۷	۲۰/۳۸۵۴	۲					
		D	۲۰/۲۴۲۱	۲۰/۳۰۱۸	۲۰/۷۷۱۴	۳					
الگوریتم شبیه سازی تبرید	S/N میانگین نرخ	کوچک	A	۰/۰۶۱۳۳	۰/۰۶۰۷۰	۰/۰۵۹۵۲	۳				
			B	۰/۰۶۴۸۴	۰/۰۵۹۴۳	۰/۰۵۷۲۹	۳				
			C	۰/۰۵۹۹۷	۰/۰۶۰۱۱	۰/۰۶۱۴۶	۱				
			D	۰/۰۶۱۵۴	۰/۰۶۰۶۰	۰/۰۵۹۴	۳				
	بزرگ	A	۰/۱۰۰۷۷	۰/۰۹۲۸۲	۰/۰۹۱۶۷	۳					
		B	۰/۰۹۸۱۲	۰/۰۹۴۸۲	۰/۰۹۲۳۲	۳					
		C	۰/۰۹۷۵۹	۰/۰۹۲۱۷	۰/۰۹۵۵۰	۲					
		D	۰/۰۹۷۴۴	۰/۰۹۶۴۴	۰/۰۹۱۳۷	۳					

حال مسایلی با اندازه بزرگ، مطابق جدول (۴) در نظر گرفته می شود. این مسایل به کمک لینگو بسیار دیر جواب می دهند لذا آن ها را به کمک الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه سازی تبرید حل کرده؛ نتایج حاصل را در جدول (۱۰) ارایه نموده ایم.

جدول ۷. مقایسه الگوریتم ژنتیک و شبیه سازی تیرید با لینگو

شماره مساله	ردیف (تایی)	زمان (تایی)	میانگین (تایی)	میانگین درصد خطا	تیرید درصد	انحراف استاندارد	میانگین زمان (تایی)	میانگین درصد خطا	تیرید درصد	میانگین زمان (تایی)	میانگین درصد خطا	الگوریتم ژنتیک در ۱۰ تکرار		الگوریتم شبیه سازی تیرید در ۱۰ تکرار		PRAS%	PRBS%
۱	۰/۰۴۶۲۱	۵۸۵۲۶	۰/۰۴۶۳۱	۵۲۷	۰/۲۱۶۴	۰/۰۴۶۲۱	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۴۶۴۱	۵۷۹	۰/۴۳۵۰	۰/۰۴۶۲۱	۰/۰۰۰۱۵۹	۰	۰/۲۱۵۵	۰	۰/۰۰۰۱۵۹	۰
۲	۰/۰۶۱۷۸	۱۰۵۸۴۲	۰/۰۶۱۸۶	۵۹۹	۰/۱۲۹۵	۰/۰۶۱۷۸	۰/۰۰۰۰۸۶	۰/۰۶۳۵۵	۶۶۷	۲/۸۷	۰/۰۶۱۸۶	۰/۰۰۰۲۵۴۸	۰/۱۳	۲/۵۹۳	۰/۱۲۹۳	۰/۰۰۰۲۵۴۸	۰/۱۲۹۳
۳	۰/۰۵۶۴۲	۱۱۷۳۴۸	۰/۰۵۶۹۸۶	۶۵۸	۱/۰۰۳	۰/۰۵۶۴۲	۰/۰۰۰۴۸۴	۰/۰۵۸۱۲	۷۰۸	۳/۰۱	۰/۰۵۶۶۱	۰/۰۰۱۲۸۱	۰/۳۴	۱/۹۵۱۱	۰/۳۳۵۶	۰/۰۰۱۲۸۱	۰/۳۳۵۶
۴	۰/۰۲۳۴۲	۱۳۹۳۲۷	۰/۰۲۳۷۴۴	۷۰۷	۱/۳۸۳۴	۰/۰۲۳۴۸	۰/۰۰۰۲۴۷	۰/۰۲۵۱۳	۷۷۹	۷/۳۰	۰/۰۲۳۷۴	۰/۰۰۱۴۰۶	۱/۳۶	۵/۵۱۵۳	۱/۰۹۵۱	۰/۰۰۱۴۰۶	۱/۰۹۵۱
۵	۰/۰۷۹۳۷	۲۰۷۳۴۸	۰/۰۷۹۵۶۱	۷۶۹	۲/۴۰۶۴	۰/۰۷۹۳۷	۰/۰۰۰۲۲۹	۰/۰۸۱۱۷	۸۵۹	۲/۲۷	۰/۰۷۹۳۷	۰/۰۰۰۲۴۷۲	۰	۱/۹۸۲۲	۰	۰/۰۰۰۲۴۷۲	۰
۶	۰/۰۹۳۶۱	۲۶۳۷۳۵	۰/۰۹۴۰۳۶	۸۲۷	۴/۵۵۰۸	۰/۰۹۳۶۱	۰/۰۰۰۴۹۷	۰/۰۹۷۸۴	۹۳۱	۴/۵۱۴۵	۰/۰۹۴۵۱	۰/۰۰۰۲۵۹	۰/۹۶	۳/۸۸۸۰	۰/۹۵۲۳	۰/۰۰۰۲۵۹	۰/۹۶
۷	۰/۰۶۳۸۸	۳۷۵۷۳۴	۰/۰۶۴۶۸۶	۸۷۲	۱/۲۶۱۷۴	۰/۰۶۴۰۲	۰/۰۰۰۵۷۹	۰/۰۶۷۳۴	۱۰۰۴	۵/۴۱	۰/۰۶۶۳۸	۰/۰۰۰۲۴۷۵	۳/۹	۳/۹۴۱۲	۳/۵۵۵۳	۰/۰۰۰۲۴۷۵	۳/۹
۸	۰/۱۰۳۷	۴۶۸۳۲۲	۰/۱۰۷۴۲	۸۹۰	۳/۵۸۱۳	۰/۱۰۴۹	۰/۰۰۰۲۲۱	۰/۱۱۱۹	۱۱۰۲	۷/۹۳	۰/۱۰۵۸	۰/۰۰۰۵۸۶۱	۲/۰۳	۴/۰۰۳۶	۰/۸۵۰۷	۰/۰۰۰۵۸۶۱	۲/۰۳
میانگین	۲۱۷۰۲۲	۷۳۱/۱۲۵	۱/۰۳۵	۰/۲۰۳	۴/۲۱۷	۸۲۸/۶۲۵	۰/۰۰۰۵۵۶	۰/۲۰۳	۴/۲۱۷	۸۲۸/۶۲۵	۰/۰۰۰۵۵۶	۱/۰۹	۳/۰۱۹۵	۰/۸۶۴۸	۰/۰۰۰۲۳۴۹	۱/۰۹	۳/۰۱۹۵

جدول ۸. تقاضای مناطق آسیب دیده (۱۰۰۰*)

بیرجند	قاین	زیرکوه	نهبندان	سرسبزه	سرایان	اسدیه	بشرویه	فردوس
کالای ۱	(۸۵،۹۰،۹۸)	(۲۴۰،۲۵۰،۲۶۰)	(۲۲۰،۲۴۰،۲۵۰)	(۲۸،۳۰،۳۱)	(۱۹،۲۰،۲۰)	(۳۰،۳۰،۳۳)	(۶۵،۶۵،۷۰)	(۲۸،۳۰،۳۲)
کالای ۲	(۱۰۰،۱۲۰،۱۲۵)	(۱۷۸،۱۹۰،۱۰۲)	(۱۶۰،۱۶۵،۱۷۵)	(۳۲،۳۵،۳۸)	(۲۰،۲۵،۲۷)	(۳۰،۳۲،۳۶)	(۱۵۰،۱۵۵،۱۶۵)	(۳۱،۳۳،۳۶)
کالای ۱	(۷۶،۸۰،۸۳)	(۱۷،۱۸،۲۰)	(۱۰۰،۱۰۵،۱۲۰)	(۲۵،۲۷،۳۰)	(۱۸،۱۸،۲۰)	(۲۸،۳۰،۳۳)	(۲۱۶،۲۲۵،۲۳۵)	(۱۱۵،۱۱۷،۱۲۲)
کالای ۲	(۸۰،۸۵،۹۰)	(۱۹،۲۰،۲۱)	(۵۰،۶۰،۷۵)	(۲۸،۳۰،۳۳)	(۱۹،۲۰،۲۴)	(۲۶،۳۰،۳۴)	(۲۰۰،۲۲۰،۲۳۰)	(۹۳،۹۵،۹۶)
کالای ۱	(۱۴۵،۱۶۵،۱۷۰)	(۱۲۰،۱۲۵،۱۳۵)	(۸۵،۹۰،۹۵)	(۲۳،۲۵،۲۶)	(۱۷،۱۸،۱۸)	(۲۵،۲۷،۳۰)	(۱۰۰،۱۱۰،۱۲۰)	(۲۰،۲۰،۲۴)
کالای ۲	(۱۲۰،۱۲۰،۱۳۰)	(۶۰،۶۵،۷۵)	(۱۴۵،۱۵۳،۱۶۰)	(۲۵،۲۷،۲۸)	(۱۹،۲۰،۲۲)	(۲۵،۲۷،۳۰)	(۱۴۰،۱۴۵،۱۵۵)	(۲۲،۲۵،۳۰)

جدول ۹. موجودی کالا در مراکز تامین (۱۰۰۰*)

کالا	مشهد	زاهدان	کرمان
کالای امدادی ۱	(۱۳۰،۱۴۵،۱۷۲)	(۹۵،۱۰۰،۱۰۵)	(۹۲،۹۸،۱۱۰)
کالای امدادی ۲	(۱۷۶،۱۹۲،۱۹۳)	(۷۸،۹۵،۱۲۴)	(۱۲۴،۱۵۵،۱۷۱)
کالای امدادی ۱	(۱۲۵،۱۴۵،۱۵۰)	(۹۰،۱۰۰،۱۱۹)	(۸۴،۱۰۷،۱۱۸)
کالای امدادی ۲	(۹۶،۱۰۸،۱۲۶)	(۱۲۰،۱۲۵،۱۳۰)	(۱۱۴،۱۳۵،۱۴۱)
کالای امدادی ۱	(۱۳۰،۱۵۵،۱۷۴)	(۸۰،۹۶،۱۱۸)	(۸۵،۹۵،۱۱۷)
کالای امدادی ۲	(۸۷،۹۸،۱۰۰)	(۸۰،۸۲،۹۳)	(۱۲۵،۱۴۴،۱۵۱)

با بررسی جدول (۱۰) مشاهده می شود که میانگین جواب ها در همه مسایل برای الگوریتم ژنتیک بهتر از الگوریتم شبیه سازی تیرید است و برای بهترین جواب تنها در ۴ مورد از ۱۷ مورد الگوریتم شبیه سازی تیرید جواب بهتری داده است.

برای مقایسه دو الگوریتم از شاخص های PRBS% و PRAS% استفاده شده است که به کمک روابط زیر به دست می آیند.

$$PRBS \% = \frac{SA_{Best} - GA_{Best}}{SA_{Best}} \times 100\% \quad , \quad PRAS \% = \frac{SA_{Average} - GA_{Average}}{SA_{Average}} \times 100\% \quad (30)$$

با بررسی دو شاخص متوسط PRBS% و PRAS% مشاهده می شود برای هر دو شاخص الگوریتم ژنتیک بهتر از الگوریتم شبیه سازی تبرید می باشد.

جدول ۱۰. مقایسه الگوریتم ژنتیک و شبیه سازی تبرید

شماره مساله	الگوریتم ژنتیک در ۱۰ تکرار				الگوریتم شبیه سازی تبرید در ۱۰ تکرار			
	میانگین جواب	زمان (ثانیه)	بهترین جواب	انحراف استاندارد	میانگین جواب	زمان (ثانیه)	بهترین جواب	انحراف استاندارد
۹	۰/۰۶۴۳۴	۳۲۸۲	۰/۰۶۳۰۹	۰/۰۰۱۰۵	۰/۰۶۶۵۴	۳۳۷۴	۰/۰۶۳۵۷	۰/۰۰۲۵۵۹
۱۰	۰/۰۵۸۶۰	۳۴۶۸	۰/۰۵۷۳۲	۰/۰۰۰۹۹۶	۰/۰۶۲۴۰	۳۷۶۲	۰/۰۵۷۱۱	۰/۰۰۴۶۸۲
۱۱	۰/۰۷۴۹۵	۳۸۹۷	۰/۰۷۳۱۹	۰/۰۰۱۱۰۸	۰/۰۸۳۰۶	۴۰۱۲	۰/۰۷۴۱۹	۰/۰۰۵۱۳۶
۱۲	۰/۰۴۸۶۱	۴۳۶۲	۰/۰۴۶۸۵	۰/۰۰۱۱۳۱	۰/۰۵۲۷۲	۴۴۹۱	۰/۰۴۷۸۱	۰/۰۰۳۱۸۷
۱۳	۰/۰۳۵۱۱	۴۶۹۸	۰/۰۳۲۷۳	۰/۰۰۲۱۵	۰/۰۳۷۵۳	۴۸۲۷	۰/۰۳۲۱۸	۰/۰۰۲۹۶۹
۱۴	۰/۰۷۵۷۹	۴۹۹۱	۰/۰۷۲۸۶	۰/۰۰۲۴۲۵	۰/۰۷۸۳۰	۵۱۰۵	۰/۰۷۴۰۴	۰/۰۰۴۰۳۵
۱۵	۰/۰۸۵۳۴	۵۳۱۹	۰/۰۸۱۵۶	۰/۰۰۳۱۵۱	۰/۰۸۸۸۸	۵۵۲۹	۰/۰۸۲۸۴	۰/۰۰۰۵۳
۱۶	۰/۰۳۹۳۳	۵۷۷۱	۰/۰۳۵۶۴	۰/۰۰۲۵۹۵	۰/۰۳۹۷۱	۵۹۴۱	۰/۰۳۵۲۱	۰/۰۰۴۱۵۲
۱۷	۰/۰۷۸۶۳	۳۷۹۶	۰/۰۷۴۲۱	۰/۰۰۳۵۱۷	۰/۰۸۱۲۰	۳۸۹۳	۰/۰۷۵۴۱	۰/۰۰۵۲۴۷
۱۸	۰/۱۱۷۷	۳۹۲۷	۰/۱۱۰۲	۰/۰۰۴۴۸۸	۰/۱۳۱۱	۴۱۲۶	۰/۱۱۷۶	۰/۰۱۳۹۵۱
۱۹	۰/۰۷۷۶۰	۴۱۸۳	۰/۰۷۲۴۹	۰/۰۰۵۱۱۷	۰/۰۸۲۸۵	۴۴۳۹	۰/۰۷۳۹۲	۰/۰۰۴۸۵۴
۲۰	۰/۰۸۷۵۸	۴۴۰۹	۰/۰۸۱۷۳	۰/۰۰۳۳۴۱	۰/۰۹۳۰۶	۴۷۱۹	۰/۰۸۳۷۲	۰/۰۰۴۷۰۹
۲۱	۰/۰۲۳۱۰	۴۷۶۲	۰/۰۲۰۷۸	۰/۰۰۲۱۵۱	۰/۰۲۶۳۹	۴۹۸۲	۰/۰۲۲۳۸	۰/۰۰۲۸۳۲
۲۲	۰/۱۰۵۶	۴۹۸۱	۰/۰۹۷۳۹	۰/۰۰۹۴۲۲	۰/۱۱۵۲	۵۳۰۴	۰/۰۹۸۸۹	۰/۰۱۴۰۸
۲۳	۰/۱۲۰۲	۵۳۲۵	۰/۱۰۰۳	۰/۰۰۲۱۰۴	۰/۱۳۶۸	۵۷۲۳	۰/۱۱۶۳	۰/۰۱۱۱۰۵
۲۴	۰/۰۷۴۵۱	۵۵۹۱	۰/۰۶۸۳۱	۰/۰۰۶۲۵۶	۰/۰۷۹۸۵	۵۹۹۴	۰/۰۶۸۲۸	۰/۰۰۶۵۹۲
۲۵	۰/۱۱۲۷	۵۷۶۹	۰/۰۹۷۳۸	۰/۰۱۱۰۲۴	۰/۱۲۴۳	۶۳۵۵	۰/۰۹۹۰۸	۰/۰۲۴۷۳۷
	میانگین	۴۶۱۹/۴۷	۰/۰۰۴۷۴		۴۸۵۷/۴۱		۰/۰۰۷۰۶۶	

۷ مطالعه موردی

در این قسمت یک مثال به عنوان مطالعه موردی ارائه و تشریح می شود. در این مثال اطلاعات مربوط به استان خراسان جنوبی در نظر گرفته شده است که در آن ۳ شهر مشهد، زاهدان و کرمان به عنوان مراکز تامین کننده کالا و شهرهای بیرجند، قاین، نهبندان، اسدیه و فردوس به عنوان مناطق کاندیدا جهت استقرار انبارهای موقت می باشد و ۹ شهر بیرجند، قاین، اسدیه، نهبندان، فردوس، زیرکوه، سرایان، سربیشه و بشرویه به عنوان مناطق آسیب دیده در نظر گرفته شده است. هزینه راه اندازی انبارهای موقت (۳۸۰۰۰۰۰۰، ۳۷۰۰۰۰۰۰، ۳۶۰۰۰۰۰۰) و اطلاعات مساله شامل هزینه جابه جایی بین مناطق بر اساس اطلاعات واقعی بوده؛ نسبتی از فاصله بین مناطق می باشد. در این مدل فرض کرده ایم که هر منطقه می تواند توسط هر انبار موقت کالا دریافت کند. در مطالعه انجام شده دو نوع کالای امدادی در نظر گرفته شده و مدل برای حالتی که تعداد دوره برنامه ریزی برابر ۳ دوره می باشد؛ حل گردیده است. میزان تقاضای نقاط آسیب دیده به صورت اعداد فازی مثلثی در جدول (۸) آمده و میزان موجودی مراکز تامین نیز در جدول (۹) ارائه شده است. شکل ۵ نقشه استان خراسان جنوبی را نشان می دهد.

در این مدل، جریمه کمبود کالا برای کالای ۱ و ۲ هر واحد ۱۰۰۰ تخمین زده شده است و ضرایب توابع هدف در روش معیار جامع برای سه تابع هدف اول ۰/۱ و برای تابع هدف چهارم ۰/۷ و همچنین مقدار $I=1$ در نظر گرفته می شود که بر اساس نظر خبرگان می باشد. همان گونه که در جدول (۱۱) دیده می شود در دوره اول سه شهر بیرجند، نهبندان و قاین به عنوان انبارهای موقت انتخاب می گردد، که این انتخاب با توجه به میزان تقاضا و هزینه جابه جایی بین مناطق مختلف یعنی مناطق آسیب دیده و مراکز تامین صورت گرفته است. در دوره بعد چون میزان تقاضاها تغییر می کند بنابراین، مدل تصمیم به ایجاد یک انبار موقت جدید در شهرستان فردوس می نماید. همچنین با بررسی جدول (۱۲) مشاهده می شود که در اکثر حالات، سعی شده است کل تقاضای هر منطقه آسیب دیده از طریق یک انبار موقت تامین گردد؛ زیرا این امر موجب کاهش هزینه های جابه جایی می گردد. با بررسی نتایج حاصل از مدل و داده های ورودی مساله مشاهده می شود استقرار انبارهای موقت بر اساس میزان فاصله از تامین کننده و همچنین فاصله انبار موقت با مناطق آسیب دیده صورت می پذیرد. همچنین بر اساس تابع هدف دوم مدل سعی می شود همه مناطق آسیب دیده تا حدودی با نسبت برابر کالا دریافت کنند تا رعایت انصاف در توزیع کالا صورت گرفته باشد.



شکل ۵. نقشه استان خراسان جنوبی

جدول ۱۱. میزان کالاهای جابه‌جا شده از مراکز تامین کالا به مراکز توزیع موقت (۱۰۰۰*)

فردوس	اسدیه	نهبندان	قاین	بیرجند			
		۱۰۰		۱۰۰	کرمان	کالای ۱	دوره ۱
			۱۴۹		زاهدان		
					مشهد		
		۹۹		۱۵۰	کرمان	کالای ۲	دوره ۲
			۱۸۷		زاهدان		
					مشهد		
		۱۰۳		۱۰۳	کرمان	کالای ۱	دوره ۲
۹۷			۳۳		زاهدان		
					مشهد		
		۱۲۵		۱۳۰	کرمان	کالای ۲	دوره ۲
۹۸			۱۲		زاهدان		
					مشهد		
		۹۸		۹۹	کرمان	کالای ۱	دوره ۳
۴۸			۱۰۵		زاهدان		
					مشهد		
		۸۵		۱۴۰	کرمان	کالای ۲	دوره ۳
۴۸			۴۷		زاهدان		
					مشهد		

۸ نتیجه گیری

فعالیت‌های لجستیکی یکی از اقدامات مهم و اساسی در فاز پاسخ مدیریت زنجیره امداد می‌باشد و انجام برنامه‌ریزی‌های منسجم می‌تواند موجب افزایش کارایی در مواجهه با بلایا گردد و برنامه‌ریزی صحیح می‌تواند باعث افزایش رضایت‌مندی آسیب‌دیدگان شود. در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه برای مکانیابی دوره‌ای انبارهای موقت و همچنین نحوه تخصیص کالا به مناطق آسیب‌دیده در لجستیک امداد بلایا توسعه داده شده‌است. مدل شامل حداکثر کردن درصد تقاضاهای برآورده شده و حداقل کردن هزینه‌های راه اندازی و عملیاتی مربوط به توزیع کالاها می‌باشد. با توجه به تابع هدف دوم که به نوعی نشان‌دهنده رعایت انصاف در توزیع کالا می‌باشد زمینه را برای افزایش رضایت‌مندی آسیب‌دیدگان فراهم می‌کند. مدل فرضیات اساسی عدم قطعیت در میزان تقاضا، هزینه جابه‌جایی و همچنین حالت چند کالایی و چند دوره‌ای را در نظر گرفته‌است. در ادامه مدل پیشنهادی به کمک برنامه‌ریزی امکان و رویکرد فازی و همچنین استفاده از روش معیار جامع به منظور تک هدفه کردن مدل، حل گردیده‌است. با توجه به درجه پیچیدگی مساله یک الگوریتم ژنتیک و یک الگوریتم شبیه‌سازی تبرید جهت حل مدل ارایه شده که با مقایسه این دو الگوریتم مشاهده می‌شود که از لحاظ تولید جواب‌های با کیفیت بهتر الگوریتم ژنتیک در بیشتر مواقع بهتر عمل کرده‌است و همچنین از نظر زمانی نیز الگوریتم ژنتیک سریعتر است. از جمله مواردی که به عنوان تحقیقات آتی می‌توان در نظر گرفت برنامه‌ریزی همزمان مسیریابی به همراه مکانیابی جهت بهبود شرایط سیستم می‌باشد.

جدول ۱۲. میزان کالاهای جابه‌جا شده بین انبارهای موقت و مناطق آسیب‌دیده (۱۰۰۰٪)

بیرجند قاین زیرکوه نهبندان سریشه سراپان اسدی بهشروی فردوس										
دوره ۱	بیرجند	کالای ۱	۴۶	۵۴						
		کالای ۲	۶۳	۸۷						
	نهبندان	کالای ۱	۴۹		۱۳	۹	۲۹			
		کالای ۲			۱۹	۱۳	۶۷			
	قاین	کالای ۱	۱۰۶		۱۳	۱۳	۱۷			
		کالای ۲	۱۰۴		۴	۱۸	۲۵			
دوره ۲	بیرجند	کالای ۱	۴۱	۱۰	۵۲					
		کالای ۲	۵۲	۳۸	۱۳	۲۷				
	نهبندان	کالای ۱	۲۴		۱۴	۶۵				
		کالای ۲			۱۸	۱۰۷				
	قاین	کالای ۱	۱۰	۳۳						
		کالای ۲	۱۲							
	فردوس	کالای ۱			۱۶	۶۰	۲۱			
		کالای ۲			۱۸	۵۶	۲۴			
دوره ۳	بیرجند	کالای ۱	۹۳	۶						
		کالای ۲	۶۳	۳۵	۱۴	۱۰	۱۸			
	نهبندان	کالای ۱	۱۱		۱۴	۱۱	۶۲			
		کالای ۲	۲۹							
	قاین	کالای ۱	۷۱	۳۴						
		کالای ۲	۳۴	۱۳						
	فردوس	کالای ۱			۱۶	۱۲	۲۰			
		کالای ۲			۱۵	۱۳	۲۰			

منابع

[۲۱] علی‌نژاد، ع.، کاظمی، ا.، منسوب ریحانیان، زهری، صراف‌ها، ک.، (۱۳۹۲). یک رویکرد ترکیبی از معیار جامع و برنامه‌ریزی آرمانی بر اساس متغیرهای انحراف برای حل مسایل تصمیم‌گیری چندهدفه. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، شماره ۳۶، ص ۸۹-۹۷

- [1] Douglas, L., (1997). Logistics for Disaster Relief, IIE Solutions, pp. 26-29.
- [2] Balcik, B., Beamon, B. M., (2008). Facility Location in Humanitarian Relief. International Journal of Logistics, Research and Applications, 11(2), 101-121.
- [3] Thomas, A., (2003). Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response. the Fritz Institute, Available, <http://www.fritzinstitute.org>.
- [4] Brotcorne, L., Laporte, G., Semet, F., (2003). Ambulance Location and Relocation Models. European Journal Operational Research, 147(3), 451-463.
- [5] Balcik, B., Beamon, B. M., (2008). Facility location in humanitarian relief, International Journal of Logistics: Research and Applications, 11, 101-121.
- [6] Rawls, C. G., Trunquist, M. A., (2010). Pre-Positioning of Emergency Supplies for Disaster Response. Transportation research part B: Methodological, Vol. 44, No.4, pp. 521-534.

- [7] Akkihal, A., (2006). Inventory Pre-positioning for Humanitarian Operations. Thesis for Degree of Master of Engineering in Logistics, MIT CTL.
- [8] Tzeng, G. H., Cheng, H. J., Huang, T. D., (2007). Multi-Objective Optimal Planning for Designing Relief Delivery Systems. *Transportation Research Part E*, 43(6), 673-686.
- [9] Beraldi, P., Bruni, M. E., (2009). A Probabilistic Model Applied to Emergency Service Vehicle Location. *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, No. 1, pp. 323-331.
- [10] Mete, O. H., Zabinsky, Z. B., (2010). Stochastic Optimization of Medical Supply Location and Distribution in Disaster Management. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 76-84.
- [11] Jabal-Ameli, M. S., Bozorgi-Amiri, A., Heydari, M., (2011). A Multi-Objective Possibilistic Programming Model for Relief Logistics Problem. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 22(1), 65-75.
- [12] Duran, S., Gutierrez, M. A., Keskinocak, P., (2011). Pre-positioning of emergency items worldwide for CARE international. *Interfaces*, 41, 223-237.
- [13] Mingangl, Z., Zengshoul, C., Xiaoyanl, W., (2009). Research on Location-Routing Problem of Relief System Based on Emergency Logistics. *Industrial Engineering and Engineering Management*, IE&EM '09. 16th International Conference.
- [14] Schmid, V., (2012). Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming. *European Journal of Operational Research*, 219, 611-621
- [15] Chrétienne, P., Fouilhoux, P., Gourdin, E., Segura, J. M., (2012). The location-dispatching problem: Polyhedral results and content delivery network design. *Discrete Applied Mathematics*, Article in press.
- [16] Toro-diaz, H., Mayorga, M. E., Chanta, S., McLay, L.A., (2013). Joint location and dispatching decisions for Emergency Medical Services. *Computers & Industrial Engineering* 64, 917-928.
- [17] Barzinpour, F., Esmaeili, V., (2013). A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI 10.1007/s00170-013-5379-x.
- [18] Esmaeili, V., Barzinpour, F., (2014). Integrated decision making model for urban disaster management: A multi-objective genetic algorithm approach. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, in press.
- [19] Rao, S. S., (1996). *Engineering optimization: theory and practice*. 3rd ed. John Wiley & Sons, New Jerse.
- [20] Zeleny M., (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill, New York.
- [22] Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., Teller, E., (1953). Equation of State Calculations by Fast computing Machines. *Journal of Chemical Physics*, 21.