

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

فرنáz بروزین پور^{*}، محسن صفاریان^۱، ابراهیم تموری^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 ارایه خدمات به آسیب‌دیدگان داشته باشد. در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه امکانی برای مکانیابی دوره‌ای انبارهای موقع و تخصیص آن‌ها به مناطق آسیب‌دیده به منظور توزیع کالاهای امدادی ارایه گردیده است. در مطالعه انجام شده، پارامترهای مساله، شامل هزینه‌های جابه‌جایی کالا، میزان تقاضای مناطق آسیب‌دیده و میزان عرضه مرکز تامین به صورت غیرقطعی و فازی در نظر گرفته شده است. دو هدف اصلی مدل، شامل حداقل کردن هزینه‌های راه‌اندازی و هزینه‌های جابه‌جایی بین مرکز تامین، انبارهای موقع و مناطق آسیب‌دیده همچنین حداقل کردن مجموع حداقل نسبت‌های تقاضای پوشش یافته به منظور رعایت انصاف در توزیع کالا می‌باشد. در این مقاله دو الگوریتم فرآبتكاری ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای حل مدل ارایه شده است که برای مسایل با سایز کوچک با جواب دقیق حاصل از نرم افزار لینگو مقایسه شده‌اند. برای مسایل با سایز بزرگ، این دو الگوریتم فرآبتكاری 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 موردنی 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 شبیه‌سازی 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 اجتناب ناپذیر 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 پاسخ‌گویی می‌شود [۲ و ۳]. یکی از بخش‌های لجستیک که در شرایط بحرانی می‌تواند نقش راهبردی داشته باشد؛ مکانیابی از پیش انبارها و ذخیره سازی موجودی در آن‌هاست [۴]. مکانیابی از پیش انبارها با توجه به فاکتورهایی مانند هزینه، زمان پاسخ‌گویی و عدالت در توزیع در لجستیک مورد توجه می‌باشد و بیشتر در فاز آمادگی صورت می‌گیرد [۴].

اگرچه تحقیقات در زمینه مسایل جایابی تسهیلات هم در زمینه ثوری و هم کاربرد به طور بسیار گسترده‌ای صورت گرفته است ولی از این مسایل در حوزه امداد انسان‌دوستانه تاکنون استفاده چندانی نشده [۵]. از آنجایی که تعداد و موقعیت تسهیلات و مراکز توزیع و میزان موجودی کالایی که در آن‌ها ذخیره می‌شود؛ نسبت مستقیمی با به موقع بودن و هزینه پاسخ و واکنش در زنجیره امداد دارد؛ تصمیم‌گیری در زمینه جایابی تسهیلات بر عملکرد عملیات امداد دارای تاثیر زیادی است.

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

- مکانیابی مراکز مدیریت بحران در سطح شهر یا استان و تخصیص کالاهای اضطراری نظیر آب، بسته‌های غذایی و چادر از این مراکز به مناطق آسیب دیده.

- مکانیابی انبارهای هلال احمر و بحث تخصیص این انبارها به شهرها و استان‌های آسیب دیده در زمان بحران‌های طبیعی یا حتی در شرایط وقوع جنگ.

- مکانیابی پایگاه‌های 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 ارایه شده که در بخش ۲ به مرور ادبیات موضوع می‌پردازیم و در بخش ۳ بیان مساله و مفروضات مدل ارایه می‌گردد. در بخش ۴ و ۵ به ترتیب طراحی الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید آورده شده است و در بخش ۶ نتایج محاسباتی، در بخش ۷ مطالعه موردنی و در نهایت در بخش ۸ نتیجه‌گیری ارایه می‌گردد.

۲ مرواری بر ادبیات موضوع

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

آکیهال [۷] به ارایه 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 مدنظر قرار دادن هزینه، زمان پاسخ‌گویی و میزان رضایت آسیب دیدگان ارایه نمودند و آن را به کمک برنامه‌ریزی چند هدفه فازی حل کردند. بالکیک و ییمون [۲] در سال ۲۰۰۸ مکانیابی تسهیلات در لجستیک امداد برای پاسخ‌گویی به آسیب دیدگان ارایه 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 برونسی [۹] نیز در سال ۲۰۰۹ یک مدل احتمالی به منظور مکانیابی بهینه تسهیلات امدادی در یک محیط غیر قطعی ارایه کردند. مته و زینسکی [۱۰] در سال ۲۰۱۰ یک مدل بهینه‌سازی تصادفی برای برنامه‌ریزی به منظور ذخیره و توزیع کالاهای پزشکی در شرایط بحرانی ارایه دادند. همچنین جبل عاملی و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۱ یک مدل مکانیابی و توزیع ارایه 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 ارایه 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 شده است. راولز و تورنکویست [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، ارایه 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 خوشبندی 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 ارایه نمود و آن را به کمک روش برنامه‌ریزی دینامیکی حل کرد. چریتینه و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۱۲ یک مساله مکانیابی و توزیع ارایه 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 ترودیز و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۱۳ یک مدل ریاضی برای مساله مکانیابی و توزیع ارایه 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 ارایه نمودند و یک مطالعه موردي بر روی شهر تهران انجام دادند.

اسماعیلی و برزین پور [۱۸] در سال ۲۰۱۴ یک مدل چند هدفه مکانیابی و توزیع ارایه داده؛ سپس الگوریتم ژنتیکی برای حل آن طراحی کردند و مطالعه موردي 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. بنابرین می‌توان در طول آن ۷۲ ساعت بر اساس اطلاعات حاصل از مناطق آسیب دیده 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 آسیب دیدگان به اجرا گذاشت. در این تحقیق، هدف ارایه مدلی است که به مکانیابی دوره‌ای مراکز

توزیع و همچنین نحوه توزیع کالاهای بین مناطق آسیب‌دیده بپردازد طوریکه هزینه راهاندازی مراکز توزیع موقعت و همچنین هزینه تخصیص کالا حداقل شده؛ میزان حداقل سطح پوشش تقاضای مناطق آسیب‌دیده حداقل‌گردد.

۳ بیان مساله و مفروضات مدل

یک سیستم سه سطحی شامل تامین کنندگان کالاهای امدادی، انبارهای موقعت و مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است. در این سیستم، شهرهایی به عنوان تامین کنندگان در نظر گرفته می‌شود و مناطقی به عنوان نقاط کاندیدا جهت استقرار انبارهای موقعت وجود دارد. اطلاعات سیستم برای دوره‌های مختلف شامل: میزان کالاهایی که در مراکز تامین وجود دارد، میزان تقاضای مناطق آسیب‌دیده در دوره‌های مختلف و هزینه‌های جابه‌جایی کالا، به صورت اعداد فازی در اختیار است. حال هدف ما تعیین انبارهای موقعت فعال در دوره‌های مختلف و همچنین نحوه توزیع کالاهای بین مناطق مختلف در دوره‌های برنامه‌ریزی به قسمی است که هزینه‌ها حداقل و سطح پوشش حداقل‌گردد. لازم به ذکر است امکان جابه‌جایی کالا بین مراکز تامین و انبارهای موقعت فعال وجود دارد و کالاهای از مراکز تامین به انبارهای موقعت جابه‌جا شده؛ از آنجا بین مناطق آسیب‌دیده توزیع می‌شوند. مکانیابی و توزیع کالا، باید به صورتی انجام پذیرد که نخست هزینه‌های جابه‌جایی کالاهای حداقل شود و سپس رعایت انصاف و عدالت در توزیع کالا صورت گیرد.

۱-۳ مفروضات مدل

- ✓ میزان موجودی مراکز تامین در دوره‌های مختلف به صورت اعداد فازی مثلثی در دسترس است.
- ✓ میزان تقاضای مناطق آسیب‌دیده در دوره‌های مختلف به صورت اعداد فازی مثلثی در دسترس است.
- ✓ چند نوع کالای امدادی وجود دارد.
- ✓ هزینه‌های جابه‌جایی بین مناطق مختلف به صورت اعداد فازی مثلثی در دسترس است
- ✓ امکان انتقال موجودی از یک دوره به دوره بعد در یک انبار موقعت وجود دارد.

۲-۳ شناسگرهای مدل

- i : شناسگر مربوط به مراکز تامین
 I : مجموعه مراکز تامین در دوره t
- j : شناسگر مربوط به انبارهای موقعت
 J : مجموعه نقاط کاندیدا جهت استقرار انبارهای موقعت در دوره t
- k : شناسگر مربوط به مناطق آسیب‌دیده
 K : مجموعه مناطق آسیب‌دیده در دوره t
- c : شناسگر مربوط به کالا
 C : مجموعه کالاهای امدادی
- t : شناسگر مربوط به دوره‌های برنامه‌ریزی
 T : مجموعه دوره‌های برنامه‌ریزی

۳-۳ پارامترهای مدل

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

\tilde{C}_{cjk_t} : هزینه جابه‌جایی هر واحد کالای c از انبار موقعت 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 راه اندازی 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.

t : حداکثر تعداد مراکز توزیع فعال در دوره

۴-۴ متغیرهای تصمیمی

x_{cijt} : مقدار کالای c که از تامین کننده i به انبار موقعت j منتقل می‌شود.

x_{cjk_t} : مقدار کالای c که از انبار موقعت j به منطقه آسیب‌دیده k ارسال می‌شود.

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

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

۵-۳ مدل ریاضی پیشنهاد شده

$$\min f_1 = \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I_t} \sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{cijt} x_{cijt} + \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{cjk_t} x_{cjk_t} \\ \sum_{t \in T} \sum_{j \in J_t} \max(\cdot, y_{jt} - \sum_{l=1}^{t-1} y_{lt}) \tilde{q}_j + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{c \in C} p_c \left(\tilde{d}_{ckt} - \sum_{j \in J_t} x_{cjk_t} \right) + \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J_t} \tilde{c}_c inv_{jct} \quad (1)$$

$$max f_2 = \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \min_{k \in K_t} \left[\frac{\sum_{j \in J_t} X_{cjk_t}}{\tilde{d}_{ckt}} \right] \quad (2)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

تابع هدف (۱) مجموع کل هزینه‌ها، شامل هزینه راه‌اندازی انبارهای موقت، هزینه‌های جابه‌جایی کالا بین مراکز تامین، انبارهای موقت و مناطق آسیب‌دیده، هزینه کمبود کالا و هزینه‌های انبارداری را حداقل می‌کند.

تابع هدف (۲) مجموع حداقل نسبت تقاضاهای پوشش داده شده را حداکثر می‌کند. هدف از این تابع توزیع منصفانه کالا بین مناطق آسیب‌دیده می‌باشد.

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 می‌شود. منهای میزان کالایی که از انبار موقت به مناطق آسیب‌دیده ارسال می‌گردد.

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

محدودیت (۵) نشان می‌دهد میزان کالایی که به یک منطقه آسیب‌دیده وارد می‌شود از میزان تقاضای آن کمتر یا مساوی آن است.

محدودیت (۶) بیان می‌کند میزان کالایی که از یک مرکز تامین خارج می‌شود کوچکتر مساوی میزان موجودی آن است.

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

محدودیت (۸) بیان می‌کند که موجودی انبارهای موقت در پایان دوره برنامه‌ریزی صفر باشد و محدودیت‌های (۹) تا (۱۲) مقادیر مجاز متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند.

در مدل ارایه شده، یک برنامه‌ریزی امکان وجود دارد که می‌توان آن را به صورت زیر به چند تابع هدف تبدیل نمود.

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

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

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

$$\min f_{\text{vr}} = \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I_t} \sum_{j \in J_t} \left(\tilde{c}_{cijt}^m - \tilde{c}_{cijt}^l \right) x_{cijt} + \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in J_t} \left(\tilde{c}_{ckjt}^m - \tilde{c}_{ckjt}^l \right) x_{ckjt} \quad (15)$$

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

$$\sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J_t} (\tilde{c}_{cijt}^m - \tilde{c}_{cijt}^l) inv_{jct}$$

۶-۳ خطی سازی و فازی 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

برزین پور و هکاران، الگوریتم فراابتکاری برای مدل برنامه‌ریزی چند هدفه مکانیابی و تخصیص سطحی در بخشیک امداد

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

همان‌طور که توضیح داده شد یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه قطعی به صورت زیر حاصل می‌شود.

MOLP:

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

s.t.

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

۷-۳ روش معیار جامع برای حل مدل چند هدفه مدل چند هدفه زیر را در نظر بگیرید

$$\begin{aligned} \max & [f_1(x), \dots, f_k(x)] \\ g_i(x) & \geq 0 \end{aligned} \quad (25)$$

هر یک از توابع هدف مدل، به طور مستقل در نظر گرفته می‌شوند و بر روی محدودیت‌ها، بهینه می‌گردند. فرض کنید که جواب‌های بهینه مستقل حاصل از هر مساله را با (x_i^*) نمایش دهیم. حال مدل زیر را تشکیل می‌دهیم.

$$\begin{aligned} \min & F(x) = \left[\sum_{i=1}^k w_i \left(\frac{f_i^*(x) - f_i(x)}{f_i^*(x)} \right)^r \right]^{\frac{1}{r}} \\ g_i(x) & \geq 0 \end{aligned} \quad (26)$$

در مدل فوق w میزان اهمیت تابع هدف مربوط را نشان می‌دهد که توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود.
بنابراین می‌توان با حل مدل تک هدفه تولید شده مدل چند هدفه اولیه را حل نمود [۲۰ و ۲۱].

۴ طراحی الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، الهامی از علم ژنتیک و نظریه‌ی تکامل داروین می‌باشد و بر اساس بقای برترین‌ها یا انتخاب طبیعی استوار است. یک کاربرد متداول الگوریتم ژنتیک، استفاده از آن در مسائل بهینه‌یابی می‌باشد. مراحل زیر را برای پیاده‌سازی الگوریتم مذکور یک به یک توضیح می‌دهیم.

۴-۱ تعریف کروموزم

برای نمایش کروموزم از چهار ماتریس استفاده نموده‌ایم 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 موقعت بوده؛ هر سطر آن مربوط به یک دوره زمانی می‌باشد. عناصر آن سطر متناظر با مراکز توزیع است. ابعاد این ماتریس $|T| \times \max_{t \in T} |I_t|$ است که سطرهای آن تعداد دوره‌ها و ستون‌های آن تعداد نقاط کاندیدا را جهت استقرار انبارهای موقعت نشان می‌دهد. درایه‌های این ماتریس صفر و یک می‌باشد 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 $\max_{t \in T} |I_t| \times \max_{t \in T} |J_t|$ در اختیار است. هر عنصر این زیر ماتریس‌ها، میزان کالایی را که از تامین کننده مربوط به انبار موقعت متناظر فرستاده می‌شود؛ نشان می‌دهد. برای مقدار دهی به این ماتریس، با توجه به میزان عرضه مراکز تامین، شروع به تخصیص کالا به انبارهای موقعت فعال می‌کنیم.

$$Deli_depot_|c| = \left[\begin{array}{cccc} i_{11} & i_{12} & \dots & i_{1|J_1|} \\ i_{21} & i_{22} & \dots & i_{2|J_2|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{|I_1|1} & i_{|I_1|2} & \dots & i_{|I_1||J_1|} \end{array} \right] \dots \left[\begin{array}{cccc} i_{11} & i_{12} & \dots & i_{1|J_{|T|}|} \\ i_{21} & i_{22} & \dots & i_{2|J_{|T|}|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{|I_{|T|}1} & i_{|I_{|T|}2} & \dots & i_{|I_{|T|}||J_{|T|}|} \end{array} \right]^{|T|}$$

ماتریس سوم، ماتریس Deli_Demand است که متناظر با هر کالا، یک ماتریس مرکب شامل $|T|$ زیر ماتریس با ابعاد $\max_{t \in T} |J_t| \times \max_{t \in T} |K_t|$ در اختیار است. هر عنصر این زیر ماتریس‌ها، میزان کالایی را که انبار موقعت مربوطه به منطقه آسیب‌دیده متناظر می‌فرستد؛ نشان می‌دهد. برای مقدار دهی به این ماتریس، با توجه به میزان تقاضای مناطق آسیب‌دیده و میزان موجودی انبارهای موقعت، شروع به تخصیص کالا از انبار موقعت فعال به منطقه آسیب‌دیده می‌کنیم.

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

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

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

۴-۲- ایجاد جمعیت اولیه

اولین مرحله بعد از تعیین روشهی که برای تبدیل هر جواب به یک کروموزوم به کار می‌رود؛ ایجاد یک جمعیت اولیه از کروموزوم‌هاست. در این مرحله برای تولید ماتریس Location به صورت تصادفی و با توجه به محدودیت تعداد مراکز توزیع فعال در هر دوره عمل می‌شود. برای تولید ماتریس‌های Deli_depot از منطق چرخ رولت کمک می‌گیریم. 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 می‌گیریم.

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

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

بین $D_{d,jct} = \left[0, S_{d,ct} \right]$ به دست آورده می‌شود و سپس موجودی مرکز تامین d_1 به روز رسانی می‌گردد. در ادامه میزان کالای دریافتی مرکز توزیع d_2 از مرکز تامین d_1 به صورت یک مقدار تصادفی بین $D_{d,jct} = \left[0, \min(S_{d,ct}, D_{d,jct}) \right]$ به دست می‌آید و موجودی مرکز تامین d_2 نیز به روز رسانی می‌گردد. عمل فوق تا مشخص شدن تمام مقادیر ستون زام زیر ماتریس t از ماتریس Deli_depot_c ادامه می‌یابد. سپس برای سایر مراکز توزیع فعال دیگر نیز به صورت فوق عمل می‌شود تا کلیه ماتریس‌های Deli_depot مقداردهی شوند. روش فوق باعث می‌گردد مراکز توزیع فعال، بیشتر موجودی خود را از مراکز تامین نزدیکتر به خود تهیه نمایند. به منظور برقراری محدودیت (۸) که بیان می‌کند؛ 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 ماتریس‌های 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 برداری به ابعاد تعداد مراکز توزیع فعال در آن دوره به صورت زیر در نظر می‌گیریم.

$$\left[\frac{\sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{\gamma_{jkt}}}{\tilde{c}_{\gamma_{ckt}}}, \frac{\sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{\gamma_{jkt}}}{\tilde{c}_{\gamma_{ckt}}}, \dots, \frac{\sum_{j \in J_t} \tilde{c}_{\gamma_{jkt}}}{\tilde{c}_{\gamma_{c|J_t|kt}}} \right] \quad (28)$$

همان‌طور که مشخص است؛ مراکز توزیعی که هزینه تخصیص کمتری دارند؛ دارای شанс 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 آن‌ها بر یکدیگر حداکثر میزان پوشش هر منطقه آسیب دیده به دست می‌آید. اینکه برای منطقه آسیب دیده k در دوره t که به صورت تصادفی انتخاب می‌شود؛ یک مرکز توزیع فعال به کمک چرخ رولت که بر اساس بردار (۲۸) تشکیل شده است؛ در نظر گرفته می‌شود و منطقه آسیب دیده تا جایی که ممکن است تقاضای خود را از آن مرکز دریافت می‌کند؛ اگر موجودی مرکز توزیع کافی نباشد سایر تقاضا از طریق مرکز توزیع دیگری که به کمک چرخ رولت انتخاب می‌شود برآورده می‌گردد. عمل فوق تا زمانی که منطقه آسیب دیده به اندازه حداکثر سطح پوشش تقاضا کالا دریافت کند و تا مشخص شدن تمام مقادیر ماتریس‌های Deli_demand ادامه می‌یابد. سپس به کمک ماتریس‌های Deli_depot و Deli_demand ماتریس‌های Inventory نیز قابل محاسبه می‌باشد.

۴-۳- مکانیزم نمونه‌گیری

مکانیزم نمونه‌گیری به چگونگی انتخاب کروموزوم‌ها از فضای نمونه‌گیری مربوط می‌شود. در این تحقیق از روش انتخاب براساس تورنامت 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 موقعت یک دوره زمانی از یک جواب، با انبارهای موقعت 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 برروی هسته مرکزی یعنی ماتریس Location اجرا می‌شود. در این تحقیق، دو نوع عملگر جهش تعریف می‌کنیم. عملگر جهش اول، در هر دوره دو انبار موقعت 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_depot و Deli_demand با توجه به محدودیت عرضه در مراکز تامین و میزان تقاضای مناطق آسیب‌دیده و به کمک به روش گفته شده در قسمت ۲-۳- مقداردهی مجدد می‌گردد. شکل (۲) نحوه انجام عمل جهش را نشان می‌دهد.

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

۴-۵ انتخاب براساس نخبه گرایی

از روش نخبه گرایی 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.

.	۱	۰	۱	۰	.	۰	۰	۱
.	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	۰	۱	۱	۰	.
۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	.

والد اول

شکل ۱-الف. قبل از عملگر تقاطع

.	۱	۰	۱	۰	.	۰	۰	۱
.	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱
۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	.
۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	.

فرزنده 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	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	.

فرزنده اول

شکل ۱-ب. بعد از عملگر تقاطع

.	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱
.	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	.
۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	.
۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	.

بعد از جهش

.	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰
.	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	.
۱	۱	۱	۰	۱	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، آتروپی 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 فرالبتکاری 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 فرالبتکاری نقاط بهینه محلی جزو مشکلات اساسی می‌باشد به گونه‌ای که مدل به جای بهینه کلی به سمت بهینه محلی همگرا می‌شود. اما الگوریتم فرالبتکاری 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 $e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \geq r$ پذیرفته خواهد شد و در حالتی که مقدار تابع هزینه جواب همسایگی بدتر باشد به شرط ارضای رابطه باز هم می‌توان آن را پذیرفت. در این رابطه ۲ 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 فاکتورهایی 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 آنها مورد بررسی واقع می شود. مدل با نرم افزار لینگوی ۱۱ و بر روی کامپیوتری با مشخصات ۴G RAM intel(r) core(tm) i3 cpu M330@2.13Ghz.

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 تاگوچی 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 N/S به صورت زیر تعریف می شود.

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

برای هر فاکتور، سطحی که بیشترین مقدار N/S 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 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 کمینه سازی با اندازه کوچک و بزرگ ارایه 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	۰/۰۷	۰/۰۵	۸۰	۴۰۰۰
	۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۱۰۰	۶۰۰۰
	۳	۰/۰۹	۰/۰۱	۱۲۰	۸۰۰۰
	۱	۰/۰۷	۰/۰۵	۱۰۰	۶۰۰۰
	۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۱۵۰	۱۰۰۰۰
	۳	۰/۰۹	۰/۰۱	۲۰۰	۱۲۰۰۰
بزرگ	۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۱۵۰	۱۰۰۰۰

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

اندازه مساله	سطح فاکتورها	نرخ سرد شدن (A)	جستجو در هر دما (B)	دماهی نهایی (C)	دماهی اوایل (D)
کوچک	۱	۰/۹۵	۴۰	۰/۰۰۰۰۱	۲۵۰۰
	۲	۰/۹۶	۶۰	۰/۰۰۰۱	۴۰۰۰
	۳	۰/۹۷	۸۰	۰/۰۰۰۵	۵۵۰۰
	۱	۰/۹۷	۸۰	۰/۰۰۰۰۱	۳۵۰۰
	۲	۰/۹۸	۱۰۰	۰/۰۰۰۱	۶۰۰۰
	۳	۰/۹۹	۱۲۰	۰/۰۰۰۵	۸۵۰۰
بزرگ	۲	۰/۹۸	۱۰۰	۰/۰۰۰۱	۶۰۰۰

با بررسی جداول تاگوچی، 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

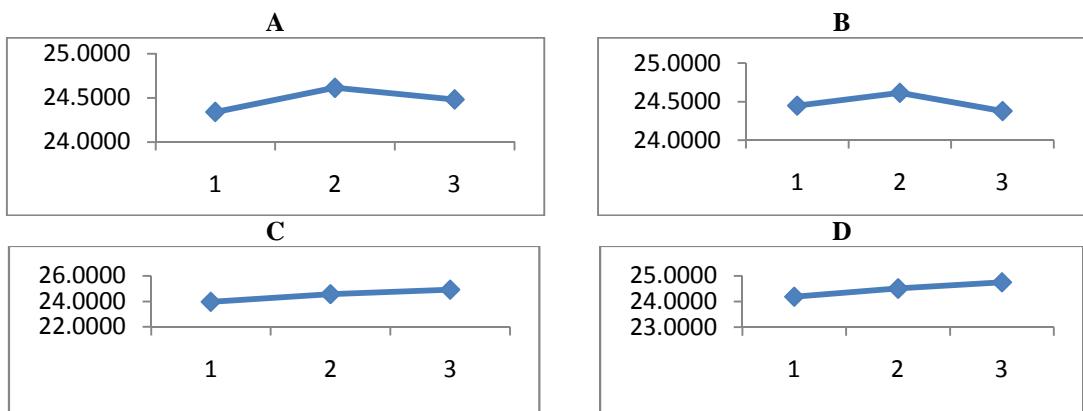
فاکتور D	فاکتور C	فاکتور B	فاکتور A	شماره آزمایش	فاکتور D	فاکتور C	فاکتور B	فاکتور A	شماره آزمایش
۱	A(۱)	B(۱)	C(۱)	D(۱)	۶	A(۲)	B(۳)	C(۱)	D(۲)
۲	A(۱)	B(۲)	C(۲)	D(۲)	۷	A(۳)	B(۱)	C(۳)	D(۲)
۳	A(۱)	B(۳)	C(۳)	D(۳)	۸	A(۳)	B(۲)	C(۱)	D(۳)
۴	A(۲)	B(۱)	C(۲)	D(۳)	۹	A(۳)	B(۳)	C(۲)	D(۱)
۵	A(۲)	B(۲)	C(۳)	D(۱)					

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 شبیه سازی 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) ارایه گردیده است.

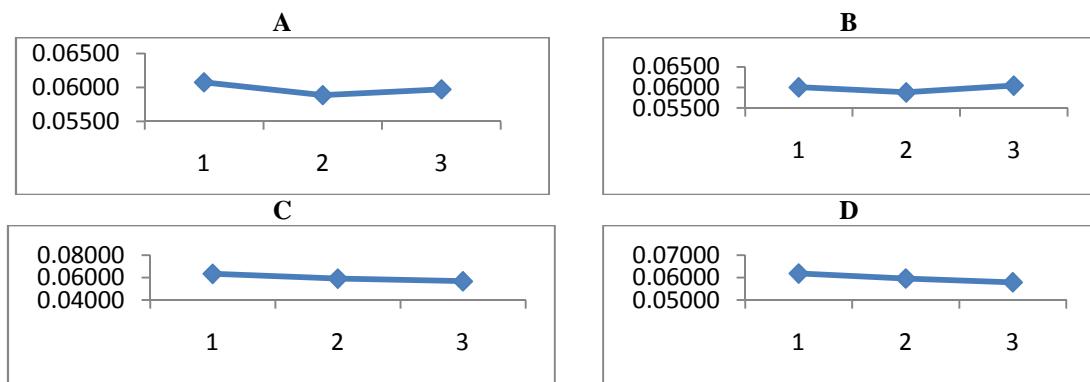
جدول ۴. مشخصات مسایل نمونه کوچک و بزرگ

اندازه مساله	شماره مساله	تعداد دوره‌های مختلف دوره‌های مختلف	تعداد مراکز تأمین در آسیب‌دیده در	تعداد مناطق حداکثر تعداد مراکز	تعداد مناطق جهت استقرار مراکز توزیع در دوره‌های مختلف
(۳,۴,۴)	(۱,۱,۱)	(۷,۷,۷)	(۱,۱,۱)	۳	۱
(۳,۴,۴)	(۱,۲,۲)	(۹,۹,۹)	(۱,۱,۱)	۳	۲
(۵,۵,۵)	(۳,۴,۴)	(۹,۹,۹)	(۳,۳,۳)	۳	۳
(۶,۶,۸)	(۳,۴,۴)	(۹,۹,۱۰)	(۳,۳,۳)	۳	۴
(۸,۸,۸)	(۴,۴,۴)	(۱۰,۱۰,۱۲)	(۳,۳,۳)	۳	۵
(۸,۱۰,۱۰)	(۴,۴,۵)	(۱۲,۱۲,۱۲)	(۳,۳,۳)	۳	۶
(۴,۴,۵,۵,۵)	(۱,۱,۲,۲,۲)	(۵,۵,۷,۷,۷)	(۱,۱,۲,۲,۲)	۵	۷
(۵,۵,۵,۶,۶)	(۲,۲,۳,۳,۳)	(۷,۷,۹,۹,۹)	(۱,۱,۲,۲,۲)	۵	۸
(۱۲,۱۲,۱۲,۱۴,۱۴)	(۴,۴,۴,۵,۵)	(۳۰,۳۰,۳۰,۳۵,۳۵)	(۵,۵,۵,۶,۶)	۵	۹
(۱۲,۱۲,۱۲,۱۴,۱۴)	(۴,۴,۴,۵,۵)	(۳۰,۳۰,۳۵,۳۵,۳۵)	(۵,۵,۵,۶,۶)	۵	۱۰
(۱۲,۱۲,۱۴,۱۴,۱۴)	(۵,۵,۶,۶,۶)	(۳۵,۳۵,۳۵,۴۰,۴۰)	(۵,۵,۶,۶,۶)	۵	۱۱
(۱۲,۱۲,۱۴,۱۴,۱۴)	(۶,۶,۶,۶,۶)	(۴۰,۴۰,۴۰,۳۵,۳۵)	(۶,۶,۸,۸,۸)	۵	۱۲
(۱۴,۱۴,۱۴,۱۶,۱۶)	(۶,۶,۸,۸,۸)	(۴۵,۴۵,۴۵,۴۰,۴۰)	(۶,۶,۸,۸,۸)	۵	۱۳
(۱۶,۱۶,۱۶,۱۸,۱۸)	(۶,۶,۸,۸,۸)	(۴۰,۴۰,۴۰,۴۵,۴۵)	(۸,۸,۸,۸,۸)	۵	۱۴
(۲۰,۲۰,۲۰,۲۵,۲۵)	(۸,۸,۱۰,۱۰,۱۰)	(۵۰,۵۰,۵۰,۴۵,۴۵)	(۸,۸,۱۰,۱۰,۱۰)	۵	۱۵
(۲۵,۲۵,۳۰)	(۱۰,۱۰,۱۰)	(۵۰,۵۰,۵۰)	(۸,۱۰,۱۰)	۳	۱۶
(۲۵,۲۵,۳۰)	(۱۰,۱۰,۱۲)	(۵۰,۶۰,۶۰)	(۸,۱۰,۱۰)	۳	۱۷
(۲۵,۳۰,۳۰)	(۱۰,۱۲,۱۲)	(۶۰,۷۰,۷۰)	(۱۰,۱۰,۱۰)	۳	۱۸
(۲۵,۳۰,۳۰)	(۱۲,۱۲,۱۲)	(۷۰,۷۰,۸۰)	(۱۰,۱۰,۱۰)	۳	۱۹
(۳۰,۳۵,۳۵)	(۱۲,۱۲,۱۲)	(۸۰,۸۰,۸۰)	(۱۰,۱۰,۱۰)	۳	۲۰
(۳۰,۳۵,۳۵)	(۱۲,۱۲,۱۲)	(۸۰,۹۰,۹۰)	(۱۰,۱۲,۱۲)	۳	۲۱
(۳۵,۳۵,۴۰)	(۱۲,۱۴,۱۴)	(۹۰,۹۰,۹۰)	(۱۰,۱۲,۱۲)	۳	۲۲
(۳۵,۳۵,۴۰)	(۱۲,۱۴,۱۴)	(۹۰,۱۰۰,۱۰۰)	(۱۰,۱۲,۱۲)	۳	۲۳
(۴۰,۴۰,۴۰)	(۱۲,۱۴,۱۴)	(۱۰۰,۱۰۰,۱۰۰)	(۱۲,۱۲,۱۲)	۳	۲۴
(۴۰,۴۰,۴۰)	(۱۲,۱۴,۱۴)	(۱۰۰,۱۲۰,۱۲۰)	(۱۲,۱۲,۱۲)	۳	۲۵

حال پس از تعیین پارامترهای مناسب برای الگوریتم زنگیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، مسایلی با سایز کوچک تولید می‌نماییم 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 می‌شود که از لحاظ زمانی هر دو الگوریتم در زمانی قابل قبول جواب‌های نسبتاً مناسی تولید می‌کنند.



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 شبیه‌سازی تبرید بهتر جواب داده است. در خصوص بهترین جواب نیز در دو مورد هر دو الگوریتم جواب بهینه را به دست آورده‌اند و در سایر موارد باز هم الگوریتم ژنتیک شرایط بهتری دارد. متوسط انحراف استاندارد برای الگوریتم ژنتیک کمتر از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که جواب‌ها در الگوریتم ژنتیک در تکرارهای مختلف پراکندگی کمتری نسبت به الگوریتم شبیه‌سازی تبرید دارند. از نظر زمان اجرا نیز الگوریتم ژنتیک به طور متوسط سریع‌تر از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید جواب می‌دهد.

جدول ۵. مقدار بهینه فاکتورها برای الگوریتم‌های طراحی شده

الگوریتم	اندازه مساله	A	B	C	D
ژنتیک	کوچک	۰/۸	۰/۰۲	۱۲۰	۸۰۰
	بزرگ	۰/۹	۰/۰۲	۲۰۰	۱۲۰۰
شبیه سازی تبرید	کوچک	۰/۹۷	۸۰	۰/۰۰۰۱	۵۵۰
	بزرگ	۰/۹۹	۱۲۰	۰/۰۰۱	۸۵۰

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

اندازه مساله	N/S	نرخ S/N	نرخ هدف	فاکتور	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح بهینه
کوچک	N/S	نرخ هدف	نرخ S/N	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
				A	۲۰/۳۷۸۰	۲۰/۶۵۰۴	۲۰/۶۵۴۵	۳
				B	۲۰/۴۳۵۶	۲۰/۶۳۶۵	۲۰/۶۰۹۹	۲
				C	۲۰/۰۹۰۰	۲۰/۵۴۷۶	۲۱/۰۴۰۴	۳
				D	۲۰/۰۷۸۳	۲۰/۶۴۷۸	۲۰/۹۵۶۹	۳
بزرگ	نرخ هدف	نرخ S/N	نرخ هدف	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
				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
کوچک	نرخ هدف	نرخ S/N	نرخ هدف	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
				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
کوچک	نرخ هدف	نرخ S/N	نرخ هدف	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
				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 مسائلی با اندازه بزرگ، مطابق جدول (۴) در نظر گرفته می‌شود. این مسائل به کمک لینگو بسیار دیر جواب می‌دهند لذا آن‌ها را به کمک الگوریتم زنتیک و الگوریتم شبیه سازی تبرید حل کرده؛ نتایج حاصل را در جدول (۱۰) ارایه نموده‌ایم.

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

لینگو	الگوریتم زنگنه در ۱۰ تکرار										شماره مساله					
	امزون	آزمون	دربند خطا	دربند پیوند	مشهود	درصد خطا	وقت زمان (ثانیه)	امزون	آزمون	دربند خطا	دربند پیوند	مشهود	وقت زمان (ثانیه)	امزون	آزمون	زمان (ثانیه)
PRAS%	PRBS%	امزون	آزمون	دربند خطا	دربند پیوند	مشهود	وقت زمان (ثانیه)	امزون	آزمون	دربند خطا	دربند پیوند	مشهود	وقت زمان (ثانیه)	امزون	آزمون	زمان (ثانیه)
۰/۲۱۵۵	۰	۰/۰۰۰۱۵۹	۰	۰/۰۴۶۲۱	۰/۴۳۵۰	۵۷۹	۰/۰۴۶۴۱	۰/۰۰۰۱۲	۰	۰/۰۴۶۲۱	۰/۲۱۶۴	۵۲۷	۰/۰۴۶۳۱	۵۸۵۲۶	۰/۰۴۶۲۱	۱
۲/۶۵۹۳	۰/۱۲۹۳	۰/۰۰۲۵۴۸	۰/۱۳	۰/۰۶۱۸۶	۲/۸۷	۶۶۷	۰/۰۶۳۵۵	۰/۰۰۰۸۶	۰	۰/۰۶۱۷۸	۰/۱۲۹۵	۵۹۹	۰/۰۶۱۸۶	۱۰۵۸۴۲	۰/۰۶۱۷۸	۲
۱/۹۵۱۱	۰/۳۳۵۶	۰/۰۰۱۲۸۱	۰/۳۴	۰/۰۵۶۹۱	۳/۰۱	۷۰۸	۰/۰۵۸۱۲	۰/۰۰۰۴۸۴	۰	۰/۰۵۶۴۲	۱/۰۰۳	۶۵۸	۰/۰۵۶۹۸۶	۱۱۷۷۴۸	۰/۰۵۶۴۲	۳
۵/۵۱۵۳	۱/۰۹۵۱	۰/۰۰۱۴۰۶	۱/۳۶	۰/۰۲۳۷۴	۷/۳۰	۷۷۹	۰/۰۲۵۱۳	۰/۰۰۰۲۴۷	۰/۲۶	۰/۰۲۳۴۸	۱/۳۸۳۴	۷۰۷	۰/۰۲۳۷۴۴	۱۳۹۳۲۷	۰/۰۲۳۴۲	۴
۱/۹۸۲۲	۰	۰/۰۰۲۴۷۷	۰	۰/۰۷۹۳۷	۲/۲۷	۸۰۹	۰/۰۸۱۱۷	۰/۰۰۰۲۲۹	۰	۰/۰۷۹۳۷	۰/۲۴۰۶۴	۷۸۹	۰/۰۷۹۵۶۱	۲۰۷۳۴۸	۰/۰۷۹۳۷	۵
۳/۸۸۸۰	۰/۹۵۲۳	۰/۰۰۲۵۹	۰/۹۶	۰/۰۹۴۵۱	۴/۵۱۴۵	۹۳۱	۰/۰۹۷۸۴	۰/۰۰۰۴۹۷	۰	۰/۰۹۳۶۱	۰/۴۵۵۰۸	۸۲۷	۰/۰۹۴۰۴۶	۲۶۳۷۳۵	۰/۰۹۳۶۱	۶
۳/۹۴۱۲	۳/۵۵۵۳	۰/۰۰۲۴۷۵	۳/۹	۰/۰۶۶۳۸	۵/۴۱	۱۰۰۴	۰/۰۶۷۳۴	۰/۰۰۰۵۷۹	۰/۲۲	۰/۰۶۴۰۲	۱/۲۶۱۷۴	۸۷۲	۰/۰۶۶۸۶	۳۷۵۷۳۴	۰/۰۶۳۸۸	۷
۴/۰۰۳۶	۰/۸۵۰۷	۰/۰۰۰۵۸۶۱	۲/۰۳	۰/۱۰۵۸	۷/۹۳	۱۱۰۲	۰/۱۱۱۹	۰/۰۰۲۲۱	۱/۱۵	۰/۱۰۴۹	۳/۵۸۷۳	۸۹۰	۰/۱۰۷۴۲	۴۶۸۳۲۲	۰/۱۰۳۷	۸
۳/۰۱۹۵	۰/۸۶۴۸	۰/۰۰۲۴۷۹	۱/۰۹	۴/۲۱۷	۸۷۸/۶۲۵	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۲۰۳	۱/۱۰۳۵	۷۳۱/۱۲۵	۲۱۷۰۲۲	میانگین				

جدول ۸. تقاضای مناطق آسیب‌دیده (۱۰۰۰*)

	پیرچند	قابی	زیرکوه	سریشنه	سرایان	اسدیه	پیشویه	فردوس	گران
دوره ۱	کالای ۱	(۸۵,۹۰,۹۸)	(۲۴۰,۲۵۰,۲۶۰)	(۲۴۰,۲۴۰,۲۵۰)	(۲۸,۳۰,۳۲)	(۶۵,۶۵,۷۰)	(۳۰,۳۰,۳۳)	(۴۰,۴۰,۴۲)	کالای ۱
دوره ۱	کالای ۲	(۱۰۰,۱۲۰,۱۲۵)	(۱۰۰,۱۲۰,۱۲۵)	(۲۰,۲۵,۲۷)	(۳۰,۳۲,۳۶)	(۱۵۰,۱۵۵,۱۶۵)	(۲۰,۳۲,۳۶)	(۴۰,۴۵,۴۷)	کالای ۲
دوره ۲	کالای ۱	(۷۶,۸۰,۸۳)	(۲۵,۲۷,۳۰)	(۱۰۰,۱۰,۵۱۲۰)	(۱۸,۱۸,۲۰)	(۱۱۵,۱۱۷,۱۲۲)	(۲۱۶,۲۲۵,۲۳۵)	(۳۷,۴۰,۴۳)	کالای ۱
دوره ۲	کالای ۲	(۸۰,۸۵,۹۰)	(۲۸,۳۰,۳۳)	(۱۹,۰۲,۰۲)	(۲۶,۳۰,۳۴)	(۹۳,۹۵,۹۶)	(۲۰۰,۲۲,۳۰)	(۴۰,۴۰,۴۵)	کالای ۲
دوره ۳	کالای ۱	(۱۲۰,۱۲۵,۱۳۵)	(۲۳,۲۵,۲۶)	(۱۷,۱۸,۱۸)	(۲۵,۲۷,۳۰)	(۱۰۰,۱۱,۱۰,۱۲۰)	(۲۰,۲۰,۲۴)	(۳۲,۳۵,۳۸)	کالای ۱
دوره ۳	کالای ۲	(۱۲۰,۱۲۰,۱۳۰)	(۱۹,۰۲,۰۲)	(۲۵,۲۷,۲۸)	(۲۵,۲۷,۳۰)	(۱۴۰,۱۴۵,۱۵۵)	(۲۵,۲۸,۳۰)	(۳۴,۳۸,۴۰)	کالای ۲

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

کالا	مشهد	زادهان	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	(۹۶,۱۰,۸,۱۲۶)	(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 می‌شود که میانگین جواب‌ها در همه مسایل برای الگوریتم ژنتیک بهتر از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید است و برای بهترین جواب تنها در ۴ مورد از ۱۷ مورد الگوریتم شبیه‌سازی تبرید جواب بهتری داده است.

برای مقایسه دو الگوریتم از شاخص‌های PRBS% و PRAS% استفاده شده است که به کمک روابط زیر به دست می‌آیند.

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

با بررسی دو شاخص متوسط PRAS% و PRBS% مشاهده می‌شود برای هر دو شاخص الگوریتم ژنتیک بهتر از الگوریتم شبیه سازی تبیرید می‌باشد.

جدول ۱۰. مقایسه الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبیرید

مساله	شماره	الگوریتم ژنتیک در ۱۰ نکار										میانگین	
		الگوریتم شبیه سازی تبیرید در ۱۰ نکار					الگوریتم ژنتیک در ۱۰ نکار						
		انحراف	بهترین	میانگین	زمان	جواب	انحراف	بهترین	میانگین	زمان	جواب		
استاندارد	استاندارد	استاندارد	استاندارد	استاندارد	(ثانیه)	جواب	استاندارد	استاندارد	استاندارد	استاندارد	جواب	میانگین	
PRAS%	PRBS%											میانگین	
۳/۳۰۴۸	۰/۷۵۵۱	۰/۰۰۲۵۵۹	۰/۰۶۳۵۷	۳۳۷۴	۰/۰۶۶۵۴	۰/۰۰۱۰۵	۰/۰۶۳۰۹	۳۲۸۲	۰/۰۶۴۳۴	۰/۰۶۴۳۴	۹	۰/۰۶۴۳۴	
۶/۰۹۷۲	-۰/۳۶۷۷	۰/۰۰۴۶۸۲	۰/۰۵۷۱۱	۳۷۶۲	۰/۰۶۲۴۰	۰/۰۰۰۹۹۶	۰/۰۵۷۳۲	۳۴۶۸	۰/۰۵۸۶۰	۰/۰۵۸۶۰	۱۰	۰/۰۵۸۶۰	
۹/۷۶۰۸	۱/۳۴۷۹	۰/۰۰۵۱۳۶	۰/۰۷۴۱۹	۴۰۱۲	۰/۰۸۳۰۶	۰/۰۰۱۱۰۸	۰/۰۷۳۱۹	۲۸۹۷	۰/۰۷۴۹۵	۰/۰۷۴۹۵	۱۱	۰/۰۷۴۹۵	
۷/۷۹۴۳	۲/۰۰۸۰	۰/۰۰۳۱۸۷	۰/۰۴۷۸۱	۴۴۹۱	۰/۰۵۲۷۲	۰/۰۰۱۱۳۱	۰/۰۴۶۸۵	۴۳۶۲	۰/۰۴۸۶۱	۰/۰۴۸۶۱	۱۲	۰/۰۴۸۶۱	
۶/۴۳۸۲	-۱/۷۰۹۱	۰/۰۰۲۹۹۹	۰/۰۳۲۱۸	۴۸۲۷	۰/۰۳۷۵۳	۰/۰۰۲۱۵	۰/۰۳۲۷۳	۴۶۹۸	۰/۰۳۵۱۱	۰/۰۳۵۱۱	۱۳	۰/۰۳۵۱۱	
۳/۲۰۴۳	۱/۵۹۱۷	۰/۰۰۴۰۳۵	۰/۰۷۴۰۴	۵۱۰۵	۰/۰۷۸۳۰	۰/۰۰۲۴۲۵	۰/۰۷۲۸۶	۴۹۹۱	۰/۰۷۵۷۹	۰/۰۷۵۷۹	۱۴	۰/۰۷۵۷۹	
۳/۹۷۶۲	۱/۱۵۴۵۱	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۸۲۸۴	۵۵۲۹	۰/۰۸۸۸۰	۰/۰۰۳۱۵۱	۰/۰۸۱۵۶	۵۳۱۹	۰/۰۸۰۳۴	۰/۰۸۰۳۴	۱۵	۰/۰۸۰۳۴	
۰/۹۷۴۴	-۱/۲۲۱۲	۰/۰۰۴۱۵۲	۰/۰۳۵۲۱	۵۹۴۱	۰/۰۳۹۷۱	۰/۰۰۲۵۹۵	۰/۰۳۵۶۴	۵۷۷۱	۰/۰۳۹۳۳	۰/۰۳۹۳۳	۱۶	۰/۰۳۹۳۳	
۳/۱۷۱۱	۱/۵۹۱۳	۰/۰۰۵۲۴۷	۰/۰۷۵۴۱	۳۸۹۳	۰/۰۸۱۲۰	۰/۰۰۳۵۱۷	۰/۰۷۴۲۱	۳۷۹۶	۰/۰۷۸۶۳	۰/۰۷۸۶۳	۱۷	۰/۰۷۸۶۳	
۱۰/۱۷۹۳	۶/۲۹۲۵	۰/۰۱۳۹۵۱	۰/۱۱۷۶	۴۱۲۶	۰/۱۳۱۱	۰/۰۴۴۸۸	۰/۱۱۰۲	۳۹۲۷	۰/۱۱۷۷	۰/۱۱۷۷	۱۸	۰/۱۱۷۷	
۶/۳۳۲۰	۱/۹۳۴۵	۰/۰۰۴۸۵۴	۰/۰۷۳۹۲	۴۴۳۹	۰/۰۸۲۸۵	۰/۰۰۵۱۱۷	۰/۰۷۲۴۹	۴۱۸۳	۰/۰۷۷۶۰	۰/۰۷۷۶۰	۱۹	۰/۰۷۷۶۰	
۵/۸۷۹۳	۲/۳۷۷۰	۰/۰۰۴۷۰۹	۰/۰۸۳۷۲	۴۷۱۹	۰/۰۹۳۰۶	۰/۰۰۳۳۴۱	۰/۰۸۱۷۳	۴۴۰۹	۰/۰۸۷۵۸	۰/۰۸۷۵۸	۲۰	۰/۰۸۷۵۸	
۱۲/۴۸۷۴	۷/۱۴۹۲	۰/۰۰۲۸۳۲	۰/۰۲۲۴۸	۴۹۸۲	۰/۰۲۵۳۹	۰/۰۰۲۱۵۱	۰/۰۲۰۷۸	۴۷۶۲	۰/۰۲۳۱۰	۰/۰۲۳۱۰	۲۱	۰/۰۲۳۱۰	
۸/۲۷۲۰	۱/۵۱۶۸	۰/۰۱۴۰۸	۰/۰۹۸۸۹	۵۳۰۴	۰/۱۱۵۲	۰/۰۰۹۴۲۲	۰/۰۹۷۳۹	۴۹۸۱	۰/۱۰۵۶	۰/۱۰۵۶	۲۲	۰/۱۰۵۶	
۱۲/۱۵۳۸	۱۳/۷۵۷۵	۰/۰۱۱۱۰۵	۰/۱۱۶۳	۵۷۲۳	۰/۱۳۶۸	۰/۰۲۱۰۴	۰/۱۰۰۳	۵۳۲۵	۰/۱۲۰۲	۰/۱۲۰۲	۲۳	۰/۱۲۰۲	
۶/۶۸۸۸	-۰/۰۴۳۹۴	۰/۰۰۶۵۹۲	۰/۰۶۸۲۸	۵۹۹۴	۰/۰۷۹۸۵	۰/۰۰۶۲۵۶	۰/۰۶۸۳۱	۵۵۹۱	۰/۰۷۴۰۱	۰/۰۷۴۰۱	۲۴	۰/۰۷۴۰۱	
۹/۳۵۶۰	۱/۷۱۵۸	۰/۰۲۴۷۳۷	۰/۰۹۹۰۸	۶۳۵۵	۰/۱۲۴۳	۰/۰۱۱۰۲۴	۰/۰۹۷۳۸	۵۷۶۹	۰/۱۱۲۷	۰/۱۱۲۷	۲۵	۰/۱۱۲۷	
۶/۸۲۸	۲/۳۶۷	۰/۰۰۷۰۶۶	۴۸۵۷/۴۱		۰/۰۰۴۷۴		۴۶۱۹/۴۷		میانگین			میانگین	

۷ مطالعه موردی

در این قسمت یک مثال به عنوان مطالعه موردی ارایه و تشریح می‌شود. 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 می‌باشد و ۹ شهر بیرجند، قاین، اسدیه، نهبندان، فردوس، زیرکوه، سرایان، سریشه و بشرویه به عنوان مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است. هزینه راه اندازی انبارهای موقت (۳۶۰۰۰۰۰۰۰، ۳۷۰۰۰۰۰۰۰، ۳۸۰۰۰۰۰۰) و اطلاعات مساله شامل هزینه جابه‌جایی بین مناطق بر اساس اطلاعات واقعی بوده؛ نسبتی از فاصله بین مناطق می‌باشد. در این مدل فرض کرده‌ایم که هر منطقه می‌تواند 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 برنامه‌ریزی برابر ۳ دوره می‌باشد؛ حل گردیده است. میزان تقاضای نقاط آسیب‌دیده به صورت اعداد فازی مثلثی در جدول (۸) آمده و میزان موجودی مراکز تامین نیز در جدول (۹) ارایه شده است. شکل ۵ نقشه استان خراسان جنوبی را نشان می‌دهد.

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 $t=1$ در نظر گرفته می‌شود که بر اساس نظر خبرگان می‌باشد. همان‌گونه که در جدول (۱۱) دیده می‌شود در دوره اول سه شهر بیرونی، نهادن و قاین به عنوان انبارهای موقع انتخاب می‌گردد، که این انتخاب با توجه به میزان تقاضا و هزینه جابه‌جایی بین مناطق مختلف یعنی مناطق آسیب‌دیده و مراکز تامین صورت گرفته است. در دوره بعد چون میزان تقاضاها تغییر می‌کند بنابراین، مدل تصمیم به ایجاد یک انبار موقع جدید در شهرستان فردوس می‌نماید. همچنین با بررسی جدول (۱۲) مشاهده می‌شود که در اکثر حالات، سعی شده است کل تقاضای هر منطقه آسیب‌دیده از طریق یک انبار موقع تامین گردد؛ زیرا این امر موجب کاهش هزینه‌های جابه‌جایی می‌گردد. با بررسی نتایج حاصل از مدل و داده‌های ورودی مساله مشاهده می‌شود استقرار انبارهای موقع بر اساس میزان فاصله از تامین کننده و همچنین فاصله انبار موقع با مناطق آسیب‌دیده صورت می‌پذیرد. همچنین بر اساس تابع هدف دوم سعی می‌شود همه مناطق آسیب‌دیده 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 شده‌از مرکز تامین کالا به مرکز توزیع موقت (۱۰۰۰*)

فردوس	اسدیه	نهیدان	قاین	بیر جند	
			۱۰۰	کرمان	کالای ۱
۱۰۰				زاهدان	
۱۴۹				مشهد	
			۱۵۰	کرمان	کالای ۲
۹۹				زاهدان	
۱۸۷				مشهد	
			۱۰۳	کرمان	کالای ۱
۱۰۳				زاهدان	
۹۷			۳۳	مشهد	
			۱۳۰	کرمان	کالای ۲
۱۲۵				زاهدان	
۹۸			۱۲	مشهد	
			۹۹	کرمان	کالای ۱
۹۸				زاهدان	
۴۸			۱۰۵	مشهد	
			۱۴۰	کرمان	کالای ۲
۸۵				زاهدان	
۴۸			۴۷	مشهد	

۸ نتیجه‌گیری

فعالیت‌های لجستیکی یکی از اقدامات مهم و اساسی در فاز پاسخ مدیریت زنجیره امداد می‌باشد و انجام برنامه‌ریزی‌های منسجم می‌تواند موجب افزایش کارایی در مواجه 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 شده است. 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 گرفته است. 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 گردیده است. با توجه به درجه پیچیدگی مساله یک الگوریتم ژنتیک و یک الگوریتم شبیه سازی 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 کرده است 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 ایثارهای موقع و مناطق آسیب‌دیده (۱۰۰۰*)

بیرجند قاین زیرکوه نهیندان سربیشه سرایان اسدیه بشرویه فردوس						
		کالای ۱		کالای ۲		
		۵۴		۴۶		بیرجند
		۸۷		۶۳		کالای ۲
نهیندان	۲۹		۹	۱۳	۴۹	کالای ۱
	۶۷		۱۳	۱۹		کالای ۲
قاین	۱۷	۱۳	۱۳		۱۰۶	کالای ۱
	۲۵	۱۸	۱۸	۱۸	۴	کالای ۲
فردوسر	۵۲		۱۰		۴۱	کالای ۱
	۲۷		۱۳	۳۸	۵۲	کالای ۲
نهیندان	۶۵		۱۴	۲۴		کالای ۱
	۱۰۷		۱۸			کالای ۲
دوره ۱	۳۳		۱۰		۱۰	کالای ۱
	۱۲					کالای ۲
فردوسر	۲۱	۶۰	۱۶			کالای ۱
	۲۴	۵۶	۱۸			کالای ۲
نهیندان	۱۸		۱۰	۱۴	۳۵	کالای ۱
	۶۲		۱۱	۱۴	۱۱	کالای ۲
دوره ۲	۶۲		۲۹			کالای ۱
	۵۶		۲۹			کالای ۲
فردوسر	۲۰	۱۲	۱۶		۳۴	کالای ۱
	۲۰	۱۳	۱۵		۷۱	کالای ۲
دوره ۳	۱۳		۲۴		۱۳	کالای ۱
	۲۰					کالای ۲

منابع

[۲۱] علی‌ثراد، 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 چنددهفه. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، شماره ۳۶، ص ۹۷-۸۹.

- [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] Akkhal, 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 Jersey.
- [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.