مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال یازدهم، شماره دوم (پیاپی ۴۱)، تابستان ۹۳، ص ص ۵۰-۲۷
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

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

فرناز برزین‌پور*[1]، محسن صفاریان[2]، ابراهیم تیموری[1]
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 موقت 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 مراکز تامین به صورت غیرقطعی و فازی در نظر گرفته شده‌است. 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 ارایه شده‌است که برای مسایل با سایز کوچک با جواب دقیق حاصل از نرم افزار لینگو مقایسه شده‌اند. برای مسایل با سایز 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

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

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 [۲و۳]. یکی از بخش‌های لجستیک که در شرایط بحرانی می‌تواند نقش راهبردی داشته باشد؛ مکانیابی از پیش انبارها و ذخیره سازی موجودی در آن‌هاست [۲]. 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 تئوری و هم کاربرد به طور بسیار گسترده‌ای صورت گرفته استولی از این مسایل در حوزه امداد انسان‌دوستانه تاکنون استفاده چندانی نشده[۵].

از آنجایی‌که 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 آسیب‌دیده در زمان بحرآن‌های 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 شده‌است و در بخش ۶ نتایج محاسباتی، در بخش ۷ مطالعه موردی و در نهایت در بخش ۸ نتیجه‌گیری ارایه می‌گردد.

۲ مروری بر ادبیات موضوع

گرچه مکانیابی و تعیین ظرفیت تسهیلات در مدیریت بلایا جزو مباحث اساسی هستند ولی تحقیقات کمی در این زمینه به‌عنوان برنامه‌ریزی از پیش، متمرکز شده‌است[۶].

آکیهال[۷] به ارایه یک مدل برای مکانیابی مراکز مدیریت بحران جهت مدیریت کالاهای امدادی پرداخته است. تزنگ و همکاران[۸] یک مدل چند معیاره قطعی برای توزیع کالاهای امداد به مناطق آسیب‌دیده با مد نظر قرار دادن هزینه، زمان پاسخ‌گویی و میزان رضایت آسیب‌دیدگان ارایه نمودند و آن را به کمک برنامه‌ریزی چند هدفه فازی حل کردند. بالکیک و بیمون [۲] در سال ۲۰۰۸ مکانیابی تسهیلات در لجستیک امداد برای پاسخ‌گویی به آسیب‌دیدگان 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

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

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 ارایه کردند. مته و زیبنسکی [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 شده‌است. 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؛ طوری‌که 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 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 موردی 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 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. بنابرین می‌توان در طول آن ۷۲ ساعت بر اساس اطلاعات حاصل از مناطق آسیب‌دیده برای دوره‌های بعد برنامه‌ریزی جدیدی انجام داد؛ طوری‌که با حداقل میزان هزینه صورت گرفته؛ در کمترین زمان، بیشترین میزان خدمت‌رسانی را جهت افزایش رضایتمندی آسیب‌دیدگان به اجرا گذاشت. در این تحقیق، هدف ارایه مدلی است که به مکانیابی دوره‌ای مراکز

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

توزیع و همچنین نحوه توزیع کالاها بین مناطق آسیب‌دیده بپردازد طوریکه هزینه راه‌اندازی مراکز توزیع موقت و همچنین هزینه تخصیص کالا حداقل شده؛ میزان حداقل سطح پوشش تقاضای مناطق آسیب‌دیده حداکثر گردد.

۳ بیان مساله و مفروضات مدل

یک سیستم سه سطحی شامل تامین‌کنندگان کالاهای امدادی، انبارهای موقت و مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است. در این سیستم، شهرهایی به عنوان تامین‌کنندگان در نظر گرفته می‌شود و مناطقی به عنوان نقاط کاندیدا جهت استقرار انبارهای موقت 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 موقت فعال در دوره‌های مختلف و همچنین نحوه توزیع کالاها بین مناطق مختلف در دوره‌های برنامه‌ریزی به قسمی است که هزینه ها حداقل و سطح پوشش حداکثر گردد. لازم به ذکر است امکان جابه‌جایی کالا بین مراکز تامین و انبارهای موقت فعال وجود دارد و کالاها از مراکز تامین به انبارهای موقت جابه‌جا شده؛ از آنجا بین مناطق آسیب‌دیده توزیع می‌شوند. مکانیابی و توزیع کالا، باید به صورتی انجام پذیرد که نخست هزینه‌های جابه‌جایی کالاها حداقل شود و سپس رعایت انصاف و عدالت در توزیع کالا صورت گیرد.

۳-۱ 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 موقت وجود دارد.

۳-۲ شناسگرهای مدل

I_t : مجموعه مراکز تامین در دوره t

J_t: مجموعه نقاط کاندیدا جهت استقرار انبارهای موقت در دوره t

K_t: مجموعه مناطق آسیب‌دیده در دوره t

C : مجموعه کالاهای امدادی

T : مجموعه دوره‌های برنامه‌ریزی

i: شناسگر مربوط به مراکز تامین

j :شناسگر مربوط به انبارهای موقت

k: شناسگر مربوط به مناطق آسیب‌دیده

c: شناسگر مربوط به کالا

t: شناسگر مربوط به دوره‌های برنامه‌ریزی

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

۳-۳ پارامترهای مدل

$\tilde{C}_{1_{cijt}}$: هزینه جابه‌جایی هر واحد کالای c از تامین کننده i به انبار موقت j در دوره t که یک عدد فازی مثلثی می‌باشد.

$\tilde{C}_{2_{cjkt}}$: هزینه جابه‌جایی هر واحد کالای c از انبار موقت j به منطقه آسیب‌دیده k در دوره t که یک عدد فازی مثلثی می‌باشد.

$\tilde{C}_{3_c}$: 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.

c_t: حداکثر تعداد مراکز توزیع فعال در دوره t

۴-۳ متغیرهای تصمیم

$x_{1_{cijt}}$: مقدار کالای c که از تامین کننده i به انبار موقت j منتقل می‌شود.

$x_{2_{cjkt}}$: 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.

۵-۳ مدل ریاضی پیشنهاد شده

$$\min f_1 = \sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{i\in I_t}\sum_{j\in J_t}\tilde{c}_{1_{cijt}}x_{1_{cijt}} + \sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{k\in K_t}\sum_{j\in J_t}\tilde{c}_{2_{cjkt}}x_{2_{cjkt}}$$
$$\sum_{t\in T}\sum_{j\in J_t}\max(0, y_{jt} - \sum_{l=1}^{t-1} y_{lt})\tilde{q}_j + \sum_{t\in T}\sum_{k\in K_t}\sum_{c\in C} p_c\left(\tilde{d}_{ckt} - \sum_{j\in J_t} x_{2_{cjkt}}\right) + \sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{j\in J_t}\tilde{c}_{3_c} inv_{jct} \quad (1)$$

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

$$\sum_{i\in I_t} x_{1_{cijt}} + Inv_{jc(t-1)}y_{j(t-1)} - \sum_{k\in K_t} x_{2_{cjkt}} = Inv_{jct} \qquad \forall t\in T, j\in J_t, c\in C \quad (3)$$

$$\sum_{c\in C}\sum_{i\in I_t} x_{1_{cijt}} + \sum_{c\in C}\sum_{k\in K_t} x_{2_{cjkt}} \le Mbig \times y_{jt} \qquad \forall t\in T, j\in J_t \quad (4)$$

$$\sum_{j\in J_t} x_{2_{cjkt}} \le \tilde{d}_{ckt} \qquad \forall t\in T, c\in C, k\in K_t \quad (5)$$

$$\sum_{j\in J_t} x_{1_{cijt}} \le \tilde{S}_{ict} \qquad \forall t\in T, i\in I_t, c\in C \quad (6)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

$$\sum_{j\in J_t} y_{jt} \le C_t \qquad \forall t \in T \qquad (۷)$$

$$Inv_{jc|T|} = 0 \qquad \forall j \in J_{|T|}, c \in C \qquad (۸)$$

$$x_{۱cijt} \in Integer \ge ۰ \qquad \forall t \in T, j \in J_t, i \in I_t, c \in C \qquad (۹)$$

$$x_{۲cjkt} \in Integer \ge ۰ \qquad \forall t \in T, j \in J_t, k \in K_t, c \in C \qquad (۱۰)$$

$$Inv_{jct} \in Integer \ge 0 \qquad \forall t \in T, j \in J_t, c \in C \qquad (۱۱)$$

$$y_{jt} \in \ge \{۰,۱\} \qquad \forall t \in T, j \in J_t \qquad (۱۲)$$

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 به‌علاوه 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 می کند 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.

$$\begin{aligned}\min f_۱ = &\sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{i\in I_t}\sum_{j\in J_t}\left(\tilde{c}^u_{۱cijt} - \tilde{c}^m_{۱cijt}\right)x_{۱cijt} + \sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{k\in K_t}\sum_{j\in J_t}\left(\tilde{c}^u_{۲cjkt} - \tilde{c}^m_{۲cjkt}\right)x_{۲cjkt} \\ &\sum_{t\in T}\sum_{j\in J_t}\max(۰, y_{jt} - \sum_{l=۱}^{t-۱} y_{lt})\left(\tilde{q}^u_j - \tilde{q}^m_j\right) + \sum_{t\in T}\sum_{k\in K_t}\sum_{c\in C} p_c\left(\left(\tilde{d}^u_{ckt} - \tilde{d}^m_{ckt}\right) - \sum_{j\in J_t} x_{۲cjkt}\right) + \\ &\sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{j\in J_t}\left(\tilde{c}^u_{۳c} - \tilde{c}^m_{۳c}\right) inv_{jct}\end{aligned} \qquad (۱۳)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

$$\min f_{12} = \sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{i\in I_t}\sum_{j\in J_t}\tilde{c}^{m}_{1cijt}\,x_{1cijt} + \sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{k\in K_t}\sum_{j\in J_t}\tilde{c}^{m}_{2cjkt}\,x_{2cjkt}$$
$$\sum_{t\in T}\sum_{j\in J_t}\max(0, y_{jt} - \sum_{l=1}^{t-1} y_{lt})\tilde{q}^{m}_{j} + \sum_{t\in T}\sum_{k\in K_t}\sum_{c\in C} p_c\left(\left(\tilde{d}^{m}_{ckt}\right) - \sum_{j\in J_t} x_{2cjkt}\right) + \sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{j\in J_t}\tilde{c}^{m}_{3c}\,inv_{jct} \qquad (14)$$

$$\min f_{13} = \sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{i\in I_t}\sum_{j\in J_t}\left(\tilde{c}^{m}_{1cijt} - \tilde{c}^{l}_{1cijt}\right)x_{1cijt} + \sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{k\in K_t}\sum_{j\in J_t}\left(\tilde{c}^{m}_{2cjkt} - \tilde{c}^{l}_{2cjkt}\right)x_{2cjkt}$$
$$\sum_{t\in T}\sum_{j\in J_t}\max(0, y_{jt} - \sum_{l=1}^{t-1} y_{lt})\left(\tilde{q}^{m}_{j} - \tilde{q}^{l}_{j}\right) + \sum_{t\in T}\sum_{k\in K_t}\sum_{c\in C} p_c\left(\left(\tilde{d}^{m}_{ckt} - \tilde{d}^{l}_{ckt}\right) - \sum_{j\in J_t} x_{2cjkt}\right) + \qquad (15)$$
$$\sum_{t\in T}\sum_{c\in C}\sum_{j\in J_t}\left(\tilde{c}^{m}_{3c} - \tilde{c}^{l}_{3c}\right)inv_{jct}$$

۳-۶ خطی سازی و فازی زدایی مدل

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

$$\max f_2 = \sum_{t\in T}\sum_{c\in C} y'_{tc} \qquad (16)$$

$$y'_{tc} \le \frac{\sum_{j\in J_t} x_{2cjkt}}{\tilde{d}_{ckt}} \qquad \forall t\in T, k\in K_t, c\in C \qquad (17)$$

با توجه به اینکه عبارت $Inv_{jc(t-1)}y_{j(t-1)}$ در محدویت (۳) یک عبارت غیر خطی است برای خطی‌سازی آن، مقدار $Invy_{jc(t-1)}$ را با شرایط زیر جای‌گزین آن می‌کنیم

$$Invy_{jc(t-1)} \le Inv_{jc(t-1)} \qquad \forall t\in T, j\in J_t, c\in C \qquad (18)$$
$$Invy_{jc(t-1)} \le Mbig \times y_{j(t-1)} \qquad \forall t\in T, j\in J_t, c\in C \qquad (19)$$
$$Invy_{jc(t-1)} \ge Inv_{jc(t-1)} - Mbig \times \left(1 - y_{j(t-1)}\right) \qquad \forall t\in T, j\in J_t, c\in C \qquad (20)$$

برای فازی زدایی محدودیت‌های مدل، از روش مرکز ناحیه استفاده می‌کنیم [۱۱]، که در نتیجه، محدودیت‌ها به صورت زیر در می‌آیند.

$$y'_{tc} \le \frac{\sum_{j\in J_t} x_{2cjkt}}{\frac{\left(d^{u}_{ckt} - d^{l}_{ckt}\right) + \left(d^{m}_{ckt} - d^{l}_{ckt}\right)}{3} + d^{l}_{ckt}} \qquad \forall t\in T, k\in K_t, c\in C \qquad (21)$$

$$\sum_{j\in J_t} x_{2cjkt} \le \frac{\left(d^{u}_{ckt} - d^{l}_{ckt}\right) + \left(d^{m}_{ckt} - d^{l}_{ckt}\right)}{3} + d^{l}_{ckt} \qquad \forall t\in T, k\in K_t, c\in C \qquad (22)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

$$\sum_{j\in J_t} x_{1cjkt} \le \frac{\left(s^u_{ict}-s^l_{ict}\right)+\left(s^m_{ict}-s^l_{ict}\right)}{3}+s^l_{ict} \qquad \forall t\in T, i\in I_t, c\in C \qquad (۲۳)$$

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

MOLP:

(۱۳)-(۱۶) (۲۴)

s.t.

(۳)-(۴)،(۷)-(۱۲)،(۱۸)-(۲۳)

۳-۷ روش معیار جامع برای حل مدل چند هدفه

مدل چند هدفه زیر را در نظر بگیرید

$$\max \ [f_1(x),...,f_k(x)] \qquad (۲۵)$$
$$g_i(x)\ge 0$$

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 $f_i^*(x)$ نمایش دهیم. حال مدل زیر را تشکیل می‌دهیم.

$$\min \ F(x)=\left[\sum_{i=1}^{k} w_i \left(\frac{f^*_i(x)-f_i(x)}{f^*_i(x)}\right)^r\right]^{\frac{1}{r}} \qquad (۲۶)$$
$$g_i(x)\ge 0$$

در مدل فوق w_i 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 [۱۹و۲۰ و۲۱].

٤ 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 مسایل بهینه‌یابی می‌باشد. مراحل زیر را برای پیاده سازی الگوریتم مذکور یک به یک توضیح می‌دهیم.

٤-١ 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.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

ماتریس اول، ماتریس Location است که مربوط به انبارهای موقت 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 ستون های آن تعداد نقاط کاندیدا را جهت استقرار انبارهای موقت 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.

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

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

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

ماتریس سوم، ماتریس Deli_Demand است که متناظر با هر کالا، یک ماتریس مرکب شامل |T| زیر ماتریس با ابعاد $|J_t|\times\max_{t\in T}|K_t|$ در اختیار است. هر عنصر این زیر ماتریس‌ها، میزان کالایی را که انبار موقت 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 موقت، شروع به تخصیص کالا از انبار موقت فعال به منطقه آسیب‌دیده می‌کنیم.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

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

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 موقت نشان می‌دهد.

$$Inventory_|c|=\begin{bmatrix} inv_{11} & inv_{12} & \dots & inv_{1|T|}\\ inv_{21} & inv_{22} & \dots & inv_{2|T|}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ inv_{|J_1|1} & inv_{|J_2|2} & \dots & inv_{|J_{|T|}||T|}\end{bmatrix}_{\max_{t\in T}|J_t|\times|T|}$$

۴-۲ ایجاد جمعیت اولیه

اولین مرحله بعد از تعیین روشی که برای تبدیل هر جواب به یک کروموزوم به‌کار 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.

$$\left[\frac{\sum_{i\in I_t}\tilde{C}_{1cijt}}{\tilde{C}_{1c1jt}},\frac{\sum_{i\in I_t}\tilde{C}_{1cijt}}{\tilde{C}_{1c2jt}},\dots,\frac{\sum_{i\in I_t}\tilde{C}_{1cijt}}{\tilde{C}_{1c|I_t|jt}}\right] \qquad (۲۷)$$

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 $List_{depot}=\left(d_1,d_2,\dots,d_{|I_t|}\right)$ در نظر می‌گیریم. اینک برای تولید ستون jام 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

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

بین $D_{d_1jct} = \left[\circ, S_{d_1ct}\right]$ به‌دست آورده می‌شود و سپس موجودی مرکز تامین d_1 به روز رسانی می‌گردد. در ادامه میزان کالای دریافتی مرکز توزیع j از مرکز تامین d_2 به صورت یک مقدار تصادفی بین $D_{d_1jct} = \left[\circ, \min(S_{d_2ct}, D_{d_1jct})\right]$ به‌دست می‌آید و موجودی مرکز تامین d_2 نیز به روز رسانی می‌گردد. عمل فوق تا مشخص شدن تمام مقادیر ستون jام زیر ماتریس tام 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.

$$\left[\frac{\sum_{j\in J_t}\tilde{c}_{2cjkt}}{\tilde{c}_{2c1kt}}, \frac{\sum_{j\in J_t}\tilde{c}_{2cjkt}}{\tilde{c}_{2c2kt}}, ..., \frac{\sum_{j\in J_t}\tilde{c}_{2cjkt}}{\tilde{c}_{2c|J_t|kt}}\right] \qquad (۲۸)$$

همان‌طور 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 به‌دست آورده؛ با تقسیم آن‌ها بر یکدیگر حداکثر میزان پوشش هر منطقه آسیب دیده به‌دست می‌آید. اینک 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_demand و Deli_depot ماتریس‌های Inventory نیز قابل محاسبه می باشند.

۳-٤ مکانیزم نمونه‌گیری

مکانیزم نمونه‌گیری به چگونگی انتخاب کروموزوم‌ها از فضای نمونه‌گیری مربوط می‌شود. در این تحقیق از روش انتخاب براساس تورنامنت استفاده شده‌است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

٤-٤ عملگرهای ژنتیکی

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

٤-٤-١ 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 (١) نحوه انجام عمل تقاطع را نشان می‌دهد.

٤-٤-٢ 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 هردوره 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 ٣-٢- مقداردهی مجدد می‌گردد. شکل (٢) نحوه انجام عمل جهش را نشان می‌دهد.

در عملگر جهش دوم، در هر دوره یک انبار موقت 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_demand و Deli_depot بر اساس روش گفته شده در قسمت ٣-٢- مقدار دهی مجدد می‌گردد.

٤-٥ انتخاب براساس نخبه‌گرایی

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

٤-٦ معیار توقف الگوریتم

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

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

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

والد اول

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

والد دوم

شکل ۱-الف. قبل از عملگر تقاطع

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

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

فرزند دوم

شکل ۱-ب. بعد از عملگر تقاط

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

قبل از جهش

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

بعد 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 طوری‌که 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 $e^{-\Delta/T} \geq r$ باز هم می‌توان آن را پذیرفت. در این رابطه r یک عدد تصادفی است که با استفاده از تصادفی یکنواخت بین ۰ و

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

۱ تولید می‌شود. Δ اختلاف بین مقادیر تابع هزینه جواب جاری و همسایگی جدید و T دمای جاری می‌باشد. 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 می‌کند و بنابراین در مراحل اولیه شبیه‌سازی تبرید حرکت‌های بدتر کننده جواب پذیرفته می‌شوند. اما در مراحل پایانی احتمال پذیرش جواب‌های بهبود دهنده بیشتر است. عملکرد الگوریتم تحت تاثیر فاکتورهایی نظیر: دمای اولیه، دمای نهایی، تعداد تکرار در هر دما و نرخ سرد شدن قرار می‌گیرد. برای نمایش اجزای این الگوریتم به صورت زیر عمل می‌کنیم.

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

٦ نتایج محاسباتی

در این قسمت الگوریتم‌های طراحی شده بر روی چند مساله نمونه که به صورت تصادفی تولید شده‌اند؛ مورد استفاده قرار می‌گیرد و کارایی آن‌ها مورد بررسی واقع می‌شود. 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.

همان‌طور که بیان شد الگوریتم ژنتیک و شبیه سازی تبرید شامل فاکتورها و پارامترهایی هستند که به نوعی بر روی نتایج نهایی و کارایی الگوریتم‌ها اثر می‌گذارند. بنابراین ترکیب مناسب این فاکتورها بر روی عملکرد الگوریتم‌ها 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 می‌شود؛ ترکیب بهینه پارامترها را به‌دست می‌آوریم. لازم به ذکر است برای مسایل کمینه‌سازی، مقدار S/N به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$S/N \ ratio = -۱۰\log_{۱۰}\left[\frac{۱}{n}\sum_{i=۱}^{n} y_i^{۲}\right] \qquad (۲۹)$$

برای هر فاکتور، سطحی که بیشترین مقدار S/N را داشته باشد؛ انتخاب می‌گردد. همچنین برای هر فاکتور، سطحی که کمترین مقدار متوسط تابع هدف را داشته باشد؛ در نظر گرفته می‌شود. به کمک این دو شاخص، بهترین ترکیب پارامترها در هر الگوریتم به‌دست می‌آید. در الگوریتم ژنتیک، چهار فاکتور شامل: نرخ تقاطع، نرخ جهش، اندازه جمعیت و تعداد نسل که هرکدام 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 می‌شود. در جدول (۱) و (۲) سطوح مختلف مربوط به پارامترهای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای مسایل با اندازه کوچک و بزرگ ارایه شده است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

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)
	۱	۰/۷	۰/۰۵	۸۰	۴۰۰۰
کوچک	۲	۰/۸	۰/۰۲	۱۰۰	۶۰۰۰
	۳	۰/۹	۰/۰۱	۱۲۰	۸۰۰۰
	۱	۰/۷	۰/۰۵	۱۰۰	۶۰۰۰
بزرگ	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)
	۱	۰/۹۵	۴۰	۰/۰۰۰۰۱	۲۵۰۰
کوچک	۲	۰/۹۶	۶۰	۰/۰۰۰۱	۴۰۰۰
	۳	۰/۹۷	۸۰	۰/۰۰۵	۵۵۰۰
	۱	۰/۹۷	۸۰	۰/۰۰۰۰۱	۳۵۰۰
بزرگ	۲	۰/۹۸	۱۰۰	۰/۰۰۰۱	۶۰۰۰
	۳	۰/۹۹	۱۲۰	۰/۰۰۵	۸۵۰۰

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

شماره آزمایش	فاکتور A	فاکتور B	فاکتور C	فاکتور D	شماره آزمایش	فاکتور A	فاکتور B	فاکتور C	فاکتور D
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 شبیه‌سازی تبرید طراحی شده در جدول (۶) و بهترین ترکیب پارامترها برای هرکدام از دو الگوریتم و برای مسایل کوچک و بزرگ در جدول (۵) ارایه گردیده است.

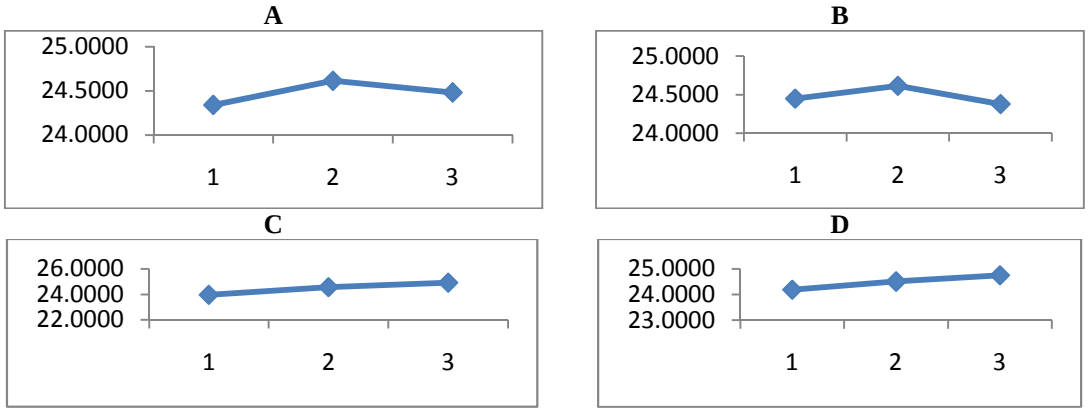
[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

جدول ٤. مشخصات مسایل نمونه کوچک و بزرگ

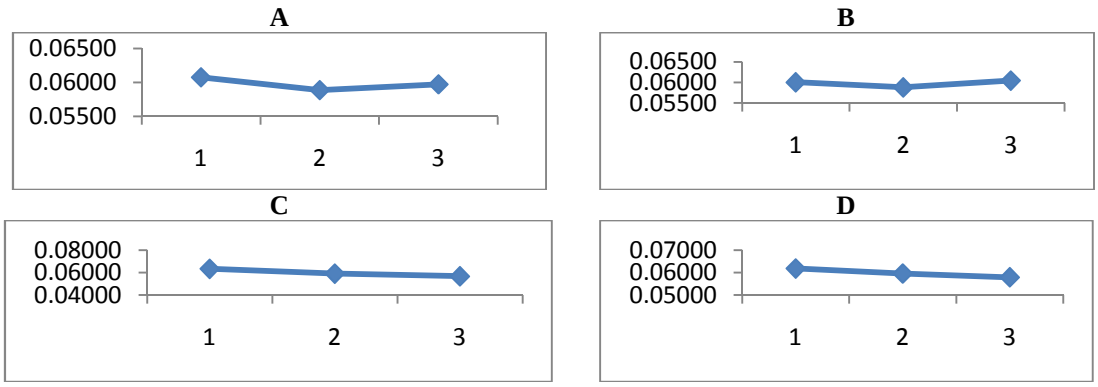
اندازه مساله	شماره مساله	تعداد دوره	تعداد مراکز تامین در دوره‌های مختلف	تعداد مناطق آسیب‌دیده در دوره‌های مختلف	حداکثر تعداد مراکز توزیع فعال در دوره‌های مختلف	تعداد مناطق جهت استقرار مراکز توزیع در دوره‌های مختلف
کوچک	۱	۳	(۱،۱،۱)	(۷،۷،۷)	(۱،۱،۱)	(۳،۴،۴)
	۲	۳	(۱،۱،۱)	(۹،۹،۹)	(۱،۲،۲)	(۳،۴،۴)
	۳	۳	(۳،۳،۳)	(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 شبیه‌سازی تبرید، مسایلی با سایز کوچک تولید می‌نماییم و ضمن حل آن به کمک نرم افزار لینگو و به‌دست آوردن جواب بهینه، آن مسایل را به کمک دو الگوریتم طراحی شده نیز حل کرده؛ نتایج در جدول (۷) آورده شده‌است. با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که از لحاظ زمانی هر دو الگوریتم در زمانی قابل قبول جواب‌های نسبتاً مناسبی تولید می‌کنند.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]



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



شکل ٤. 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 به‌دست 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 شبیه سازی تبرید دارند. از نظر زمان اجرا نیز الگوریتم ژنتیک به طور متوسط سریع‌تر از الگوریتم شبیه سازی تبرید جواب می‌دهد.

جدول۵. مقدار بهینه فاکتورها برای الگوریتم‌های 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

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

جدول ٦. 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/Nمیانگین 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
	میانگین تابع هدف	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/Nمیانگین 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
	میانگین تابع هدف	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 می‌شود. این مسایل به کمک لینگو بسیار دیر جواب می‌دهند لذا آن‌ها را به کمک الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه سازی تبرید حل کرده؛ نتایج حاصل را در جدول (۱۰) ارایه نموده‌ایم.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

جدول۷. مقایسه الگوریتم ژنتیک و شبیه سازی تبرید با لینگو

شماره مساله	لینگو			الگوریتم ژنتیک در ۱۰ تکرار					الگوریتم شبیه سازی تبرید در ۱۰ تکرار						PRBS%	PRAS%
	تایم هدف	زمان (ثانیه)	میانگین جواب	میانگین زمان (ثانیه)	متوسط درصد خطا	بهترین جواب	درصد خطای بهترین جواب	انحراف استاندارد	میانگین جواب	میانگین زمان (ثانیه)	متوسط درصد خطا	بهترین جواب	درصد خطای بهترین جواب	انحراف استاندارد		
۱	۰/۰۴۶۲۱	۵۸۵۲۶	۰/۰۴۶۳۱	۵۲۷	۰/۲۱۶۴	۰/۰۴۶۲۱	۰	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۴۶۴۱	۵۷۹	۰/۴۳۵۰	۰/۰۴۶۲۱	۰	۰/۰۰۰۱۵۹	۰	۰/۲۱۵۵
۲	۰/۰۶۱۷۸	۱۰۵۸۴۲	۰/۰۶۱۸۶	۵۹۹	۰/۱۲۹۵	۰/۰۶۱۷۸	۰	۰/۰۰۰۰۸۶	۰/۰۶۳۵۵	۶۶۷	۲/۸۷	۰/۰۶۱۸۶	۰/۱۳	۰/۰۰۲۵۴۸	۰/۱۲۹۳	۲/۶۵۹۳
۳	۰/۰۵۶۴۲	۱۱۷۳۴۸	۰/۰۵۶۹۸۶	۶۵۸	۱/۰۰۳	۰/۰۵۶۴۲	۰	۰/۰۰۰۴۸۴	۰/۰۵۸۱۲	۷۰۸	۳/۰۱	۰/۰۵۶۶۱	۰/۳۴	۰/۰۰۱۲۸۱	۰/۳۳۵۶	۱/۹۵۱۱
۴	۰/۰۲۳۴۲	۱۳۹۳۲۷	۰/۰۲۳۷۴۴	۷۰۷	۱/۳۸۳۴	۰/۰۲۳۴۸	۰/۲۶	۰/۰۰۰۲۴۷	۰/۰۲۵۱۳	۷۷۹	۷/۳۰	۰/۰۲۳۷۴	۱/۳۶	۰/۰۰۱۴۰۶	۱/۰۹۵۱	۵/۵۱۵۳
۵	۰/۰۷۹۳۷	۲۰۷۳۴۸	۰/۰۷۹۵۶۱	۷۶۹	۰/۲۴۰۶۴	۰/۰۷۹۳۷	۰	۰/۰۰۰۲۲۹	۰/۰۸۱۱۷	۸۵۹	۲/۲۷	/۰۷۹۳۷	۰	۰/۰۰۲۴۷۲	۰	۱/۹۸۲۲
۶	۰/۰۹۳۶۱	۲۶۳۷۳۵	۰/۰۹۴۰۳۶	۸۲۷	۰/۴۵۵۰۸	۰/۰۹۳۶۱	۰	۰/۰۰۰۴۹۷	۰/۰۹۷۸۴	۹۳۱	۴/۵۱۴۵	۰/۰۹۴۵۱	۰/۹۶	۰/۰۰۲۵۹	۰/۹۵۲۳	۳/۸۸۸۰
۷	۰/۰۶۳۸۸	۳۷۵۷۳۴	۰/۰۶۴۶۸۶	۸۷۲	۱/۲۶۱۷۴	۰/۰۶۴۰۲	۰/۲۲	۰/۰۰۰۵۷۹	۰/۰۶۷۳۴	۱۰۰۴	۵/۴۱	۰/۰۶۶۳۸	۳/۹	۰/۰۰۲۴۷۵	۳/۵۵۵۳	۳/۹۴۱۲
۸	۰/۱۰۳۷	۴۶۸۳۲۲	۰/۱۰۷۴۲	۸۹۰	۳/۵۸۷۳	۰/۱۰۴۹	۱/۱۵	۰/۰۰۲۲۱	۰/۱۱۱۹	۱۱۰۲	۷/۹۳	۰/۱۰۵۸	۲/۰۳	۰/۰۰۵۸۶۱	۰/۸۵۰۷	۴/۰۰۳۶
میانگین		۲۱۷۰۲۲		۷۳۱/۱۲۵	۱/۰۳۵		۰/۲۰۳	۰/۰۰۰۵۵۶		۸۲۸/۶۲۵	۴/۲۱۷		۱/۰۹	۰/۰۰۲۳۴۹	۰/۸۶۴۸	۳/۰۱۹۵

جدول۸. تقاضای مناطق آسیب‌دیده (۱۰۰۰*)

		بیرجند	قاین	زیرکوه	نهبندان	سربیشه	سرایان	اسدیه	بشرویه	فردوس
دوره ۱	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)	(۴۰،۴۰،۴۲)
	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)	(۴۰،۴۵،۴۷)
دوره ۲	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)	(۳۷،۴۰،۴۳)
	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)	(۴۰،۴۰،۴۵)
دوره ۳	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)	(۳۲،۳۵،۳۸)
	کالای ۲	(۱۲۰،۱۲۰،۱۳۰)	(۶۰،۶۵،۷۵)	(۱۴۵،۱۵۳،۱۶۰)	(۲۵،۲۷،۲۸)	(۱۹،۲۰،۲۲)	(۲۵،۲۸،۳۰)	(۱۴۰،۱۴۵،۱۵۵)	(۲۲،۲۵،۳۰)	(۳۴،۳۸،۴۰)

جدول۹. موجودی کالا در مراکز تامین(۱۰۰۰*)

	کالا	مشهد	زاهدان	کرمان
دوره ۱	کالای امدادی ۱	(۱۳۰،۱۴۵،۱۷۲)	(۹۵،۱۰۰،۱۰۵)	(۹۲،۹۸،۱۱۰)
	کالای امدادی ۲	(۱۷۶،۱۹۲،۱۹۳)	(۷۸،۹۵،۱۲۴)	(۱۲۴،۱۵۵،۱۷۱)
دوره ۲	کالای امدادی ۱	(۱۲۵،۱۴۵،۱۵۰)	(۹۰،۱۰۰،۱۱۹)	(۸۴،۱۰۷،۱۱۸)
	کالای امدادی ۲	(۹۶،۱۰۸،۱۲۶)	(۱۲۰،۱۲۵،۱۳۰)	(۱۱۴،۱۳۵،۱۴۱)
دوره ۳	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 شبیه سازی تبرید جواب بهتری داده است.

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

$$PRBS\,\% = \frac{SA_{Best} - GA_{Best}}{SA_{Best}} \times ۱۰۰\% \quad , \quad PRAS\,\% = \frac{SA_{Average} - GA_{Average}}{SA_{Average}} \times ۱۰۰\% \qquad (۳۰)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

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

جدول ۱۰. مقایسه الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید

شماره مساله	الگوریتم ژنتیک در ۱۰ تکرار				الگوریتم شبیه سازی تبرید در ۱۰ تکرار				PRBS%	PRAS%
	میانگین جواب	میانگین زمان (ثانیه)	بهترین جواب	انحراف استاندارد	میانگین جواب	میانگین زمان (ثانیه)	بهترین جواب	انحراف استاندارد		
۹	**۰/۰٦٤۳٤**	۳۲۸۲	**۰/۰٦۳۰۹**	۰/۰۰۱۰۵	۰/۰۶۶۵۴	۳۳۷۴	۰/۰۶۳۵۷	۰/۰۰۲۵۵۹	۰/۷۵۵۱	۳/۳۰۴۸
۱۰	**۰/۰۵۸٦۰**	۳۴۶۸	۰/۰۵۷۳۲	۰/۰۰۰۹۹۶	۰/۰۶۲۴۰	۳۷۶۲	**۰/۰۵۷۱۱**	۰/۰۰۴۶۸۲	-۰/۳۶۷۷	۶/۰۹۷۲
۱۱	**۰/۰۷٤۹۵**	۳۸۹۷	**۰/۰۷۳۱۹**	۰/۰۰۱۱۰۸	۰/۰۸۳۰۶	۴۰۱۲	۰/۰۷۴۱۹	۰/۰۰۵۱۳۶	۱/۳۴۷۹	۹/۷۶۰۸
۱۲	**۰/۰٤۸٦۱**	۴۳۶۲	**۰/۰٤٦۸۵**	۰/۰۰۱۱۳۱	۰/۰۵۲۷۲	۴۴۹۱	۰/۰۴۷۸۱	۰/۰۰۳۱۸۷	۲/۰۰۸۰	۷/۷۹۴۳
۱۳	**۰/۰۳۵۱۱**	۴۶۹۸	۰/۰۳۲۷۳	۰/۰۰۲۱۵	۰/۰۳۷۵۳	۴۸۲۷	**۰/۰۳۲۱۸**	۰/۰۰۲۹۶۹	-۱/۷۰۹۱	۶/۴۳۸۲
۱۴	**۰/۰۷۵۷۹**	۴۹۹۱	**۰/۰۷۲۸٦**	۰/۰۰۲۴۲۵	۰/۰۷۸۳۰	۵۱۰۵	۰/۰۷۴۰۴	۰/۰۰۴۰۳۵	۱/۵۹۳۷	۳/۲۰۴۳
۱۵	**۰/۰۸۵۳٤**	۵۳۱۹	**۰/۰۸۱۵٦**	۰/۰۰۳۱۵۱	۰/۰۸۸۸۸	۵۵۲۹	۰/۰۸۲۸۴	۰/۰۰۵۳	۱/۵۴۵۱	۳/۹۷۶۲
۱۶	**۰/۰۳۹۳۳**	۵۷۷۱	۰/۰۳۵۶۴	۰/۰۰۲۵۹۵	۰/۰۳۹۷۱	۵۹۴۱	**۰/۰۳۵۲۱**	۰/۰۰۴۱۵۲	-۱/۲۲۱۲	۰/۹۷۴۴
۱۷	**۰/۰۷۸٦۳**	۳۷۹۶	**۰/۰۷٤۲۱**	۰/۰۰۳۵۱۷	۰/۰۸۱۲۰	۳۸۹۳	۰/۰۷۵۴۱	۰/۰۰۵۲۴۷	۱/۵۹۱۳	۳/۱۷۱۱
۱۸	**۰/۱۱۷۷**	۳۹۲۷	**۰/۱۱۰۲**	۰/۰۰۴۴۸۸	۰/۱۳۱۱	۴۱۲۶	۰/۱۱۷۶	۰/۰۱۳۹۵۱	۶/۲۹۲۵	۱۰/۱۷۹۳
۱۹	**۰/۰۷۷٦۰**	۴۱۸۳	**۰/۰۷۲٤۹**	۰/۰۰۵۱۱۷	۰/۰۸۲۸۵	۴۴۳۹	۰/۰۷۳۹۲	۰/۰۰۴۸۵۴	۱/۹۳۴۵	۶/۳۳۲۰
۲۰	**۰/۰۸۷۵۸**	۴۴۰۹	**۰/۰۸۱۷۳**	۰/۰۰۳۳۴۱	۰/۰۹۳۰۶	۴۷۱۹	۰/۰۸۳۷۲	۰/۰۰۴۷۰۹	۲/۳۷۷۰	۵/۸۷۹۳
۲۱	**۰/۰۲۳۱۰**	۴۷۶۲	**۰/۰۲۰۷۸**	۰/۰۰۲۱۵۱	۰/۰۲۶۳۹	۴۹۸۲	۰/۰۲۲۳۸	۰/۰۰۲۸۳۲	۷/۱۴۹۲	۱۲/۴۸۷۴
۲۲	**۰/۱۰۵٦**	۴۹۸۱	**۰/۰۹۷۳۹**	۰/۰۰۹۴۲۲	۰/۱۱۵۲	۵۳۰۴	۰/۰۹۸۸۹	۰/۰۱۴۰۸	۱/۵۱۶۸	۸/۲۷۲۰
۲۳	**۰/۱۲۰۲**	۵۳۲۵	**۰/۱۰۰۳**	۰/۰۲۱۰۴	۰/۱۳۶۸	۵۷۲۳	۰/۱۱۶۳	۰/۰۱۱۱۰۵	۱۳/۷۵۷۵	۱۲/۱۵۳۸
۲۴	**۰/۰۷٤۵۱**	۵۵۹۱	۰/۰۶۸۳۱	۰/۰۰۶۲۵۶	۰/۰۷۹۸۵	۵۹۹۴	**۰/۰٦۸۲۸**	۰/۰۰۶۵۹۲	-۰/۰۴۳۹۴	۶/۶۸۸۸
۲۵	**۰/۱۱۲۷**	۵۷۶۹	**۰/۰۹۷۳۸**	۰/۰۱۱۰۲۴	۰/۱۲۴۳	۶۳۵۵	۰/۰۹۹۰۸	۰/۰۲۴۷۳۷	۱/۷۱۵۸	۹/۳۵۶۰
میانگین	**٤٦۱۹/٤۷**			**۰/۰۰٤۷٤**		۴۸۵۷/۴۱		۰/۰۰۷۰۶۶	۲/۳۶۷	۶/۸۲۸

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 شده‌است 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، سربیشه و بشرویه به عنوان مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفته شده‌است. هزینه راه اندازی انبارهای موقت (۳۸۰۰۰۰۰۰۰،۳۷۰۰۰۰۰۰۰،۳۶۰۰۰۰۰۰۰) 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 برابر۳ 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 شده‌است. شکل ۵ نقشه استان خراسان جنوبی را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

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 r=۱ در نظر گرفته می‌شود که بر اساس نظر خبرگان می‌باشد. همان‌گونه که در جدول (۱۱) دیده می‌شود در دوره اول سه شهر بیرجند، نهبندان و قاین به عنوان انبارهای موقت 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 موقت جدید در شهرستان فردوس می‌نماید. همچنین با بررسی جدول (۱۲) مشاهده می‌شود که در اکثر حالات، سعی شده‌است کل تقاضای هر منطقه آسیب‌دیده از طریق یک انبار موقت تامین گردد؛ زیرا این امر موجب کاهش هزینه‌های جابه‌جایی می‌گردد. با بررسی نتایج حاصل از مدل و داده های ورودی مساله مشاهده می‌شود استقرار انبارهای موقت بر اساس میزان فاصله از تامین کننده و همچنین فاصله انبار موقت با مناطق آسیب‌دیده صورت می‌پذیرد. همچنین بر اساس تابع هدف دوم مدل 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

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

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

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

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 افزیش 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 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 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.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

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

			بیرجند	قاین	زیرکوه	نهبندان	سربیشه	سرایان	اسدیه	بشرویه	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	۱۸	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				۵۶		
	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 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.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

[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.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]