

ارائه مدل زنجیره تأمین ساخت و ساز بعد از وقوع زلزله

فاطمه علوی^۱، روزبه عزیز محمدی^۲

^۱ گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور مرکز بین‌المللی عسلویه، دانشکده فنی و مهندسی

^۲ استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور مرکز بین‌المللی عسلویه، دانشکده فنی و مهندسی

چکیده

یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی در کشور ما، زلزله است که سالانه تعداد زیادی از مردم را به کام مرگ فرو می‌برد. امداد و نجات افراد آسیب‌دیده از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. موضوع مهمی که باید در نظر گرفته شود، فرایند ساخت و ساز پس از هر زلزله است که سبب می‌شود تأمین زنجیره ساخت و ساز از اهمیت بسیار زیادی برخوردار باشد. تأمین زنجیره ساخت و ساز شامل کالاهای غیرمصرفی (مانند تجهیزات ساخت و ساز) و کالاهای مصرفی (مانند سیمان و آهن)، نقش به‌سزایی در کاهش تلفات و آسیب‌های پس از زلزله دارد. از این‌رو نیاز است تا با استفاده از الگوریتم‌های بهینه راه‌حلی برای کاهش زمان و هزینه امداد رسانی معرفی کرد. در این تحقیق، ما ابتدا یک تابع بهینه‌سازی چندهدفه معرفی خواهیم کرد که هدف آن کمینه کردن هزینه و بیشینه کردن عدالت در امداد رسانی است. متغیر روش پیشنهادی ما، تعیین بهترین مسیر امداد رسانی به مناطق آسیب‌دیده خواهد بود که سبب می‌شود هزینه و زمان امداد کاهش یابد. در نهایت، ما کارایی الگوریتم پیشنهادی را در سناریوهای مختلف سنجیدیم. برای حل مسئله بهینه‌سازی، ما در این تحقیق، از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری خود تطبیق استفاده کردیم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تأمین زنجیره ساخت و ساز، به میزان رضایتمندی آسیب دیدگان و میزان آسیب به زیرساخت‌ها بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: زلزله، زنجیره ساخت و ساز، بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری خود تطبیق

مقدمه

حدود ۵۰۰۰۰۰ زمین‌لرزه در هر سال وجود دارد که از این تعداد ۱۰۰۰۰۰ زلزله می‌تواند احساس شود. برخی از این زلزله‌ها شدید هستند و ممکن است سبب تخریب جزئی و کامل ساختمان‌ها شود. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر تعداد زلزله‌ها در کشور افزایش پیدا کرده است و با توجه به کیفیت پایین ساختمان‌ها در ایران، این زلزله‌ها سبب نابودی و ایجاد خسارت به ساختمان‌های مختلف می‌شود. از این‌رو، در کنار امداد و نجات، تأمین مواد اولیه برای ساخت و ساز نیز از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. تأمین زنجیره ساخت و ساز بهینه، یکی از جنبه‌های مهم امداد رسانی است (۱). بنابراین نیاز است تا با استفاده از مدل‌های ریاضی، زنجیره تأمین ساخت و ساز مورد بررسی قرار گیرد.

هدف ما در این مقاله، ارائه یک مدل جدید برای تأمین زنجیره ساخت و ساز بعد از زلزله است. بهینه‌سازی تأمین مواد اولیه مورد نیاز زلزله‌زدگان و یا پشتیبانی از افراد آسیب‌دیده تاکنون، توسط افراد زیادی بررسی شده است. اما تأمین زنجیره ساخت و ساز، موضوعی جدید است.

در این مقاله، مسئله را به صورت یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه تعریف خواهیم کرد که هدف آن تعیین مولفه‌ها و متغیرهای تصمیم‌گیری در هنگام زلزله به منظور حداکثر کردن عدالت و حداقل کردن هزینه است. عدالت نسبی است از نیاز تأمین شده زلزله‌زدگان به نیاز کل آن‌ها در یک زلزله.

بیان مسئله

در این مقاله با الهام از مرجع (۲) مسئله پیشنهادی خود را تعریف خواهیم کرد. مدل پیشنهادی ما، مولفه‌های مختلفی مانند تأمین کالای مورد نیاز برای ساخت و ساز، ایجاد راه ارتباطی و متغیر بودن تقاضای افراد زلزله‌زده را نشان می‌دهد. پس از تعریف مدل، ما یک مسئله بهینه‌سازی تعریف می‌کنیم که هدف آن حداکثر کردن عدالت و حداقل کردن هزینه ساخت و ساز است. متغیر مسئله مورد بررسی نیز انتخاب بهترین مسیر ممکن برای تأمین زنجیره ساخت و ساز به شمار می‌رود. به عبارت دیگر، در یک زلزله، نیازهای مناطق زلزله‌زده باید از طریق انبارها و مراکز پشتیبانی مختلف تأمین شود و انتخاب بهترین مسیر، نشان دهنده آن است که می‌توان با کمترین هزینه، حداکثر مقدار نیاز زلزله‌زدگان را تأمین کرد (۳).

پس از تعریف مسئله بهینه‌سازی نیاز است تا با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مناسب، مسئله حل شود و پاسخ بهینه به دست آید. ما در این تحقیق، از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری خود تطبیق (SAICA^۱) استفاده خواهیم کرد. در ICA^۲، برخی از مستعمرات تحت تاثیر امپراتوری دیگر کشورها هستند یا ممکن است امپراتوری‌ها داده‌ها را با یک دیگر مبادله کنند. اپراتور کراس اور^۳، یک اپراتور عملی برای این مفهوم است. روش‌های مختلفی برای اپراتور کراس اور وجود دارد که قبلاً در الگوریتم ژنتیک برای جستجوی فضای محلول استفاده شده است، هر کدام دارای مزایای خود هستند. از آن جا که استفاده از همه‌ی آن‌ها به طور همزمان باعث افزایش زمان الگوریتم می‌شود، بسیاری از محققان فقط از یک نوع الگوریتم استفاده می‌کنند (۴). در روش حل پیشنهادی در این بخش، استفاده از بیشتر عملکرهای تقاطع بدون افزایش زمان حل امکان پذیر است. برای انجام این کار، ما اپراتورهای مختلف را ادغام می‌کنیم. به همین دلیل الگوریتم پیشنهادی برای حل، مدل SAICA نامیده می‌شود. الگوریتم SAICA دارای پیشنهاد ۲ مرحله‌ای است که در گام نخست اپراتورهای مختلف کراس اور پس از

^۱ Self-Adaptive Imperialist Competitive Algorithm.

^۲ Imperialist Competitive Algorithm.

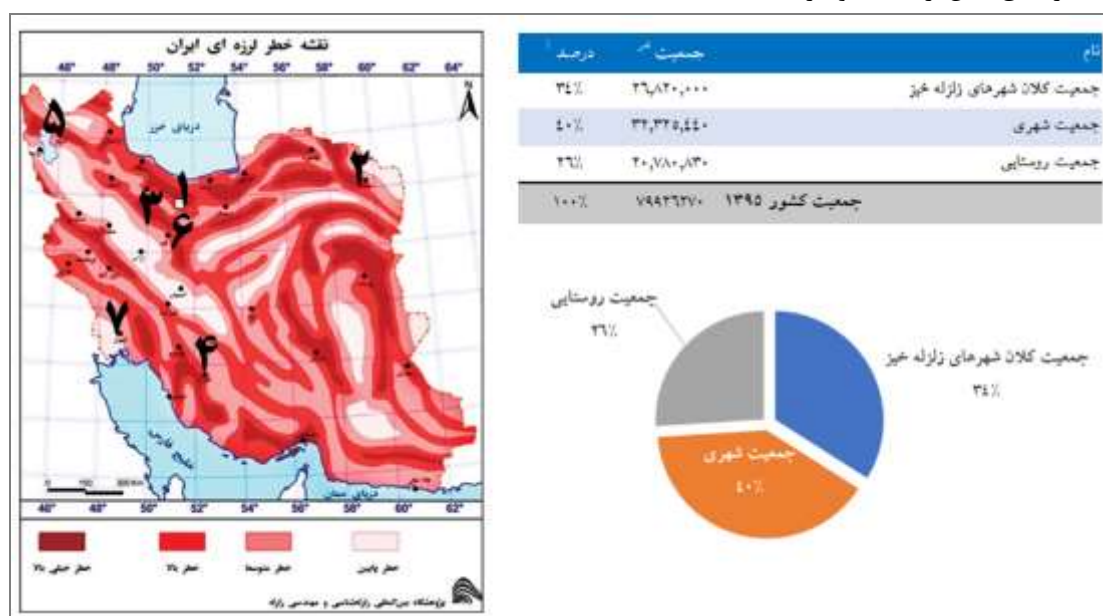
^۳ Crossover Operator.

یک مسابقه به رقابت می‌پردازند که در پایان رقابت، کراس اور با امتیاز بالاتر فرصت بیشتری برای انتخاب در گام بعدی خواهد داشت و به این مرحله؛ "مرحله آماده سازی" گویند. روش SAICA پیشنهادی ما الهام گرفته از مرجع (۵) است. در نهایت پس از حل مسئله پیشنهادی ما، کارایی آن را در نرم افزار MATLAB خواهیم سنجید.

اهمیت و ضرورت مقاله

متأسفانه زلزله یکی از مهم‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی در کشور ما به شمار می‌رود. کشور پهناور ایران جزو ۱۰ کشور لرزه خیز دنیا است که ۹۰٪ از خاکش بر روی کمر بند زلزله قرار گرفته است. برابر آمار زلزله‌های ایران:

- ۶۸٪ در عمق ۱ تا ۳۰ کیلومتری.
- ۹٪ در عمق ۳۰ تا ۵۰ کیلومتری.
- ۳٪ در عمق بیش از ۵۰ کیلومتری.



شکل ۱: توزیع جمعیتی کلان شهرهای زلزله خیز ایران بر اساس سرشماری ۱۳۹۵

که ۷۷٪ زمین‌لرزه‌ها در عمق کمتر از ۵۰ کیلومتری از سطح زمین روی داده است. با استناد به نقشه خطر لرزه‌ای کشور (نقشه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله) و تمرکز جمعیتی بر ۷ کلان شهر واقع شده بر گسل، ۳۴٪ از جمعیت کشور در معرض مستقیم زلزله بیش از ۶ ریشتری هستند. که با وقوع حادثه ناگواری در این سطح علاوه بر از دست دادن هم میهنان عزیزمان بخش عظیمی از سرمایه های علمی، فرهنگی و اقتصادی را از دست خواهیم داد و به همین دلیل لزوم درک مدل ریاضی بهینه زنجیره ساخت و ساز کارآمد بیش از پیش خودنمایی می‌کند.

پیشینه مقاله

در این بخش برابر جدول ۱، مقالات مورد مطالعه را در چند بخش زیر تقسیم بندی نموده‌ایم تا به صورت کلی با محتوای علمی و پژوهشی مقالات آشنا شویم:

- ✓ تأمین پناهگاه.
- ✓ تأمین و توزیع کالا.
- ✓ کاهش هزینه و زمان.
- ✓ رضایتمندی.
- ✓ ارائه مدل ریاضی.
- ✓ بررسی مدل‌های پیشین.

جدول ۱: معرفی اجمالی مقالات مورد استفاده در این مقاله

ویژگی تحقیق						موضوع	سال	نویسنده	ردیف
بررسی مدل‌های پیشین	ارائه مدل ریاضی	رضایتمندی	کاهش هزینه/زمان	تأمین/توزیع کالا	تأمین پناهگاه				
---	---	---	---	✓	---	مکان‌یابی تسهیلات امدادی و ذخیره‌سازی اقلام امدادی	۲۰۰۸	بالسیک و بثومن	۱
---	---	---	---	✓	✓	تعیین مکان مراکز توزیع اقلام امدادی و میزان ذخیره‌سازی اقلام	۲۰۱۲	دیان و همکاران	۲
---	---	✓	✓	---	✓	تعیین مکان تسهیلات توزیع اقلام امدادی و میزان کالایی که در هریک از تسهیلات ذخیره می‌شود	۲۰۱۳	بزرگی امیری	۳
---	---	✓	✓	---	✓	یکپارچه‌سازی عملیات	۲۰۱۴	رنسیکاربوم و ماسون	۴

ویژگی تحقیق						موضوع	سال	نویسنده	ردیف
بررسی مدل‌های پیشین	ارائه مدل ریاضی	رضایتمندی	کاهش هزینه/زمان	تأمین/توزیع کالا	تأمین پناهگاه				
---	---	---	---	✓	✓	یکپارچه سازی عملیات امدادرسانی در مرحله قبل و بعد بحران برای کالاهای امدادی	۲۰۱۶	توفیقی، ترابی و منصوری	۵
✓	---	---	---	---	---	مروری جامع بر مدلهای مدیریت موجودی در لجستیک	۲۰۱۶	بالسیک و بنیز	۶
---	---	✓	✓	---	---	یکپارچه سازی عملیات توزیع کالاهای امدادی و بازسازی تسهیلات و مسیرهای آسیب‌دیده	۲۰۱۶	رنسیکاربوم	۷
✓	---	---	✓	✓	---	بازسازی مسیرها، انبارها و شبکه لجستیک	۲۰۱۷	چیلیک	۸
✓	---	---	---	---	---	تطبيق مفهوم نظامی و اورژانس از یک تصویر عملیاتی مشترک	۲۰۱۷	تاهام	۹
---	✓	---	---	---	---	طراحی استراتژی‌های توزیع امداد	۲۰۱۷	اکبری	۱۰

ویژگی تحقیق						موضوع	سال	نویسنده	ردیف
بررسی مدل های پیشین	ارائه مدل ریاضی	رضایتمندی	کاهش هزینه / زمان	تأمین / توزیع کالا	تأمین پناهگاه				
---	✓	---	---	---	---	بازسازی جاده‌ها در بلایای طبیعی	۲۰۱۷	شارما	۱۱
---	✓	---	---	---	---	پیدا کردن بهترین روش برای امداد و نجات	۲۰۱۸	کیم	۱۲
---	✓	---	---	---	---	موقعیت مکانی و مسیریابی بعد از زلزله	۲۰۱۸	ژانگ	۱۳
---	✓	---	---	---	---	بازسازی مناطق آسیب‌دیده	۲۰۱۸	وحدانی	۱۴
---	✓	---	---	---	---	بازسازی شبکه جاده‌های بعد از زلزله	۲۰۱۸	لی	۱۵
---	---	---	✓	✓	✓	بررسی اثرات چابکی و انعطاف پذیری زنجیره تأمین مواد اولیه	۲۰۱۸	آلتای	۱۶
---	✓	---	---	---	---	یک سیستم آمادگی در برابر بلایا	۲۰۱۸	اسپیندولا	۱۷
---	✓	---	---	---	---	تخصیص منابع چند دوره‌ای در هنگام بلایا	۲۰۱۸	یو	۱۸
---	✓	---	✓	---	---	کمبود مواد ضروری	۲۰۱۹	چانشی	۱۹

ویژگی تحقیق						موضوع	سال	نویسنده	ردیف
بررسی مدل‌های پیشین	ارائه مدل ریاضی	رضایتمندی	کاهش هزینه/زمان	تأمین/توزیع کالا	تأمین پناهگاه				
---	✓	---	---	---	---	مکان یابی مراکز امداد موقت و مسیریابی پویای وسایل نقلیه	۲۰۱۹	علی‌نقیان	۲۰
---	✓	---	---	---	---	چارچوب بهینه‌سازی دو هدفه غیر خطی برای بهره برداری از یک شبکه زنجیره تأمین سوخت کارآمد و موثر در مناطق زلزله	۲۰۲۰	رضایی	۲۱
✓	✓	---	---	✓	---	طراحی قابل اعتماد شبکه زنجیره تأمین خون با اختلال در تاسیسات: یک برنامه در دنیای واقعی	۲۰۲۰	یاسر رحیمی، حقجو، توکلی مقدم، شاهمرادی مقدم	۲۲
✓	✓	✓	✓	✓	✓	تأمین ساخت و ساز بعد از زلزله	۲۰۲۱	مقاله حاضر	۲۳

اهداف مقاله

اهداف این مقاله شامل:

❖ هدف اصلی:

- انتخاب بهترین مسیر ممکن برای تأمین زنجیره ساخت و ساز بعد از زلزله.

❖ اهداف فرعی:

- حداکثر کردن عدالت و حداقل کردن هزینه در زنجیره ساخت و ساز.
- انتخاب بهترین مسیر ممکن با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری خود سازگار.

فرضیه‌های مقاله

این گونه فرض می‌شود که:

- ✚ مدل سازی ریاضی و الگوریتم بهینه‌سازی کمک می‌کنند که بتوان بهترین مسیر ممکن برای تأمین زنجیره ساخت و ساز را پس از زلزله تعیین کرد.
- ✚ مدل بهینه پیشنهادی بتواند بیشترین عدالت و کمترین هزینه را در ساخت و ساز تأمین کند.
- ✚ الگوریتم رقابت استعماری خود سازگار می‌تواند به عنوان یک راه حل بهینه برای تعیین مسیر ممکن در تأمین زنجیره ساخت و ساز بعد از زلزله به شمار رود.

مدل پیشنهادی

کالاهای مورد نیاز برای ساخت و ساز به دو صورت مصرف شدنی (مانند سیمان) و مصرف نشدنی (تجهیزات ساخت و ساز) در نظر گرفته شده است. در سطح اول زنجیره تأمین ساخت و ساز مورد بررسی، تأمین کنندگان وجود دارند که مکان و ظرفیت آن‌ها مشخص است. در سطح دوم، انبارهای کالا قرار دارند که مکان و ظرفیت این انبارها مشخص است و در مرحله قبل از بحران، پیش ذخیره‌سازی کالاهای ساختمانی در هریک از این انبارها تعیین می‌شود. در سطح سوم نیز نقاط آسیب‌دیده قرار دارند که کمبود در این مکان‌ها با جریمه همراه است. هنگام وقوع بحران، کالاهای ساختمانی از تأمین کنندگان به انبارها و از انبارها به نقاط تقاضا به صورت چند دوره‌ای ارسال می‌شود. در زمان وقوع بحران ممکن است تعدادی از تسهیلات امدادی (انبارها و تأمین کنندگان) و مسیرهای بین تسهیلات امدادی دچار اختلال شوند که در مرحله پاسخ به بحران با توجه به بودجه در نظر گرفته شده بازسازی می‌شوند. تأمین کنندگان آسیب‌دیده یا به طور کامل بازسازی می‌شوند و به حالت قبل بحران بر می‌گردند یا اینکه بازسازی نمی‌شوند. انبارهای ساختمانی آسیب‌دیده نیز بازسازی نمی‌شوند یا در صورت بازسازی به طور کامل به حالت قبل بحران بر می‌گردند یا به میزان نصف ظرفیت قبل بحران بازسازی و تعمیر می‌شوند. مسیرهای آسیب‌دیده بین تسهیلات نیز به میزان صفر درصد، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ یا ۱۰۰٪ قابل تعمیر است. به منظور وارد کردن ترجیحات تصمیم گیرندگان در مدل ارائه شده از برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده است (رحیمی، ۱۳۹۹).

فرضیه‌های مدل پیشنهادی

فرض‌های این مدل شامل:

- کمبود مجاز است و متناسب با آن هزینه در نظر گرفته می‌شود.
- فساد کالاهای ساختمانی (مانند سیمان) در این مسئله در نظر گرفته نشده است.
- مکان انبارهای ساختمانی از قبل مشخص است.
- کالاهای ساختمانی مصرف شدنی: در صورت کمبود، به صورت کمبود از دست رفته در نظر گرفته می‌شود.
- کالاهای ساختمانی غیر مصرف شدنی: در صورت کمبود، به صورت دوره‌ای جبران می‌شود.

جدول ۲: نمادهای معرف مجموعه‌ها

نماد	شرح
$N(A)$	مجموعه گره‌ها (کمان‌ها)
$S(D)$	مجموعه نقاط عرضه (تقاضا)
W	مجموعه انبارها
$S^F(S^D)$	مجموعه نقاط عرضه کارکردی (آسیب‌دیده)
$W^F(W^D)$	مجموعه انبارهای کارکردی (آسیب‌دیده)
Λ	مجموعه کمان‌های بین نقاط عرضه و انبارها
Π	مجموعه کمان‌های بین انبارها و نقاط تقاضا
$\Lambda^F(\Lambda^D)$	مجموعه کمان‌های کارکردی (آسیب‌دیده) بین نقاط عرضه و انبارها
$\Pi^F(-\Pi^D)$	مجموعه کمان‌های کارکردی (آسیب‌دیده) بین انبارها و نقاط تقاضا
Γ^N	مجموعه نقاط آسیب‌دیده
Γ^A	مجموعه کمان‌های آسیب‌دیده
D	مجموعه نقاط تقاضا
C	مجموعه کالاها
T	مجموعه دوره‌های زمانی
P	مجموعه سناریوهای اختلال

جدول ۳: پارامترهای مورد استفاده در تحقیق

پارامتر	شرح
S_i	ظرفیت تأمین کننده $i \in S$ برای عرضه کالا
\tilde{d}_{cijtp}	میزان تقاضای کالای ساختمانی C در نقطه آسیب‌دیده $j \in D$ در دوره t تحت سناریوی p
α_i	ظرفیت انبار $i \in W$ برای ذخیره سازی کالا
δ_{ij}^{SW}	ظرفیت مسیرهای بین عرضه کنندگان و انبارها برای حمل کالاها $(i, j) \in \Lambda$
δ_{ij}^{WD}	ظرفیت مسیرهای بین انبارها و نقاط تقاضا برای حمل کالاها $(i, j) \in \Pi$
Φ_{ci}	ظرفیت مورد نیاز برای ذخیره سازی هر واحد کالای نوع C در انبار $i \in W$
ψ_{cij}^{SW}	ظرفیت مورد نیاز برای حمل هر واحد کالای C در مسیرهای بین عرضه کنندگان و انبارها $(i, j) \in \Lambda$
ψ_{cij}^{WD}	ظرفیت مورد نیاز برای حمل هر واحد کالای C در مسیرهای بین انبارها و نقاط تقاضا $(i, j) \in \Pi$

پارامتر	شرح
P_{cip}	نسبت کالای C قابل مصرف در انبار $i \in W$ تحت سناریوی p
$a\tilde{q}_c$	هزینه نگهداری هر واحد کالای C
$\tilde{\pi}_c$	هزینه کمبود هر واحد کالای C
\tilde{C}_{ij}	هزینه حمل و نقل هر واحد کالا به ازای هر کیلومتر
$\tilde{\eta}_i^S (\tilde{\eta}_j^W)$	هزینه بازسازی تأمین کننده آسیب دیده $i \in S^D$ و انبار آسیب دیده $j \in W^D$
$\tilde{\eta}_{ij}^{SW}$	هزینه بازسازی مسیر آسیب دیده بین تأمین کنندگان و انبارها $i, j \in \Lambda^D$
$\tilde{\eta}_{ij}^{WD}$	هزینه بازسازی مسیر آسیب دیده بین انبارها و نقاط تقاضا $i, j \in \Pi^D$
$b^N (b^A)$	بودجه در دسترس برای بازسازی تسهیلات آسیب دیده (مسیرهای آسیب دیده)
b^F	بودجه در دسترس برای کل هزینه حمل و نقل
$\tilde{V}^S (\tilde{V}^W)$	هزینه ثابت بازسازی تأمین کننده های آسیب دیده (انبارهای آسیب دیده)
$\theta^N (\theta^A)$	تعداد تسهیلات مجاز بازسازی (تأمین کنندگان و انبارها)
$\tilde{\omega}^{SW}$	هزینه ثابت بازسازی مسیرهای آسیب دیده بین تأمین کنندگان و انبارها
$\tilde{\omega}^{WD}$	هزینه ثابت بازسازی مسیرهای آسیب دیده بین انبارها و نقاط تقاضا
d_{ij}^{OD}	فاصله بین هر زوج مبدا و مقصد $i, j \in A$
P_p	احتمال وقوع سناریوی p

پارامترهای مرتبط با مسئله

جدول ۴: پارامترهای مرتبط با مسئله

پارامتر	شرح
\tilde{g}_c	حداقل سطح عدالت قابل قبول برای تصمیم گیرنده به منظور بر آورده کردن تقاضای مناطق آسیب دیده
\tilde{g}_F	حداکثر کل هزینه ای که تصمیم گیرنده تمایل به پرداخت آن به منظور بازسازی شبکه آسیب دیده، هزینه های حمل کالاها، هزینه های کمبود و ذخیره سازی اقلام امدادی دارد

متغیرهای تصمیم

جدول ۵: متغیرهای تصمیم

متغیر	شرح
X_{cijtp}	میزان کالای c از طریق مسیر $(i, j) \in A$ در دوره T تحت سناریوی P ارسال می شود
K_{ip}	برابر یک است، اگر تأمین کننده آسیب دیده $i \in S^D$ تحت سناریوی P بازسازی شود، در غیر این صورت برابر صفر

متغیر	شرح
	است
L_{ip}	میزان بازسازی جزئی مسیر آسیب‌دیده $i \in W^D$ تحت سناریوی P
M_{ijp}	میزان بازسازی جزئی مسیر آسیب‌دیده بین تأمین‌کننده و انبارها تحت سناریوی P ، $(i, j) \in \Lambda^D$
Y_{ij}^{WD}	برابر یک است اگر مسیر آسیب‌دیده بین انبارها و تأمین‌کنندگان بازسازی باشد، در غیر این صورت برابر صفر است
Y_{ij}^{SW}	برابر یک است اگر مسیر آسیب‌دیده بین تأمین‌کنندگان و انبارها مورد بازسازی بگیرد، در غیر این صورت برابر صفر است
q_{ci}	میزان کمبود کالای C که در انبار $i \in W$ در مرحله قبل بحران ذخیره می‌شود
N_{ijp}	میزان بازسازی جزئی مسیر آسیب‌دیده بین انبارها و نقاط تقاضا تحت سناریوی P ، $(i, j) \in \Lambda^D$
b_{cjt}	میزان کمبود کالای C در نقطه آسیب‌دیده $j \in D$ در دوره T تحت سناریوی P
Y_i^S	برابر یک است اگر تأمین‌کننده آسیب‌دیده $i \in S^D$ بازسازی شود، در غیر این صورت برابر صفر است
Y_i^W	برابر یک است اگر انبار آسیب‌دیده $i \in W^D$ بازسازی شود، در غیر این صورت برابر صفر است

مدل ریاضی چندهدفه

در این بخش، مدل چندهدفه چند دوره‌ای مبتنی بر برنامه‌ریزی آرمانی فازی ارائه شده است:

$$\min Z_1 = \sum_{i \in T} \sum_c a \tilde{q}_c q_{ic} + \sum_p p_p \left(\begin{array}{l} \sum_{i \in S^D} \tilde{\eta}_i^S k_{ip} + \sum_{i \in T^D} \tilde{\eta}_i^W l_{ip} + \\ \sum_{i \in S^D} \tilde{v}^S Y_i^S + \sum_{i \in T^D} \tilde{v}^W Y_i^W + \\ \sum_{(i,j) \in \Lambda^D} \hat{\lambda}_{ij}^{SW} M_{ijp} + \sum_{(i,j) \in \Pi^D} \hat{\lambda}_{ij}^{WD} N_{ijp} + \\ \sum_{(i,j) \in \Lambda^D} W^{SW} Y_{ij}^{SW} + \sum_{(i,j) \in \Lambda^D} W^{WD} Y_{ij}^{WD} + \\ \sum_{(i,j) \in A} \sum_c \sum_t C_{ij} d_{ij}^{OD} X_{cijtp} + \sum_j \sum_c \sum_t \tilde{\pi}_c b_{cjts} \end{array} \right) \quad \text{(فرمول ۱)}$$

$$\max Z_2 = \sum_p p_p V_p \quad \text{(فرمول ۲)}$$

تابع هدف فرمول ۱ به دنبال حداقل کردن هزینه‌های نگهداری کالاها در مرحله قبل بحران، هزینه‌های متغیر و ثابت بازسازی تسهیلات و مسیرهای شبکه، هزینه‌های حمل کالاها و هزینه کمبود کالاها در نقاط تقاضاست. تابع هدف فرمول ۲ با در نظر گرفتن محدودیت فرمول ۳ سعی در حداکثر کردن سطح عدالت در توزیع کالاها بین نقاط آسیب‌دیده را دارد.

$$V_p \leq \left(\sum_{i \in W} \sum_c \sum_t \frac{X_{cijtp}}{\tilde{d}_{cijtp}} \right) 100 \quad \forall j \in D, p \in P \quad \text{(فرمول ۳)}$$

$$\sum_c \phi_c q_{ic} \leq \alpha_i \quad \forall i \in W \quad \text{(فرمول ۴)}$$

محدودیت فرمول ۲ مرتبط با ظرفیت انبارهاست.

$$\rho_{cjp} q_{jc} + \sum_{i \in S} X_{cijtp} - \sum_{k \in D} X_{ciktp} = I_{cijtp} \quad \forall j \in W, c \in C, p \in P, t=1 \quad (\text{فرمول ۵})$$

$$I_{cj(3-t-1)p} + \sum_{i \in S} X_{cijtp} - \sum_{k \in D} X_{ciktp} = I_{cijtp} \quad \forall j \in W, c \in C, p \in P, t > 1 \in T \quad (\text{فرمول ۶})$$

محدودیت‌های فرمول ۵ و ۶ مرتبط با معادلات تعادل موجودی است. میزان موجودی در هر دوره با میزان موجودی باقیمانده از دوره قبلی به علاوه میزان موجودی که از تامین‌کننده در دوره مورد نظر خریداری می‌شود برابر است.

$$\sum_{i \in W} X_{cijtp} + b_{cjtp} = \tilde{d}_{cijtp} \quad \forall j \in D, p \in P, t \in T, c=1 \quad (\text{فرمول ۷})$$

$$\sum_{i \in W} X_{cijtp} + b_{cjtp} = \tilde{d}_{cijtp} + b_{cj(3-t-1)p} \quad \forall j \in D, p \in P, t \in T, c=2 \quad (\text{فرمول ۸})$$

محدودیت‌های فرمول ۷ و ۸ به ترتیب بیانگر محدودیت ارضای تقاضای محصولات مصرف‌شده و مصرف‌نشده هستند.

$$\sum_{j \in W} \sum_c \sum_t X_{cijtp} \leq S_i \quad \forall i \in S^F, p \in P \quad (\text{فرمول ۹})$$

$$\sum_{j \in W} \sum_c \sum_t X_{cijtp} \leq S_i K_{ip} \quad \forall i \in S^D, p \in P \quad (\text{فرمول ۱۰})$$

محدودیت‌های فرمول‌های ۹ و ۱۰ ظرفیت تامین‌کنندگان برای ارسال کالاها را محدود می‌کنند.

$$\sum_{j \in D} X_{cijtp} \leq I_{cijtp} \quad \forall i \in W, p \in P, c \in C \quad (\text{فرمول ۱۱})$$

محدودیت فرمول ۱۲ میزان ارسال کالا در هر دوره را محدود می‌کند.

$$\sum_c I_{cijtp} \leq \alpha_i \quad \forall i \in W^F, c \in C, p \in P \quad (\text{فرمول ۱۲})$$

$$\sum_c I_{cijtp} \leq \alpha_i L_{ip} \quad \forall i \in W^D, c \in C, p \in P \quad (\text{فرمول ۱۳})$$

محدودیت‌های فرمول ۱۲ و ۱۳، محدودیت ظرفیت انبارها را نشان می‌دهند. محدودیت‌های فرمول ۱۴ و ۱۵ محدودیت ظرفیت مسیرهای بین تامین‌کنندگان و انبارها را برای ارسال اقلام امدادی نشان می‌دهند. محدودیت‌های فرمول‌های ۱۶ و ۱۷ نیز بیان‌کننده محدودیت ظرفیت مسیرهای بین انبارها و نقاط تقاضا هستند. طبق محدودیت‌های فرمول‌های ۱۸ و ۱۹ هزینه‌های ثابت بازسازی تامین‌کنندگان آسیب‌دیده (فرمول ۱۸)، انبارهای آسیب‌دیده (فرمول ۱۹)، مسیرهای آسیب‌دیده بین تامین‌کنندگان و انبارها (فرمول ۲۰) و مسیرهای آسیب‌دیده بین انبارها و نقاط تقاضا (فرمول ۲۱) در صورتی در نظر گرفته می‌شوند که تسهیلات و مسیرهای آسیب‌دیده بازسازی شوند. محدودیت‌های فرمول ۲۲ و ۲۳ حداکثر تعداد گره‌ها و مسیرهای قابل بازسازی و تعمیر را نشان می‌دهند. محدودیت‌های فرمول‌های ۲۴ و ۲۵ تصمیم‌های مربوط به بازسازی جزئی انبارهای آسیب‌دیده را در دو سطح ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد محدود می‌کنند. محدودیت‌های فرمول‌های ۲۶ و ۲۷ تصمیم‌های مربوط به بازسازی جزئی مسیرهای آسیب‌دیده بین تامین‌کنندگان و انبارها را به سطوح ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ و محدودیت‌های

فرمول ۲۸ و ۲۹ تصمیم‌های مربوط به بازسازی جزئی مسیرهای آسیب‌دیده را محدود می‌کنند. محدودیت‌های فرمول‌های ۳۰ تا ۳۴ محدودیت بودجه مرتبط با بازسازی تسهیلات آسیب‌دیده را بیان می‌کنند.

$$\Psi_{ij}^{ST} X_{cijtp} \leq \delta_{ij}^{ST} \quad \forall (i,j) \in \Lambda^F, t \in T, c \in C, p \in P \quad (14 \text{ فرمول})$$

$$\Psi_{ij}^{SW} X_{cijtp} \leq \delta_{ij}^{SW} M_{ijp} \quad \forall (i,j) \in \Lambda^D, t \in T, c \in C, p \in P \quad (15 \text{ فرمول})$$

$$\Psi_{ij}^{WD} X_{cijtp} \leq \delta_{ij}^{WD} \quad \forall (i,j) \in \Lambda^D, t \in T, c \in C, p \in P \quad (16 \text{ فرمول})$$

$$\Psi_{ij}^{SW} X_{cijtp} \leq \delta_{ij}^{SW} N_{ijp} \quad \forall (i,j) \in \Pi^D, t \in T, c \in C, p \in P \quad (17 \text{ فرمول})$$

$$\forall j \in S^D, p \in P \quad K_{jp} \leq Y_j^S \quad (18 \text{ فرمول})$$

$$\forall j \in T^D, p \in P \quad L_{jp} \leq Y_j^W \quad (19 \text{ فرمول})$$

$$\forall (i,j) \in \Lambda^D, p \in P \quad M_{ijp} \leq Y_{ij}^{SW} \quad (20 \text{ فرمول})$$

$$\forall (i,j) \in \Pi^D, p \in P \quad N_{ijp} \leq Y_{ij}^{WD} \quad (21 \text{ فرمول})$$

$$\sum_{j \in S^D} k_{jp} + \sum_{j \in W^D} L_{jp} \leq \theta^N \quad \forall p \in P \quad (22 \text{ فرمول})$$

$$\sum_{(i,j) \in \Lambda^D} M_{ijp} + \sum_{(i,j) \in \Pi^D} N_{ijp} \leq \theta^A \quad \forall p \in P \quad (23 \text{ فرمول})$$

$$I_{is} = f_i^{W1} Q_i^{W1} + f_i^{W2} Q_i^{W2} \quad \forall i, s \quad (24 \text{ فرمول})$$

$$I_{is} \leq f_i^{W2} \quad \forall i, s \quad (25 \text{ فرمول})$$

$$M_{ijp} = f_{ij}^{SW1} Q_{ij}^{SW1} + f_{ij}^{SW2} Q_{ij}^{SW2} + f_{ij}^{SW3} Q_{ij}^{SW3} \in \Lambda^D, p \in P \quad (26 \text{ فرمول})$$

$$M_{ijp} \leq f_{ij}^{SW3} \quad \forall (i,j) \in \Lambda^D, p \in P \quad (27 \text{ فرمول})$$

$$N_{ijp} = f_{ij}^{WD1} Q_{ij}^{WD1} + f_{ij}^{WD2} Q_{ij}^{WD2} + f_{ij}^{WD3} Q_{ij}^{WD3} \quad \forall (i,j) \in \Pi^D, p \in P \quad (28 \text{ فرمول})$$

$$N_{ijp} \leq f_{ij}^{WD3} \quad \forall (i,j) \in \Pi^D, p \in P \quad (29 \text{ فرمول})$$

$$\sum_{i \in S^D} \tilde{\eta}_i^S I_{ip} + \sum_{i \in T^D} \tilde{\eta}_i^S I_{ip} + \sum_{i \in S^D} \tilde{v}^S Y_i^S + \sum_{i \in T^D} \tilde{v}^W Y_i^W \leq b^N \quad \forall p \in P \quad (30 \text{ فرمول})$$

$$\sum_{(i,j) \in \Lambda^D} \tilde{\lambda}_{ij}^{SW} M_{ij} + \sum_{(i,j) \in \Pi^D} \tilde{\lambda}_{ij}^{WD} N_{ij} + \sum_{(i,j) \in \Lambda^D} \tilde{W}^{SW} Y_{ij}^{SW} + \sum_{(i,j) \in \Lambda^D} \tilde{W}^{WD} Y_{ij}^{WD} \leq b^A \quad \forall p \in P \quad (31 \text{ فرمول})$$

$$\sum_{(i,j) \in A} \sum_c \sum_t C_{ij} d_{ij}^{OD} X_{cijtp} \leq b^F \quad \forall p \in P \quad (32 \text{ فرمول})$$

$$\sum_{i \in T} \sum_c a \tilde{q}_c q_{ic} + \sum_p P_p \left(\begin{array}{l} \sum_{i \in S^D} \tilde{\eta}_i^S I_{ip} + \sum_{i \in T^D} \tilde{\eta}_i^S I_{ip} + \sum_{i \in S^D} \tilde{v}^S Y_i^S + \sum_{i \in T^D} \tilde{v}^W Y_i^W + \\ \sum_{(3-i,j) \in \Lambda^D} W^{SW} Y_{ij}^{SW} + \sum_{(3-i,j) \in \Lambda^D} W^{WD} Y_{ij}^{WD} + \\ \sum_{(i,j) \in \Lambda^D} \tilde{\lambda}_{ij}^{SW} M_{ij} + \sum_{(3-i,j) \in \Pi^D} \tilde{\lambda}_{ij}^{WD} N_{ij} + \\ \sum_{(i,j) \in A} \sum_c \sum_t C_{ij} d_{ij}^{OD} X_{cijtp} + \sum_j \sum_c \sum_t \tilde{\pi}_c b_{cjts} \end{array} \right) \quad (33) \text{ فرمول } +D^{-c}$$

$$D^{+c} = \bar{g}_c$$

$$\sum_p P_p V_p + D^{-F} - D^{+F} = \tilde{g}_F \quad (34) \text{ فرمول}$$

محدودیت‌های فرمول‌های ۳۳ و ۳۴ بیانگر محدودیت‌های آرمانی توابع هدف اول و دوم هستند.

$$K_{ip}, y_i^S, y_i^W, y_{ij}^{SW}, y_{ij}^{WD} \in \{0,1\} \quad (35) \text{ فرمول}$$

$$L_{ip}, M_{ip}, b_{cijtp}, q_{ci}, I_{cijtp}, X_{ijtp} \geq 0 \quad (36) \text{ فرمول}$$

محدودیت‌های فرمول ۳۵ و ۳۶ نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند. نکته مهمی که ما در این تحقیق در نظر می‌گیریم، انحراف از هزینه و عدالت است که این موضوع سبب می‌شود که در مناطق مختلف، تأمین زنجیره به صورت یکسان انجام شود و در نتیجه در برخی از مناطق، امداد رسانی ضعیف و در برخی دیگر قوی نباشد. این نکته در قیدهای زیر نشان داده شده است:

$$D^{+c} < E_{ref} \quad (37) \text{ فرمول}$$

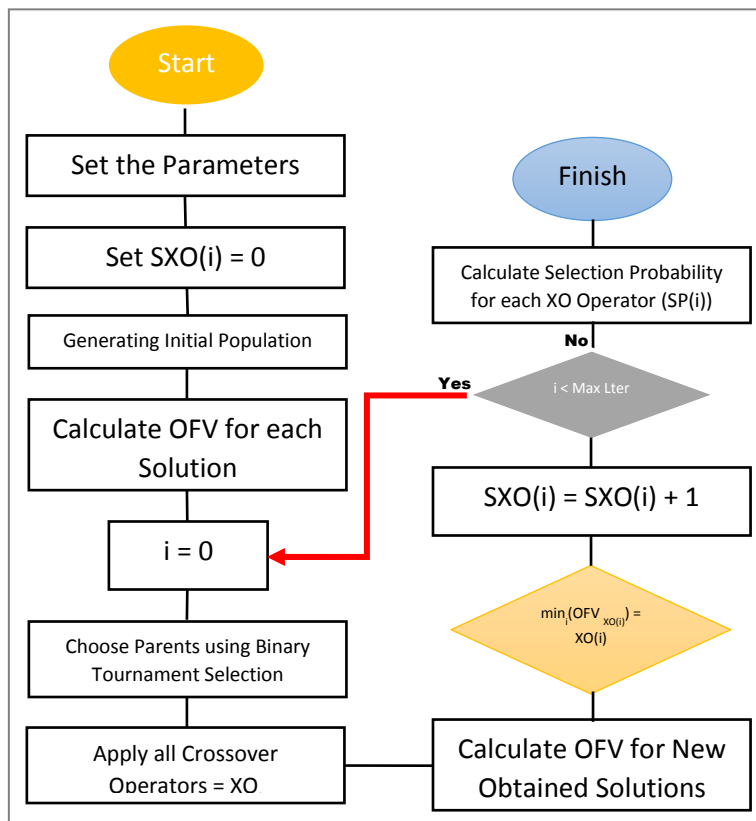
$$D^{-F} < T_{ref} \quad (38) \text{ فرمول}$$

در این دو رابطه مقدار Eref و Tref، حداکثر انحراف مجاز هزینه و عدالت به شمار می‌آیند.

الگوریتم رقابت استعماری خود تطبیق

در ICA، برخی از مستعمرات تحت تاثیر امپراتوری‌های دیگر هستند یا ممکن است امپراتوری‌ها داده‌ها را با یکدیگر رد و بدل کنند. اپراتور کراس اور یک اپراتور عملی برای این مفهوم است. در متون موضوعی روش‌های مختلفی برای اپراتور کراس اور وجود دارد که قبلاً در الگوریتم ژنتیک برای جستجوی فضای محلول استفاده شده است به عنوان مثال کراس اور یک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای، سه نقطه‌ای، یکنواخت و کراس اور با سه والد، هر کدام دارای مزایای خود هستند. از آن جا که استفاده از همه آن‌ها به طور همزمان باعث افزایش زمان الگوریتم می‌شود، بسیاری از محققان فقط از یک نوع الگوریتم استفاده می‌کنند. در روش حل پیشنهادی در این بخش، استفاده از بیشتر عملگرهای تقاطع بدون افزایش زمان حل امکان پذیر است. برای انجام این کار، ما اپراتورهای مختلف را ادغام می‌کنیم. به همین دلیل، الگوریتم پیشنهادی برای حل مدل SAICA نامیده می‌شود.

الگوریتم SAICA پیشنهادی دو مرحله دارد. در مرحله اول، که "مرحله آماده سازی" نامیده می‌شود، اپراتورهای مختلف کراس اور پس از یک مسابقه به رقابت می‌پردازند. بعد از مسابقه، کراس اور با امتیاز بالاتر فرصت بیشتری برای انتخاب در مرحله بعدی دارد. شکل ۲، فلوجارت الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: فلوجارت الگوریتم بهینه‌سازی

پس از اتمام مرحله آماده سازی، "مرحله اصلی" ICA همان طور که در بالا ذکر شد انجام می‌شود، با این تفاوت که فضای پاسخ توسط همه اپراتورهای جذب، کراس اور و انقلاب جستجو می‌شود.

یافته‌ها و شبیه‌سازی

بررسی تابع هدف

همان گونه که مشاهده شد، ما یک تابع بهینه‌سازی چندهدفه را تعریف کردیم که اهداف آن به ترتیب مینیمم کردن هزینه زنجیره ساخت و ساز و حداکثر کردن عدالت در توزیع کالاهای مورد نیاز برای ساخت و ساز بود. یکی از قیدهایی که در این رابطه بهینه‌سازی استفاده شده است، انحراف هزینه و عدالت در تابع بهینه‌سازی است. منظور از مینیمم کردن انحراف هزینه و عدالت این است که در هنگام وقوع زلزله، به تمام مناطق به یک اندازه سرویس دهی شود و برخی از مناطق کمتر از سایر مناطق مورد توجه قرار نگیرند.

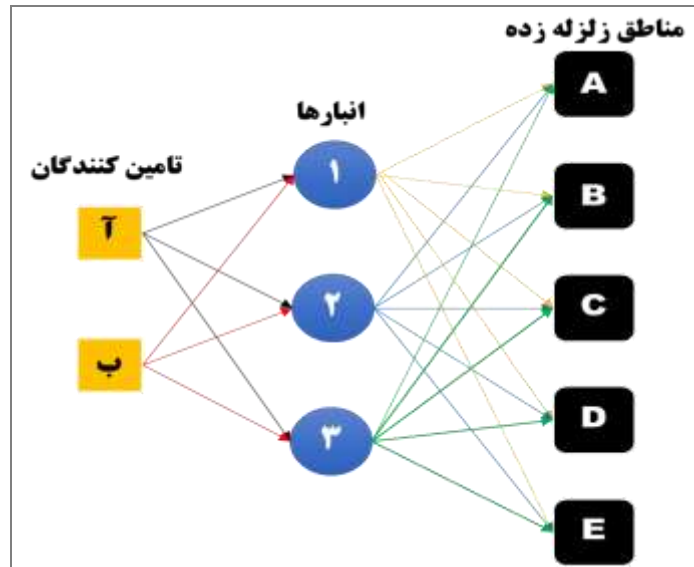
عوامل کاهش هزینه:

- آسیب دیدن انبارهای محلی که شامل مواد ضروری حادثه دیدگان هستند: این آسیب دیدن می‌تواند جزئی یا کلی باشد.
 - آسیب دیدن مراکز تأمین کننده کالاها: مشابه حالت قبل، این آسیب دیدن می‌تواند جزئی یا کلی باشد.
 - آسیب دیدن راه‌های ارتباطی: راه‌های ارتباطی می‌تواند شامل راه‌های بین انبارها، زلزله زدگان، راه‌های بین مراکز تأمین کننده اصلی و انبارها باشد. علت آسیب دیدن این راه‌ها نیز می‌تواند خرابی پل‌ها و تونل‌ها باشد. در تابع بهینه‌سازی عدالت، مشاهده می‌شود که عدالت نسبی از مقدار کالایی که به یک منطقه ارسال می‌شود نسبت به کالای مورد نیاز است. بنابراین زمانی عدالت برقرار خواهد شد که تمام نیاز زلزله زدگان در کمترین زمان ممکن تأمین شود. توابع مینیمم کردن انحراف از هزینه و عدالت نیز نشانگر آن هستند که هم کالاهای مورد نیاز تأمین گردند و هم تعداد نقاط آسیب‌دیده کاهش پیدا کنند.
- متغیر بهینه‌سازی ما انتخاب بهترین مسیر ممکن برای امداد رسانی به هر ناحیه است. ما در این الگوریتم بهینه‌سازی، مشخص خواهیم کرد که هر ناحیه از چه مسیری و به چه صورتی، کمک‌های خود را دریافت کند تا بتوان هم در هزینه صرفه جویی کرد و هم سبب افزایش عدالت در تأمین زنجیره ساخت و ساز شد. علاوه بر آن، هدف ما در این تحقیق، کاهش زمان تأمین زنجیره ساخت و ساز نیز است. با توجه به اینکه در بهینه‌سازی انجام گرفته، انتخاب بهترین مسیر مورد نظر است و همچنین باید در امداد رسانی، به نیازهای زلزله زدگان نیز توجه شود، بنابراین مسیر انتخاب شده، مسیری خواهد بود که با استفاده از آن، کمترین زمان تأمین زنجیره ساخت و ساز نیز به دست می‌آید.

شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی از چینش زیر (شکل ۳) استفاده می‌کنیم که شامل:

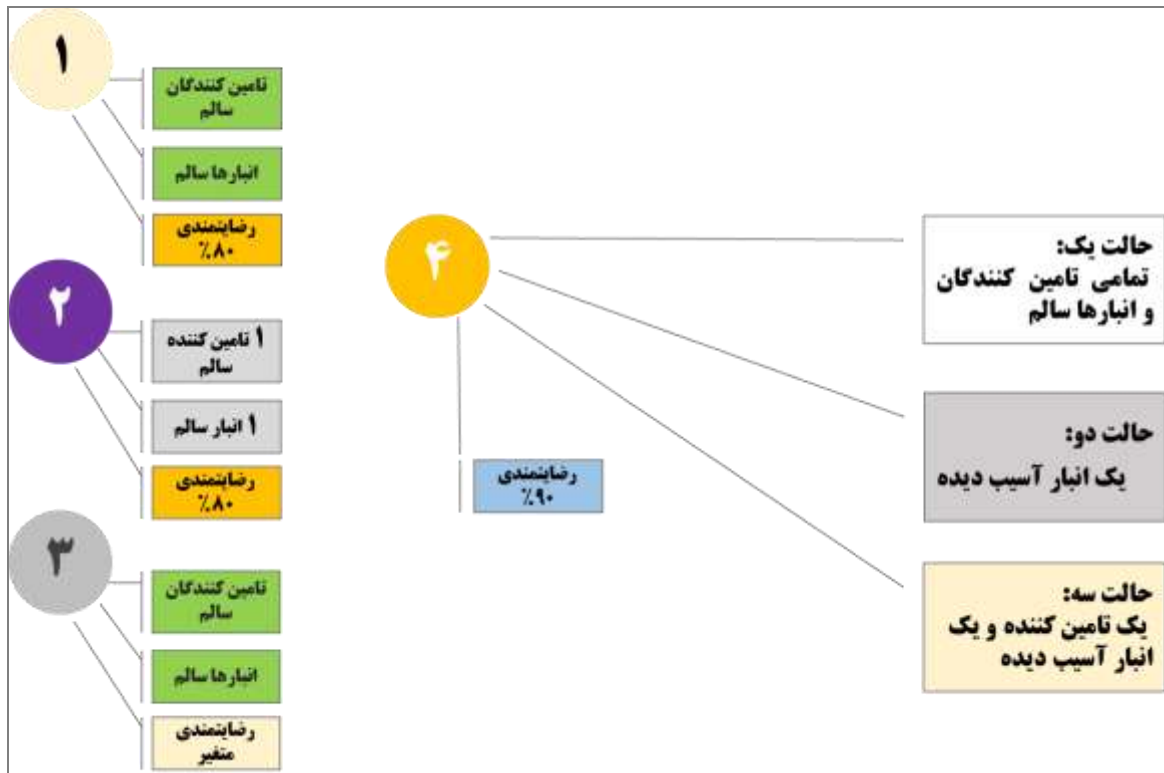
- تعداد ۲ تأمین کننده.
- تعداد ۳ انبار.
- مناطق آسیب‌دیده به ۵ مکان دسته بندی شده است.
- اقلام مصرفی را به ازای هر خانوار شامل کالاهای مصرف شدنی به صورت بسته بندی نموده‌ایم (بین ۲ تا ۳ هزار بسته).
- تعداد خانوارهای آسیب‌دیده بین ۲ تا ۵ هزار خانوار در نظر گرفته شده است.
- فواصل بین تأمین کنندگان، انبارها و آسیب دیدگان بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر فرض شده.
- راه‌های دسترسی بین هر تأمین کننده و انبار تنها و تنها یک راه است و بین انبار و نقاط آسیب‌دیده نیز همین فرض صادق می‌باشد.



شکل ۳: نقشه چینش مدل شبیه‌سازی

سناریوهای مدل پیشنهادی

برای این مدل پیشنهادی از ۴ سناریوی مختلف به شرح زیر کمک گرفته‌ایم (شکل ۴) و برای این مدل سطح رضایتمندی را به صورت ضریب‌های ۰,۴، ۰,۶، ۰,۸، ۰,۹ و فرض نمودیم.



شکل ۴: جزئیات سناریوهای مدل پیشنهادی

سناریوی اول

- تأمین کنندگان و انبارها سالم هستند.
- سطح رضایتمندی برابر ۰,۸ (۰,۸۰).

سناریوی دوم

- یک تأمین کننده و یک انبار سالم هست.
- سطح رضایتمندی برابر ۰,۸ (۰,۸۰).

سناریوی سوم

- تأمین کنندگان و انبارها سالم هستند.
- سطح رضایتمندی متغیر.

سناریوی چهارم

- ❖ سطح رضایتمندی ۰,۹ (۰,۹۰).
- ❖ بررسی سه گانه:
 - حالت یک: تمامی تأمین کنندگان و انبارها سالم هستند.
 - حالت دو: فقط یک انبار آسیب دیده.
 - حالت سه: یک تأمین کننده و یک انبار آسیب دیده است.

نتایج شبیه سازی

برای شبیه سازی سناریوهای یاد شده ما از دو الگوریتم SAICA و PSO با تکرار ۱۰۰ استفاده نمودیم که نتایج هر سناریو به صورت زیر تشریح می شوند:

سناریوی اول

با توجه به جدول ۶، کارایی دو الگوریتم تقریباً یکسان است فقط الگوریتم SAICA در یک مورد انبار بیشتری را در اختیار منطقه آسیب دیده قرار می دهد و این سناریو بیانگر این است که برخی از مناطق امکان تأمین کالا از بیش از یک انبار را دارا می باشند.

جدول ۶: تأمین کالا از انبارهای مختلف برای هر منطقه آسیب‌دیده

الگوریتم PSO

منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	تعداد مناطق
۱	۰	۱	۱	۰	انبار ۱
۰	۰	۰	۱	۱	انبار ۲
۱	۱	۰	۱	۱	انبار ۳
۲	۱	۱	۳	۲	جمع کل

الگوریتم SAICA

منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	تعداد مناطق
۱	۰	۱	۱	۰	انبار ۱
۰	۱	۰	۱	۱	انبار ۲
۱	۱	۰	۱	۱	انبار ۳
۲	۲	۱	۳	۲	جمع کل

جدول ۷: درصد تأمین کالا از انبارهای مختلف برای هر منطقه آسیب‌دیده

الگوریتم PSO

منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	سهم انبار
۸۰	۰	۱۰۰	۴	۰	انبار ۱
۰	۰	۰	۳۰	۱۰	انبار ۲
۲۰	۱۰۰	۰	۶۶	۹۰	انبار ۳
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع کل

الگوریتم SAICA

منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	سهم انبار
۷۵	۰	۱۰۰	۸	۰	انبار ۱
۰	۳۵	۰	۳۱	۱۶	انبار ۲
۲۵	۶۵	۰	۶۱	۸۴	انبار ۳
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع کل

جدول ۸: تأمین کالا از تأمین‌کنندگان برای هر انبار

الگوریتم PSO

انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	تعداد انبار
۱	۱	۱	تأمین‌کننده ۱
۰	۱	۰	تأمین‌کننده ۲
۱	۲	۱	جمع کل

الگوریتم SAICA

انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	تعداد انبار
۱	۱	۱	تأمین‌کننده ۱
۰	۱	۰	تأمین‌کننده ۲
۱	۲	۱	جمع کل

جدول ۹: درصد تأمین کالا از تأمین‌کنندگان برای هر انبار

الگوریتم PSO

انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	سهم تأمین‌کننده
۱۰۰	۲۳	۱۰۰	تأمین‌کننده ۱
۰	۷۷	۰	تأمین‌کننده ۲
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع کل

الگوریتم SAICA

انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	سهم تأمین‌کننده
۱۰۰	۳۷	۱۰۰	تأمین‌کننده ۱
۰	۶۳	۰	تأمین‌کننده ۲
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع کل

با توجه به جدول شماره ۹، تأمین‌کننده شماره ۱ بیش از ۷۹٪ از تأمین‌کالای انبارهای ۱ و ۳ را بر عهده دارد که این انبارها برابر جدول شماره ۷ بیش از ۸۴٪ از نقاط آسیب‌دیده را پشتیبانی می‌کند (الگوریتم SAICA $0.47 + 0.37 = 0.84$)، این بدان معنی است که عمده وظیفه تأمین کالا بر عهده انبار شماره ۱ است و در صورت خرابی مسیر یا خرابی این تأمین‌کننده، بیش از ۸۰٪ از مناطق آسیب‌دیده از امدادسانی باز خواهند ماند و نشان از عملکرد غیر قابل قبول این سناریو است.

سناریوی دوم

جدول ۱۰: تأمین کالا از انبارهای مختلف برای هر منطقه آسیب‌دیده

الگوریتم PSO							الگوریتم SAICA						
منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	تعداد مناطق		منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	تعداد مناطق	
۰	۱	۱	۱	۱	۴	انبار ۱	۰	۱	۱	۱	۱	۴	انبار ۱
۱	۱	۱	۰	۰	۳	انبار ۲	۱	۰	۰	۱	۰	۲	انبار ۲
۱	۲	۲	۲	۱		جمع کل	۱	۱	۲	۱	۱		جمع کل

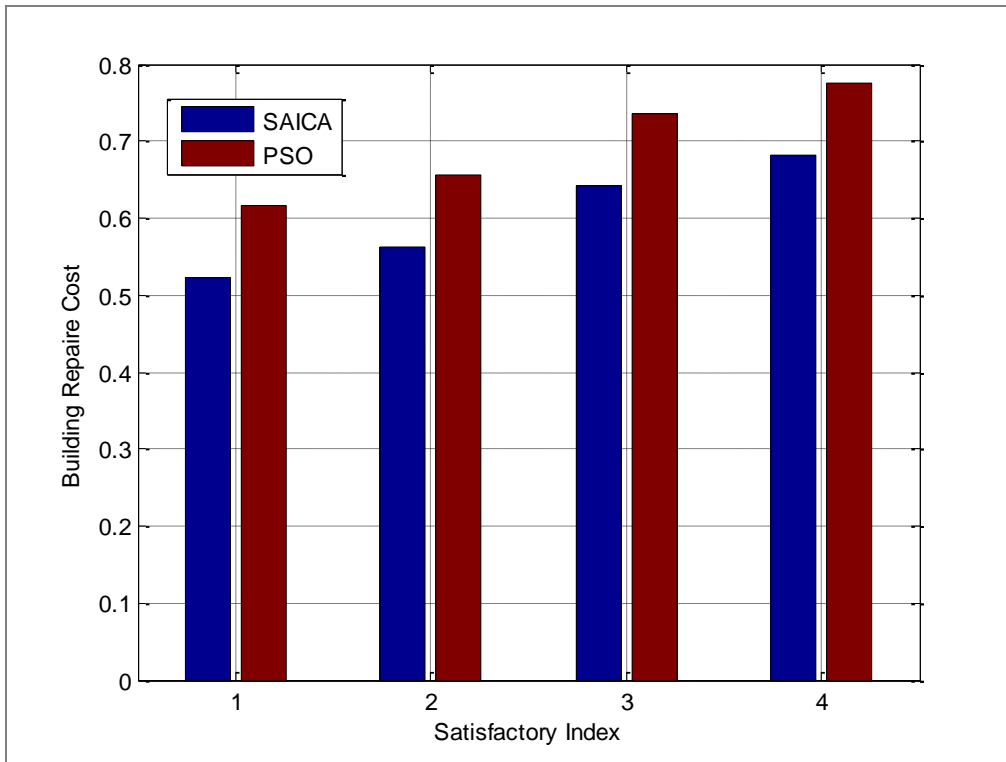
جدول ۱۱: درصد تأمین کالا از انبارهای مختلف برای هر منطقه آسیب‌دیده

الگوریتم PSO							الگوریتم SAICA						
منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	سهم انبار		منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	سهم انبار	
۰	۳۷	۲۸	۱۰۰	۱۰۰	۵۳%	انبار ۱	۰	۱۰۰	۳۲	۱۰۰	۱۰۰	۶۶%	انبار ۱
۱۰۰	۶۳	۷۲	۰	۰	۴۷%	انبار ۲	۱۰۰	۰	۶۸	۰	۰	۳۴%	انبار ۲
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰		جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰		جمع کل

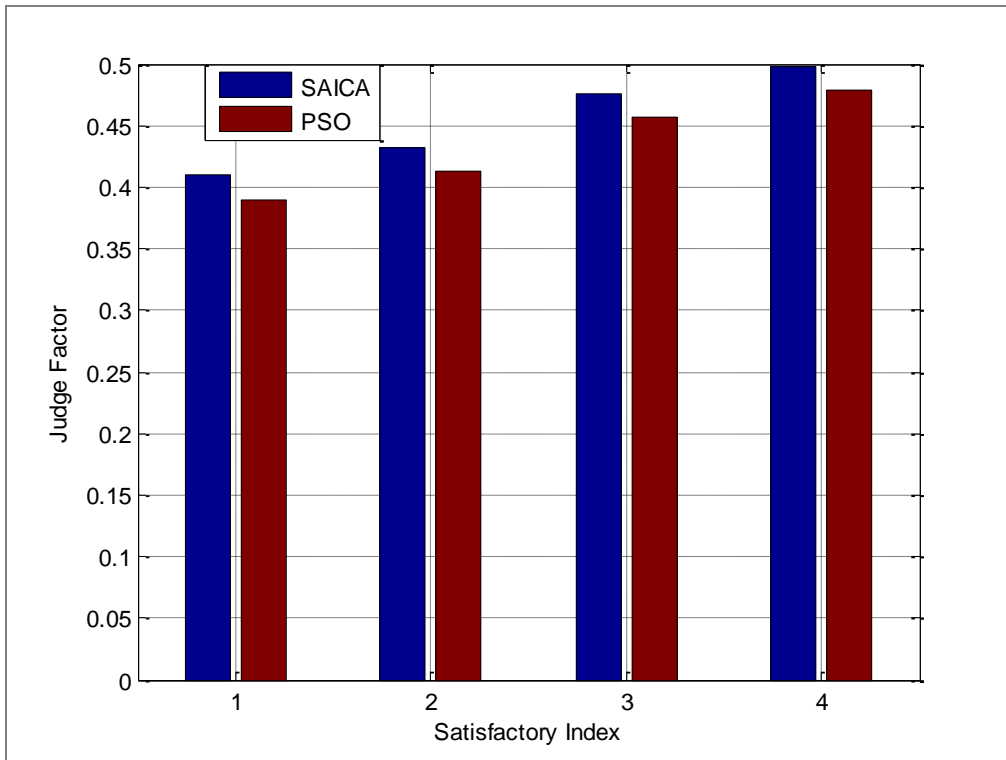
در این سناریو چون یک تأمین کننده و یک انبار از مدار خارج شده‌اند، همانند سناریوی اول عملکرد غیر قابل قبول خواهد بود و نیازی به واکاوی مشکل نخواهد بود.

سناریوی سوم

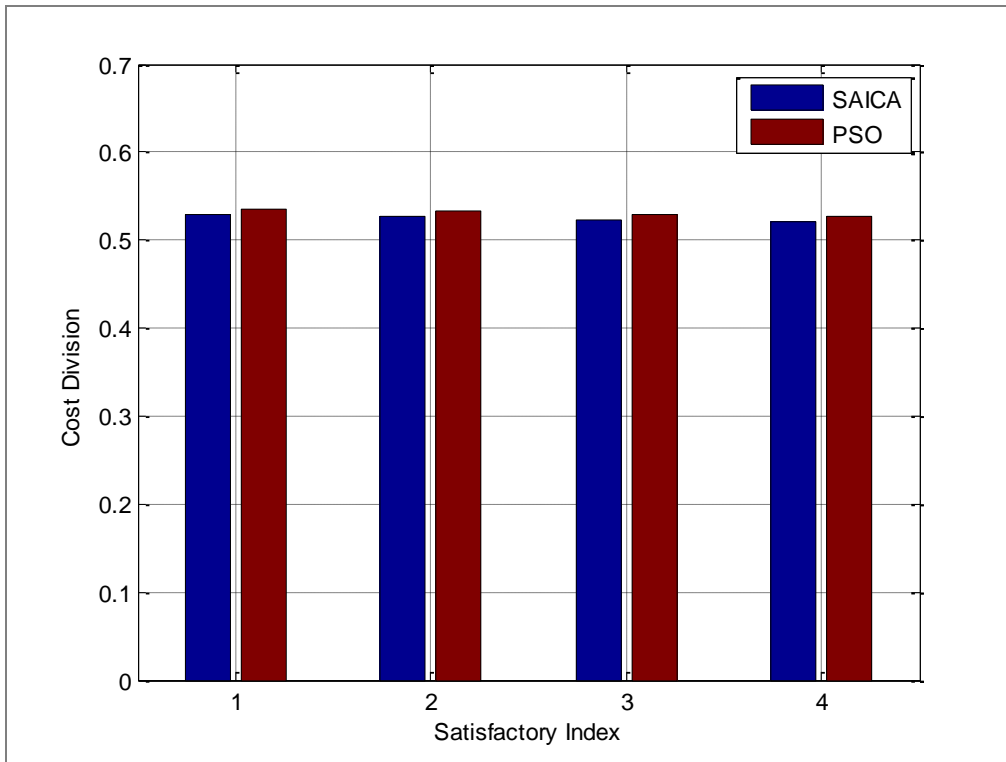
چون در این سناریو هدف افزایش سطح رضایتمندی در مقادیر مختلف است، با توجه نمودارهای زیر به این نتیجه می‌رسیم که با افزایش سطح رضایتمندی از ۰,۴ به ۰,۹ میزان عدالت به دلیل توزیع بیشتر کالا در مناطق افزایش داشته و هزینه‌ها نیز کاهش می‌یابد. در مورد کارکرد الگوریتم‌ها، الگوریتم SAICA عملکرد بهتری را از خود نشان داده است.



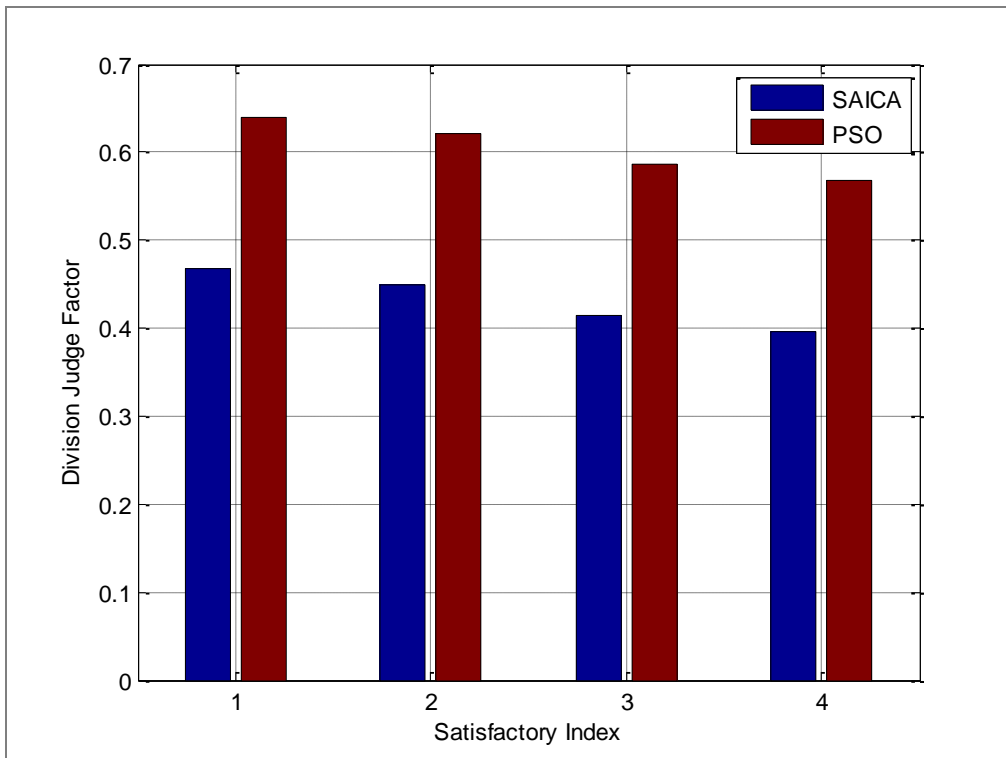
نمودار ۱: معیار هزینه بر حسب مقادیر مختلف رضایتمندی برای الگوریتم‌ها



نمودار ۲: معیار عدالت ر حسب مقادیر مختلف رضایتمندی برای الگوریتم‌ها



نمودار ۳: معیار انحراف هزینه بر حسب مقادیر مختلف رضایتمندی برای الگوریتمها



نمودار ۴: معیار انحراف عدالت بر حسب مقادیر مختلف رضایتمندی برای الگوریتمها

سناریوی چهارم

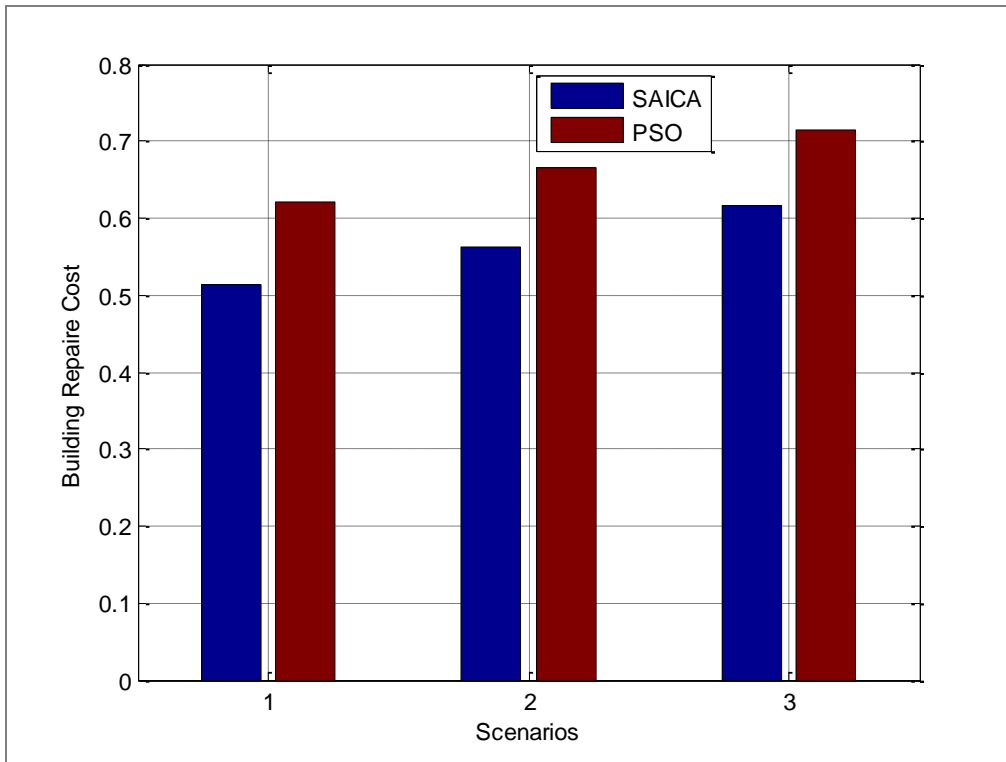
در این حالت ما به بررسی تاثیر میزان آسیب به انبارها و تأمین کنندگان کالا خواهیم پرداخت. همان گونه که گفتیم، ما سه حالت را در نظر گرفتیم که منظور از این سه حالت در نمودارهای نشان داده شده، به شرح زیر است:

- فرض می شود که تمام انبارها و مراکز تأمین کننده کالا سالم هستند.
- فرض می شود که یک انبار آسیب دیده است.
- فرض می شود که یک انبار و یک تأمین کننده آسیب دیده اند.

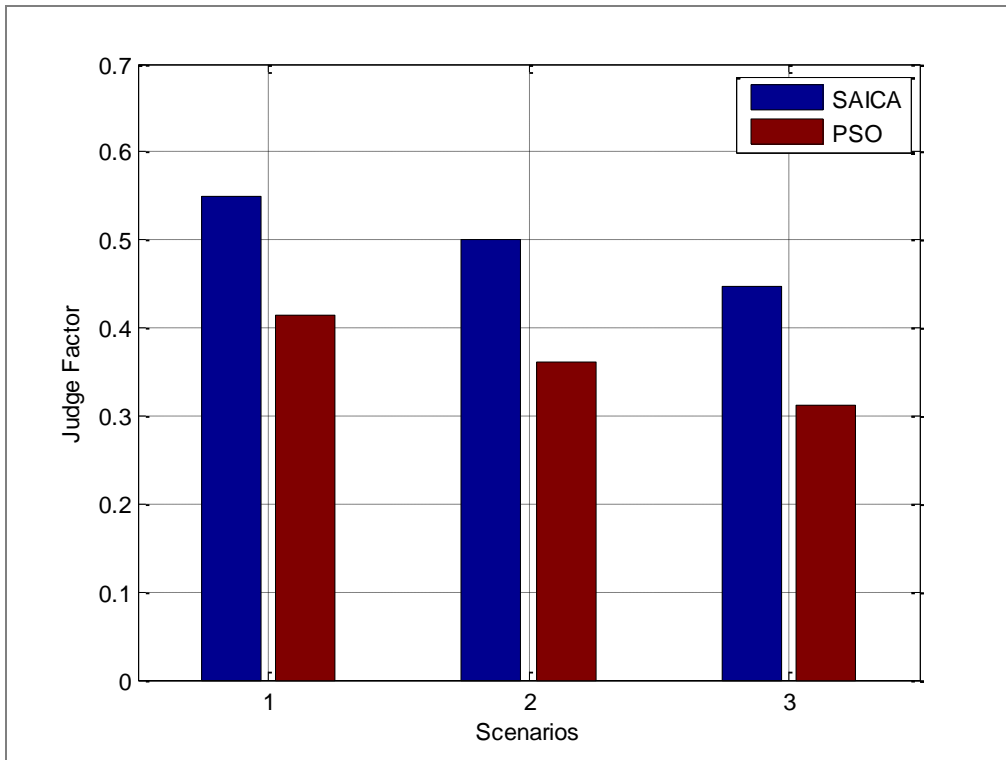
نمودارهای ۵ تا ۸ مقدار نرمالیزه شده برای توابع مختلف را نشان می دهد. مشاهده می شود که در این نمودارها، الگوریتم SAICA کارایی بهتری نسبت به الگوریتم PSO دارد. علاوه بر آن، در سناریوی سوم، هزینه، انحراف هزینه و انحراف عدالت بیشتر از دو سناریوی دیگر است در حالی که مقدار به دست آمده برای عدالت، کمتر از دو حالت دیگر است. در سناریوی دوم، مقدار به دست آمده برای انحراف هزینه و انحراف عدالت و مقدار به دست آمده برای هزینه بیشتر از حالت اول است در حالی که مقدار به دست آمده برای عدالت کمتر از حالت اول است. با بررسی این نمودارها مشاهده می شود که هرچه آسیب وارده به زیرساخت ها بیشتر شود، هزینه امداد رسانی بیشتر خواهد شد و در مقابل، عدالت کمتری برقرار خواهد بود. بنابراین از این نمودارها نتیجه می گیریم که ایجاد زیرساخت های مناسب برای امداد رسانی بسیار مهم است.

نمودارهای ۵ و ۶ به ترتیب تابع هزینه نرمالیزه شده برای سناریوهای مختلف و تابع عدالت نرمالیزه شده برای سناریوهای مختلف را نشان می دهند. مشاهده می شود که در سناریوی سوم، هزینه نرمالیزه شده بیش از دو سناریوی اول و دوم است در حالی که سناریوی اول، کمترین هزینه را دارد. همچنین هزینه نرمالیزه شده برای سناریوی دوم، کمتر از سناریوی سوم و بیشتر از سناریوی اول است. علاوه بر آن در نمودار ۶ مشاهده می شود که ضریب عدالت برای سناریوی سوم کمتر از دو سناریوی دیگر است و به این معنی است که در این سناریو، عدالت کمتری را می توان برقرار کرد. در مقابل، مقدار ضریب عدالت برای سناریوی اول بیش از دو سناریوی دیگر است. همان گونه که گفته شد، برای هر سه سناریو، هم در مقدار عدالت به دست آمده برای امداد رسانی و هم در مقدار هزینه تأمین زنجیره ساخت و ساز، عملکرد الگوریتم بهینه سازی SAICA بهتر از الگوریتم PSO بوده است.

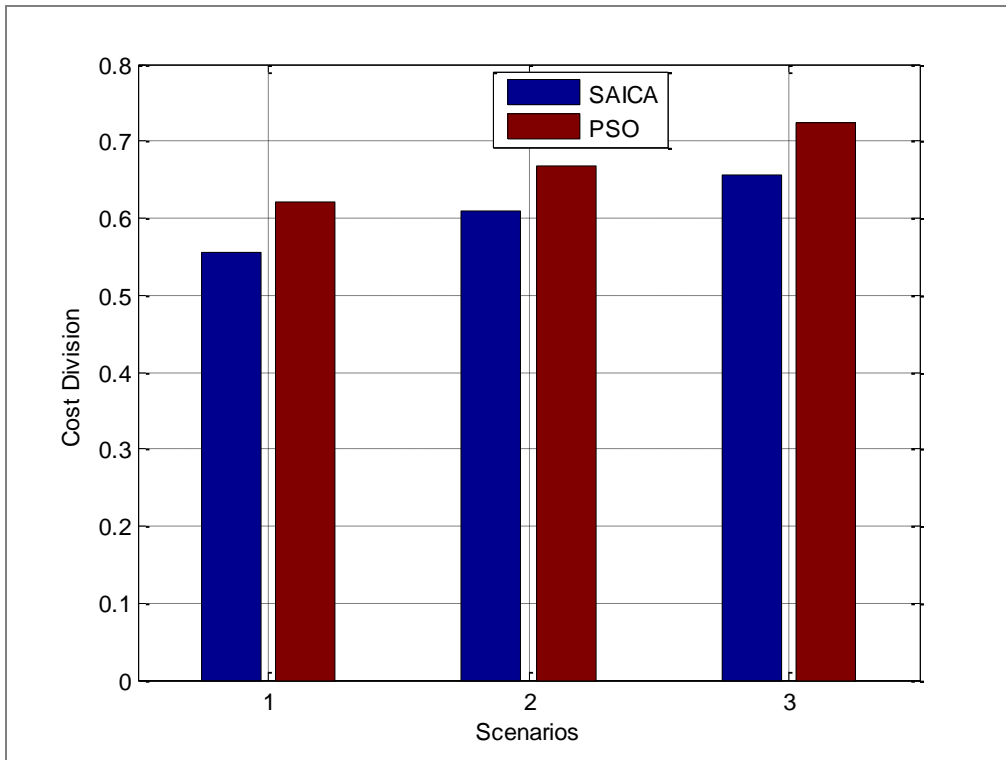
نکته مهمی که باید در تحقیقات در نظر گرفته شود، وجود انحراف در توابع هدف است. انحراف در عدالت و هزینه نشان می دهد که آیا به تمام مناطق آسیب دیده توجه کافی شده است یا تنها به برخی از مناطق آسیب دیده سرویس دهی شده و برخی دیگر از مناطق، مورد توجه قرار نگرفته است. از اینرو، نمودارهای ۷ و ۸ به ترتیب تابع انحراف هزینه نرمالیزه شده برای سناریوهای مختلف و تابع انحراف عدالت نرمالیزه شده برای سناریوهای مختلف را نشان می دهند. مشاهده می شود که در سناریوی سوم، هم انحراف هزینه نرمالیزه شده و هم انحراف عدالت نرمالیزه شده بیش از دو سناریوی اول و دوم است در حالی که سناریوی اول، کمترین انحراف را در هزینه و عدالت دارد. بنابراین در این حالت نیز مشاهده می شود که عملکرد الگوریتم بهینه سازی SAICA بهتر از الگوریتم PSO بوده است.



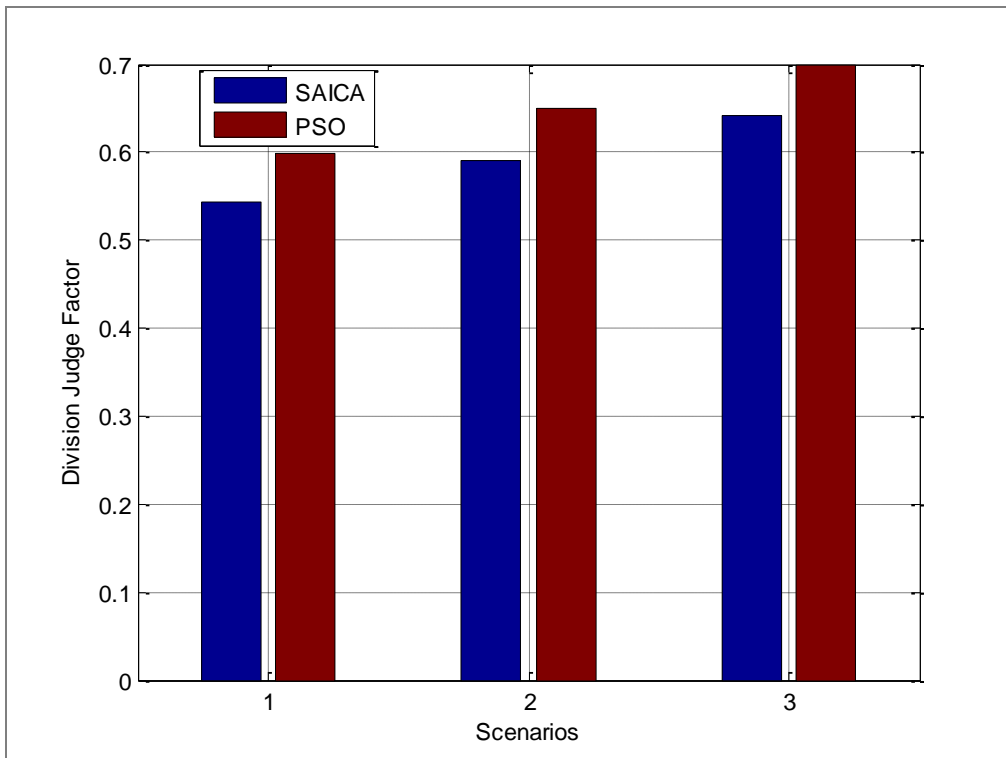
نمودار ۵: مقادیر تابع هزینه نرمالیزه شده برای سناریوهای مختلف



نمودار ۶: مقادیر تابع عدالت نرمالیزه شده برای سناریوهای مختلف



نمودار ۷: مقادیر تابع انحراف هزینه نرمالیزه شده برای سناریوهای مختلف



نمودار ۸: مقادیر تابع انحراف عدالت نرمالیزه شده برای سناریوهای مختلف

نتیجه گیری

مدل پیشنهادی را با دو الگوریتم SAICA و PSO برای چهار سناریوی مختلف آزمودیم که در سناریوهای اول، دوم و سوم تفاوت چندانی بین کارکرد الگوریتم‌ها مشاهده نشد، اما در سناریوی چهارم الگوریتم SAICA توانست برتری خود را بدین ترتیب نشان دهد:

- ✚ کاهش هزینه تا ۰.۸٪.
- ✚ افزایش عدالت تا ۰.۷,۵٪.
- ✚ کاهش انحراف از هزینه تا ۰.۱۳٪.
- ✚ انحراف از عدالت تا ۰.۹٪.
- ✚ در تغییر رضایتمندی از ۰,۴ به ۰,۹:
- تابع نرمالیزه هزینه ۰.۲۸٪ کاهش داشت.
- تابع نرمالیزه عدالت ۰.۲۰٪ افزایش داشت.
- ✚ در مقادیر مختلف رضایتمندی:
- کاهش هزینه تا ۰.۶,۵٪.
- افزایش سطح عدالت تا ۰.۱۱٪.

پیشنهادها

پیشنهادهای کاربردی

- ۱- در نظر گرفتن ظرفیت ذخیره سازی بیش از مقدار مورد نیاز تا در صورت از بین رفتن برخی از آن‌ها، تأمین زنجیره ساخت و ساز دچار مشکل نشوند.
- ۲- در نظر گرفتن راه‌های جایگزین و تهیه نقشه راه تا در صورت از بین رفتن بخشی از شبکه تأمین زنجیره ساخت و ساز، همچنان راه‌های جایگزین نیز وجود داشته باشند.

پیشنهاد برای تحقیق‌های آینده

- ۱- در نظر گرفتن عدم قطعیت در بهینه‌سازی و تعریف یک تابع بهینه‌سازی جدید.
- ۲- استفاده از الگوریتم یادگیری خود سازمان ده مانند شبکه عصبی خود سازمان ده، برای بهبود تصمیم‌گیری در زمان وقوع زلزله.
- ۳- در نظر گرفتن بیش از یک مسیر بین مناطق زلزله زده و انبارها و تعریف ارتباط آن‌ها به صورت گراف چند مسیره.

منابع

- [1] Balcik, B., and Beamon, B. M. "Facility Location in Humanitarian Relief", Int. J. of Log. R. Res. and App, Vol. 11, No. 2, 2008, PP. 101-121.
- [2] Döyten A., Aras, N., and Barbaroso, G. "A Two-Echelon Stochastic Facility Location Model for Humanitarian Relief Logistics", Optimization Letters, Vol. 6,

No. 6, 2012, PP. 1123–1145.

- [3] Bozorgi Amiri, A., Jabalameli, M. S., and Mirzapour Al-E-Hashem, S. M. J. “A Multi Objective Robust Stochastic Programming Model for Disaster Relief Logistics Under Uncertainty”, *OR Spectr.*, Vol. 35, No. 4, 2013, PP. 905-933.
- [4] Ransikarbum, K. R., and Mason, S. J. “Multiple-Objective Analysis of Integrated Relief Supply and Network Restoration in Humanitarian Logistics Operations”, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 54, No. 1, 2014, PP. 49–68.
- [5] Tofighi, S., Torabi, S. A., and Mansouri, S. A. Humanitarian Logistics Network Design Under Mixed Uncertainty”, *Eur. J. Oper. Res.*, Vol. 250, No. 1, 2016, PP. 239–250.
- [6] Balçık, B., Deniz, C., and Kundakcioglu, O. E. “A Literature Review on Inventory Management in Humanitarian Supply Chains”, *Surv. Oper. Res. Manag. Sci.*, Vol. 21, No. 2, 2016, PP. 101-116.
- [7] Ransikarbum, K., and Mason, S. J. “Goal Programming-Based Post-Disaster Decision Making For Integrated Relief Distribution And Early-Stage Network Restoration”, *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 182, 2016, pp. 324–341.
- [8] Çelik, M. “Network Restoration and Recovery in Humanitarian Operations: Framework, Literature Review, and Research Directions”, *Surv. Oper. Res. Manag. Sci.*, Vol. 21, No. 2, 2017, PP. 47 61.
- [9] Tatham, P.; Spens, K.; Kovács, G. The humanitarian common logistic operating picture: A solution to the inter-agency coordination challenge. *Disasters* 2017, 41, 77–100.
- [10] Akbari, V.; Salman, F.S. Multi-vehicle synchronized arc routing problem to restore post-disaster network connectivity. *Eur. J. Oper. Res.* 2017, 257, 625–640.
- [11] Sharma, B.; Ramkumar, M.; Subramanian, N.; Malhotra, B. Dynamic temporary blood facility location-allocation during and post-disaster periods. *Ann. Oper. Res.* 2017, 1–32.
- [12] Kim, S.; Ramkumar, M.; Subramanian, N. Logistics service provider selection for disaster preparation: A socio-technical systems perspective. *Ann. Oper. Res.* 2018, 1–24.
- [13] Zhang, B.; Li, H.; Li, S.G.; Peng, J. Sustainable multi-depot emergency facilities location-routing problem with uncertain information. *Appl. Math. Comput.* 2018, 333, 506–520.
- [14] Vahdani, B.; Veysmoradi, D.; Shekari, N.; Mousavi, S.M. Multi-objective, multi-period locationrouting model to distribute relief after earthquake by considering emergency roadway repair. *Neural Comput. Appl.* 2018, 30, 835–854.
- [15] Li, S.L.; Teo, K.L. Post-disaster multi-period road network repair: Work scheduling and relief logistics optimization. *Ann. Oper. Res.* 2018.
- [16] Altay, N.; Gunasekaran, A.; Dubey, R.; Childe, S.J. Agility and resilience as antecedents of supply chain performance under moderating effects of organizational culture within the humanitarian setting: A dynamic capability view. *Prod. Plan.*

Control 2018, 29, 1158–1174.

- [17] Rodríguez-Espíndola, O., Albores, P And Brewster, C. “Disaster Preparedness In Humanitarian Logistics: A collaborative Approach For Resource Management In Floods”, *Eur. J. Oper. Res.*, 2018 Vol. O, Pp. 1-16.
- [18] Yu, L.N.; Zhang, C.R.; Yang, H.S.; Miao, L.X. Novel methods for resource allocation in humanitarian logistics considering human suffering. *Comput. Ind. Eng.* 2018, 119, 1–20.
- [19] Changshi L, Gang K, Yi P, Fawaz E. A., Location-Routing Problem for Relief Distribution in the Early Post-Earthquake Stage from the Perspective of Fairness, sustainability, Vol. 11, No. 32, 2019, pp. 1-16.
- [20] Alinaghian, M.; Aghaie, M.; Sabbagh, M.S. A mathematical model for location of temporary relief centers and dynamic routing of aerial rescue vehicles. *Comput. Oper. Res.* 2019, 131, 227–241.
- [21] Rezaei M., A bi-objective optimization framework for designing an efficient fuel supply chain network in post-earthquakes, *Computers & Industrial Engineering*, 2020.
- [22] Rahimi Y., Haghjoo N., Tavakkoli-Moghaddam R., Shahmoradi-Moghaddam H “Reliable blood supply chain network design with facility disruption: A real-world application”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2020.