

## مکان‌یابی پناهگاه‌ها و مراکز امدادی - مخابراتی با در نظر گرفتن عدم

### قطعیت در زمان بحران

### (مطالعه موردی: بحران سیل در منطقه ۳ تهران)

احمد محمدی<sup>۱</sup>، سعید یعقوبی<sup>۲</sup>، جمال نهفتی کهنه<sup>۳</sup>، میرسامان پیشوایی<sup>۴</sup>

**چکیده:** از مهم‌ترین مسائلی که باید همواره در مدیریت بحران به آن توجه شود، اسکان موقت جمعیت آسیب‌دیده، تأمین کالاهای امدادی، طراحی و ایجاد بستر مخابراتی مناسب برای برقراری ارتباطات در زمان بحران است. به این منظور، در این مقاله با ارائه مدلی به مکان‌یابی پناهگاه‌ها برای اسکان موقت جمعیت آسیب‌دیده، انبارهای کالاهای امدادی و نیز دکل‌های مخابراتی پرداخته می‌شود. به طوری که انبارهای کالاهای امدادی و دکل‌های مخابراتی در یک تسهیل، با عنوان مرکز امدادی - مخابراتی، برای کاهش هزینه‌ها و ارائه خدمات بهتر در نظر گرفته شد. همچنین، برای افزایش قابلیت اطمینان در مدیریت بحران از انبارهای پشتیبان استفاده شد و مدل به صورت دوهدفه و غیر خطی ارائه شد که ابتدا نرمال‌سازی و سپس خطی شد. همچنین، با توجه به محیط و شرایط ناپایدار در بحران‌های طبیعی، مدل مذکور با نبودن قطعیت و به صورت فازی در نظر گرفته شد. در نهایت، مدل توسعه داده شده برای مطالعه موردی بحران سیل در منطقه سه تهران پیاده‌سازی شد که نتایج نشان می‌دهد در صورت مکان‌یابی بهینه تسهیلات مذکور می‌توان به تصمیم‌گیرندگان امر مدیریت بحران در این منطقه، برای افزایش خدمت‌رسانی در هنگام بحران کمک شایانی کرد.

**واژه‌های کلیدی:** پناهگاه، رویکرد فازی، مدیریت بحران، مراکز امدادی - مخابراتی، منطقه سه تهران.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۲. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۴. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸

نویسنده مسئول مقاله: سعید یعقوبی

Email: Yaghoubi@iust.ac.ir

## مقدمه

مخاطرات طبیعی از مهم‌ترین عوامل انهدامی سکونتگاه‌های انسانی شناخته شده‌اند (کریمی صالح، ۱۳۸۵). براساس آمارهای مرکز جهانی حوادث غیر مترقبه وابسته به سازمان ملل، در جهان بیش از چهل نوع مخاطرات طبیعی شناخته شد که ۳۱ نوع از آن در ایران به دلیل شرایط ویژه جغرافیایی اتفاق می‌افتد. براساس آمارهای موجود، در نود سال گذشته در ایران ۱۲۰۰۰۰ نفر بر اثر مخاطرات طبیعی جان خود را از دست دادند (هادوی و همکاران، ۱۳۹۲). برای کاهش حوادث مخاطرات، علمی به نام مدیریت بحران به وجود آمد که می‌توان به‌عنوان فعالیت‌های پیشگیرانه و آمادگی در برابر بحران و بهبود وضعیت بحران در نظر گرفت. یکی از مهم‌ترین مشکلات بعد از وقوع بحران‌های طبیعی، سیل عظیم آوارگان و پناهجویان است که در برنامه‌ریزی‌های مدیریت بحران باید به آن توجه کرد. به این منظور، امروزه یکی از مهم‌ترین مسائلی که همواره سازمان‌های مسئول در مدیریت بحران به آن توجه می‌کنند انتخاب مکانی مناسب برای اسکان موقت جمعیت آسیب‌دیده از سوانح و بلایای طبیعی است. همچنین، در زمان بحران، احتمال ایجاد شرایط اضطراری قوت می‌گیرد. از مهم‌ترین اقداماتی که دولت‌ها باید در شرایط بحران انجام دهند، تأمین آب و غذای سالم و بهداشتی برای افراد در معرض آسیب است. ظهور تغییرات بسیار نامطلوب در وضعیت تغذیه جامعه، بعد از وقوع حادثه، به نوع بحران، زمان وقوع حادثه، وسعت حادثه، میزان کالای امدادی ذخیره‌شده و اقدامات پیشگیرانه مدیران جامعه بستگی دارد (اینگرام، ۱۹۸۷)؛ بنابراین، در نظر گرفتن انبارهای پوششی برای ذخیره آب و غذا پیش از بحران ضروری است. قابلیت اطمینان در شرایط بحران موضوعی است که نیازمند نگاه ویژه از سوی تصمیم‌گیرندگان مدیریت بحران است. اختلال در تأمین کالای امدادی برای مناطق آسیب‌دیده به کمبود مواد غذایی و پیدایش قحطی منجر می‌شود. به همین دلیل برای افزایش کارایی و قابلیت اطمینان مدیریت بحران، انبارهای پشتیبان در صورت تخریب انبارهای اصلی در نظر گرفته می‌شود. همچنین، برای مدیریت بحران مؤثر ارتباطات پیشرفته بسیار مهم است. نبودن ارتباطات، به‌طور مستقیم موجب کاهش سطح آگاهی از شرایط برای مدیران ارشد و امدادگران بحران در محل سانحه می‌شود (ریبیعی و شاقاسمی، ۱۳۸۵). به همین دلیل، وجود سیستم ارتباطی رادیویی مطمئن و پایدار، مستلزم پیش‌بینی‌های قبلی و در نظر گرفتن شرایط بحران است. به‌طور کلی یکی از مهم‌ترین فناوری‌های ارتباطی، سیستم‌های رادیویی است. تحقیقات نشان داد بروز اشکال در زیرساخت‌های ارتباطی شبکه بیشترین دلایل قطعی و اختلال در سیستم‌های ارتباطی است. در این تحقیقات، مشخص شد شایع‌ترین مواردی که در حوادث طبیعی مانند سیل، زلزله و توفان رخ می‌دهد سقوط دکل‌های مخابراتی، قطع کابل‌های

فیبر نوری و تخریب ساختمان‌های مخابراتی و ارتباطی است که موجب مختل شدن کل یا بخشی از زیرساخت شبکه می‌شود. در همین راستا، در گزارشی در زمینه وقوع زلزله در ایران مشخص شد اکثر دکل‌های مخابراتی در مقابل زلزله پنج ریشتری دچار اختلال و آسیب می‌شوند (رئیس سازمان پدافند غیر عامل کشور، ۱۳۹۳). به همین دلیل قبل از وقوع بحران، بررسی و طراحی بستر ارتباطی امن، ایمن و قابل اطمینان حائز اهمیت است تا در هر شرایطی نیروهای امدادرسانی را یاری کند.

با در نظر گرفتن چهار موضوع مهم در مدیریت بحران یعنی تأمین سرپناه و پناهگاه، تأمین آب و غذا با عنوان کالای امدادی، پوشش مخابراتی و افزایش قابلیت اطمینان، لازم است با مرور ادبیاتی در زمینه مدیریت بحران به تعیین شکاف‌ها پرداخته شود.

### پیشینه پژوهش

یی و کومار (۲۰۰۷) به ارائه الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان برای حل مسئله لجستیک در اقدامات امدادی به هنگام بحران پرداختند. شتو (۲۰۰۷) به ارائه رویکرد خوشه‌بندی فازی برای دسته‌بندی مناطق آسیب‌دیده و عملیات لجستیک اضطراری، به هنگام پاسخ به نیازهای امدادی و اضطراری در دوره‌های نجات مربوط به بحران پرداخت. لیو (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به انتخاب پناهگاه‌های اضطراری برای زلزله در مناطق کوهستانی با توجه به عوامل زمین‌شناسی مانند بافت‌های زمین‌شناسی، ارزیابی خطر، توپوگرافی و شرایط جغرافیایی هیدرولوژیکی و در دسترس‌پذیری پرداخت. سعادت‌سرشت (۲۰۰۸) از برنامه‌ریزی چندهدفه و جی‌آی‌اس برای انتخاب مناطق امن و پیدا کردن مسیر بین ساختمان‌ها و مناطق امن استفاده کردند. همچنین، آن‌ها با بخش‌بندی مسئله به سه مرحله و به کارگیری جی‌آی‌اس به عنوان ابزاری اصلی برای حل مسئله، گامی نو در راستای توسعه در این حوزه برداشتند. ویدنر و هورنر (۲۰۱۱) با معرفی مدل سلسله‌مراتبی ظرفیت‌دار، استفاده از امکانات برای توزیع خدمات امدادی را ارائه دادند. راث و گاجار (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به ارائه مدلی برای تأسیس انبارهای کالای امدادی بعد از وقوع بحران پرداختند، سپس مدل خود را با الگوریتم ژنتیک حل کردند. لین و همکاران (۲۰۱۲) مدلی برای انتخاب محل انبارهای موقت در اطراف منطقه فاجعه‌زده - با در نظر گرفتن وسایل نقلیه و منابع مورد نیاز - با استفاده از رویکرد ابتکاری دومرحله‌ای ارائه دادند. آگنون و همکاران (۲۰۱۴) مکان‌یابی تسهیلات قبل از وقوع بحران را به گونه‌ای ارائه دادند که ریسک پوشش نیافتن نقاط تقاضا از تسهیلات مکان‌یابی شده حداقل شود.

مرور ادبیات مقاله‌های لجستیک امداد در جدول ۱ طبقه‌بندی شد.

جدول ۱. مرور ادبیات لجستیک امداد

مرور ادبیات	نوع تصمیم‌گیری		مراکز در نظر گرفته شده		تابع هدف		روش حل			
	قطعی	نبودن قطعیت	تسهیلات پشتیبان	پناهگاه	دکل‌های مخابراتی	انبارهای دارو	انبارهای مواد غذایی	چندهدفه	تک‌هدفه	روش فراابتکاری
(بی و کومار، ۲۰۰۷)		✓					✓		✓	
(شئو، ۲۰۰۷)		✓					✓			✓
(لیو، ۲۰۰۸)				✓			✓			
(سعادت سرشت، ۲۰۰۸)				✓			✓			
(ویدنر و هورنر، ۲۰۱۱)	✓				✓					
(راث و گاجار، ۲۰۱۱)	✓			✓						✓
(لین و همکاران، ۲۰۱۲)	✓					✓				✓
(آگگون و همکاران، ۲۰۱۴)	✓			✓					✓	✓
این مقاله				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

با توجه به تحقیقات انجام گرفته، مدلی جامع برای مسئله مدیریت بحران پیشنهاد می‌شود که مباحث اسکان موقت، تأمین کالای امدادی و تسهیلات پشتیبان و پوشش مخابراتی را با وارد کردن نبودن قطعیت در پارامترهای تقاضا به‌طور همزمان در نظر بگیرد. اهداف مدل پیشنهادی شامل کمینه‌سازی میزان تقاضا در زمان، برای حمل‌ونقل حادثه‌دیدگان، حمل‌ونقل کالاهای مورد نیاز از انبار به پناهگاه، حمل‌ونقل کالاهای مورد نیاز از انبار پشتیبان به پناهگاه و بیشینه‌سازی سطح سرویس مناطق آسیب‌دیده توسط انبارهای کالای امدادی و پناهگاه‌ها و پوشش مخابراتی است.

برای کاهش هزینه‌ها و خدمات بهتر، انبارهای کالای امدادی و دکل‌های مخابراتی در یک مرکز، با عنوان مرکز امدادی- مخابراتی در نظر گرفته شد.

مواردی که مقاله حاضر را از دیگر مقاله‌ها متمایز می‌کند به‌صورت زیر هستند:

۱. ارائه مدل برنامه‌ریزی لجستیک دوهدفه، که در زمینه مکان‌یابی پناهگاه‌ها، انبارهای کالای

امدادی، مراکز مخابراتی و انبارهای پشتیبان به‌طور همزمان تصمیم‌گیری کند.

۲. برای نزدیک‌تر شدن مدل به دنیای واقعی، احتمال خرابی در انبارهای کالای امدادی و مراکز مخابراتی در نظر گرفته شد.

۳. نبودن قطعیت در مسئله به‌صورت پارامترهای فازی در نظر گرفته شد.

### تعریف مسئله و مدل ریاضی لجستیک امداد

اسکان پناهجویان، پوشش مخابراتی منطقه، توزیع کالای امدادی و درنظرگرفتن انبارهای پشتیبان برای افزایش قابلیت اطمینان از مهم‌ترین اقدامات قبل از بحران محسوب می‌شود که در مدل پیشنهادی درنظر گرفته شد. هدف اصلی این مقاله ارائه مدلی برای مسئله مدیریت بحران است که شامل مکان‌یابی پناهگاه‌ها و تخصیص نقاط آسیب‌دیده به پناهگاه‌ها، مکان‌یابی انبارهای کالای امدادی و مراکز مخابراتی و انبارهای پشتیبان در زمان بحران است. در این بخش، مفروضات، پارامترها، مجموعه‌ها، متغیرهای تصمیم و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله معرفی می‌شود.

### مفروضات

از عمده مفروضات مسئله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. در این مسئله، چند منطقه آسیب، چند مکان بالقوه برای احداث پناهگاه‌ها، تأسیس مرکز امدادی - مخابراتی و تأسیس انبارهای پشتیبان وجود دارد. ۲. برای کاهش هزینه‌ها و خدمات بهتر، انبارهای کالای امدادی و دکل‌های مخابراتی به صورت یکپارچه و با عنوان مرکز امدادی - مخابراتی درنظر گرفته شد. ۳. مرکز امدادی - مخابراتی با احتمال خرابی درنظر گرفته شد. ۴. پارامترهای تعداد آسیب‌دیدگان، تقاضای نقاط آسیب‌دیده از انبارهای کالای امدادی، پوشش مخابراتی منطقه آسیب‌دیده و احتمال خرابی مرکز امدادی - مخابراتی به صورت فازی درنظر گرفته شد. ۵. هر نقطه آسیب‌دیده می‌تواند به یک پناهگاه اختصاص یابد. ۶. هر پناهگاه به مرکزی امدادی - مخابراتی اختصاص می‌یابد. ۷. هر پناهگاه به انباری پشتیبان اختصاص می‌یابد. ۸. تأمین پوشش کالای امدادی و پوشش مخابراتی نقاط آسیب‌دیده به صورت موازی است.

### مجموعه‌ها

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| I : مجموعه نقاط آسیب‌دیده                           | i : شناساگر نقاط آسیب‌دیده         |
| J : مجموعه نقاط بالقوه تأسیس مرکز امدادی - مخابراتی | j : شناساگر مرکز امدادی - مخابراتی |
| B : مجموعه نقاط بالقوه تأسیس انبار پشتیبان          | b : شناساگر انبار پشتیبان          |
| S : مجموعه نقاط پناهگاه                             | S : شناساگر نقاط پناهگاه           |

### پارامترها

$C$ :	تعداد پناهگاه که باید احداث شوند.
$G$ :	تعداد انبار پشتیبان که باید احداث شوند.
$A$ :	تعداد مرکز امدادی-مخابراتی که باید احداث شوند.
$d_{is}$ :	مسافت نقطه آسیب دیده $i$ و پناهگاه $s$
$d_{sb}$ :	مسافت بین پناهگاه $s$ و انبار پشتیبان $b$
$d_{sj}$ :	مسافت بین پناهگاه $s$ و مرکز امدادی-مخابراتی $j$
$a_{is}$ :	برابر ۱ اگر نقطه آسیب $i$ توسط پناهگاه $s$ پوشش داده شود و در غیر این صورت صفر.
$cap_j$ :	ظرفیت انبار کالای امدادی $j$
$\tilde{h}_i$ :	تعداد فازی پناهجویان نقطه آسیب $i$
$\tilde{v}_i$ :	تقاضای فازی کالای امدادی نقطه آسیب $i$
$g_i$ :	تقاضا برای تأمین پوشش مخابراتی نقطه آسیب $i$
$\Gamma_j$ :	احتمال سالم بودن مرکز امدادی-مخابراتی $j$
$prob_{ij}$ :	احتمالی که نقطه آسیب $i$ توسط دکل مخابراتی $j$ پوشش یابد.
$prob_i$ :	احتمال اینکه نقطه آسیب $i$ توسط برخی از دکل‌های مخابراتی پوشش داده شود.
$cap_s$ :	ظرفیت پناهگاه $s$

### متغیرهای تصمیم

$w_s$ :	میزان مراجعه پناهجویان به پناهگاه $s$ .
$x_{is}$ :	برابر ۱ اگر نقطه آسیب دیده $i$ به پناهگاه $s$ تخصیص یابد و در غیر این صورت صفر.
$y_{sj}$ :	برابر ۱ اگر پناهگاه $s$ به انبار $j$ تخصیص یابد و در غیر این صورت صفر.
$z_{sb}$ :	برابر ۱ اگر پناهگاه $s$ به انبار پشتیبان $b$ تخصیص یابد و در غیر این صورت صفر.
$z_s$ :	برابر ۱ اگر پناهگاه $s$ احداث شود وگرنه صفر.
$\delta_i$ :	برابر ۱ اگر نقطه آسیب دیده $i$ توسط انبار کالای امدادی پوشش داده شود و در غیر این صورت صفر.
$\varphi_i$ :	برابر ۱ اگر نقطه آسیب دیده $i$ توسط دکل مخابراتی $\psi_i$ پوشش داده شود و در غیر این صورت صفر.

### مدل سازی پوشش مربوط به دکل مخابراتی با در نظر گرفتن احتمال خرابی

در نظر گرفتن دکل مخابراتی برای پوشش مخابراتی نقاط، در حالتی که احتمال پوشش با تابعی نمایی برحسب فاصله کاهش می‌یابد (آلتینل و همکاران، ۲۰۰۶)، به صورت زیر در مدل مکان‌یابی پوشش تسهیلات وارد شد.

$$\text{Min} \sum_{j \in J} x_j \quad (1)$$

$$\text{S.t.} \sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad (3)$$

اگر احتمال پوشش نقطه  $i$  توسط دکل مخابراتی در نقطه  $j$  را با  $a_{ij}$  نشان دهیم آن‌گاه:

$$a_{ij} = e^{-\alpha d_{ij}} \quad (4)$$

مدل ریاضی مکان‌یابی پوشش شامل این فرض است که تمام تسهیلات در دسترس قرار دارند. احتمال خرابی مراکز مخابراتی را می‌توان به صورت زیر در مدل وارد کرد (هوانگ، ۲۰۰۴):

$$p_{ij} = a_{ij} \Gamma_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5)$$

به طوری که  $\theta(u) = (j, x_j = 1, j \in J)$  است:

$$1 - \prod_{j \in \theta(u)} (1 - prob_{ij}) \geq prob_i \quad \forall i \in I \quad (6)$$

رابطه ۶ را برای اثربخشی بیشتر می‌توان به شکل زیر تعمیم داد:

$$1 - \prod_{j \in J} (1 - prob_{ij} x_j) = 1 - \prod_{j \in J} (1 - prob_{ij}) \geq prob_i \quad \forall i \in I \quad (7)$$

برای خطی کردن مدل با لگاریتم‌گیری از دو طرف:

$$-\sum_{j \in J} (\ln(1 - prob_{ij})) x_j \geq -\ln(1 - prob_i) \quad \forall i \in I \quad (8)$$

اگر  $E_{ij} = -\ln(1 - prob_{ij})$  و  $f_i = -\ln(1 - prob_i)$  آن‌گاه بازنویسی مدل:

$$\text{Min} \sum_{j \in J} x_j \quad (9)$$

$$\text{st:} \sum_{j \in J} E_{ij} x_j \geq f_i \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$x_j = \{0, 1\}, \forall j \in J \quad (11)$$

باتوجه به مقاله داسکین و دین می‌توان مدل را به صورت زیر نوشت (داسکین و دین، ۲۰۰۴):

$$\text{Max} \sum_i g_i \varphi_i f_i \quad (12)$$

$$\text{st:} \sum_j E_{ij} x_j \geq f_i \varphi_i \quad \forall i \in I \quad (13)$$

$$\sum_j x_j = A \quad (14)$$

$$x_j = \{0, 1\}, j \in J \quad \varphi_i = \{0, 1\}, \forall i \in I \quad (15)$$

### مدل سازی پوشش انبارهای کالای امدادی با در نظر گرفتن احتمال خرابی

به طور مشابه اگر در رابطه ۴،  $a_{ij}$  از تابع ویژه‌ای پیروی نکند و به صورت صفر یا یک مطرح باشد، آن گاه مدل سازی پوشش انبارهای کالای امدادی را با در نظر گرفتن احتمال خرابی به صورت زیر می توان نوشت (هوانگ، ۲۰۰۴):

$$p_{ij} = a_{ij} \Gamma_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (\text{رابطه ۴})$$

اگر  $R_{ij} = -\ln(1-p_{ij})$  و  $o_i = -\ln(1-p_i)$  آن گاه بازنویسی مدل:

$$\text{Max} \sum_i v_i o_i \delta_i \quad (16)$$

$$\text{s.t:} \sum_j R_{ij} x_j \geq o_i \delta_i \quad \forall i \in I \quad (17)$$

$$\sum_j x_j = A \quad (18)$$

$$x_j = \{0,1\}, j \in J \quad \delta_i = \{0,1\}, \forall i \in I \quad (19)$$

### مدل سازی جامع و یکپارچه مدیریت بحران

$$\text{Min} \left( \sum_i \sum_s \tilde{h}_i d_{is} x_{is} \right) + \quad (20)$$

$$\left( \sum_s \sum_j w_s d_{sj} y_{sj} (\Gamma_j) + \sum_s \sum_b \sum_j w_s d_{sb} z_{sb} (1-\Gamma_j) \right)$$

$$\text{Max} \left( \sum_i \tilde{v}_i \delta_i o_i \right) + \left( \sum_i \tilde{h}_i \psi_i \right) + \left( \sum_i g_i \phi_i f_i \right) \quad (21)$$

$$\text{st:} \sum_j R_{ij} x_j \geq o_i \delta_i \quad \forall i \in I \quad (22)$$

$$\sum_j E_{ij} x_j \geq f_i \phi_i \quad \forall i \in I \quad (23)$$

$$\sum_j x_j = A \quad (24)$$

$$\sum_s x_{is} = 1 \quad \forall i \in I \quad (25)$$

$$x_{is} \leq z_s \quad \forall i \in I, s \in S \quad (26)$$

$$\sum_s z_s = C \quad (27)$$



$$\sum_i \tilde{h}_i x_{is} = w_s \quad \forall s \in S \quad (28)$$

$$\sum_b z_{sb} = z_s \quad \forall s \in S \quad (29)$$

$$\sum_b \zeta_b = G \quad (30)$$

$$z_{sb} \leq \zeta_b \quad \forall s \in S, b \in B \quad (31)$$

$$\psi_i \leq \sum_s a_{is} z_s \quad \forall i \in I \quad (32)$$

$$\sum_j y_{sj} = z_s \quad \forall s \in S \quad (33)$$

$$y_{sj} \leq x_j \quad \forall s \in S, j \in J \quad (34)$$

$$\sum_i \tilde{h}_i x_{is} \leq \text{cap}_s \times z_s \quad \forall s \in S \quad (35)$$

$$\sum_s w_s y_{sj} \leq \text{cap}_j \times x_j \quad \forall j \in J \quad (36)$$

$$x_{is}, y_{sj}, z_{sb}, \psi_i, x_j, \zeta_b, \delta_i, \varphi_i \in \{0, 1\}, w_s \geq 0 \quad (37)$$

تابع هدف ۲۰، مربوط به حداقل کردن تقاضا در مسافت است. به این صورت که قسمت اول، مربوط به تصمیم‌گیری در مورد تخصیص نقاط آسیب‌دیده به پناهگاه‌هاست، قسمت دوم مربوط به تخصیص پناهگاه‌ها به مراکز امدادی - مخابراتی با توجه به احتمال خرابی این مراکز است. قسمت سوم مربوط به آن بخش از تقاضاهای پناهگاه‌ها از مراکز امدادی - مخابراتی است که به علت در نظر گرفتن خرابی، باید از انبارهای پشتیبان تأمین شود. همچنین، در تابع هدف ۲۱، عبارت اول مربوط به حداکثر کردن پاسخگویی به تقاضای مناطق تحت پوشش مربوط به تقاضای نقاط آسیب‌دیده برای کالای امدادی و احتمالات خرابی مربوط به مراکز امدادی - مخابراتی است و عبارت دوم مربوط به حداکثر کردن پوشش مربوط به پناهگاه‌هاست. همچنین، قسمت سوم مربوط به حداکثر کردن پاسخگویی به تقاضای مناطق تحت پوشش مخابراتی و احتمالات خرابی مربوط به مراکز امدادی - مخابراتی است. محدودیت ۲۲ نشان می‌دهد با توجه به خرابی مراکز امدادی - مخابراتی، نقطه‌ای آسیب‌دیده با چه حداقل احتمالی باید پوشش داده شود (از جنس کالای امدادی). محدودیت ۲۳ نشان می‌دهد با توجه به خرابی مراکز امدادی - مخابراتی نقطه‌ای آسیب‌دیده با چه حداقل احتمالی باید پوشش مخابراتی داده شود. محدودیت ۲۴ تعداد مرکز امدادی - مخابراتی تأسیس شده را نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۲۵ و ۲۶ نشان می‌دهد هر نقطه آسیب‌دیده فقط به یک پناهگاه اختصاص می‌یابد و در صورتی اختصاص می‌یابد

که آن پناهگاه احداث شده باشد. محدودیت ۲۷ نشان می‌دهد چه تعداد پناهگاه باید تأسیس شود. محدودیت ۲۸ مقدار تقاضای هر پناهگاه را برای دریافت کالای امدادی با توجه به تخصیص پناهجویان نقاط آسیب‌دیده نشان می‌دهد. محدودیت ۲۹ نشان می‌دهد هر پناهگاه تأسیس شده فقط به یک انبار پشتیبان تخصیص داده می‌شود. محدودیت ۳۰ نشان می‌دهد چه تعداد انبار پشتیبان باید تأسیس شود. محدودیت ۳۱ نشان می‌دهد تا هنگامی که انبار پشتیبان تأسیس نشود نمی‌توان از آن انبار با پناهگاه ارتباط برقرار کرد. محدودیت ۳۲ نشان می‌دهد نقاط آسیب‌دیده زمانی می‌توانند پوشش‌یافته تلقی شوند که توسط حداقل یک پناهگاه تحت پوشش قرار گیرند. محدودیت ۳۳ و ۳۴ نشان می‌دهد هر نقطه پناهگاه فقط به یک مرکز امدادی - مخابراتی اختصاص می‌یابد و در صورتی اختصاص می‌یابد که آن مرکز احداث شده باشد. محدودیت ۳۵ و ۳۶ نیز به ظرفیت پناهگاه و انبار کالای امدادی اشاره دارد. محدودیت ۳۷ نیز متغیرهای مثبت و صفر و یک مدل را نشان می‌دهد.

### روش حل

در این قسمت، ابتدا از روش خیمنز به قطعی‌سازی مدل پرداخته می‌شود، سپس برای مدل از روش خطی و برای حل مدل چندهدفه از روش نرمال‌سازی استفاده شد.

### روش خیمنز برای تبدیل مدل غیر قطعی به مدل قطعی

برای حل مدل دوهدفه فازی پیشنهادی، از روش خیمنز برای تبدیل مدل غیر قطعی به مدل قطعی استفاده شد (خیمنز و همکاران، ۲۰۰۷؛ پیشوایی و ترابی، ۲۰۱۰). اگر فرض شود  $\tilde{h}$  عددی فازی مثلثی است که  $h^m$ ،  $h^u$  و  $h^k$  سه نقطه به ترتیب محتمل، بدبینانه و خوشبینانه‌اند، قسمت‌های غیر قطعی تابع هدف ۲۰ و ۲۱ و محدودیت‌های ۲۸ و ۳۵ را می‌توان به صورت زیر قطعی کرد. در اینجا، فقط تبدیل قسمت‌های غیر قطعی به قطعی آورده می‌شود.

$$\text{Min} \left( \sum_i \sum_s \left( \frac{h_i^u + 2h_i^m + h_i^k}{\xi} \right) d_{is} x_{is} \right) \quad (38)$$

$$\text{Max} \left( \sum_i \left( \frac{v_i^u + 2v_i^m + v_i^k}{\xi} \right) \delta_i o_i \right) + \left( \sum_i \left( \frac{h_i^u + 2h_i^m + h_i^k}{\xi} \right) \psi_i \right) \quad (39)$$

$$\sum_i \left( \left( \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{h_i^u + h_i^m}{2} \right) + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{h_i^m + h_i^k}{2} \right) \right) x_{is} \leq w_s \quad \forall s \in S \quad (40)$$

$$\sum_i \left( \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{h_i^u + h_i^m}{2} \right) + \left( \frac{\alpha}{2} \right) \left( \frac{h_i^m + h_i^k}{2} \right) \right) x_{is} \geq w_s \quad \forall s \in S \quad (41)$$

$$\sum_i \left( \alpha \left( \frac{h_i^u + h_i^m}{2} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{h_i^m + h_i^k}{2} \right) \right) x_{is} \leq cap_s \times z_s \quad \forall s \in S \quad (42)$$

### خطی سازی

عبارت‌های  $W_s Y_{sj}$  و  $W_s Y_{sb}$  در تابع هدف اول مسئله به صورت غیر خطی است. حال معادل خطی آن‌ها را می‌توان به صورت زیر نوشت:

با جایگزینی عبارت  $W_s Y_{sj}$  با متغیر  $\mu_{sj}$  و اضافه کردن محدودیت‌های زیر:

$$\mu_{sj} \leq w_s \quad \forall j \in J, s \in S \quad (43)$$

$$\mu_{sj} \leq M y_{sj} \quad \forall j \in J, s \in S \quad (44)$$

$$\mu_{sj} \geq M (y_{sj} - 1) + w_s \quad \forall j \in J, s \in S \quad (45)$$

$$\mu_{sj} \geq 0 \quad \forall j \in J, s \in S \quad (46)$$

با جایگزینی عبارت  $W_s Y_{sb}$  با متغیر  $\mu_{sb}$  و اضافه کردن محدودیت‌های زیر:

$$\mu_{sb} \leq w_s \quad \forall b \in B, s \in S \quad (47)$$

$$\mu_{sb} \leq M y_{sb} \quad \forall b \in B, s \in S \quad (48)$$

$$\mu_{sb} \geq M (y_{sb} - 1) + w_s \quad \forall b \in B, s \in S \quad (49)$$

$$\mu_{sb} \geq 0 \quad \forall b \in B, s \in S \quad (50)$$

### روش بهینه‌سازی چندهدفی

سه قسمت تابع هدف اول همجنس‌اند، اما مقادیر آن‌ها با هم متفاوت است و هم‌اندازه نیستند. سه قسمت تابع هدف دوم نیز همجنس است، اما هم‌اندازه نیستند؛ بنابراین، از روش ترکیب خطی محدب (نرمال‌سازی) توابع هدف استفاده می‌شود (دب، ۲۰۰۳). با تبدیل توابع هدف به شش تابع هدف مجزا، با استفاده از روش ترکیب خطی محدب (نرمال‌سازی) به ساده‌سازی مسئله و حل آن اشاره می‌شود:

$$MinZ_{\gamma} \left( \sum_i \sum_s \tilde{h}_i d_{is} x_{is} \right) \quad (51)$$

$$MinZ_{\gamma} \left( \sum_s \sum_j w_s d_{sj} y_{sj} (\Gamma_j) \right) \quad (52)$$

$$MinZ_{\gamma} \left( \sum_s \sum_b \sum_j w_s d_{sb} z_{sb} (1 - \Gamma_j) \right) \quad (53)$$

$$Max Z_{\xi} \left( \sum_i \tilde{v}_i \delta_i o_i \right) \quad (54)$$

$$Max Z_{\theta} \left( \sum_i \tilde{h}_i \psi_i \right) \quad (55)$$

$$Max Z_{\gamma} \left( \sum_i g_i \varphi_i f_i \right) \quad (56)$$

با توجه به اینکه  $Z_{\gamma}, Z_{\theta}, Z_{\xi}$  مینم‌سازی و  $Z_{\xi}, Z_{\theta}, Z_{\gamma}$  ماکزیم‌سازی است؛ بنابراین:

$$MinZ_{total}^* = \lambda_{\xi} Z_{\xi}^{nom} + \lambda_{\theta} Z_{\theta}^{nom} + \lambda_{\gamma} Z_{\gamma}^{nom} - \lambda_{\xi} Z_{\xi}^{nom} - \lambda_{\theta} Z_{\theta}^{nom} \quad (57)$$

$$-(1 - \lambda_{\xi} - \lambda_{\theta} - \lambda_{\gamma} - \lambda_{\xi} - \lambda_{\theta}) Z_{\gamma}^{nom}, \quad 0 \leq \lambda_{\xi} \leq 1$$

در این روش، مقدار نرمال شده  $Z_{\gamma}, Z_{\theta}, Z_{\xi}, Z_{\xi}, Z_{\theta}, Z_{\gamma}$  طبق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z_t^{nom} = \frac{Z_t - Z_t^{\min}}{Z_t^{\max} - Z_t^{\min}} \quad (58)$$

### مطالعه موردی و محدوده مورد مطالعه

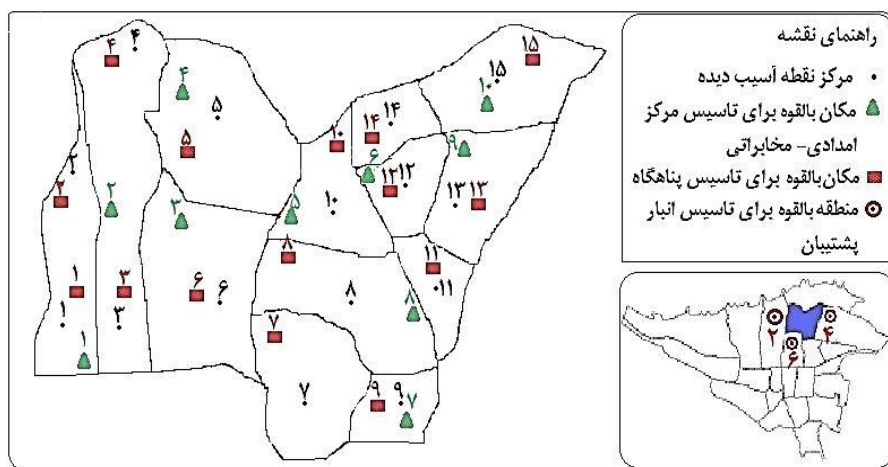
سیل یکی از رویدادهای طبیعی است که هر ساله موجب بروز تلفات انسانی، دامی و خسارات به ساختمان‌ها، تأسیسات، باغ‌ها، کشتزارها و منابع طبیعی می‌شود. تهران با تفاوت‌های ساختاری در بافت فیزیکی و کالبدی شهر، آسیب‌پذیری‌های جانی و خسارت مالی متفاوتی را در برابر سیلاب‌های شهری تجربه می‌کند. طبق آمار از سال ۱۳۳۳ تا ۱۳۷۴، بر اثر ۳۲ رویداد سیل، ۲۷۴۱ نفر کشته و هزاران نفر آواره شدند (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۱). در این مقاله، مطالعه موردی منطقه سه تهران است، زیرا این منطقه در معرض تهدید سه حوضه کوهستانی دربند، گلابدره و سعدآباد و دو زیرحوضه مقصودییک و غیاثوند قرار دارد (صفاری و همکاران،

(۱۳۹۰). همچنین، شیب محسوس این منطقه که از شمال به جنوب است، موجب افزایش خسارت احتمالی در پایین‌دست منطقه می‌شود. منطقه سه، از مناطق شمالی تهران است که دارای شش ناحیه و سیزده محله است و وسعتی معادل  $208/31$  کیلومتر مربع دارد که براساس آمار سال ۱۳۹۰، جمعیت آن معادل ۲۹۳۱۸۱ نفر است. نقشه این منطقه با جزئیات مطابق با جدول ۲ و شکل ۱ است. به‌منظور اعتباردهی مطالعه موردی و همچنین برنامه‌ریزی دقیق در منطقه سه تهران، به‌طور عمده از پژوهش معتبر صفاری و همکاران (۱۳۹۰) استفاده شد. در این مطالعه موردی، مفروضات به‌طور کامل به‌شرح زیر است:

۱. در این منطقه، پانزده مکان پرجمعیت به‌عنوان نقطه آسیب در نظر گرفته شد که در جدول ۲ و شکل ۱ نشان داده می‌شوند.
۲. پانزده مکان بالقوه برای تأسیس پناهگاه و ده مکان بالقوه برای تأسیس مراکز امدادی - مخابراتی در مکان‌هایی که احتمال خرابی ناشی از سیل کم است در نظر گرفته شد. مکان‌های کاندیدا روی شکل ۱ نشان داده می‌شوند.
۳. با توجه به مطالعه قهرودی تالی و همکاران (۱۳۹۱)، شدت آسیب ناشی از سیل در منطقه‌های دو و چهار و شش - که مناطق مجاور منطقه سه هستند - کم است؛ بنابراین سه مکان بالقوه در این مناطق به‌عنوان مکان‌های بالقوه برای تأسیس انبارهای پشتیبان در نظر گرفته شد.
۴. هر انبار کالای امدادی تأسیس شده می‌تواند محله خود و محله‌های اطرافی را پوشش دهد که با آن‌ها مرز مشترک دارد.
۵. ظرفیت پناهگاه ۴۰۰۰۰ نفر و ظرفیت انبارهای کالای امدادی ۳۰۰۰۰ در نظر گرفته شد.
۶. برای محاسبه میزان مسافت‌ها بین مبدأ و مقصد هر مسیر، کوتاه‌ترین مسافت با توجه به مسیرهای اصلی (بزرگراه‌ها و شریان‌های اصلی) به‌دست آمد. شایان ذکر است برای محاسبه این مسافت‌ها از سامانه مسیریاب تهران (سایت مسیریاب تهران) استفاده شد. همچنین، مسافت‌های محاسبه‌شده به‌علت محدودیت فضا در فایل‌های اضافی آورده شد.
۷. احتمال خرابی انبارها و مراکز مخابراتی با توجه به شکل ۲ و مکان‌های کاندیدا در شکل ۱ محاسبه شد. همچنین، میزان پوشش نقاط آسیب‌دیده  $0/8$  در نظر گرفته شد.
۸. با توجه به وسعت منطقه، یک انبار پشتیبان و چهار و شش مرکز امدادی - مخابراتی و شش و نه پناهگاه در نظر گرفته شد و تحلیل حساسیت انجام گرفت.
۹. با توجه به نظر خبرگان، تعداد افراد پناهجو از ضرب اعداد فازی  $(0/3)$  و  $0/5$  و  $(0/7)$  در جمعیت بالقوه نقاط آسیب‌دیده در زمان بحران سیل تخمین زده شد.
۱۰. برای برطرف کردن تقاضای نقاط آسیب‌دیده، با توجه به نظر خبرگان تقاضای کالای امدادی از ضرب اعداد فازی  $(0/4)$  و  $0/6$  و  $(0/8)$  در جمعیت بالقوه نقاط آسیب‌دیده در زمان بحران سیل برآورد شد.
۱۱. پارامترهای فازی تقاضا با توجه به شکل ۲ و جمعیت پانزده نقطه آسیب مطابق با جدول‌های ۳ و ۴ است.

جدول ۲. اسامی محله‌ها به همراه شماره نقاط آسیب‌دیده در هر محله مربوط به منطقه سه تهران

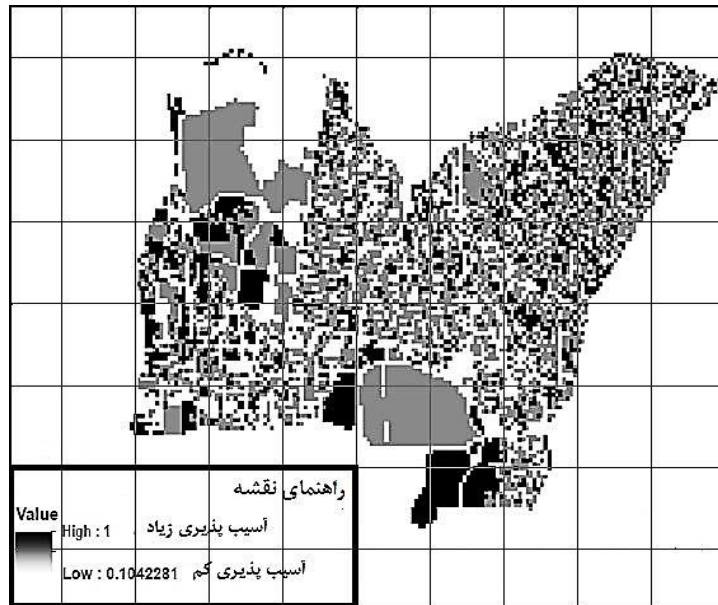
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
داوودیه	اراضی عباس‌آباد	کاووسیه	امانیه	آرارات (۳)	آرارات (۱)	ونک (۲)	ونک (۱)
۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	
رستم‌آباد و اختیاریه	درب دوم	دروس	قلهک	قبا	حسن‌آباد	سیدخندان	



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و مکان‌های بالقوه برای تأسیس مراکز

جدول ۳. تعداد فازی پناهجویان نقاط آسیب

$(h_i^k, h_i^m, h_i^u)$	نقطه آسیب	$(h_i^k, h_i^m, h_i^u)$	نقطه آسیب	$(h_i^k, h_i^m, h_i^u)$	نقطه آسیب
(۳۹۲۳۶۵۳۹۰۹۱۵۵)	۱۱	(۶۳۱۱۰۱۰۵۱۸۰۱۴۷۲۵)	۶	(۳۲۱۰۰۵۳۵۰۰۷۴۹۰)	۱
(۲۹۱۶۰۴۸۶۰۶۸۰۴)	۱۲	(۲۰۱۶۰۳۳۶۰۰۴۷۰۴)	۷	(۳۲۱۰۰۵۳۵۰۰۷۴۹۰)	۲
(۶۷۷۲۰۱۱۲۸۷۰۱۵۸۰۱)	۱۳	(۱۲۶۱۴۰۲۱۰۲۴۰۲۹۴۳۴)	۸	(۳۷۳۶۶۲۲۸۰۸۷۱۹)	۳
(۴۰۱۷۰۶۶۹۶۰۹۳۷۴)	۱۴	(۸۵۸۸۰۱۴۳۱۳۰۲۰۰۳۸)	۹	(۳۷۳۶۶۲۲۸۰۸۷۱۹)	۴
(۱۰۱۵۳۰۱۶۹۲۳۰۲۳۶۹۲)	۱۵	(۴۳۶۸۰۷۲۸۱۰۱۰۱۹۳)	۱۰	(۷۹۰۸۰۱۳۱۸۱۰۱۸۴۵۴)	۵



شکل ۲. درصد تخریب سناریوی سیل در منطقه سه  
منبع: صفاری و همکاران، ۱۳۹۰

جدول ۴. تقاضای فازی کالای امدادی نقاط آسیب

$(V_i^k, V_i^m, V_i^u)$	نقطه آسیب	$(V_i^k, V_i^m, V_i^u)$	نقطه آسیب	$(V_i^k, V_i^m, V_i^u)$	نقطه آسیب
(۵۳۳۱.۷۸۴۷, ۱.۰۴۶۳)	۱۱	(۸۴۱۴.۱۲۶۲۲, ۱.۶۸۲۹)	۶	(۴۲۸۰.۶۴۲۰, ۸۵۶۰)	۱
(۳۸۸۸.۵۸۳۲, ۷۷۷۶)	۱۲	(۲۶۸۸.۴۰۳۲, ۵۳۷۶)	۷	(۴۲۸۰.۶۴۲۰, ۸۵۶۰)	۲
(۹۰۳۹.۱۱۲۸۷, ۱۵۸۰۱)	۱۳	(۱۶۸۱۹.۲۵۲۲۹, ۳۳۶۳۹)	۸	(۴۹۸۲.۷۴۷۳, ۹۹۶۴)	۳
(۵۳۵۶.۸۰۳۵, ۱۰۷۱۳)	۱۴	(۱۱۴۵۰, ۱۷۱۷۶, ۲۲۹۰۱)	۹	(۴۹۸۲.۷۴۷۳, ۹۹۶۴)	۴
(۱۳۵۳۸, ۲۰۳۰۷, ۲۷۰۷۶)	۱۵	(۵۸۲۴, ۸۸۳۷, ۱۱۶۴۹)	۱۰	(۱۰۵۴۵, ۱۵۸۱۷, ۱۸۴۵۴)	۵

## نتایج و یافته‌ها

مسئله با تعداد یک انبار پشتیبان و چهار و شش مرکز امدادی - مخابراتی و شش و نه پناهگاه و سایر مفروضات که شرح داده شد، با استفاده از حل‌کننده CPLEX 24.1 در نرم‌افزار GAMS حل و نتایج در قالب جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شد. همچنین، مینیمم درجه پذیرش در بین سه گزینه ۰/۵ و ۰/۷ و ۰/۹ بررسی شد. با افزایش تعداد پناهگاه به دلیل کاهش مدت زمان خدمت‌رسانی و افزایش پوشش ناشی از پناهگاه‌ها - که به صورت منفی در رابطه ۵۷ لحاظ شد - ملاحظه می‌شود

که میزان تابع هدف ( $Z_{total}$ ) کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش تعداد مراکز امدادی-مخابراتی، افزایش پوشش امدادی و پوشش مخابراتی- که به صورت منفی در رابطه ۵۷ لحاظ شدند- و در نتیجه کاهش تابع هدف ( $Z_{total}$ ) مشاهده می‌شود. درصد کاهش میزان تابع هدف ( $Z_{total}$ ) در حالت افزایش تعداد پناهگاه‌ها بیشتر از افزایش تعداد مراکز امدادی-مخابراتی است که این به دلیل اهمیت نقش پناهگاه‌ها در مدل‌سازی مسئله است. با توجه به اینکه انبار پشتیبان بهتر است در نزدیکی پناهگاه‌ها تأسیس شود، به دلیل افزایش پناهگاه‌های تأسیس شده در نزدیکی منطقه شش، شاهد تغییر در تأسیس انبار پشتیبان به منطقه شش تهران هستیم.

جدول ۵. نتایج محاسباتی برای حالت ( $\alpha = 0/7$ )

تعداد انبار پشتیبان	تعداد مراکز پناهگاه-امداد-مخابرات	تابع هدف $Z_{total}$	نقاط انتخابی برای تأسیس انبار پشتیبان	نقاط انتخابی برای تأسیس مراکز امدادی-مخابراتی	نقاط انتخابی برای تأسیس پناهگاه
۶	۴	-۰/۳۲۳۴۶۲	۴	۸، ۵، ۴، ۳	۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۸، ۳
۶	۶	-۰/۲۷۳۵۳۲	۴	۱۰، ۹، ۸، ۶، ۵، ۳	۱۵، ۱۳، ۱۱، ۹، ۸، ۳
۹	۴	-۰/۲۱۳۲۱۸	۶	۸، ۷، ۵، ۲	۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۱
۹	۶	-۰/۱۷۵۳۸۷	۶	۱۰، ۸، ۷، ۵، ۳، ۲	۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲

جدول ۶. نتایج محاسباتی برای حالت ( $\alpha = 0/7$ )

تعداد انبار پشتیبان	تعداد مراکز امداد-مخابرات	تابع هدف $Z_{total}$	نقاط انتخابی برای تأسیس انبار پشتیبان	نقاط انتخابی برای تأسیس مراکز امدادی-مخابراتی	نقاط انتخابی برای تأسیس پناهگاه
۶	۴	-۰/۴۱۴۷۷۹	۴	۸، ۶، ۴، ۲	۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۳
۶	۶	-۰/۳۶۹۸۳۷	۴	۹، ۸، ۶، ۵، ۳، ۲	۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۳
۹	۴	-۰/۳۰۸۰۹۱	۶	۹، ۸، ۳، ۲	۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۸، ۷، ۵، ۴، ۳
۹	۶	-۰/۲۶۶۳۵۴	۶	۹، ۸، ۶، ۵، ۳، ۲	۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۸، ۷، ۵، ۴، ۳، ۲

با توجه به اینکه هدف اول مینیمم‌سازی و هدف دوم ماکزیمم‌سازی است، از روند جواب در جدول‌ها استنباط می‌شود که دو تابع هدف با هم در تعارض اند، زیرا با افزایش درصد پوشش، کمینه کردن تقاضا در زمان افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار آلفا، مقدار تابع هدف ( $Z_{total}$ ) افزایش پیدا می‌کند، به دلیل اینکه هر قدر برنامه‌ریزان بخواهند با درجه اطمینان بالاتری با نبودن قطعیت روبه‌رو شوند، باید شرایط محیطی را که به صورت پارامترها وارد می‌شود سختگیرانه‌تر در نظر گیرند. با افزایش  $\alpha$ ، مراکز امدادی-مخابراتی در مکان‌هایی تأسیس می‌شوند که

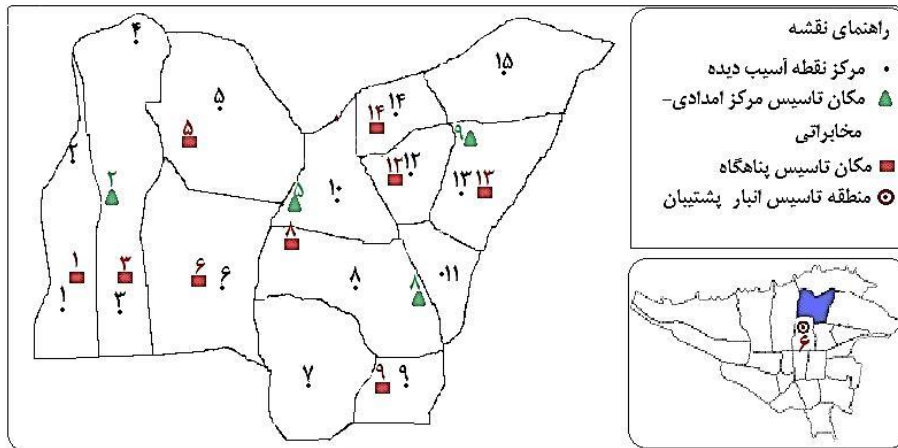


آسیب‌پذیری بالا و به‌تبع آن جمعیت بالایی دارند؛ به‌عبارت دیگر، این مراکز در نقاطی تأسیس می‌شوند که جمعیت آسیب‌دیده را به‌طور موازی و با در نظر گرفتن احتمالات خرابی پوشش بیشتری دهند و همچنین فاصله این انبارها تا پناهگاه‌ها در حالت بهینه قرار گیرد. همچنین، با افزایش  $\alpha$  پناهگاه‌ها طوری احداث می‌شوند که جمعیت بالای آسیب‌دیده را پوشش دهند و با فاصله بهینه از انبار پشتیبان قرار گیرند.

جدول ۷. نتایج محاسباتی برای حالت ( $\alpha = 0/9$ )

تعداد انبار پشتیبان	تعداد پناهگاه	تعداد مراکز امداد-مخابرات	تابع هدف $Z_{total}$	نقاط انتخابی برای تأسیس انبار پشتیبان	نقاط انتخابی برای تأسیس مراکز امدادی-مخابراتی	نقاط انتخابی برای تأسیس پناهگاه
	۶	۴	-۰/۴۹۴۶۷۸	۴	۸، ۵، ۳، ۲	۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۸، ۳
	۶	۶	-۰/۴۵۳۴۲۱	۴	۹، ۸، ۶، ۵، ۴، ۳	۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۳
۱		۴	-۰/۳۹۲۳۷۹	۶	۹، ۸، ۵، ۲	۱۴، ۱۳، ۱۲، ۹، ۸، ۶، ۵، ۳، ۱
	۹	۶	-۰/۳۶۵۶۸۸	۶	۹، ۸، ۷، ۵، ۳، ۲	۱۴، ۱۳، ۱۱، ۹، ۸، ۶، ۵، ۳، ۲

با توجه به جواب‌ها، وسعت مطالعه موردی و نظر برنامه‌ریزان، حالت یک انبار پشتیبان، نه پناهگاه و چهار مرکز امدادی-مخابراتی و مینیمم درجه پذیرش  $0/9$  انتخاب می‌شود. در این حالت، تصمیم‌گیرنده سعی دارد با ریسک کمتری با نبودن قطعیت روبه‌رو شود. مراکز تأسیس شده در این حالت مطابق با شکل ۳ است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، پناهگاه‌ها در مکان‌هایی تأسیس شدند که تعداد پناهجویان در آنجا تقریباً بالاست، زیرا در این حالت با توجه به مینیمم درجه پذیرش، تصمیم‌گیرنده با احتیاط تصمیم‌گیری می‌کند، هر چند این تصمیم‌گیری موجب افزایش تابع هدف شود. متغیرهای تصمیم این حالت در جدول‌های ۸ و ۹ آمده است؛ برای مثال، با توجه به جدول ۸، به پناهجویان نقطه آسیب دو پیشنهاد می‌شود در زمان بحران به سمت پناهگاه یک حرکت کنند. با توجه به جدول ۹، به پناهگاه سه توصیه می‌شود در زمان بحران، کالای امدادی خود را از مرکز امدادی-مخابراتی دو تأمین کنند. همچنین، به مسئولان در مرکز امدادی-مخابراتی دو توصیه می‌شود دکل مخابراتی واقع در این مرکز را فعال کنند.



شکل ۳. تاسیس مراکز در حالت نه پناهگاه و ۴ مرکز امدادی-مخابراتی ( $\alpha = 0/9$ )

جدول ۸. تخصیص پناهجویان نقاط آسیب به پناهگاهها در حالت شکل ۳ ( $\alpha = 0/9$ )

پناهگاه \ نقطه آسیب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰
۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱

جدول ۹. تخصیص پناهگاهها به مراکز امدادی در حالت شکل ۳ ( $\alpha = 0/9$ )

مرکز امدادی \ پناهگاه	۱	۳	۵	۶	۸	۹	۱۲	۱۳	۱۴
۲	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱

### اعتبارسنجی

در این قسمت، برای اعتبارسنجی مدل، رویکرد سه‌مرحله‌ای پیشنهاد می‌شود. به این صورت که در مرحله اول به اثبات فرضیه‌های ساختاری مدل پرداخته شد و در مرحله دوم میزان کارایی مدل نشان داده می‌شود. در نهایت، در مرحله سوم شرایط فعلی با شرایط پس از به‌کارگیری مدل پیشنهادی (حالت بهینه) مقایسه می‌شود.

### مرحله اول

برای اعتبارسنجی مدل از ابزار پرسشنامه و کار پیمایشی استفاده می‌شود. روش تحقیق این مطالعه از نظر ماهیت توصیفی - پیمایشی و از لحاظ هدف، کاربردی است. این پرسشنامه حاوی دو پرسش جمعیت‌شناختی و هفت پرسش مربوط به متغیرهای مورد بررسی است. برای جلوگیری از برداشت نادرست از پرسش‌ها، پرسش‌ها توسط پژوهشگر پرسیده می‌شود و پاسخ‌ها ثبت می‌شود تا در صورت لزوم ابهامات تشریح شود. در این پرسشنامه، از طیف پنج مرتبه‌ای لیکرت «کاملاً مخالفم» تا «کاملاً موافقم» استفاده شد. جامعه آماری متشکل از کارشناسان مدیریت بحران، استادان برجسته این زمینه و دانشجویان دکتری مرتبط با این زمینه تخصصی است. (فیروزیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ فلاح شمس لیالستانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ شاهین و همکاران، ۱۳۹۳).

از ۵۲ نفر انتخابی، ۳۷ نفر به پرسش‌های پرسشنامه پاسخ دادند که از این تعداد، ۷۲ درصد مرد و ۲۸ درصد زن بودند. دوازده نفر پاسخ‌دهندگان استادان خبره، شانزده نفر پاسخ‌دهندگان دانشجوی دکتری، متخصص در این حوزه و نه نفر کارشناس مدیریت بحران بودند.

### روایی و پایایی

برای تعیین روایی محتوایی از قضاوت متخصصان استفاده شد تا مشخص شود پرسش‌های آزمون تا چه میزان معرف محتوا و هدف‌های برنامه یا حوزه محتوایی هستند. ضریب آلفای کرونباخ برای سنجش میزان تک‌بعدی بودن نگرش‌ها، قضاوت‌ها و سایر مقولاتی که اندازه‌گیری آنها آسان نیست به کار می‌رود. این آزمون که حاصل آن یک ضریب به نام آلفای کرونباخ است، برای آزمون قابلیت اعتماد یا پایایی پرسشنامه‌ای به کار می‌رود که به صورت طیف لیکرت طراحی شد و جواب‌های آن چندگزینه‌ای هستند. در این پیمایش، ضریب آلفای کرونباخ ۰/۷۸ محاسبه شد که چون از مقدار استاندارد ۰/۷ بیشتر است، پایایی پرسشنامه نیز تأیید می‌شود. در جدول ۱۰، سنجه‌های مورد استفاده بیان می‌شود.

جدول ۱۰. سنجه‌های پرسشنامه

شماره	سنجه‌های مورد استفاده	متغیر اصلی
۱	در نظر گرفتن مباحث حداقل کردن تقاضا در مسافت و حداکثر کردن پاسخگویی به تقاضا در زمان بحران مهم است.	تابع هدف
۲	تابع هدف ۲۰ و ۲۱ در راستای حداقل کردن تقاضا در مسافت و حداکثر کردن پاسخگویی به تقاضا به درستی وضع شد.	
۳	برنامه‌ریزی همزمان پناهگاه‌ها، انبارهای کالای امدادی، دکل‌های مخابراتی و تسهیلات پشتیبان محدودیت‌ها به درستی در مدل و محدودیت‌ها انجام گرفت.	
۴	محدودیت‌های مدل به درستی وضع شدند.	
۵	محدودیت‌های مدل تمام جوانب کار را با توجه به مفروضات تحقیق تحت پوشش قرار می‌دهند.	
۶	مطالعه موردی منطقه سه تهران برای تحلیل مناسب است.	مطالعه موردی
۷	در نظر گرفتن انبارهای پشتیبان برای بحران سیل در منطقه سه تهران دارای اهمیت است.	

نتایج پرسشنامه در جدول ۱۱ نشان داده می‌شود. با توجه به جدول، به دلیل اینکه مجموعه پاسخ‌ها به سمت کاملاً موافقم و موافقم گرایش دارد، فرضیه‌ها تأیید می‌شود (عطافر و اقبالی، ۱۳۹۲).

جدول ۱۱. درصد پاسخ‌دهندگان به گزینه‌ها در هر یک از پرسش‌ها

ردیف	کاملاً موافقم (درصد)	موافقم (درصد)	نظری ندارم (درصد)	مخالفم (درصد)	کاملاً مخالفم (درصد)
۱	۳۸	۳۸	۱۱	۶	۶
۲	۳۰	۴۳	۱۹	۸	-
۳	۲۴	۴۰	۱۹	۱۱	۶
۴	۳۶	۲۵	۲۵	۱۱	۳
۵	۲۴	۳۲	۱۹	۸	۸
۶	۲۹	۳۲	۱۷	۸	۱۴
۷	۲۲	۴۳	۲۹	۳	۳

مرحله دوم

در این قسمت، برای اعتبارسنجی مدل از رابطه ۵۹ به عنوان میزان کارایی مدل استفاده می‌شود؛ یعنی ابتدا مسئله به صورت قطعی و هر بار با در نظر گرفتن یکی از پارامترهای فازی مثلثی (مقادیر بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه) به طور جداگانه حل شد، سپس با به دست آوردن امید ریاضی این سه مقدار و مقایسه این مقادیر با تابع هدف حاصل از رویکرد خیمنز، به تحلیل و بررسی نتایج پرداخته شد. همان‌طور که در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود، مقادیر تابع هدف از روش خیمنز در

تمامی حالات کمتر از مقادیر تابع هدف از روش میانگین انتظاری است. دلیل بهبود تابع هدف در روش خمینز، در نظر گرفتن و برنامه‌ریزی همزمان سه حالت بدبینانه، محتمل و خوشبینانه است. حال آنکه در روش میانگین انتظاری به صورت جداگانه برنامه‌ریزی‌ها انجام گرفت.

$$(59) \quad \text{بهبود} = \text{مقدار تابع هدف از روش میانگین انتظاری} - \text{مقدار تابع هدف از روش خمینز}$$

جدول ۱۲. مقایسه نتایج محاسباتی برای حالت  $(\alpha = 0/9)$

تعداد پشتیبان	تعداد انبار	تعداد پناهگاه	تعداد مراکز امداد-مخابراتی	انبار پشتیبان برای تاسیس نقاط انتخابی	حالت بدبینانه	حالت محتمل	حالت خوش‌بینانه	روش میانگین انتظاری	تابع هدف از روش خمینز	تابع هدف از روش میانگین انتظاری
	۶		۴	۴	۰/۶۰۸۷	۰/۵۴۴۷	۰/۴۳۸۴	۰/۵۳۰۶	۰/۴۹۴۶	
		۶	۴	۴	۰/۵۷۵۴	۰/۵۰۴۷	۰/۳۹۷۴	۰/۴۹۲۵	۰/۴۵۳۴	
۱			۴	۶	۰/۵۲۴۵	۰/۴۳۵۷	۰/۳۴۷۸	۰/۴۲۶	۰/۳۹۲۳	
	۹		۶	۶	۰/۴۸۱۲	۰/۴۰۲۵	۰/۲۷۸۴	۰/۳۸۷۳	۰/۳۶۵۶	

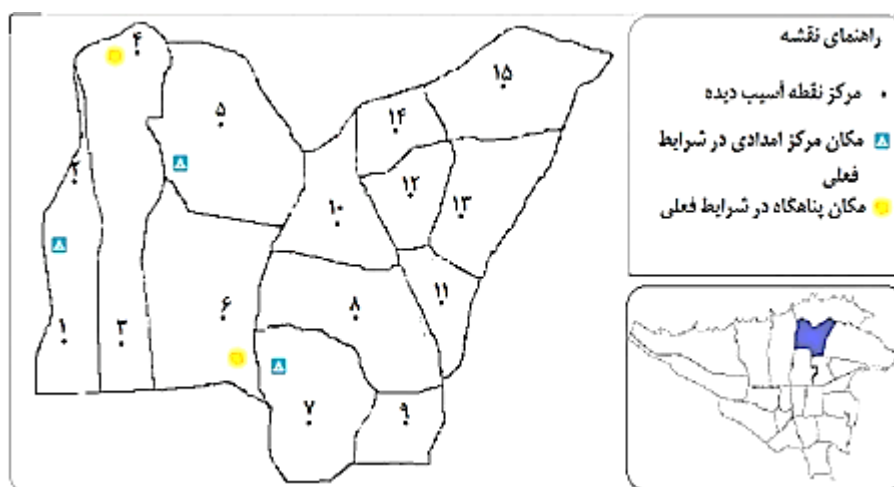
### مرحله سوم

در این قسمت، به مقایسه وضعیت موجود با حالتی پرداخته می‌شود که مدل پیشنهادی (حالت بهینه) در منطقه سه تهران ارائه می‌کند. مراحل این مقایسه به صورت زیر است:

۱. به دست آوردن اطلاعات مربوط به وضعیت موجود؛ ۲. جایگذاری اطلاعات وضعیت موجود در مدل پیشنهادی و به دست آوردن جواب غیر بهینه؛ ۳. مقایسه با حالت بهینه مدل.

علی‌رغم پیشرفت‌های زیادی که در تهران در زمینه مدیریت بحران صورت پذیرفت، هنوز خلل‌های زیادی در سطح تهران به چشم می‌خورد که منطقه سه تهران نیز از این قضیه مستثنا نیست. در منطقه سه تهران به طور سازمان‌یافته سه مرکز امدادی وجود دارد که موقعیت این سه مرکز در شکل ۴ مشخص می‌شود. با توجه به چشم‌انداز سازمان پیشگیری و مدیریت بحران منطقه سه تهران، دو پناهگاه واقع در نزدیکی نمایشگاه بین‌المللی و بوستان طالقانی احداث شد که موقعیت قرارگیری این مراکز مطابق با شکل ۴ است. شایان ذکر است در این منطقه در زمینه انبارهای پشتیبان، تصمیم‌گیری صورت نگرفت و انبارها در شرایط فعلی بدون پشتیبان فعالیت می‌کنند. علاوه بر این، در مراکز امدادی نیز هیچ‌گونه دکل مخابراتی در نظر گرفته نشد؛ یعنی مسئولان مدیریت بحران در این منطقه تنها به آنتن‌های مخابراتی موجود در منطقه بسنده کردند، در حالی که آنتن‌های موجود در شرایط بحران، قابلیت اطمینان بالایی ندارند.

حال با توجه به اطلاعات بالا و شکل ۴، مسئله در حالت موجود حل می‌شود. همچنین، به دلیل اینکه مقایسه بین حالت موجود و حالت مدل پیشنهادی امکان‌پذیر باشد، مدل پیشنهادی نیز به ازای یک انبار پشتیبان، دو پناهگاه و سه مرکز امدادی-مخابراتی و مینیمم درجه پذیرش ۰/۹ حل می‌شود تا مقایسه حالت موجود و حالت مدل پیشنهادی (بهینه) امکان‌پذیر باشد.



شکل ۴. مراکز موجود در منطقه سه تهران (شرایط فعلی)

برای اینکه مقایسه بین دو حالت شفاف‌تر شود، مقدار هر تابع هدف به‌طور جداگانه برای حالت موجود و حالت بهینه محاسبه شد و در جدول ۱۳ آورده می‌شود. با ارائه مدل پیشنهادی و با توجه به جدول مذکور، بهبود ۲۱ درصدی در تابع هدف  $Z_1$  (حداقل کردن تقاضا در مسافت مربوط به نقاط آسیب‌دیده و پناهگاه‌ها)، بهبود ۲۴ درصدی در تابع هدف  $Z_2$  (حداقل کردن تقاضا در مسافت مربوط به پناهگاه‌ها و مراکز امدادی)، بهبود ۱۸ درصدی در تابع هدف  $Z_3$  (حداكثر کردن پاسخگویی به تقاضای کالای امدادی در نقاط آسیب‌دیده) و بهبود ۱۹ درصدی در تابع هدف  $Z_4$  (حداكثر کردن پوشش مربوط به پناهگاه) مشاهده می‌شود. همچنین، به دلیل اینکه در شرایط فعلی تمهیداتی در زمینه انبارهای پشتیبان و دکل‌های مخابراتی دیده نشد، مقدار تابع هدف  $Z_5$  (حداقل کردن تقاضا در مسافت مربوط به پناهگاه‌ها و انبارهای پشتیبان) موجود نیست و مقدار تابع هدف  $Z_6$  (حداكثر کردن پوشش مربوط به دکل‌های مخابراتی) صفر است. با این حال در حالت مدل پیشنهادی (بهینه) این مقادیر محاسبه شدند.

جدول ۱۳. نتایج محاسباتی برای مقایسه حالت موجود و حالت پیشنهادی توسط مدل (حالت بهینه)

مقدار توابع هدف	تابع هدف $Z_1$	تابع هدف $Z_2$	تابع هدف $Z_3$	تابع هدف $Z_4$	تابع هدف $Z_5$	تابع هدف $Z_6$	انواع حالات
شرایط موجود	۰	۱۱۳۴۲۷	۷۹۳۴۶	-	۶۱۱۹۷	۴۹۵۴۷۵	
حالت پیشنهادی مدل (بهینه)	۱۱۴۱۸۶	۱۳۹۱۴۱	۹۷۳۵۸	۲۱۳۴۴۳۰	۴۶۷۵۱	۳۸۶۷۴۴	
تغییرات	۱۱۴۱۸۶	۴۰۷۱۴	۱۸۰۱۲	۲۱۳۴۴۳۰	۱۴۴۴۶	۱۰۸۷۳۱	
میزان بهبود	-	%۱۹	%۱۸	-	%۲۴	%۲۱	

### نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

با بررسی تحقیقات و مطالعات صورت‌گرفته در زمان بعد از بحران، مشکلات متعددی نمایان می‌شود. در پژوهش‌های قبلی در زمینه مدیریت بحران، معمولاً به برنامه‌ریزی برای مشکلی عمده در زمان بحران مانند مکان‌یابی پناهگاه‌ها، احداث انبارهای مواد غذایی، احداث دکل‌های مخابراتی و غیره می‌پرداختند و به ارائه مدلی جامع- که به برنامه‌ریزی همزمان این موضوعات بپردازد- کمتر توجه شده بود در این مقاله، مدلی جامع و یکپارچه برای مسئله مدیریت بحران ارائه شد که شامل مکان‌یابی پناهگاه‌ها و تخصیص نقاط آسیب‌دیده به پناهگاه‌ها، مکان‌یابی انبارهای کالای امدادی و مراکز مخابراتی در زمان بحران است. همچنین، موضوع مورد اهمیت دیگر در زمان بحران، افزایش قابلیت اطمینان لجستیک امداد است که برای افزایش قابلیت اطمینان در سیستم لجستیک امداد پیشنهادی در این مقاله، تأسیس انبارهای پشتیبان در نظر گرفته شد. منطقه سه تهران به علت جمعیت و آسیب‌پذیری بالا، برای انجام‌دادن مطالعه موردی انتخاب شد و نتایج نشان داد هر قدر تصمیم‌گیرنده،  $\alpha$  بیشتر در نظر گیرد- که به معنی برنامه‌ریزی با ریسک کمتر در مورد نبودن قطعیت است- با افزایش تابع هدف کل مواجه می‌شود؛ بنابراین، زمانی که احتمال وقوع حادثه بسیار زیاد باشد یا در صورت وقوع حادثه عواملی موجب تشدید حادثه شود، لازم است تصمیم‌گیرنده محتاط عمل کند و مقدار  $\alpha$  بیشتر را انتخاب کند. برای تحقیقات آتی، وارد کردن بحث زمان و استفاده از مفهوم پنجره زمانی و همچنین استفاده از روش‌های دقیق مانند لاگرانژ برای مسائل با ابعاد متوسط پیشنهاد می‌شود.

### References

- Akgün, İ., Gümüşbuğa, F. & Tansel, B. (2015). *Risk based facility location by using fault tree analysis in disaster management*, Omega, in press.

- Altinel, I. K., Aras, N., Guney, E. & Ersoy, C. (2006). Effective coverage in sensor networks: binary integer programming formulations and heuristics. *IEEE International Conference on Communications (Istanbul)*, 9: 4014-4019.
- Attafar, A. & Eghbali, M. (2014). Analyzing the Factors Influencing Delay of Projects in Zone 3 of Iranian Gas Transmission Company. *Journal of Industrial Management*, 5(2): 85-102. (In Persian)
- Daskin, M. S. & Dean, L. K. (2004). *Location of health care facilities*. In *Operations research and health care*, Springer US. Germany.
- Deb, K. (2001). *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, John Wiley & Sons. United States.
- Fallah shams Layalestani M. F., Raji M. & Khajehpour M. (2013). Performance Evaluation by Using Hybrid Method: BSC, TOPSIS and AHP. *Journal of Industrial Management*, 5(1): 81-100. (In Persian)
- Firozian M., Asgharizadeh E. & Emami Olarizi S.A. (2011). Identification Challenges in Growth Stage for Small Foundry Firms. *Journal of Industrial Management*, 2(5): 125-140. (In Persian)
- Ghahroodi Tali, M., et al. (2012). Vulnerability assessment due to the floods in Tehran. *Relief and rescue Quarterly*, 4(3): 79-92. (In Persian)
- Hadavi, F., Zamani, M. & Hosseinzadeh, R. (2013). Optimal locating of temporary housing after the earthquake in urban areas using multiple criteria: A Case Study of region 6 of Tehran. *Fifth International Conference on Disaster Management (Tehran)*. (In Persian)
- Hwang, H. S. (2004). A stochastic set-covering location model for both ameliorating and deteriorating items. *Computers & industrial engineering*, 46(2): 313-319.
- Ingram, J. (1987). Food and Disaster Relief Issues of Management policy. *Disasters*, 12(1): 12-18.
- Jalali, S. (2014). Disconnection of communication networks with five-magnitude earthquake. *World economy newspaper*, 3226: 7. (In Persian)
- Jiménez, M., Arenas, M. & Bilbao, A. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. *European Journal of Operational Research*, 177(3): 1599-1609.
- Karimi, S. (2006). Urban planning confronting natural disaster. *First Conference on Natural Disaster (University of Tehran)*. (In Persian)



- Lin, Y. H., et al. (2012). Location of temporary depots to facilitate relief operations after an earthquake. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(2): 112-123.
- Liu, Q., Ruan, X., & Shi, P. (2008) Selection of emergency shelter sites for seismic disasters in mountainous regions: Lessons from the wenchuan Ms 8.0 Earthquake, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40: 926-934.
- Pishvae, M. S. & Torabi S. A. (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(161): 2668-2683.
- Rabiee, A. & Shaghasemi, E. (2006). The role of communication in disaster management. *Communication and Cultural Studies Quarterly*, 2(7): 61-82. (In Persian)
- Rath, S. & Gutjahr, W. J. (2011). A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief. *Computers & Operations Research*, 42(2): 25-39.
- Saadatseresht, M., Mansourian, A., & Taleai, M. (2009). Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach. *European Journal of Operational Research*, 198: 305-314
- Saffari, A., Sasanpoor, F. & Musavand, J. (2011). Vulnerability assessment of urban areas against flood risk GIS and fuzzy logic Case Study: Region 3 of Tehran. *Journal of Applied Research Geographical Sciences*, 11(20): 129-150. (In Persian)
- Shahin A., Vaez Shahrestani H. & Bagheri I. E., (2014). Proposing an integrated approach of Kano Model and Taguchi Design of Experiments based on Kansei Engineering to product design based on customer needs in the automotive industry. *Journal of Industrial Management*, 6(2): 317-336. (In Persian)
- Sheu, J. B. (2007). An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6): 687-709.
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19(6): 1363-1373.
- Widener, M. J. & Horner, M. W. (2011). A hierarchical approach to modeling hurricane disaster relief goods distribution. *Journal of Transport Geography*, 19: 821-828.
- Yi, W. & Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transp. Res.*, 43: 660-672.  
<http://map.tehran.ir>