

مدل مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات بحران با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان تحت شرایط عدم قطعیت و تقاضای پویا (مطالعه موردی: بحران زلزله در شهر تهران)

مونا اسدی¹، محمدعلی شفیعا^{2*}، سعید یعقوبی³

- 1- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
2- دانشیار، گروه فناوری صنعتی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
3- استادیار، گروه مهندسی سیستم، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

پذیرش: 1396/7/17

دریافت: 1396/1/27

چکیده

در بلایای طبیعی، نیاز مبرم مصدومان به کالاهای ضروری اغلب خود منجر به تشدید بحران می‌شود؛ بنابراین مکان‌یابی انبارهای توزیع کالا و تأسیس این انبارها در مناطقی که امدادسانی را تسریع بخشد، از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله، یک مدل مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات بحران با هدف کاهش هزینه‌ها ارائه شده است؛ به طوری که این مدل تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن تقاضای پویا تا 72 ساعت پس از آغاز بحران، انبارهای تأسیس شده را به نقاط آسیب‌پذیر طبق سناریوهای مختلف تخصیص می‌دهد. همچنین احتمال خرابی تسهیلات و مسیرها، به منظور افزایش قابلیت اطمینان، در مدل در نظر گرفته شده و انبارها در دو نوع مطمئن و نامطمئن و همچنین انبارهایی پشتیبان برای احداث فرض شده‌اند. مدل پیشنهادی بر روی مطالعه موردی زلزله در شهر تهران پیاده‌سازی شده است. سپس مسئله برای تعداد مختلف تسهیلات اجرا شده و تحلیل حساسیت و اعتبارسنجی

صورت گرفته است. همچنین با بهره‌گیری از روش آرما تقاضای امداد برای سال 1398 پیش‌بینی و نتایج به‌دست‌آمده گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد مکان‌یابی انبارهای توزیع امداد و تخصیص مناطق براساس مدل پیشنهادی می‌تواند باعث بهبود امدادسانی شده و به مدیران جهت مقابله با بحران کمک نماید.

واژگان کلیدی: قابلیت اطمینان؛ زلزله تهران؛ مکان‌یابی-تخصیص؛ مدل آرما؛ تقاضای پویا.

1- مقدمه

فرآیند مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل جریان منابع کلیدی سازمان‌های مرتبط در بحران، به‌منظور امدادسانی به مردم آسیب‌دیده، لجستیک اضطراری نامیده می‌شود و به‌عنوان عاملی کلیدی، به‌دنبال کاهش تأثیر فجایع و عواقب بعدی آن است. هر ساله بیش از 500 حادثه در کره زمین رخ می‌دهد که متأسفانه، به‌طور متوسط، باعث کشته شدن حدود 75000 نفر شده و بیش از 200 میلیون نفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد [1]. این یک مسئله‌ی بزرگ و غیرقابل‌کنترل است و توانایی اجتماعات، ملیت‌ها و نواحی را در حفاظت کارا از جمعیت و زیرساخت‌هایشان نشان می‌دهد که این توانایی، کاهش ضررهای انسانی و مالی و سرعت در بازسازی را به‌دنبال خواهد داشت. ده‌ها هزار کشته و میلیون‌ها دلار خسارت، نشانه‌های اهمیت این مسئله برای بررسی است. مدیریت بحران شامل چهار مرحله پیش‌گیری، آمادگی، پاسخ و بهبود است که توجه به هر یک از این مراحل مهم و ضروری بوده و البته در فاز آمادگی و پاسخ، برنامه‌ریزی برای مکان‌یابی تسهیلات و توزیع از اهمیت بسزایی برخوردار است. پناهگاه و انبار که گاهی اوقات به‌عنوان مراکز توزیع نامیده می‌شوند، از جمله تسهیلاتی هستند که در مدل‌های مکان‌یابی در نظر گرفته می‌شوند. این مدل‌ها با استفاده از چارچوب‌های مکان‌یابی به‌گونه‌ای فرمول‌بندی می‌شوند که بیشترین تقاضا با استفاده از مقادیر ذخیره‌شده در انبارها پوشش داده شود؛ به‌طوری‌که ابتدا کالاهای امداد به انبارها اختصاص داده شده و سپس کالای ذخیره‌شده به تقاضای موجود تخصیص می‌یابد. مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات، ذخیره‌سازی کالای امداد قبل از فاجعه و توزیع امداد را عمدتاً با هدف حداقل‌کردن هزینه‌ها ترکیب می‌کنند [2].

پرحادثه‌ترین قاره آسیاست و کشور ایران بین ده کشور اول حادثه‌خیز جهان قرار دارد؛ لذا مدیریت سوانح و حوادث در ایران از جایگاه خاصی برخوردار است و مدیریت بحران نیز به‌عنوان یکی از ارکان اصلی آن، از این اهمیت مستثنی نیست. این امر ضرورت توجه به مکان‌یابی مراکز امداد و در نظر گرفتن تسهیلات پشتیبان را دوچندان می‌کند. با توجه به ماهیت مسائل لجستیک بحران که همواره با عدم قطعیت زیادی روبرو است، در نظر گرفتن تقاضا به‌صورت پویا و غیرقطعی و قابلیت اطمینان با توجه به احتمال خرابی مسیرها و تسهیلات، حائز اهمیت است. در نظر گرفتن قابلیت اطمینان در مکان‌یابی تسهیلات و توزیع امداد، تحویل به‌موقع از مراکز توزیع به نقاط تقاضا را بهبود می‌بخشد. به دلیل اهمیت بالای نیاز به کالای امداد در هنگام بحران و با توجه به اینکه ممکن است انبارها دچار آسیب شوند، بهتر است تعدادی انبار پشتیبان در خارج از منطقه آسیب در نظر گرفته شود. انبارهای داخل منطقه نیز می‌توانند در دو نوع نامطمئن و مطمئن ساخته شوند که انبارهای نامطمئن با هزینه ساخت کمتر و احتمال خرابی بیشتری همراه هستند. در صورت خرابی و ازکارافتادگی انبارهای نامطمئن و مطمئن، کالاهای امداد از تسهیلات پشتیبان به نقاط تقاضا منتقل خواهند شد.

در زمینه مسائل مکان‌یابی تسهیلات و توزیع امداد با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان، کارهای معدودی تا به امروز صورت گرفته است. داسکین و همکاران برای اولین بار مجموعه قابلیت اطمینان را مطرح کردند [3]. آن‌ها ابتدا یک مدل مکان‌یابی P-میان با هدف حداقل‌سازی تأسّف مورد انتظار ارائه دادند و سپس با توسعه مدل، هدف به شکل حداقل‌سازی حداکثر تأسّف فرض شد. از آنجاکه مدل می‌تواند نسبت به سناریوهای با احتمال وقوع کم، حساسیت شدید داشته باشد، یک زیرمجموعه قابلیت اطمینان از سناریوها تعریف شده است. چن و همکاران یک مدل P-میان تصادفی برای افزایش قابلیت اطمینان ارائه کرده‌اند [4]. یوکسوری و یوشیمیتو در مدل مسیریابی-مکان‌یابی خود، احتمال خرابی مسیرها را برای افزایش قابلیت اطمینان در نظر گرفته‌اند. آن‌ها از روش برگر برای مدل‌سازی بهره گرفته‌اند [5]. محمدی مدلی برای کنترل موجودی و تولید در وضعیت بحرانی و شرایط عدم اطمینان ارائه کرده

است. هدف مدل کمینه‌کردن هزینه‌های کلی با در نظر گرفتن مقدار بهینه سفارش بوده و تقاضای آن از توزیع نرمال پیروی می‌کند [6]. افشار و حقانی یک مدل مکان‌یابی برای تسهیلات موقت و دائم با حالت چند دوره‌ای پیشنهاد داده‌اند [7]. راولز و ترانکواست در مدل تخصیص پویای خود، برای تقاضای کوتاه‌مدت با هدف حداقل‌کردن هزینه‌ها، یک مجموعه قابلیت اطمینان تعریف کرده‌اند [8]. کلیبی و همکاران یک شبکه زنجیره تأمین بحران طراحی کردند و جهت افزایش قابلیت اطمینان زنجیره، برای مراکز توزیع، تسهیلات پشتیبان در نظر گرفتند تا در صورت خرابی مرکز توزیع اولیه، به نقاط تقاضا خدمات‌رسانی کند [9]. وانگ و همکاران یک مدل مکان‌یابی-مسیریابی با امکان تحویل جداگانه برای توزیع امداد ارائه کردند. یکی از اهداف مدل چندهدفه آن‌ها، حداکثر کردن حداقل قابلیت اطمینان مسیرهای موجود است [10]. شو و پن همراه با مکان‌یابی، تخلیه افراد از محل حادثه به پناهگاه‌ها و مراکز درمانی و همچنین توزیع امداد را به‌طور همزمان در یک روش سه مرحله‌ای مدل‌سازی کرده‌اند [11]. امیری و همکاران یک مدل مکان‌یابی مراکز امدادی با هدف کمینه‌سازی هزینه، حداکثرسازی پوشش و حداقل‌سازی مجموع فواصل حمل‌ونقل ارائه داده‌اند [12]. جعفرنژاد و همکاران مدلی جهت مکان‌یابی مراکز توزیع با در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به موجودی و حمل کالا و ذخیره اطمینان توسعه داده‌اند [13]. ژانگ و همکاران یک مدل مکان‌یابی قابل اطمینان ناهمگن با در نظر گرفتن ریسک و اختلال در زنجیره ارائه کرده‌اند؛ به‌گونه‌ای که مشتریان اختصاص‌یافته به هر تسهیل در صورت خرابی آن می‌توانند به تسهیل دیگری اختصاص یابند [14]. مانوپینی‌وسا و همکاران در تحقیق خود یک مدل چندهدفه تصادفی برای قبل و بعد از حادثه ارائه کرده‌اند. مدل پیشنهادی آن‌ها برای سه ناحیه کلیدی لجستیک امداد شامل مکان‌یابی تسهیلات، برنامه‌ریزی تخلیه و برنامه‌ریزی وسایل نقلیه امداد تصمیم‌گیری می‌کند [15]. هو و همکاران یک مدل چندسطحی جهت تخلیه قربانیان از مناطق حادثه‌دیده و توزیع امداد ارائه کردند. در مدل آن‌ها کمبود منابع و هزینه‌های روانی ناشی از انتظار قربانیان برای پناهگاه به شکل هزینه‌های جریمه دیده شده است [16].

با توجه به امکان وقوع زلزله در کلان‌شهر تهران، مطالعاتی با محوریت این شهر صورت گرفته است. محمدی و همکاران یک مدل چندهدفه برای مکان‌یابی بیمارستان‌ها، نقاط انتقال و انبارهای امداد تحت عدم قطعیت ارائه کرده و بحران زلزله در منطقه یک تهران را مورد بررسی قرار داده‌اند [17]. ناطقی در راستای آماده‌سازی شهر تهران برای مقابله با خطر زلزله، تحقیقی با هدف بررسی شاخص‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای انجام داده است. در این پژوهش 14 شاخص مهم و آسیب‌پذیری نسبی مناطق بر اساس آن‌ها تعیین شده است [18].

با توجه به تحقیقات صورت گرفته، برای اولین بار مدلی غیرقطعی همراه با تقاضای پویا برای مسئله لجستیک امداد پیشنهاد می‌شود که با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان، انبارهای توزیع کالای امداد در دو نوع انبار مطمئن و نامطمئن و همچنین در خارج از ناحیه بحران، تعدادی تسهیل پشتیبان را مکان‌یابی کرده و به نقاط تقاضا تخصیص دهد. مدل ارائه‌شده به صورت تک‌هدفه با هدف حداقل کردن هزینه‌ها بوده و عدم قطعیت به صورت سناریو وارد مدل شده است. نوآوری‌های این مقاله بدین شرح است:

1. ارائه یک مدل مکان‌یابی لجستیک تک‌هدفه که برای مکان انبارهای امداد مطمئن و نامطمئن و انبارهای پشتیبان تصمیم‌گیری می‌کند.
2. برای نزدیک شدن مسئله به حالت واقعی، تقاضا به صورت پویا، متغیر با زمان و غیرقطعی همراه با سناریو در نظر گرفته شده است. همچنین هزینه‌ای به‌عنوان جریمه عدم پاسخگویی به تقاضا فرض شده است.
3. جهت افزایش قابلیت اطمینان، خرابی تسهیلات مطمئن، نامطمئن و مسیرها در مدل آورده شده است.

4. میزان تقاضای امداد برای سال 1398 با فرآیند آرما پیش‌بینی و خروجی مدل بر اساس آن گزارش شده است.

ساختار مقاله بدین صورت است: بخش دوم مربوط به تعریف مسئله بوده که با بیان مفروضات، مدل‌سازی رویکرد پیشنهادشده به صورت گام‌به‌گام بیان شده است. در بخش سوم، خصوصیات منطقه مورد مطالعه به تفصیل بیان شده است. در ادامه

مقاله و در بخش چهارم، مدل ارائه‌شده با توجه به مطالعه موردی اجرا شده و اعتبارسنجی بر اساس نتایج حل صورت گرفته است و سپس در بخش آخر، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آورده شده است.

2- تعریف مسئله

هدف اصلی این مسئله، ارائه مدلی برای مدیریت بحران است که شامل مکان‌یابی انبارهای امداد مطمئن، نامطمئن و تسهیلات پشتیبان و تخصیص نقاط تقاضا به آنها در زمان بحران می‌شود. نمای کلی مدل پیشنهادشده در شکل 1 نشان داده شده است. در این بخش ابتدا مفروضات، پارامترها، مجموعه‌ها و متغیرهای تصمیم معرفی شده و سپس مدل ریاضی پیشنهادشده، تشریح داده خواهد شد.

2-1- مفروضات و پارامترهای مسئله

• مفروضات مسئله

1. در این مسئله، چندین منطقه آسیب‌دیده و همچنین چندین مکان بالقوه برای احداث انبار نامطمئن، انبار مطمئن و تسهیلات پشتیبان وجود دارد؛
2. احتمال خرابی برای انبارهای نامطمئن و مطمئن در نظر گرفته شده است؛
3. مسیرهای انتقال کالا از انبارهای نامطمئن، مطمئن و پشتیبان به نقاط تقاضا دارای قابلیت اطمینانی به صورت احتمال سالم بودن است؛
4. به دلیل آنکه تسهیلات پشتیبان خارج از مناطق بحران زده تأسیس می‌شوند، احتمال خرابی آنها برابر صفر است؛
5. هر نقطه آسیب‌دیده باید دقیقاً به یک انبار نامطمئن یا مطمئن تخصیص یابد؛
6. هر نقطه آسیب‌دیده باید دقیقاً به یک تسهیل پشتیبان اختصاص یابد؛
7. تقاضا به صورت پویا و متغیر با زمان در نظر گرفته شده است و تقاضای برآورده نشده جریمه به همراه دارد؛
8. عدم قطعیت در پارامترهای مسئله، به صورت سناریو فرض شده است؛
9. تمامی تسهیلات دارای محدودیت ظرفیت هستند.

• مجموعه‌ها

B: مجموعه نقاط بالقوه تأسیس تسهیل پشتیبان
 U: مجموعه نقاط بالقوه تأسیس انبار نامطمئن
 R: مجموعه نقاط بالقوه تأسیس انبار مطمئن
 J: مجموعه نقاط آسیب‌دیده
 S: مجموعه سناریوها
 T: دوره‌های زمانی

• پارامترها

f_u : هزینه تأسیس انبار نامطمئن u
 f_r : هزینه تأسیس انبار مطمئن r
 f_b : هزینه تأسیس تسهیل پشتیبان b
 p_u^s : احتمال خرابی انبار نامطمئن u
 p_r^s : احتمال خرابی انبار مطمئن r تحت سناریو s
 r_{uj} : قابلیت اطمینان مسیر از انبار نامطمئن u به نقطه آسیب z
 r_{rj} : قابلیت اطمینان مسیر از انبار مطمئن r به نقطه آسیب z
 r_{bj} : قابلیت اطمینان مسیر از انبار پشتیبان b به نقطه آسیب z
 d_{jt}^s : تقاضای نقطه آسیب z در دوره‌ی زمانی t تحت سناریوی s
 q^s : هزینه جریمه برای هر واحد تقاضای برآورده نشده تحت سناریوی s
 C_{uj} : هزینه انتقال هر واحد کالا از انبار نامطمئن u به نقطه آسیب z
 C_{br} : هزینه انتقال هر واحد کالا از تسهیل پشتیبان b به نقطه آسیب z
 Ca_u : ظرفیت انبار نامطمئن u
 Ca_r : ظرفیت انبار مطمئن r
 Ca_b : ظرفیت تسهیل پشتیبان b
 φ : ضریب وزن‌دهی به تابع هدف
 α : تعداد انبارهای نامطمئن جهت احداث
 β : تعداد انبارهای مطمئن جهت احداث
 γ : تعداد تسهیلات پشتیبان جهت احداث

• متغیرهای تصمیم

x_u : متغیر 0 و 1 عدم احداث یا احداث انبار نامطمئن
 y_r : متغیر 0 و 1 عدم احداث یا احداث انبار مطمئن
 z_b : متغیر 0 و 1 عدم احداث یا احداث تسهیل پشتیبان
 T_{uj}^s : متغیر 0 و 1 عدم تخصیص یا

انبار پشتیبان
 اختصاص نقطه آسیب z به انبار نامطمئن
 u تحت سناریوی s

T_{rj}^s : متغیر 0 و 1 عدم تخصیص یا T_{bj}^s : متغیر 0 و 1 عدم تخصیص یا
 تخصیص نقطه آسیب z به انبار مطمئن r تخصیص نقطه آسیب z به تسهیل
 تحت سناریوی s پشتیبان b تحت سناریوی s

2-2- مدل مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات بحران با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان
 مدل پیشنهادی برای این مسئله به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \min \varphi & \left(\sum_u f_u x_u + \sum_r f_r y_r + \sum_b f_b z_b \right) + (1-\varphi) \left(\sum_u \sum_j \sum_t \sum_s d_{jt}^s p^s (1-p_u^s) r_{uj} T_{uj}^s C_{uj} + \right. \\ & \sum_r \sum_j \sum_t \sum_s d_{jt}^s p^s (1-p_r^s) r_{rj} T_{rj}^s C_{rj} + \sum_u \sum_b \sum_j \sum_t \sum_s d_{jt}^s p^s (p_u^s + (1-p_u^s)(1-r_{uj})) \\ & r_{bj} T_{uj}^s T_{bj}^s C_{bj} + \sum_r \sum_b \sum_j \sum_t \sum_s d_{jt}^s p^s (p_r^s + (1-p_r^s)(1-r_{rj})) r_{bj} T_{rj}^s T_{bj}^s C_{bj} + \\ & q^s \sum_u \sum_b \sum_j \sum_t \sum_s d_{jt}^s p^s (p_u^s + (1-p_u^s)(1-r_{uj})) (1-r_{bj}) T_{uj}^s T_{bj}^s + q^s \sum_r \sum_b \sum_j \sum_t \sum_s d_{jt}^s p^s \\ & \left. (p_r^s + (1-p_r^s)(1-r_{rj})) (1-r_{bj}) T_{rj}^s T_{bj}^s \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_u T_{uj}^s + \sum_r T_{rj}^s = 1 \quad \forall j, s \quad (2)$$

$$\sum_b T_{bj}^s = 1 \quad \forall j, s \quad (3)$$

$$T_{uj}^s \leq x_u \quad \forall u, j, s \quad (4)$$

$$T_{rj}^s \leq y_r \quad \forall r, j, s \quad (5)$$

$$T_{bj}^s \leq z_b \quad \forall b, j, s \quad (6)$$

$$\sum_j d_{ji}^s T_{ij}^s \leq Ca_u x_u \quad \forall u, t, s \quad (7)$$

$$\sum_j d_{ji}^s T_{rj}^s \leq Ca_r y_r \quad \forall r, t, s \quad (8)$$

$$\sum_j d_{ji}^s T_{bj}^s \leq Ca_b z_b \quad \forall b, t, s \quad (9)$$

$$x_{u \in R} + y_r \leq 1 \quad \forall u = r \quad (10)$$

$$\sum_u x_u = \alpha \quad (11)$$

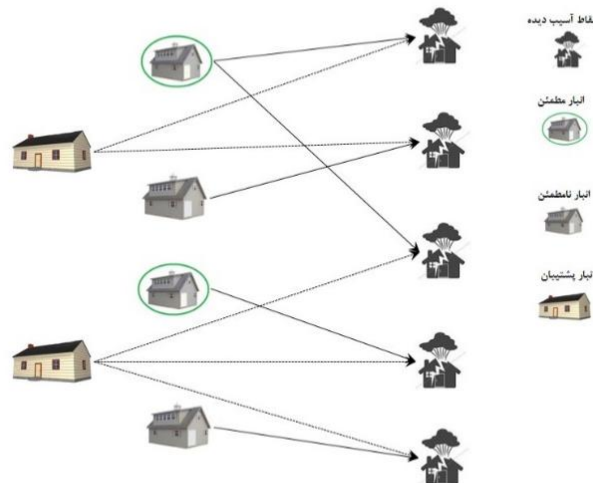
$$\sum_r y_r = \beta \quad (12)$$

$$\sum_b z_b = \gamma \quad (13)$$

$$x_u, y_r, z_b, T_{ij}^s, T_{rj}^s, T_{bj}^s \in \{0, 1\} \quad \forall b, r, u, j, s \quad (14)$$

تابع هدف 1 مربوط به حداقل کردن هزینه و شامل 9 بخش است. سه بخش اول، هزینه‌های ساخت انبارهای نامطمئن، مطمئن و پشتیبان را در بر می‌گیرد. بخش چهارم و پنجم، هزینه حمل کالا از انبارهای نامطمئن و مطمئن به نقاط تقاضا تحت همه‌ی سناریوها و در تمام دوره‌های زمانی با توجه به احتمال خرابی انبارها و قابلیت اطمینان مسیر است. بخش ششم و هفتم، هزینه حمل کالا از تسهیلات پشتیبان به نقاط آسیب تحت همه‌ی سناریوها و در تمام دوره‌های زمانی با توجه به قابلیت اطمینان مسیر انبار پشتیبان به نقاط تقاضا است؛ در شرایطی که انبار نامطمئن یا مطمئن تخصیص داده‌شده توانایی خدمات‌رسانی را به دلیل خرابی تسهیل یا مسدود بودن مسیر نداشته باشد. بخش هشتم و نهم، هزینه جریمه تقاضای برآورده نشده را محاسبه می‌کند؛ در شرایطی که انبار نامطمئن یا مطمئن تخصیص‌یافته خراب شده یا مسیر آن به نقاط آسیب مسدود شده باشد و انبار پشتیبان نیز به دلیل مسدود شدن مسیر، توانایی انتقال

کالا به نقاط تقاضا را نداشته باشد. سه بخش اول تابع هدف که هزینه‌های ساخت را محاسبه می‌کنند، در یک ضریب و شش بخش دوم که مربوط به هزینه‌های حمل و جریمه می‌شوند، در ضریب دیگری ضرب شده‌اند تا تمامی جملات تابع هدف هم‌تراز شوند. محدودیت 2 تضمین می‌کند که هر نقطه آسیب ز تحت هر سناریو s ، دقیقاً به یک انبار نامطمئن یا مطمئن تخصیص یابد. محدودیت 3 تضمین می‌کند که هر نقطه آسیب z تحت هر سناریو s ، دقیقاً به یک انبار پشتیبان تخصیص یابد. محدودیت‌های 4، 5 و 6 تضمین می‌کنند که تحت هر سناریو s ، نقطه آسیب z در صورتی می‌تواند به انبار نامطمئن u ، انبار مطمئن r و تسهیل پشتیبان b تخصیص یابد که آن انبار تأسیس شده باشد. محدودیت‌های 7، 8 و 9، به ترتیب، مربوط به ظرفیت انبارهای نامطمئن، مطمئن و پشتیبان تحت هر سناریو و در هر دوره زمانی هستند. در صورتی که نقاط بالقوه برای تأسیس انبارهای نامطمئن و مطمئن یکسان باشد، محدودیت 10 بیانگر آن است که حداکثر یکی از این دو انبار می‌تواند احداث شود. محدودیت‌های 11، 12 و 13، به ترتیب، مربوط به تعداد انبارهای نامطمئن، مطمئن و پشتیبانی است که جهت احداث لازم هستند. محدودیت 14 متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کند.



شکل 1 نمای کلی مدل ارائه شده

3-2- خطی‌سازی

عبارات $T_{uj}^s T_{bj}^s$ و $T_{rj}^s T_{bj}^s$ در تابع هدف، غیرخطی هستند. این عبارات در نتیجه ضرب دو عدد صفر و یک در یکدیگر ایجاد شده‌اند. معادل خطی آن‌ها را می‌توان به صورت زیر نوشت:

- با جایگزینی عبارت $T_{uj}^s T_{bj}^s$ با متغیر T_{ubj}^s و اضافه کردن محدودیت‌های زیر:

$$T_{ubj}^s \leq T_{uj}^s \quad \forall u, b, j, s \quad (15)$$

$$T_{ubj}^s \leq T_{bj}^s \quad \forall u, b, j, s \quad (16)$$

$$T_{ubj}^s \geq T_{uj}^s + T_{bj}^s - 1 \quad \forall u, b, j, s \quad (17)$$

- با جایگزینی عبارت $T_{rj}^s T_{bj}^s$ با متغیر T_{rbj}^s و اضافه کردن محدودیت‌های زیر [19]:

$$T_{rbj}^s \leq T_{rj}^s \quad \forall r, b, j, s \quad (18)$$

$$T_{rbj}^s \leq T_{bj}^s \quad \forall r, b, j, s \quad (19)$$

$$T_{rbj}^s \geq T_{rj}^s + T_{bj}^s - 1 \quad \forall r, b, j, s \quad (20)$$

4-2- مدل آرما

الگوهای سری زمانی سعی می‌کنند تا رفتار یک متغیر را بر اساس مقادیر گذشته آن توضیح دهند. هدف این مقاله پرداختن به یک مدل ساختاری در حوزه پیش‌بینی جمعیت بوده و با توجه به اینکه سایر مدل‌های پیش‌بینی نیازمند حجم بالای داده‌های جانبی و عملیات مدل‌سازی هستند، لذا از مدل خود رگرسیون میانگین متحرک موسوم به مدل آرما -که داده‌های سری زمانی را به خوبی به صورت تصادفی پیش-

بینی می‌کند - استفاده شده است. در مقایسه مدل آرما با الگوهای اقتصادسنجی کلاسیک می‌توان گفت که این الگوها دارای انحرافات زیادی نسبت به مدل آرما هستند؛ زیرا در این مدل‌ها از متغیرهای توضیحی استفاده می‌شود و برای پیش‌بینی متغیر وابسته، ابتدا مقادیر متغیرهای توضیحی باید پیش‌بینی شوند. پیش‌بینی هر کدام از این متغیرها دارای انحراف خاص خود بوده و در نهایت، باعث انحراف زیادی در پیش‌بینی متغیر وابسته خواهند شد. دیگر اختلاف این دو روش در افق پیش‌بینی آن‌هاست. الگوهای اقتصادسنجی روابط بلندمدت و پایا¹ را برآورد می‌کنند، در صورتی که روش آرما برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و پویا² داده‌ها مناسب است. این فرآیند از انعطاف‌پذیرترین نوع الگوهای سری زمانی تک‌متغیره است. درجات p و q در این مدل، به ترتیب، بخش‌های خودرگرسیون (AR^3) و میانگین متحرک (MA^4) را نشان می‌دهد. شکل کلی مدل $ARMA(p, q)$ به شکل زیر است:

$$d_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i d_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} \quad \forall t \quad (21)$$

در معادله 21، φ_i و θ_i پارامترهای مدل، c عدد ثابت و ε_t خطای مدل در دوره t است. معمولاً برای تخمین مدل آرما از روش باکس-جنکینز⁵ استفاده می‌شود. در این روش، ابتدا پایایی سری زمانی بررسی شده و مقادیر نمونه برای p و q تعیین می‌شود. سپس مدل‌هایی که در مرحله قبل انتخاب شده‌اند، پردازش شده و پارامترهای مناسب آن‌ها تخمین زده می‌شود. در مرحله بعد، میزان مطلوبیت مدل مورد آزمون قرار می‌گیرد. می‌توان با بررسی پسماندهای مدل، خوبی برازش آن را آزمود. باید پسماندهای حاصل از مدل کاملاً تصادفی باشد و اثری از پارامترها p و q در آن‌ها وجود نداشته باشد [20].

1. Static
2. Dynamic
3. Autoregressive
4. Moving Average
5. Box-Jenkins

این تحقیق، از معیار شوارتز¹ برای انتخاب بهترین مدل استفاده شده و مدلی که معیار شوارتز آن کمترین بوده، به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شده است.

3- مطالعه موردی

تهران به‌عنوان کلان‌شهر اول کشور در معرض خطر جدی زلزله قرار دارد. بر پایه داده‌های زلزله‌های تاریخی، تهران متحمل چندین زلزله شدید با دوره‌های بازگشت 150 سال شده است. زلزله شناسان احتمال وقوع زلزله‌ای شدید را در آینده نزدیک در تهران می‌دهند، زیرا این شهر از سال 1209 خورشیدی تاکنون زلزله مصیبت‌باری را تجربه نکرده است [21]. در این راستا، شهر تهران به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. این شهر دارای 22 منطقه بوده و وسعتی معادل 730 کیلومترمربع دارد و طبق سرشماری سال 1395 جمعیت آن معادل 510,8,737 نفر است. مفروضات مطالعه موردی به شکل زیر هستند:

- 1) در این مطالعه 22 منطقه تهران بر اساس جمعیت و مساحت به 15 بخش تقسیم‌شده که در جدول 1 نشان داده شده است. این بخش‌ها همان نقاط آسیب هستند.
- 2) 15 مکان بالقوه برای تأسیس انبار نامطمئن و 15 مکان بالقوه برای تأسیس انبار مطمئن در شهر تهران در نظر گرفته شد. این مکان‌ها در شکل 2 نشان داده شده است.
- 3) 4 مکان بالقوه در خارج شهر تهران برای تأسیس تسهیلات پشتیبان فرض شد. این مکان‌ها عبارت‌اند از قم، قزوین، فیروزکوه و ملارد که در شکل 2 قابل مشاهده‌اند.
- 4) مسافت میان مبدأ و مقصد در هر مسیر (کوتاه‌ترین مسیر از نظر زمان دسترسی) با استفاده از نقشه گوگل² به دست آمد و سپس هزینه حمل بر اساس آن محاسبه شد. هزینه حمل هر واحد کالای امدادی در هر کیلومتر برای داخل شهر برابر 12,7 ریال و خارج شهر برابر 25 ریال در نظر گرفته شد.
- 5) با توجه به نظر خبرگان، تقاضای هر منطقه دو برابر میزان تلفات آن ناحیه و بر اساس اطلاعات جایکا³ در نظر گرفته شد [21].

1. Schwarz Bayesian Criterion
2. Google Maps
3. JICA

6) با استفاده از مطالعات جایکا، بر اساس امکان فعال شدن هرکدام از گسل‌های اصلی شهر تهران، چهار سناریو فرض شده است. مشخصات هر سناریو و میزان تقاضا بر اساس آن در جداول 2 و 3 آورده شده است [21].

7) هر تقاضا به شکل یک بسته امدادی شامل آب، تن ماهی و پتو در نظر گرفته شده است.

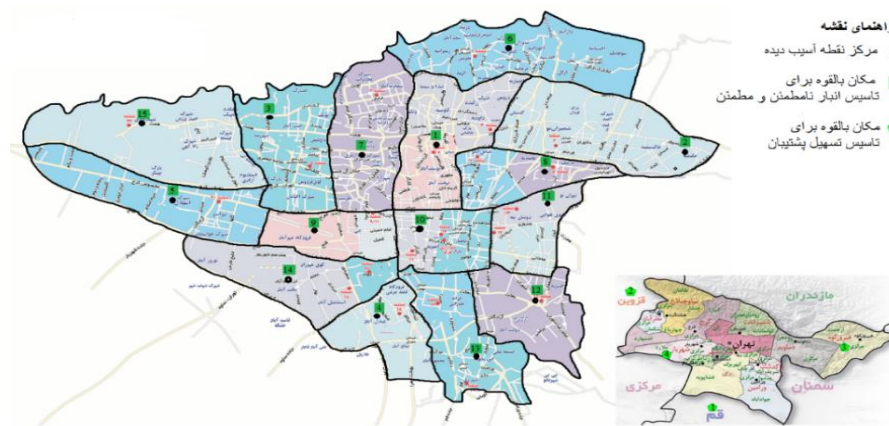
8) جریمه هر واحد تقاضای برآورد نشده به ترتیب 10، 20، 50 و 10 برابر بیشترین هزینه حمل هر بسته‌ی امدادی برای هر سناریو فرض شده است.

9) چهار دوره زمانی در مدل در نظر گرفته شد که شامل 0-12، 12-24، 24-48 و 48-72 ساعت پس از وقوع زلزله می‌شود. میزان تقاضای هر دوره به ترتیب 10، 23، 57 و 10 درصد تقاضای کل، طبق هر سناریو است [8].

10) احتمال خرابی انبارها و مسیرهای انتقال بر اساس نظر خبرگان و بهره‌گیری از نقشه‌های زمین‌شناختی تهیه‌شده توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ محاسبه شده است (شکل‌های 3 و 4).

جدول 1 تقسیمات شهر تهران بر اساس مناطق

بخش	مناطق	نماینده	جمعیت	بخش	مناطق	نماینده	جمعیت
1	3-6	م فرهنگ	544092	9	9-10	مهرآباد	461368
2	4	حکیمیه	861280	10	11-12	میدان حر	529604
3	5	شهران	793750	11	13-14	میدان امامت	760360
4	19	عبدل‌آباد	244350	12	15	خیابان	638740
5	21	شهرک استقلال	162681	13	16-20	ابن بابویه	628664
6	1	کامرانیه	439466	14	17-18	یافت‌آباد	639957
7	2	مرزداران	632916	15	22	شهرک شهید	128958
8	7-8	هفت‌حوض	687863			باقری	



شکل 2 موقعیت منطقه مورد مطالعه و مکان‌های بالقوه برای تأسیس انبارها

11) انبارهای نامطمئن و مطمئن هرکدام در 4 طبقه با مترهای 100 تا 200 مترمربع و با ارتفاع سقف 3 متر در نظر گرفته شدند. تسهیلات پشتیبان به شکل سوله‌هایی با ارتفاع 9 متر و مترهای 700 تا 1000 مترمربع فرض شده‌اند. ابعاد هر بسته امدادی 0/0211 مترمکعب برآورد و با توجه به اطلاعات فوق، ظرفیت هر انبار محاسبه شد. اطلاعات مربوط به هزینه ساخت، ظرفیت و احتمال خرابی انبارهای پشتیبان، نامطمئن و مطمئن در جداول 4، 5 و 6 آورده شده است.

12) بر اساس نظر خبرگان، $\varphi = 0/01$ در نظر گرفته شده است.

جدول 2 مشخصات سناریوهای تحقیق [21]

سناریوی 4	سناریوی 3	سناریوی 2	سناریوی 1	گسل فعال	
مدل شناور	گسل مشا	گسل شمال تهران	گسل ری	احتمال وقوع (درصد)	
7/9	41/2	35/2	15/8	طول (کیلومتر)	
13	68	58	26	عرض (کیلومتر)	
10	30	27	16	بزرگای گشتاوری (Mw)	
6/4	7/2	7/2	6/7	منشاء	
-	35/5876	35/6815	35/8255		
-	51/5061	52/4955	51/7392	درجه جنوبی (E)	
263	283	263	263	جهت، از شمال در جهت عقربه‌های ساعت (درجه)	
75	75	75	75	زاویه شیب (درجه)	

جدول 3 تقاضای هر بخش بر اساس سناریوهای مختلف (نفر)

s=4	s=3	s=2	s=1	بخش	s=4	s=3	s=2	s=1	بخش
41608	923	11362	65921	9	47970	3893	36426	29336	1
121904	12229	34087	181701	10	62012	6890	41341	18948	2
69120	4562	17280	86420	11	65088	1588	46038	22225	3
57487	3832	15330	109863	12	24435	489	3421	38607	4
68516	3666	14770	129293	13	14316	325	4555	12364	5
57448	3057	13011	114473	14	36036	4395	55373	10547	6
11864	258	7222	3095	15	32912	1266	34177	25317	7
					47603	3371	20499	61771	8

جدول 3 اطلاعات انبارهای پشتیبان

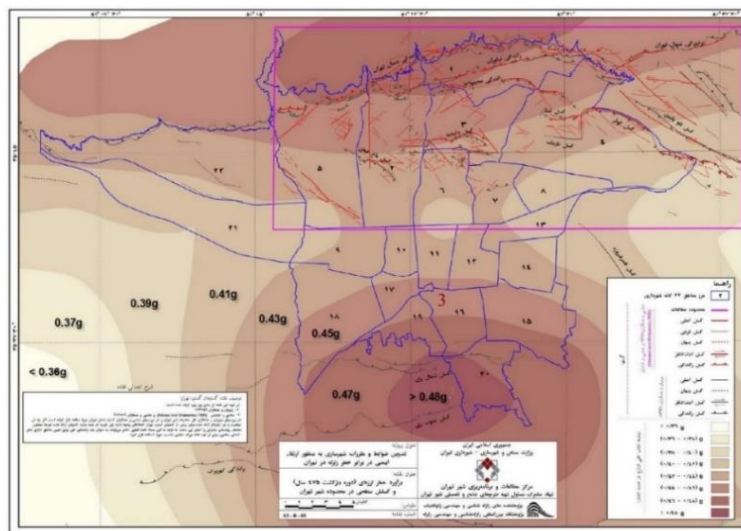
ظرفیت (تعداد بسته امدادی)	هزینه ساخت (ریال)	شماره انبار پشتیبان
426540	540000000	1
341232	440000000	2
298578	402500000	3
319905	427500000	4

جدول 4 اطلاعات انبارهای نامطمئن

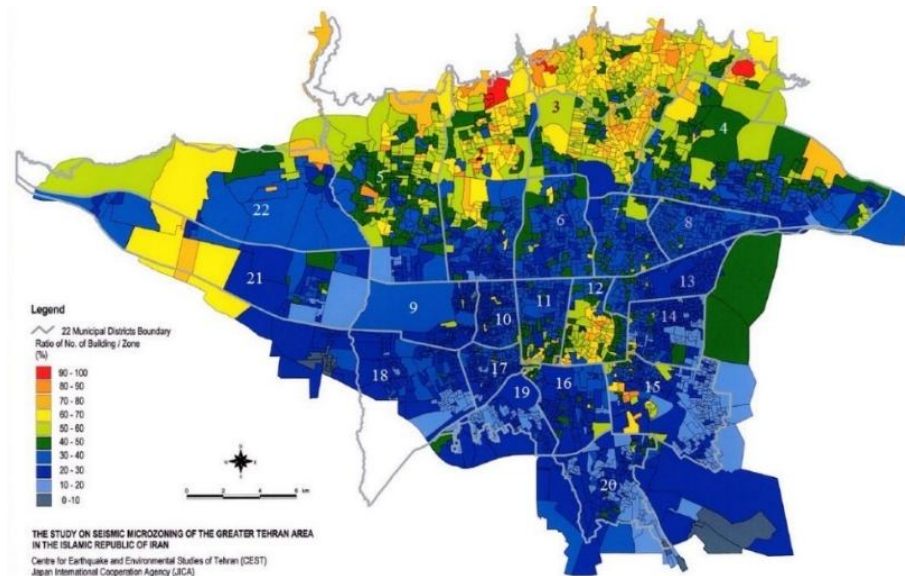
احتمال خرابی				ظرفیت (تعداد بسته امدادی)	هزینه ساخت (ریال)	شماره انبار نامطمئن
سناریو 4	سناریو 3	سناریو 2	سناریو 1			
0/30	0/30	0/30	0/30	56872	11207300000	1
0/30	0/30	0/30	0/30	68246	11440560000	2
0/50	0/50	0/50	0/50	68246	10669080000	3
0/17	0/24	0/17	0/41	113744	11653800000	4
0/25	0/25	0/25	0/25	96682	10747060000	5
0/60	0/64	0/72	0/60	56872	12158800000	6
0/70	0/70	0/70	0/70	56872	11471300000	7
0/44	0/44	0/44	0/44	73934	11091600000	8
0/48	0/55	0/48	0/68	96682	11187530000	9
0/65	0/58	0/44	0/65	96682	11595870000	10
0/40	0/40	0/40	0/40	73934	10649210000	11
0/15	0/24	0/15	0/41	102370	11106000000	12
0/20	0/28	0/20	0/44	113744	10790800000	13
0/30	0/37	0/30	0/51	102370	10397880000	14
0/35	0/35	0/35	0/35	85308	11030550000	15

جدول 5 اطلاعات انبارهای مطمئن

شماره انبار مطمئن	هزینه ساخت (ریال)	ظرفیت (تعداد بسته امدادی)	احتمال خرابی			
			سناریو 1	سناریو 2	سناریو 3	سناریو 4
1	13208030000	62559	0/18	0/18	0/18	0/18
2	12917250000	71090	0/18	0/18	0/18	0/18
3	13082715000	76777	0/30	0/30	0/30	0/30
4	11265730000	96682	0/24	0/10	0/14	0/10
5	11394880000	90995	0/15	0/15	0/15	0/15
6	12958800000	56872	0/36	0/43	0/38	0/36
7	12271300000	56872	0/42	0/42	0/42	0/42
8	11198400000	68246	0/26	0/26	0/26	0/26
9	11809440000	90995	0/41	0/29	0/33	0/29
10	12193760000	90995	0/39	0/26	0/35	0/39
11	12588380000	79621	0/24	0/24	0/24	0/24
12	11849000000	96682	0/24	0/09	0/14	0/09
13	11771260000	108057	0/26	0/12	0/17	0/12
14	11180220000	96682	0/31	0/18	0/22	0/18
15	11415180000	79621	0/21	0/21	0/21	0/21



شکل 3 نقشه برآورد خطر لرزه‌ای و گسلش سطحی در محدوده شهر تهران



شکل 4 نرخ خرابی ساختمان‌های مناطق مختلف تهران [21]

4- تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مسئله با تعداد 3، 4 و 5 انبار نامطمئن، 2، 3، 4 و 5 انبار مطمئن و 2 تسهیل پشتیبان و براساس مفروضاتی که شرح داده شد، با استفاده از حل‌کننده CPLEX 24.1 در نرم-افزار GAMS توسط یک کامپیوتر A10 با حافظه 8 GB حل شد. نتایج در قالب جدول 7 ارائه شده است. کمترین مقدار تابع هدف برای انبارهای نامطمئن، مطمئن و پشتیبان به ترتیب با تعداد 4، 2 و 2 به دست آمد. جدول 8 تخصیص صورت گرفته تحت سناریوی اول در حالت 4-2-2 انبار نامطمئن، مطمئن و پشتیبان را نشان می‌دهد. اگر مجموع تعداد انبارهای نامطمئن و مطمئن به کمتر از 6 و تسهیلات پشتیبان صفر یا 1 در نظر گرفته شود، به دلیل محدودیت ظرفیت، مدل جواب غیرموجه داده و نمی‌تواند به تقاضای نقاط آسیب‌دیده پاسخ دهد. افزایش تعداد انبارهای نامطمئن، مطمئن و پشتیبان باعث افزایش هزینه‌های ساخت، کاهش هزینه‌های حمل و افزایش قابلیت

اطمینان می‌شود اما با توجه به اهمیت بیشتر هزینه ساخت، غالباً افزایش تعداد انبارها، تابع هدف را بدتر خواهد کرد.

جدول 6 نتایج محاسباتی با توجه به تعداد مختلف انبارها

نقاط انتخابی جهت تأسیس تسهیلات			مقدار تابع هدف (ریال)	تعداد انبار مطمئن	تعداد انبار نامطمئن
پشتیبان	مطمئن	نامطمئن			
2 و 3	12 و 8 .5	14 و 13 .4	8222013000	3	3
2 و 3	15 و 12 .8 .5	14 و 13 .4	9363531000	4	
2 و 3	15 و 12 .11 .8 .5	14 و 13 .4	10534800000	5	
2 و 3	15 و 8	14 و 13 .12 .5	7797612000	2	4
2 و 3	15 و 8 .4	14 و 13 .12 .5	8924185000	3	
2 و 3	15 و 11 .8 .4	14 و 13 .12 .5	10080100000	4	
2 و 3	15 و 11 .9 .8 .4	14 و 13 .12 .5	11261000000	5	
2 و 3	8 و 4	15 و 14 .13 .12 .5	8624922000	2	3
4 و 3	15 و 8 .4	14 و 13 .12 .9 .5	9776951000	3	
2 و 3	15 و 8 .5 .4	14 و 13 .12 .11 .3	10940700000	4	
2 و 3	15 و 9 .8 .5 .4	14 و 13 .12 .11 .3	12121700000	5	

جدول 8 تخصیص طبق سناریوی اول در حالت 4-2-2

انبارهای پشتیبان		انبارهای مطمئن		انبارهای نامطمئن				تفاوت نقاط تخصیص
3	2	15	8	14	13	12	5	
$T_{3,8}^1$	$T_{3,1}^1$	$T_{2,3}^1$		$T_{14,4}^1$	$T_{13,5}^1$	$T_{12,9}^1$	$T_{5,1}^1$	
$T_{3,9}^1$	$T_{3,2}^1$	$T_{2,5}^1$	$T_{15,3}^1$	$T_{8,2}^1$	$T_{14,7}^1$	$T_{12,12}^1$	$T_{5,6}^1$	
$T_{3,10}^1$	$T_{3,4}^1$	$T_{2,12}^1$	$T_{15,11}^1$	$T_{8,8}^1$	$T_{13,10}^1$	$T_{12,15}^1$	$T_{5,13}^1$	
$T_{3,11}^1$	$T_{3,6}^1$	$T_{2,13}^1$		$T_{14,14}^1$				
$T_{3,15}^1$	$T_{3,7}^1$	$T_{2,14}^1$						

از میان مناطق بالقوه جهت تأسیس انبار نامطمئن، بخش‌های 12، 13 و 14 به دلیل احتمال خرابی و هزینه ساخت کمتر، بیشتر مورد توجه بوده‌اند. همچنین ظرفیت انبارها در این نقاط بیشتر در نظر گرفته شده است (جدول 5). همچنین نقاط 4، 5 و 15 برای تأسیس انبارهای مطمئن به دلیل هزینه ساخت و احتمال خرابی کم، در اغلب حالات مناسب به نظر می‌رسند (جدول 6). نقاط 6 و 10 که مربوط به مناطق 1، 11 و 12 می‌شوند، در هیچ‌کدام از حالات انتخاب نشده‌اند. دلیل این امر نزدیکی منطقه 1 به گسل شمال تهران و هزینه‌ی بالای ساخت در این منطقه است. در مناطق 11 و 12، علی‌رغم هزینه ساخت کم، به دلیل بافت فرسوده ساختمان‌ها و نقشه‌ی راه‌ها در صورت بروز زلزله، احتمال خرابی تسهیلات و مسدود شدن مسیرها بسیار زیاد است؛ بنابراین، ساخت انبار در این مناطق، مطلوب به نظر نمی‌رسد.

گفتنی است این پژوهش با محدودیت‌هایی نیز روبرو بود؛ به‌عنوان مثال با توجه به تفاوت قیمت در محله‌های مختلف هر منطقه تهران، محاسبه هزینه ساخت با مشکل مواجه شد. جهت حل این معضل برای هر منطقه یک نماینده در نظر گرفته شد (جدول 1) که در صورت تغییر محل‌های منتخب، نتایج تغییر خواهند کرد. کمبود منابع علمی و داده‌های موردنیاز، محدودیت دیگر این تحقیق بود؛ به‌عنوان مثال، آخرین مطالعه جامع علمی در مورد زلزله در تهران توسط جایکا در سال 1380 انجام شده و علی‌رغم تغییر بافت شهری و تراکم جمعیتی در سال‌های بعد، اطلاعات جدیدتری در

دسترس نیست. همچنین اطلاعاتی در زمینه قابلیت اطمینان مسیرها وجود نداشت که با کمک نقشه‌های زمین‌شناختی، نظر خبرگان و احتمال مسدودشدن مسیرها بر اساس گسل‌های اصلی و فرعی (شکل‌های 2 و 3) محاسبه شد.

4-1- پیش‌بینی با مدل آرما

با در نظر گرفتن امکان وقوع زلزله در سال‌های پیش رو می‌توان تقاضای سال‌های آتی را با استفاده از نرم‌افزارهای آماری و اطلاعات جمعیتی موجود پیش‌بینی و خروجی مدل را بر اساس آن به دست آورد. با توجه به رشد جمعیت، بهره‌گیری از این روش به ما کمک می‌کند با قابلیت اطمینان بیشتری برای مقابله با بحران آماده شده و تقاضای ارضانشده را کاهش دهیم. از آنجایی‌که جمعیت تهران طی سال‌های متمادی یک سری زمانی را تشکیل داده و تقاضای امداد نیز از آن تبعیت می‌کند، میزان تقاضا برای سال 1398 با استفاده از مدل $ARMA(p, q)$ از طریق نرم‌افزار EViews8 پیش‌بینی شده است. نتایج نشان می‌دهد که داده‌های در نظر گرفته شده از فرآیند $ARMA(2, 2)$ پیروی می‌کند.

$$d_{jt}^s = 10150257 + 0.90d_{j(t-2)}^s + \varepsilon_t + 1.99\varepsilon_{t-1} + 0.99\varepsilon_{t-2} \quad \forall t \quad (22)$$

تقاضای پیش‌بینی‌شده بر اساس سناریوها و بخش‌های مختلف در جدول 9 مشاهده می‌شود. همچنین نتایج مدل بر اساس پیش‌بینی صورت گرفته و برای سال 1398 با 2-2-4 انبار نامطمئن، مطمئن و پشتیبان در جداول 10 و 11 آورده شده است. به دلیل افزایش تقاضای ناشی از رشد جمعیت، تابع هدف تقاضای پیش‌بینی‌شده در مقایسه با داده‌های واقعی، افزایش یافته است. همچنین با توجه به ظرفیت انبارها و جمعیت مناطق، انبارهایی با ظرفیت بیشتر جهت پاسخگویی به تقاضا انتخاب شده‌اند.

مقادیر توابع هدف برای مدل قطعی و مدل تصادفی به‌ازای تعداد مختلف انبارهای نامطمئن و مطمئن در شکل 5 با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می-

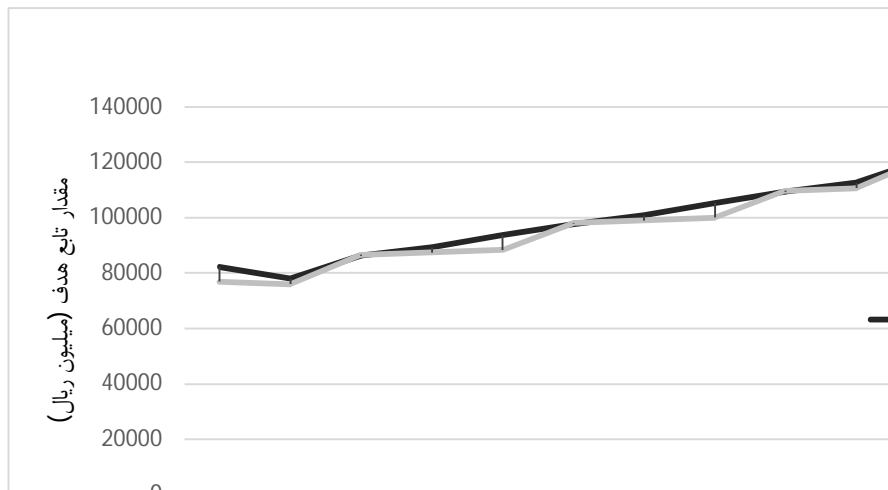
شود، در مدل قطعی اصولاً مقدار تابع هدف کمتر است. با واردکردن عدم قطعیت در مدل، هزینه‌های لجستیک جهت مقابله با عدم قطعیت و در نظر گرفتن تمامی حالات ممکن افزایش می‌یابد. همچنین با نزدیک شدن مدل به حالت واقعی و با فرض عدم قطعیت، قابلیت اطمینان مدل افزایش خواهد یافت.

جدول 9 تقاضای پیش‌بینی‌شده آرما برای هر بخش با سناریوهای مختلف (نفر)

بخش	s=1	s=2	s=3	s=4	بخش	s=1	s=2	s=3	s=4
1	32012	39749	4248	52346	9	71935	12398	1007	45404
2	20677	45113	7519	67669	10	198276	37196	13344	133024
3	24252	50237	1732	71025	11	94304	18856	4978	75425
4	42129	3733	533	26664	12	119885	16728	4182	62731
5	13492	4971	355	15622	13	141087	16117	4000	74766
6	11509	60424	4796	39323	14	124915	14198	3336	62689
7	27626	37295	1381	35914	15	3377	7880	281	12946
8	67406	22369	3678	51946					

جدول 10 تخصیص طبق سناریوی اول در حالت 2-2-4 برای تقاضای پیش‌بینی‌شده

تخصیص تمام تقاضا	انبارهای نامطمئن				انبارهای مطمئن		انبارهای پشتیبان	
	4	12	13	14	5	8	2	3
	$T_{4,9}^1$	$T_{12,4}^1$	$T_{13,10}^1$	$T_{14,7}^1$	$T_{5,1}^1$	$T_{8,2}^1$	$T_{2,12}^1$	$T_{3,2}^1$
	$T_{4,14}^1$	$T_{12,6}^1$		$T_{14,13}^1$	$T_{5,5}^1$	$T_{8,3}^1$	$T_{2,13}^1$	$T_{3,6}^1$
		$T_{12,12}^1$		$T_{14,15}^1$	$T_{5,11}^1$	$T_{8,8}^1$	$T_{2,14}^1$	$T_{3,7}^1$
							$T_{2,5}^1$	$T_{3,8}^1$
								$T_{3,15}^1$



شکل 5 مقایسه توابع هدف مدل‌های قطعی و تصادفی

جدول 11 خروجی مدل برای تقاضای پیش‌بینی شده

نقاط انتخابی جهت تأسیس تسهیلات			مقدار تابع هدف (ریال)
انبارهای پشتیبان	انبارهای مطمئن	انبارهای نامطمئن	
2 و 3	5 و 8	4، 12، 13 و 14	79821350000

5- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مدلی برای مسئله مدیریت بحران ارائه شد که انبارها را بر اساس تقاضای پویا و غیرقطعی مکان‌یابی کرده و نقاط آسیب را تحت هر سناریو به انبارهای نامطمئن، مطمئن و تسهیلات پشتیبان تخصیص می‌دهد. هدف مدل، کمینه‌سازی هزینه‌های ساخت، حمل و هزینه‌ی جریمه جهت تقاضای ارضاء نشده با در نظر گرفتن احتمال خرابی انبارها و قابلیت اطمینان مسیرهاست. جهت افزایش قابلیت اطمینان، انبارها در دو نوع نامطمئن و مطمئن در منطقه آسیب‌دیده فرض شده و انبارهای پشتیبان در خارج از منطقه، همراه با واردکردن احتمال خرابی مسیرهای انتقال و خرابی تسهیلات با تقاضای پویا و غیرقطعی فرض شده است؛ این عوامل در

تحقیقات قبلی به صورت یکپارچه در نظر گرفته نشده‌اند. کلان‌شهر تهران به علت جمعیت بالا و احتمال وقوع زلزله در آینده‌ای نزدیک، به عنوان مطالعه موردی انتخاب و بر روی مدل پیاده‌سازی شد. مسئله با تعداد 3، 4 و 5 انبار نامطمئن، 2، 3، 4 و 5 انبار مطمئن، 2 تسهیل پشتیبان و سایر مفروضات حل شد و نتایج نشان داد که کمترین مقدار تابع هدف برای انبارهای نامطمئن، مطمئن و پشتیبان به ترتیب برابر با 4، 2 و 2 به دست می‌آید. همچنین تقاضای امداد با مدل آرما برای سال 1398، پیش-بینی و مدل بر اساس آن حل شد. در این حالت، نسبت به حالت مشابه با داده‌های واقعی، انبارهایی با ظرفیت بیشتر جهت ساخت انتخاب شدند. در مقایسه مدل تصادفی با مدل قطعی، نشان داده شد هزینه‌های لجستیک با در نظر گرفتن عدم قطعیت افزایش می‌یابد تا حالات مختلف را پوشش دهد. در تحقیقات آتی می‌توان زمان را وارد مسئله کرده و مکان‌یابی را برای مراکز درمانی با توجه به تعداد مجروحین با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان انجام داد. همچنین انجام مسیریابی همراه با مکان‌یابی تسهیلات، به کاهش زمان امداد رسانی و انتخاب مسیرهای با قابلیت اطمینان بیشتر کمک خواهد کرد که در مطالعات بعدی می‌توان به آن پرداخت.

6- منابع

- [1] L. N. Van Wassenhove, "Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 57, no. 5, pp. 475-489, 2006 .
- [2] A. M. Caunhye, X. Nie and S. Pokharel, "Optimization models in emergency logistics: A literature review," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 46, no. 1, pp. 4-13, 2012.
- [3] M. S. Daskin, S. M. Hesse and C. S. Revelle, " α -reliable p-minimax regret: a new model for strategic facility location modeling," *Location Science*, vol. 5, no. 4, pp. 227-246, 1997.

- [4] G. Chen, M. S. Daskin, Z. J. M. Shen and S. Uryasev , "The α -reliable mean-excess regret model for stochastic facility location modeling," *Naval Research Logistics*, vol. 53, no. 7, pp. 617-626, 2006.
- [5] S. Ukkusuri and W. Yushimito , "Location routing approach for the humanitarian prepositioning problem," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2089, no. 3, pp. 18-25, 2008.
- [6] M. Akbari , "A Model for Production and Inventory Control in Crisis Condition," *Management Researches in Iran*, vol. 19, no. 4, pp. 45-70, 2016.
- [7] A. Afshar and A. Haghani , "Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 46, no. 4, pp. 327-338, 2012.
- [8] C. G. Rawls and M. A. Turnquist , "Pre-positioning and dynamic delivery planning for short-term response following a natural disaster," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 46, no. 1, pp. 46-54 , 2012.
- [9] W. Klibi, S. Ichoua and A. Martel , " Prepositioning emergency supplies to support disaster relief: a stochastic programming approach," *Faculté des sciences de l'administration Université Laval* ,vol.19, pp. 1-37 , 2013.
- [10] H. Wang, L. Du and S. Ma , " Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 69, pp. 160-179, 2014.
- [11] J. B. Sheu and C. Pan , "A method for designing centralized emergency supply network to respond to large-scale natural disasters," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 67, pp. 284-305, 2014.
- [12] M. Amiri, M.T. Taghavifard and M. Aghaei , "Development of Three-Objective Model for the Location – Allocation of Assistance Centers in a probabilistic Condition of availability to emergency Vehicles," *Modern Researches in Decision Making*, vol. 1, no. 2, pp. 1-27, 2016.

- [13] A. Jafarnejhad, M. Esmaelian, and M. Rzvani , "An Inventory-Location Model Formulation and Computational Results," *Management Researches in Iran*, vol. 12, no. 1, pp. 105-125 , 2008.
- [14] Y. Zhang, L.V. Snyder, M. Qi, and L. Miao , "A heterogeneous reliable location model with risk pooling under supply disruptions," *Transportation Research Part B*, vol. 83, pp. 151–178, 2016.
- [15] W. Manopiniwes and T. Irohara , "Stochastic optimisation model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response," *International Journal of Production Research*, vol. 55, pp. 1–18, 2016.
- [16] Zh.H. Hu, J.B. Sheu, Y.Q. Yin and C. Wei , "Post-Disaster Relief Operations Considering Psychological Costs of Waiting for Evacuation and Relief Resources," *Transportmetrica A: Transport Science*, vol. 13, pp. 108-138, 2017.
- [17] A. Mohamadi, S.Yaghoubi and H. Derikvand , "A credibility-based chance-constrained transfer point location model for the relief logistics design (Case Study: earthquake disaster on region 1 of Tehran city)," *International Journal of Supply and Operations Management*, vol. 1, no. 4, pp. 466-488, 2015.
- [18] F.A. Nateghi , "Earthquake scenario for the mega-city of Tehran," *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 95–101, 2001.
- [19] N. Norouzi, R. Tavakkoli, M. Ghazanfari, M. Alinaghian and A. Salamatbakhsh , "A new multi-objective competitive open vehicle routing problem solved by particle swarm optimization," *Networks and Spatial Economics*, vol. 12, no. 4, pp. 609-633, 2012.
- [20] M.R. Kohansal , "Considering Fluctuations of Stability Level of Underground Water to Improve Water Usage Model in Agriculture Department Case study: FARS province, ZARRIN DASHT town," *International Journal of Agronomy and Plant Production*, vol. 4, no. 4, pp.727-733, 2013.

- [21] C. JICA, "The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran," *Pacific Consultants International Report, OYO Cooperation Japan*, pp. 291-390, 2000.