





دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران

صاحب امتیاز: دانشگاه صنعتی مالک اشتر به همراه انجمن علوم ایمنی ایران

مدیر مسئول: دکتر مهدی نوری

سردبیر: دکتر علیرضا آزموده اردلان

جانشین سردبیر: دکتر محمدعلی نکوئی

مدیر اجرایی: حسن کشاورز

مدیر داخلی: آسیه ملکی

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر علیرضا آزموده اردلان

دکتر محمدرضا ثروتی

دکتر جمشید صالحی صدقیانی

دکتر محمدرضا عارف

دکتر مجتبی قدیری معصوم

دکتر ناصر مهردادی

دکتر رضا حسنوی

دکتر نعمت الله جعفرزاده حقیقی فرد

دکتر محمد ابراهیم سنجدی

دکتر ابراهیم محمودزاده

دکتر مهدی مدیری

دکتر منوچهر منطقی

دکتر محمدعلی نکویی

دکتر ناصر الهی

دکتر سعید گیوه چی

استاد دانشگاه تهران

استاد دانشگاه شهید بهشتی

استاد دانشگاه علامه طباطبائی

استاد دانشگاه صنعتی شریف

استاد دانشگاه تهران

استاد دانشگاه تهران

استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دانشیار دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

استادیار دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

استادیار دانشگاه تهران

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر،

مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، صندوق پستی ۳۸۶۴-۱۶۷۶۵

تلفن: ۲۱-۲۲۹۷۰۲۲۴-۷

وبگاه: www.joem.ir

رایانامه: joem_magazine@gmail.com

sdg@mut.ac.ir

همکاران اجرایی: مهدی یوسفی، غلامرضا نصرآبادی، آسیه ملکی،

محسن ایزدپور، زهره سادات میرحسینی

طراح گرافیک (لوگو، جلد و گرید): اکرمبرزگر بفروئی

ویراستار فارسی: مریم مقدم

ویراستار انگلیسی: سمیه میرزبابایی

قیمت: ۱۲۰۰۰ تومان

شمارگان: چاپ به صورت الکترونیکی

چاپ: چاپ دانشگاه صنعتی مالک اشتر

داورهای این شماره:

حسن آقابراتی | احمد آب پرور | محمد احسانی فر | محمد اسکندری | فرهاد باباخانی | حمید بابایی | اکرمبرزگر | پرویز جعفری فشارکی | رضا حسنوی | ژیلای حسینی نژاد | حمید دهقانی | محمد یاسر رادان | محمد رضا رضایی بارونقی | فیروز زنجیر | حمیده روحانی نژاد | محمدرضا زاهدی | محمد زعفرانچی | محسن ساسانی | عاطفه سلیمانی | مهرباب شریفی | ناصر شمس کیا | فتح اله شمسایی | مهناز طهرانی مقدم | مجتبی عراقی زاده | محمد عطاری | محمد حسن عطایی | مرتضی فیروزی | علی قنبری نسب | مهدی کرباسیان | محمد صادق کریمی | فواد کیلانه ای | مصطفی گلپایگانی | زهیر متکی | معصومه مجرد | شریف مطوف | حسین مظاهری | سید حسین میرزینی یزدی | محمد علی نکوئی | مهدی نوری | مهدی یزدانی نسب

دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران بر اساس نامه ی شماره ۳/۷۷۴۹۰ مورخ ۹۱/۴/۱۰ دبیرخانه ی کمیسیون نشریات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری دارای رتبه ی علمی و پژوهشی از شماره ی بهار و تابستان ۹۱ است.

فهرست

۵	تأثیر بازه‌ی زمانی زلزله بر شدت آسیب پذیری ساختمان های بتنی	لیلا مجتهدی حمید صفاری
۱۷	راهبردهایی به منظور کاهش آسیب پذیری بافت های تاریخی در برابر زلزله مطالعه‌ی موردی: بافت تاریخی شهر یزد	محمد امجد ایرج سلطانی
۳۳	ارائه‌ی مدل ارزیابی جامع آسیب پذیری پهنه های شهری به تفکیک لایه های تشکیل دهنده‌ی شهر با رویکرد پدافند غیرعامل	آرزو علیخانی اکرم برزگر حانیه نورالهی
۴۷	مکان یابی احداث اسکان اضطراری شهر کرمان با استفاده از GIS	عبدالرضا کاظمی نیا
۶۱	چارچوب نظری برای تاب آوری مکانی در مواجهه با سانحه نمونه‌ی موردی: سیل ۱۳۶۶ تجریش	زهیر متکی فاطمه موقر
۷۷	ارائه‌ی الگوی رتبه بندی شریان های حیاتی بر اساس آنالیز اجزای اصلی	محمد اسکندری بایک امیدوار مهدی مدیری محمدعلی نکویی
۹۷	زمان بندی و توالی عملیات استوار در واحدهای موازی غیرمرتبط با زمان های غیرقطعی مطالعه‌ی موردی: بیمارستان صحرایی	مجتبی نوری عمران محمدی
۱۱۳	توسعه‌ی مدل شعاع پوشش متغیر برای مکان یابی مراکز توزیع در لجستیک امدادی تحت عدم قطعیت تقاضا	سید محمد مهدی بنی حسینی وحید برادران

تأثیر بازه‌ی زمانی زلزله بر شدت آسیب‌پذیری ساختمان‌های بتنی

لیلا مجتهدی: کارشناس ارشد مهندسی عمران، زلزله، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
حمید صفاری*: استادیار دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، تهران، ایران، h_saffari@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

بازه‌ی زمانی زلزله تأثیر بسزایی در مقدار خرابی سازه‌ها دارد. از این رو ضرورت دارد مطالعات دقیقی برای شناخت منابع لرزه‌ای با امکان تولید زلزله‌های با دوام زیاد در ایران انجام گیرد و تأثیرات دوام بر کاهش مقاومت سازه‌ها به هنگام طراحی لحاظ گردد. این مسئله نه تنها در زلزله‌های با دوام بالا ممکن است باعث خرابی سازه‌ها شود، بلکه در صورت رخداد پس لرزه‌های نسبتاً شدید نیز می‌تواند منجر به خرابی آن‌ها گردد. در این مقاله به بررسی عملکرد سازه‌های بتنی تحت تأثیر زلزله‌های با مدت زمان مؤثر متفاوت پرداخته می‌شود و تأثیر کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه در اثر حرکات رفت و برگشتی زلزله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور سه ساختمان بتنی ۳، ۹ و ۱۵ طبقه توسط نرم‌افزار اجزای محدود Seismostruct 2016 مدل‌سازی شده و تحت تأثیر رکوردهایی که از نظر انرژی مقیاس شده و شرایط خاک یکسانی دارند قرار می‌گیرند. این رکوردها از نظر مدت دوام مؤثر متفاوت است تا بتوان تفاوت رفتار سازه را در دوام‌های مختلف بررسی نمود. نتایج تحلیل غیرخطی تاریخچه‌ی زمانی روی سازه با رکوردهای اشاره شده نشان می‌دهد که تعداد مفاصل پلاستیک ایجاد شده و تغییر مکان بیشینه در زلزله‌های با دوام بالا به مراتب بیشتر از زلزله‌های با دوام کم است. همچنین مطالعه‌ی رفتار ساختمان‌ها طی زلزله‌های با دوام مختلف نشان می‌دهد که نمی‌توان زلزله‌ها را صرفاً بر اساس دوام ظاهری آن‌ها مرتب نمود. بلکه هر چه تعداد سیکل‌های زلزله که دارای دامنه‌ی شتاب بیشتر از یک حد مشخص باشد اثرات آن بر سازه بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: مدت زمان مؤثر زلزله، سازه بتنی، زوال سختی، کاهش مقاومت

The Effect of Earthquake Duration on vulnerability of Concrete Buildings

Lila Mojtahedi¹, Hamid Saffari^{2*}

Abstract

The earthquake duration has a significant effect on the amount of destruction of structures. Some samples of The earthquake duration has a significant effect on the amount of destruction of structures. Therefore, it is important to study seismic sources that can produce earthquakes with a long duration in Iran, and the effects of long duration on structures should be considered at the design time. This problem is not just due to a long duration earthquake, but also some large aftershocks can make destruction. In this article, the performance of concrete structures affected by different durations is studied and the effects of stiffness degradation and strength loss of the structural members under cyclic movements of the earthquake are assessed. For this purpose, three concrete buildings like 3, 9 and 15 stories have been modeled by finite element software Seismostruct 2016 modeling and have been affected by energy scaled records and same soil conditions. These records are different in terms of effective duration to can study the behavior of the structure in different durations. The results of non-linear time history analysis of the structure under mentioned records indicate that the number of plastic hinges and maximum displacement caused by earthquakes with a long duration is much higher than those with low duration. Also, the study of the behavior of buildings under earthquakes with different duration shows that earthquakes should not be arranged according to their apparent durations. The number of cycles of the earthquake with high accelerations to a certain limit increases, the more effects on structures is increased.

Keywords: *Effective Duration, Concrete Structure, Stiffness Degradation, Strength Loss*

1. M.Sc. Civil Engineering – Earthquake Engineering, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, University of Shahid Beheshti, Faculty of Water and Environmental Engineering, Tehran, Iran; Email: h_saffari@sbu.ac.ir

مقدمه

مدت حرکات و جنبش نیرومند زمین تأثیر قابل توجهی بر میزان آسیب‌های ناشی از زلزله بر ساختمان‌ها دارد. بسیاری از فرایندهای فیزیکی مانند کاهش سختی و مقاومت انواع سازه‌ها به تعداد سیکل‌های بار یا تنش که در حین زلزله به وجود می‌آید بستگی دارند. یک حرکت با مدت کوتاه حتی اگر دامنه‌ی بزرگی داشته باشد ممکن است تعداد کافی سیکل بار، برای رسیدن سازه به گسیختگی ایجاد نماید. از طرف دیگر یک حرکت با دامنه‌ی متوسط اما مدت طولانی سیکل‌های بارگذاری کافی برای ایجاد خرابی در سازه‌ها ایجاد خواهد کرد. تحریکات زمین که از رویدادهای با بزرگا و شدت زیاد تولید شده‌اند و گزارشات ثبت شده در محل‌هایی که در فواصل دور از کانون زمین‌لرزه قرار دارند همگی یادآور مدت زمان‌های طولانی زمین‌لرزه هستند. از این رو سازه‌های ساخته شده در این مناطق باید ظرفیت تحمل و باربری در مقابل تحریکات طولانی زمین را نیز با توجه به شرایط خاک ساختگاه داشته باشند [۱].

دوام زلزله ارتباط مستقیمی با بزرگای لرزه‌ای دارد [۲]. از سوی دیگر پژوهشگران متعددی رابطه‌ی میان خرابی سازه‌ها با مدت دوام جنبش نیرومند زمین را مطالعه نموده‌اند. چای و همکاران، پیشنهاد داده‌اند که یک مدت حرکت زمین بزرگ‌تر، برش پایه‌ی طراحی غیر الاستیک را افزایش می‌دهد [۳]. با وجود مطالعات مختلف برای بررسی مشخصات مدت دوام حرکت قوی زمین و وجود چندین تعریف متفاوت از مدت دوام هنوز نیاز به مطالعه‌ی بیشتری در ارتباط با نحوه‌ی تأثیر دوام زلزله بر سازه‌ها وجود دارد. عدم لحاظ مدت دوام در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای، دلیلی برای توجه نسبتاً کم به معادلات پیش‌بینی برای مدت دوام در مقایسه با معادلات میرایی، برای شتاب‌های طیفی شده است [۴]. دستورالعمل FEMA 440 اطلاعات به‌روز شده‌ای راجع به مدل‌سازی سازه‌ها از جمله ساختمان‌های بتن مسلح با در نظر گرفتن زوال سختی، کاهش مقاومت و پاسخ دینامیکی غیر خطی ارائه داده است [۵]. در یک تحقیق زوال سختی سه بعدی و کاهش مقاومت با در نظر گرفتن خرابی پیش‌رونده‌ی سازه‌های بتن مسلح بررسی شده است [۶]. باید افزود بررسی دوام زلزله گاه به صورت اثر زلزله‌های پیایی و پس‌لرزه‌ها بر سازه‌ها بررسی شده است [۷، ۸، ۹]. علاوه بر مدل‌های شبیه‌سازی شده‌ی آزمایشگاهی و نظری، کاهش مقاومت و سختی در اثر زلزله‌های پیایی واقعی نیز بر روی سازه‌های بتن مسلح بررسی شده است [۱۰].

انواع مدت دوام لرزه‌ای

در رابطه با تعیین مدت زمان دوام حرکات شدید روش‌های متفاوتی با استفاده از خصوصیات و پارامترهای مؤثر منحنی شتاب- زمان زلزله وجود دارد. روش‌هایی که تعریف زمان دوام حرکات شدید را با استفاده از خصوصیات شتاب نگاشت‌های ثبت شده‌ی زمین‌لرزه‌ها مطرح می‌کنند می‌توان به سه دسته مطابق زیر تقسیم کرد [۱۱]:

مدت دوام بازه‌ای

ساده‌ترین تعریف زمان دوام، زمان دوام بازه‌ای^۱ است که در این تعریف فاصله‌ی زمانی بین اولین و آخرین مرتبه‌ای که شتاب حرکات زمین از یک مقدار معین بیشتر می‌شود به منزله‌ی مدت زمان زلزله در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه پیچ [۱۲]، مدت زمان زلزله را بر اساس شتاب آستانه $0.05g$ در نظر گرفته است. در این تعریف شکل رکورد در قسمت حرکات شدید به هیچ وجه لحاظ نشده نیست و ممکن است دو زلزله‌ی کاملاً متفاوت با یک شتاب آستانه‌ی یکسان یک زمان دوام برابر را نشان دهند.

مدت دوام یکنواخت

تعریف دیگر که خصوصیات کلی رکورد را در نظر می‌گیرد، مدت زمان یکنواخت نامیده می‌شود. این مدت زمان جمع فواصل زمانی است که شتاب از یک مقدار معین بیشتر می‌شود. بولت [۱۳] این تعریف را با دو مقدار آستانه $0.05g$ و $0.10g$ مطرح نموده است.

مدت دوام معنی‌دار

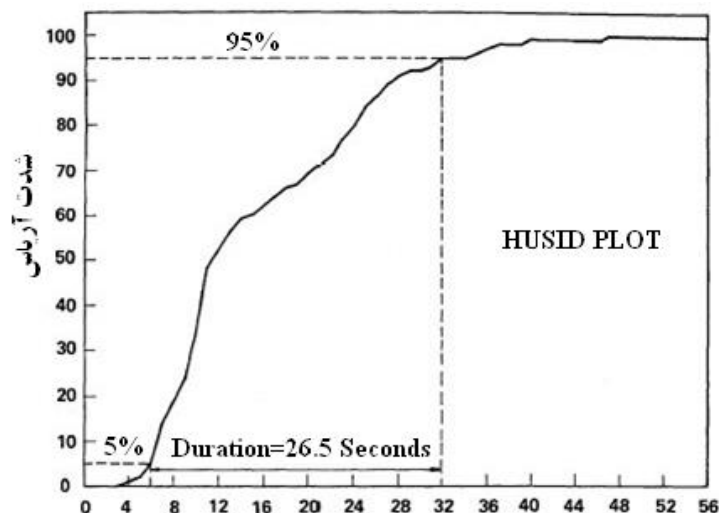
اساس دسته‌ی سوم از تعریف‌ها، توزیع تجمعی انرژی زلزله که با استفاده از شتاب نگاشت تعیین می‌گردد است. این تعریف مدت زمان معنی‌دار^۲ خوانده می‌شود. مدت زمان معنی‌دار بر اساس انتگرال مربع شتاب زمین محاسبه می‌شود. در اکثر این تعریف‌ها از شدت آریاس استفاده شده که شدت آریاس به صورت رابطه‌ی ۱ است:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^T a^2(t) dt \quad \text{رابطه‌ی ۱:}$$

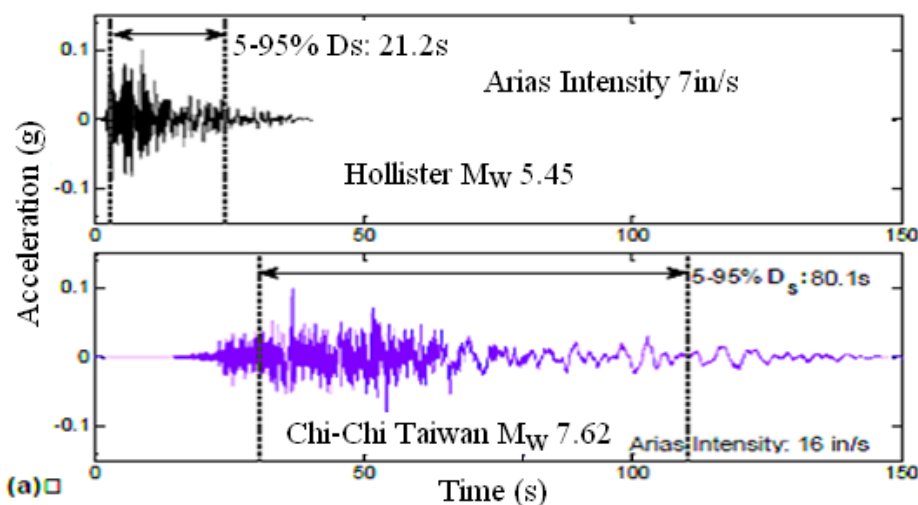
در این رابطه $a(t)$ شتاب در زمان t است که توسط رکورد شتاب نگاشت مشخص می‌شود و I_A نشان‌دهنده‌ی میزان انرژی وارد بر سازه است. نمودار تغییرات شدت آریاس برحسب زمان را نمودار هیوسید [۱۴] می‌نامند و تصویر ۱ نمونه‌ای از آن را نشان می‌دهد. نمودار هیوسید معمولاً از یک قسمت با شیب کم تشکیل شده است که مربوط به رسیدن امواج P است. قسمت میانی نمودار دارای شیب تند است و مربوط به انرژی ورودی اصلی در اثر امواج S و امواج سطحی است. شیب قسمت انتهایی نمودار نسبتاً کم است و به امواج حجمی و سطحی که به طور غیر مستقیم به شتاب نگاشت می‌رسند مربوط می‌شود. شیب هر قسمت از نمودار هیوسید در حقیقت میانگین مربع شتاب است.

زمان دوام معنی‌دار به صورت فاصله‌ی زمانی که درصد معینی از شدت آریاس را شامل می‌شود تعریف می‌گردد. این درصد توسط محققان مختلف به صورت‌های متفاوتی در نظر گرفته شده است. متداول‌ترین تعریف توسط تریفناک و برادی بر اساس فاصله‌ی زمانی بین ۵٪ تا ۹۵٪ شتاب آریاس ارائه شده است [۱۵].

در یک تحقیق همبستگی پارامترهای مختلف دوام لرزه‌ای با شاخص‌های خسارت روی سازه‌های بتن مسلح بررسی شده است [۱۶]. همچنین تعداد زیادی از برنامه‌های مدت دوام وابسته به مهندسی سازه برای ارزیابی بهبود لرزه‌ای را می‌توان در مقالات یافت. هاوسنر [۱۷] از اولین محققانی بود که پیشنهاد کرد که سازه‌ها باید طوری طراحی شوند که دارای ظرفیت جذب کافی انرژی برای مقاومت در برابر انرژی‌های اعمال شده به وسیله‌ی



تصویر ۱: نمودار هیوسید [۱۴]



تصویر ۲: مقایسه‌ی دو نگاشت با PGA یکسان و زمان دوام متفاوت [۱]

انرژی ایجاد شده بیشتر از انرژی وارد شده باشد، تمام انرژی وارد شده به سازه در طول مدت زمان حرکت زمین، توسط میرایی و چرخه‌ی عملکرد هیستریزیس اتلاف می‌گردد. این چرخه‌ی رفتاری غیرالاستیک باعث خسارات جزئی به سازه می‌شود و اثرات تجمعی این خسارات جزئی باعث فروپاشی سازه می‌گردد [۲۱]. باید افزود بررسی افت مقاومت و سختی با توجه به شرایط سازه از جمله شکل‌پذیری آن متفاوت باشد. در چند تحقیق بررسی رفتار تنزل یافته‌ی چرخه‌های هیستریزیس در تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه‌های بتن آرمه با شکل‌پذیری مختلف بررسی شده است [۲۲، ۲۳].

درک اثر مدت زمان حرکت زمین در آسیب تجمعی و مکانیزم شکست ما را یک گام به جلوگیری از فروپاشی ناشی از زلزله در آینده نزدیک خواهد کرد و همچنین می‌تواند در بهبود آئین‌نامه‌های ساختمانی کمک کند.

سازه‌های بتن مسلح در برابر تحریکات زلزله‌های متعدد نیز بسیار آسیب‌پذیر هستند. محققان عمدتاً بر روی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها تحت زلزله‌های مخرب، با صرف نظر از تأثیر

جنبش زمین را داشته باشند. تقاضای انرژی حرکت زمین نیز تابعی از شدت و مدت دوام زلزله است. هاوسنر همچنین پیشنهاد کرد که در دو حرکت زمین با طیف شدت یکسان، اگر مدت دوام یک حرکت بیشتر از دیگری باشد، دو حرکت ممکن است دارای اثرات خرابی متفاوتی باشند. تصویر ۲ نشان می‌دهد که ۲ نگاشت مقدار شتاب ماکزیمم (PGA) مشابه دارند در حالی که زمان دوام آن‌ها متفاوت است [۱].

آنگ و برترو [۱۸] یک تحقیق وسیع درباره‌ی تقاضای انرژی سازه‌ها تحت زلزله انجام داده‌اند. این مطالعات نشان می‌دهد که تقاضای انرژی از حرکت زمین به وسیله‌ی سازه به شکل میرایی و کرنش الاستیک برگشت‌پذیر تلف می‌شود. روابط میان انرژی ورودی و اوج سرعت طیفی با مدت دوام حرکت قوی زمین مرتبط است. این نتیجه با یافته‌های شوم [۱۹] و رهنما و مانوئل [۲۰]، که نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ای میان تقاضای انرژی ورودی و انرژی چرخه‌ای (انرژی تلف شده به وسیله‌ی رفتار چرخه‌ای سازه، که به تغییر شکل پلاستیک غیرقابل جبران سازه مرتبط است)، با مدت دوام حرکت زمین است، تقویت می‌گردد. در یک سازه اگر

زلزله‌های قبلی، تمرکز کرده‌اند. این تأثیرات شامل کاهش سختی و مقاومت ناشی از تجمع آسیب‌ها در مصالح ساختمانی تحت چرخه‌های سیکلیک با دامنه‌ی بزرگ و همچنین تأثیر $\Delta - P$ است که در اثر جابجایی باقی مانده ناشی از زلزله‌های قبلی ایجاد می‌شود. کاهش سختی و مقاومت به طور مؤثری مشخصات دینامیکی سازه‌ی آسیب‌دیده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نتیجه بر روی پاسخ سازه‌ها در زلزله‌های آینده نیز تأثیرگذار خواهد بود. نتایج نشان داده است که توالی پس‌لرزه تجمع آسیب در سازه‌ها را افزایش خواهد داد؛ علاوه بر این، توالی‌های مختلف زلزله با انرژی ورودی یکسان، مودهای خرابی یکسانی را در سازه‌ها باعث خواهد شد [۲۴].

اعضای بتنی مسلح تحت تغییر شکل غیر الاستیک سیکلی ممکن است هم کاهش سختی و هم کاهش مقاومت نشان دهند. در تحلیل غیرخطی، انتخاب مدل هیستریزیس در پیش‌بینی دقیق پاسخ دینامیکی سازه اهمیت ویژه‌ای دارد. مدل انتخاب شده باید بتواند رفتاری مشابه با رفتار هیستریزیس واقعی ایجاد نماید و در آن عواملی مانند کاهش مقاومت را بتوان در نظر گرفت.

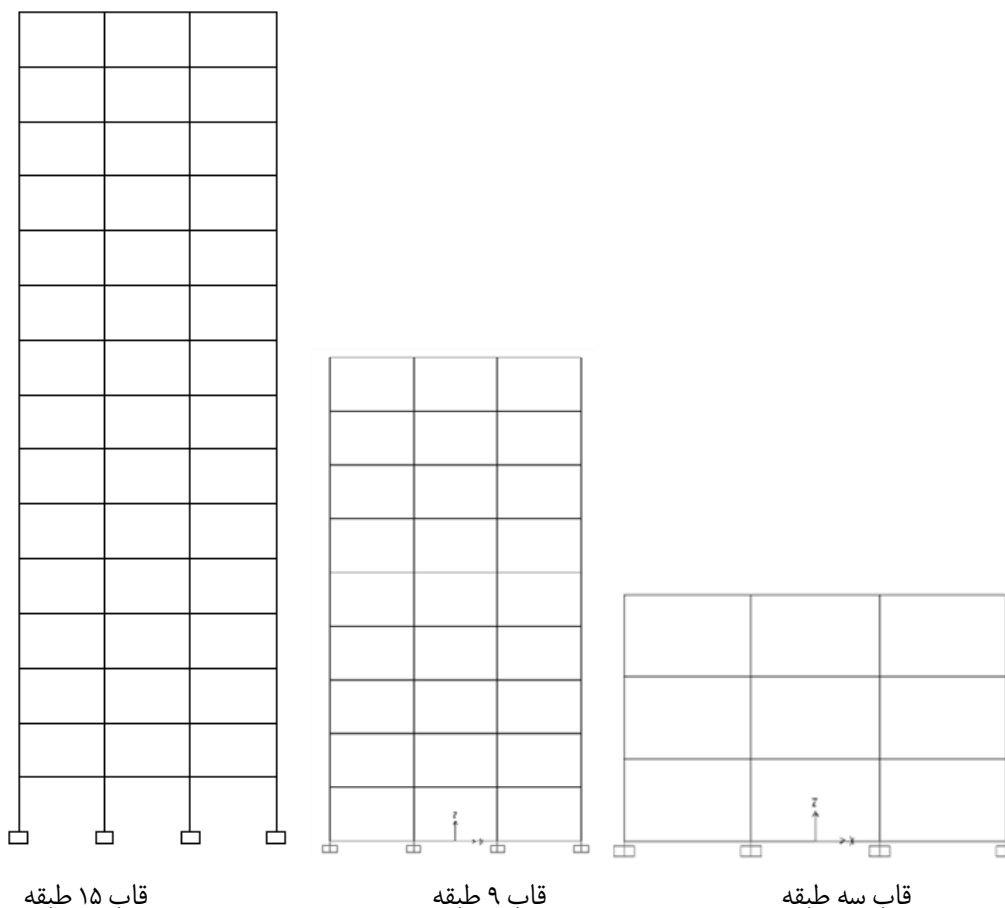
تحقیقات نشان داده است که پارامتر زوال بر خسارت لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی مسلح تأثیر بسزایی دارند به گونه‌ای که افت مقاومت بیش از ۴۰٪ منجر به نا ایمن شدن ساختمان‌های قاب

خمشی می‌گردد، زیرا در این صورت ساختمان‌ها دچار خسارت شدید و غیر قابل تعمیر گردیده‌اند [۲۵].

هدف از این تحقیق مطالعه‌ی تغییرات سختی و مقاومت ساختمان‌های با اسکلت بتنی است که تحت تأثیر زلزله‌های با دوام مختلف قرار گرفته‌اند. این کار با تأثیر کلیه‌ی پارامترهای مؤثر بر کاهش مقاومت و سختی ساختمان‌های بتنی و شبیه‌سازی سازه‌ی بتنی و رفتار آن در نرم‌افزار تحلیل غیرخطی سازه‌ی بتنی صورت می‌گیرد. با استفاده از نتایج این مطالعات می‌توان قضاوت مناسبی بر ظرفیت باقی‌مانده‌ی سازه‌های آسیب‌دیده از زلزله برای استفاده‌ی مجدد یا تخریب و نوسازی آن‌ها نمود.

روش تحقیق

در این مطالعه از سه قاب بتن مسلح ۳، ۹ و ۱۵ طبقه استفاده شده است. قاب‌ها در راستای X دارای سه دهانه‌ی ۵ متری است و ارتفاع طبقات ۳/۲ متر است. این قاب‌های دوبعدی در راستای XZ توسط نرم‌افزار SeismoStruct 2016 مطابق تصویر ۳ مدل‌سازی شده‌اند. در ارتباط با صحت‌سنجی تحلیل‌های انجام یافته خاطر نشان می‌گردد کلیه‌ی تحلیل‌های انجام یافته با این نرم‌افزار تحت لایسنس آکادمیک و ثبت شده صورت گرفته است و خروجی‌ها به دور از خطاهای محتمل مربوط به عدم استفاده از نسخه‌ی اصلی سایر نرم‌افزارها است. همچنین مقایسه‌ی



تصویر ۳: قاب‌های مورد تحلیل

جدول ۱: مشخصات زلزله‌های مقیاس شده به انرژی براساس طیف خاک نوع II و شتاب $g/0.35$

ردیف	نام رویداد	ایستگاه	سال	بزرگا (Mw)	مدت زمان مؤثر (Sec)	PGA
۱	Bam	Kerman	۲۰۰۳	۶,۶	۳۰,۹۷	۰,۲۶۴
۲	Bam	Gale Ganj	۲۰۰۳	۶,۶	۱۶,۱۹	۰,۳۲۰
۳	Bam	Golbaf	۲۰۰۳	۶,۶	۳۷,۴۸	۰,۳۳۲
۴	Bam	Andoohjerd	۲۰۰۳	۶,۶	۲۳,۳۳	۰,۳۵۳
۵	Bam	Baft	۲۰۰۳	۶,۶	۱۷,۸۱	۰,۲۶۸
۶	Bam	Horjand	۲۰۰۳	۶,۶	۱۲,۵۳	۰,۳۰۳
۷	Bam	Rayen	۲۰۰۳	۶,۶	۲۲,۵۳	۰,۳۲۸
۸	Elmayor	North Shore	۲۰۱۰	۷,۲	۴۷,۱۴	۰,۳۲۱
۹	Elmayor	Moreno Valley	۲۰۱۰	۷,۲	۳۳,۴۴	۰,۳۴۴
۱۰	Coalinga	Parkfield-Cholame	۱۹۸۳	۶,۴	۴۰,۹۴	۰,۳۵۷
۱۱	Coalinga	Parkfield-Vineyard	۱۹۸۳	۶,۴	۴۴,۸۰	۰,۲۷۹

جدول ۲: مشخصات زلزله‌های گزینش شده نهایی

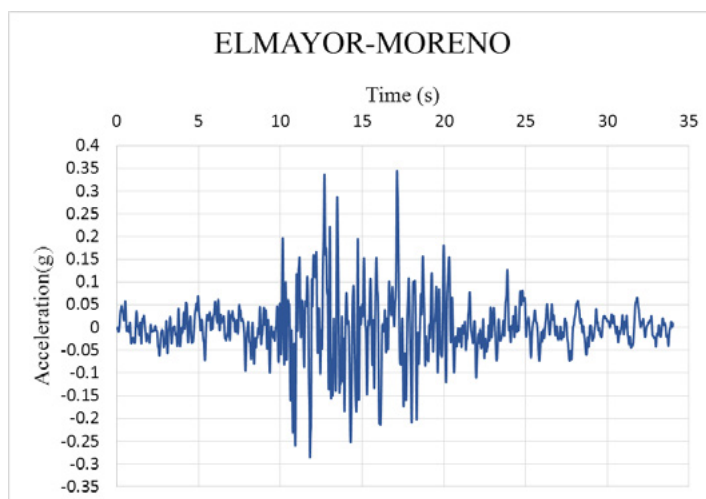
ردیف	نام رویداد	ایستگاه	سال	بزرگا	مدت زمان مؤثر (Sec)	PGA
۱	Bam	Andoohjerd	۲۰۰۳	۶,۶	۲۳,۳۳	۰,۳۵۳
۲	Elmayor	Moreno Valley	۲۰۱۰	۷,۲	۳۳,۴۴	۰,۳۴۴
۳	Landers	Inglewood-Union Oil	۱۹۹۲	۷,۲	۴۴,۸۰	۰,۳۲۳

که نخست ساختگاه هدف از نوع خاک نوع ۲ آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و در شهری با لرزه‌خیزی بسیار زیاد که مطابق آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ایران شتاب مبنای آن $g/0.35$ است، انتخاب گردید. سپس طیف طرح این ساختگاه مطابق روابط ارائه شده در آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) محاسبه و به نرم‌افزار Seismo Artif معرفی گردید. در ادامه با این نرم‌افزار کلیه‌ی رکوردهای انتخاب شده در محدوده‌ی دوره ۰,۰۴ تا ۵ ثانیه و با توجه به مشخصه‌های طیف طرح هدف (شتاب ماکزیمم $g/0.35$) در دامنه‌ی زمان اصلاح و مقیاس گردیدند. با این کار تأثیر انرژی ورودی زلزله‌ها و شرایط خاک در تمام شتاب‌نگاشت‌ها یکسان گردید. از آنجا که با این اصلاح در حوزه‌ی زمان امکان تغییر جزئی شتاب‌نگاشت‌ها و شتاب ماکزیمم آن‌ها وجود داشت، شتاب‌نگاشت‌های ویرایش شده مجدداً توسط نرم‌افزار Seismo Signal در محدوده فرکانسی بین ۰/۲ و ۲۵ هرتز فیلتر شدند. در ادامه زلزله‌هایی که دارای شتاب ماکزیمم تقریباً یکسان (در محدوده شتاب مبنای انتخاب شده $g/0.35$) و با زمان دوام مختلف بودند (۳ شتاب نگاشت مطابق جدول ۲) انتخاب شدند و توسط نرم‌افزار Siesmo Struct بر سازه اعمال گردیدند.

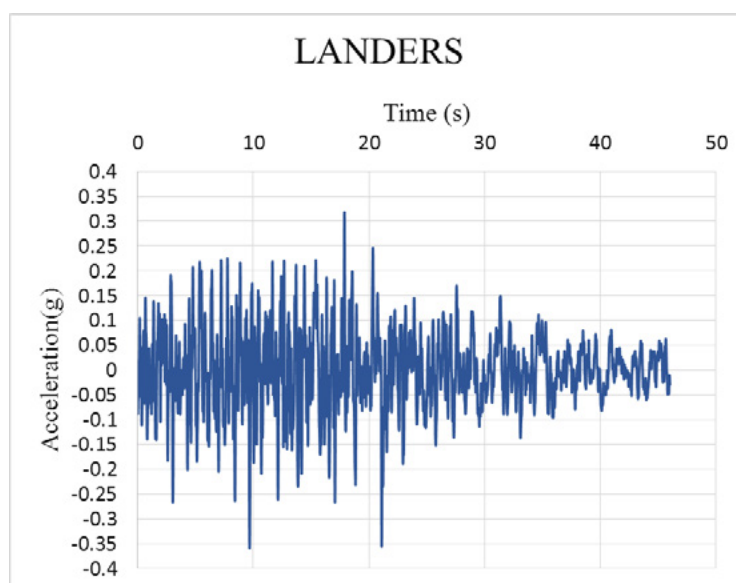
تحلیل‌ها با تحلیل‌های نرم‌افزار Sap، Etabs و Perform3D بیانگر تطابق نسبی خروجی‌ها است، لکن به دلیل پیشرفته بودن نرم‌افزار SeismoStruct در لحاظ نمودن اثرات زوال سختی و کاهش مقاومت با مدل‌های مختلف از آن در تحلیل نهایی استفاده گردید. قاب‌ها از نوع بتن مسلح و سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی از نوع قاب خمشی است. بارگذاری لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس خاک نوع ۲ و منطقه با لرزه‌خیزی خیلی زیاد انجام یافته است. طراحی اعضا بر اساس آیین‌نامه‌ی ۳۱۸-۰۵ ACI صورت گرفته است. بارگذاری بر مبنای مبحث ششم مقررات ملی ساختمان است و بار زنده‌ی طبقات و بام به ترتیب ۲۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع است.

سازه ابتدا به روش استاتیکی معادل مورد تحلیل قرار گرفته و مقاطع بهینه استخراج شده و سپس توسط ۳ نگاشت از زلزله‌های مختلف با مدت دوام‌های متفاوت، تحت آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی قرار گرفته است.

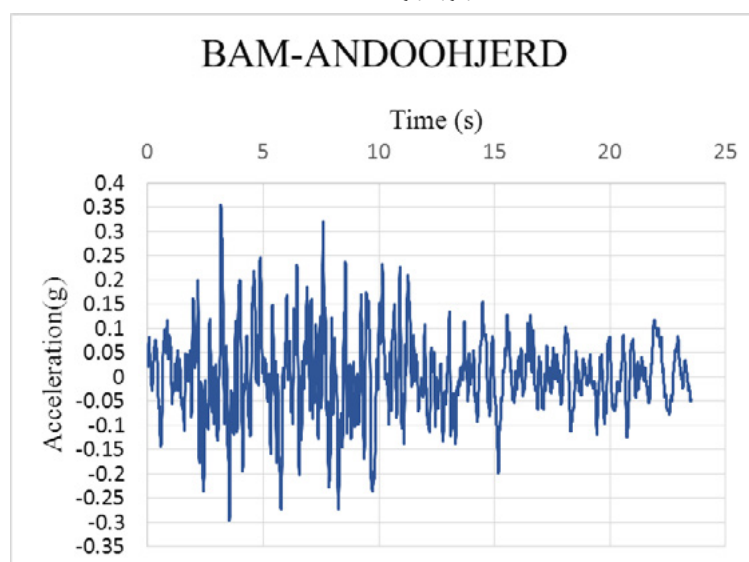
در آغاز ۱۱ رکورد با زمان‌های متفاوت انتخاب گردید، رکوردهای انتخابی ابتدا در نرم‌افزار Seismo Signal فیلتر شده سپس توسط نرم‌افزار Seismo Artif شتاب نگاشت‌ها مقیاس گردیدند. نحوه‌ی مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها بدین صورت است



الف. رکورد زلزله El Mayor-Moreno



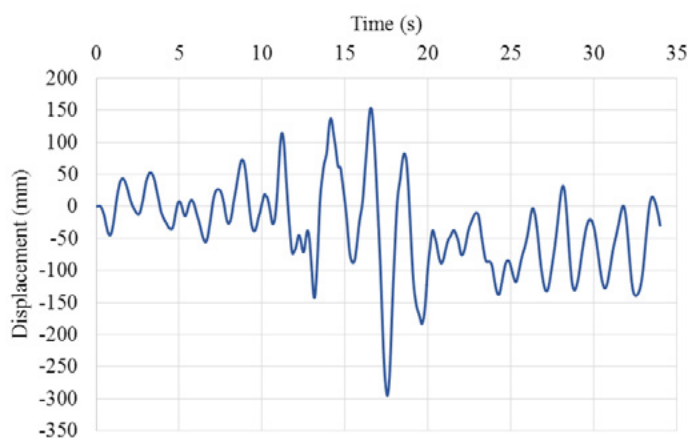
ب. رکورد زلزله Landers



ج. رکورد زلزله Bam-Andoohjerd

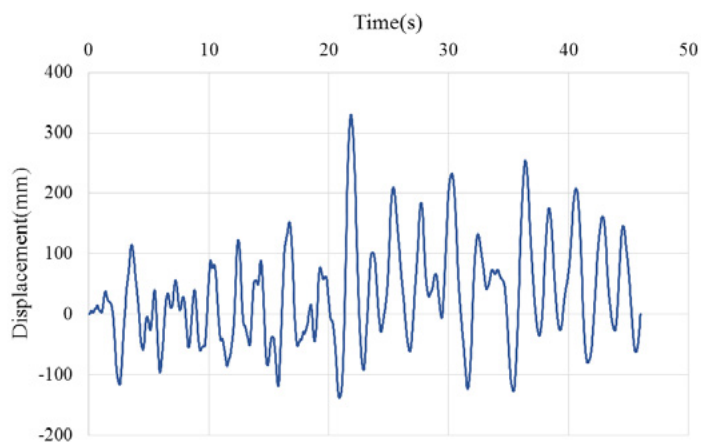
تصویر ۴: رکورد زلزله‌های انتخابی

ELMAYOR-MORENO



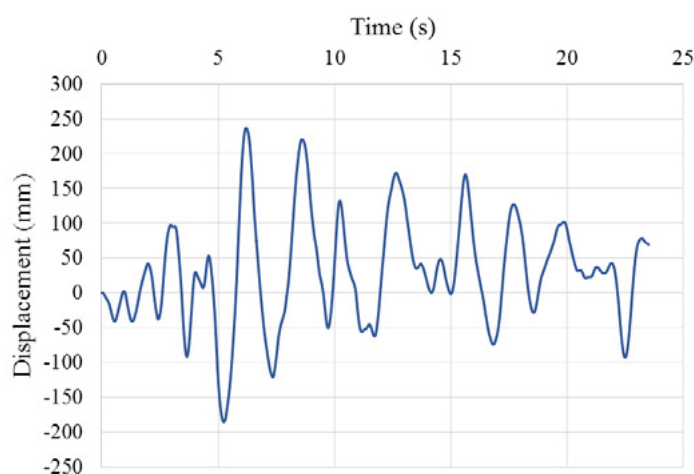
الف. تغییر مکان بام تحت زلزله Elmayor-Moreno

LANDERS



ب. تغییر مکان بام تحت زلزله Landers

BAM-ANDOOHJERD

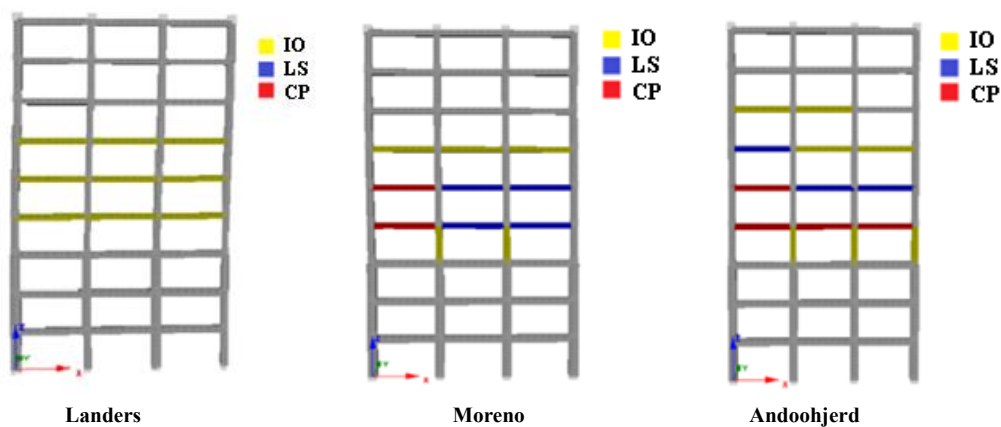


ج. تغییر مکان بام تحت زلزله Bam-Andoohjerd

تصویر ۵: تغییر مکان بام قاب ۹ طبقه تحت زلزله های انتخابی

برای بررسی رفتار واقعی سازه‌ها در اثر بارهای وارده خصوصاً بارهای ناشی از زلزله‌هایی که بالاتر از حد تحمل الاستیک سازه باشند استفاده از روش‌های غیرخطی ناگزیر است. در این راستا رفتار غیرخطی اعضا اعم از تیرها و ستون‌ها با منحنی‌های چند خطی برازش داده می‌شود. سپس پتانسیل ایجاد نقاطی با جاری شدن یا لهیدگی در سراسر مقطع (مفصل پلاستیک) در نقاط کنترل سازه (نظیر نقاط با تلاش‌های خمشی، برشی و محوری ماکزیمم) مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌سازی رفتار غیر خطی این نقاط کنترل (شامل زاویه‌ی دوران خمیری و نسبت مقاومت باقیمانده) با توجه به خصوصیت مقاطع مربوطه، نظیر درصد آرماتور به کار برده شده در تیرها نسبت به درصد آرماتور بالانس، شرایط استفاده از میلگردهای عرضی در محدوده‌ی مفصل پلاستیک و در طول

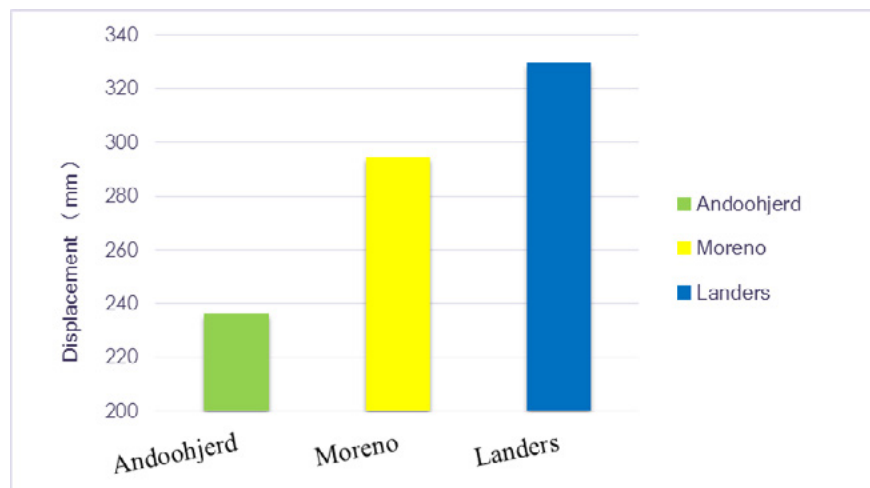
گیرایی در اتصال تیر-ستون، نسبت نیروی محوری به ظرفیت فشاری و سایر ملاحظات صورت می‌پذیرد. در صورت تجاوز زاویه‌ی دوران از حدود مشخص شده می‌توان سطوح عملکردی را با توجه به میزان دوران در سه دسته عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه (IO)، ایمنی جانی (LS) و آستانه‌ی فروریزش (CP) تعریف نمود. در جدول ۳ مفصل تشکیل شده در قاب ۹ طبقه تحت زلزله‌های انتخابی در سه سطح عملکرد اشاره شده آورده شده است. نتیجه‌ی ۱: مطابق تصویر ۷ با افزایش دوام لرزه‌ای، مقدار تغییر مکان‌های حداکثر بام افزایش می‌یابد. نتیجه‌ی ۲: مطابق جدول ۳ با افزایش دوام لرزه‌ای، تعداد مفصل و نیز رفتار غیر ارتجاعی سازه افزایش می‌یابد.



تصویر ۶: مفصل پلاستیک تشکیل شده در قاب ۹ طبقه تحت اثر زلزله

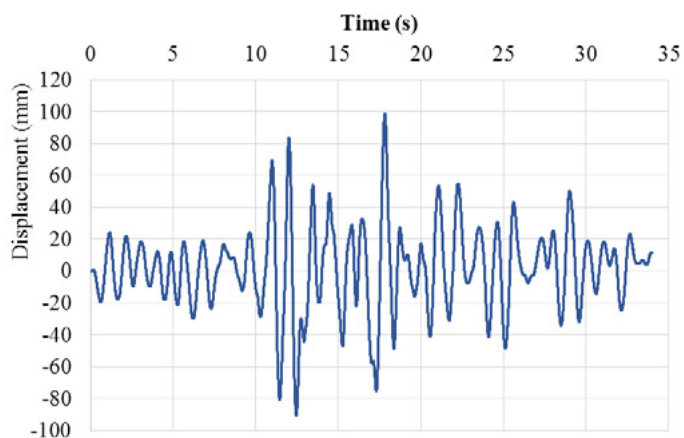
جدول ۳: مقایسه‌ی مفصل تشکیل شده در قاب ۹ طبقه تحت زلزله‌های انتخابی

نام رکورد	دوام ظاهری رکورد (۵٪ تا ۹۵٪)	IO	LS	CP	نوع مفصل پلاستیک
Andoohjerd	۲۳/۳	۹	۰	۰	تعداد مفصل تشکیل شده
Moreno	۳۳/۴	۵	۴	۲	
Landers	۴۴/۸	۷	۳	۴	



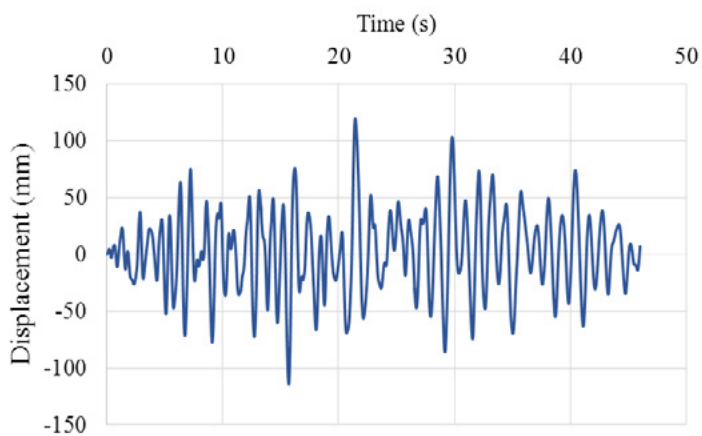
تصویر ۷: مقایسه‌ی تغییر مکان‌ها در سازه ۹ طبقه

ELMAYOR-MORENO



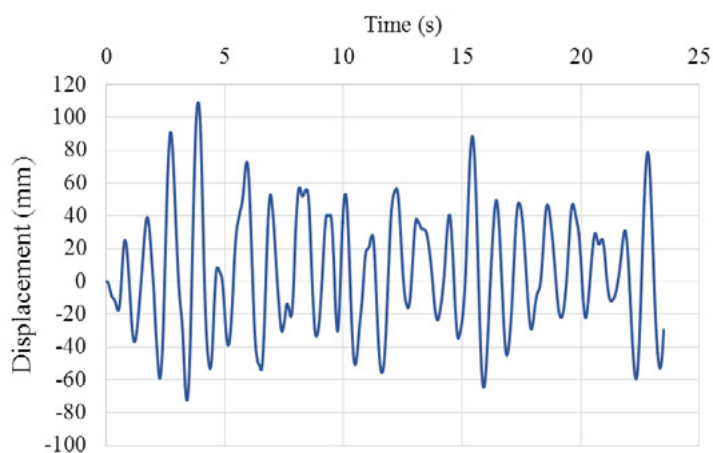
الف. تغییر مکان بام تحت زلزله Elmayor-Moreno

LANDERS



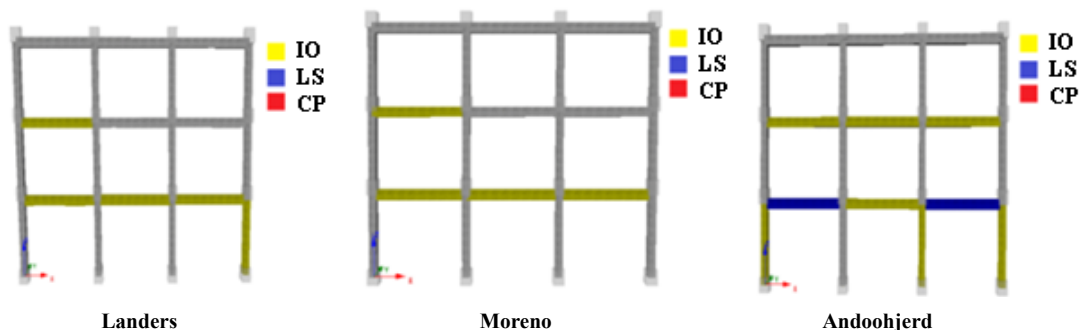
ب. تغییر مکان بام تحت زلزله Landers

BAM-ANDOOHJERD



ج. تغییر مکان بام تحت زلزله Bam-Andoohjerd

تصویر ۸: تغییر مکان بام قاب ۳ طبقه تحت زلزله های انتخابی

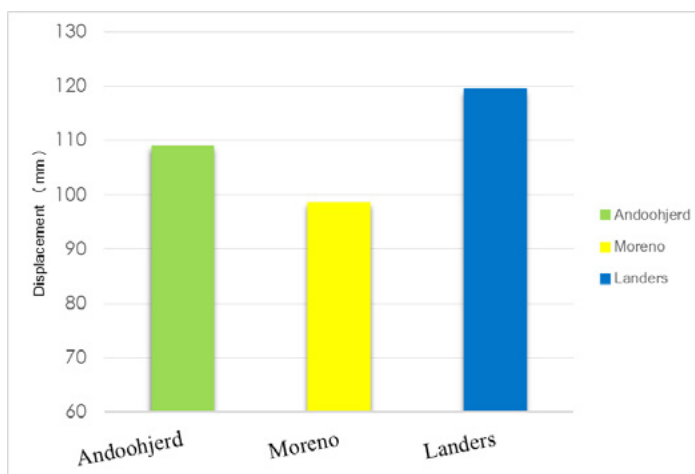


تصویر ۹: مفصل پلاستیک تشکیل شده در قاب ۳ طبقه تحت اثر زلزله

(b) Andoohjerd (a) Moreno (c) Landers

جدول ۴: مقایسه‌ی مفصل تشکیل شده در قاب ۳ طبقه در زلزله‌های انتخابی

نام رکورد	دوام رکورد (۵ تا ۹۵٪ شدت آریاس)	IO	LS	CP	نوع مفصل پلاستیک
Andoohjerd	۲۳/۳	۵	۰	۰	تعداد مفصل تشکیل شده
Moreno	۳۳/۴	۴	۰	۰	
Landers	۴۴/۸	۷	۲	۰	



تصویر ۱۰: مقایسه‌ی تغییر مکان‌ها در سازه‌ی ۳ طبقه

جدول ۵: مقایسه‌ی مفصل تشکیل شده در زلزله‌های انتخابی در سازه‌ی ۳ طبقه

نام رکورد	دوام ظاهری رکورد (۵ تا ۹۵٪)	دوام اصلاح شده بر اساس تجاوز یا کاهش از $\pm 0.2g$	IO	LS	CP	نوع مفصل پلاستیک
Moreno	۳۳/۴	۷/۶	۴	۰	۰	تعداد مفصل تشکیل شده
Andoohjerd	۲۳/۳	۸/۸	۵	۰	۰	
Landers	۴۴/۸	۲۲/۲	۷	۲	۰	

شتاب $g \pm 0.2$ محاسبه گردید. در زیر مدت دوام اصلاح شده‌ی آن‌ها آورده شده است.

مشخص می‌شود که با در نظر گرفتن مقدار دوام اصلاح شده بر پایه‌ی $g \pm 0.2$ ترتیب افزایش تغییر مکان‌های غیر ارتجاعی برقرار است.

خاطر نشان می‌گردد سازه‌های بلند (نظیر ۹ طبقه) به شتاب‌های پایین‌تری حساس هستند. در این تحقیق با در نظر گرفتن آستانه $g \pm 0.1$ ترتیب مشابهی (بدون تغییر) برای مدت

مطابق جدول ۴ با افزایش دوام لرزه‌ای، مقدار تغییر مکان‌های حداکثر بام و تعداد و محدوده‌ی مفصل پلاستیک به ترتیب افزایش نیافته است. طی تحلیل‌های متعدد و با نرم‌افزارهای معتبر مختلف صحت نتایج آنالیز تأیید شد. با بررسی عمیق‌تر، مشخص گردید که با تعریف دوام مؤثر ۵ تا ۹۵ درصد شدت آریاس نمی‌توان مقایسه‌ی دقیقی بین دوام‌های کمتر و بیشتر انجام داد. از این رو یک آستانه‌ی شتاب حداقلی برابر با $g \pm 0.2$ انتخاب گردید و دوام شتابنگاشت‌ها از لحظه‌ی تجاوز از شتاب $g \pm 0.2$ تا کاهش از

جدول ۶: مقایسه‌ی مفصل تشکیل شده در زلزله‌های انتخابی در سازه‌ی ۳ طبقه

نام رکورد	دوام اصلاح شده بر اساس تجاوز یا کاهش از ± 0.2 g	محدوده‌ی شدت آریاس معادل با زمان و دوام مشابه
Moreno	۷/۶	۱۴ تا ۷۸ درصد
Andoohjerd	۸/۸	۱۲ تا ۷۴ درصد
Landers	۲۲/۲	۱ تا ۷۰ درصد

جدول ۷: مقایسه‌ی مفصل تشکیل شده در زلزله‌های انتخابی در سازه‌ی ۱۵ طبقه

نام رکورد	دوام ظاهری رکورد (%۵ تا %۹۵)	IO	LS	CP	نوع مفصل پلاستیک
Andoohjerd	۲۳/۳	۲	۴	۶	تعداد مفصل تشکیل شده
Moreno	۳۳/۴	۱	۴	۸	
Landers	۴۴/۸	۰	۰	۱۳	

که با افزایش دوام لرزه‌ای، مقدار تغییر مکان‌های حداکثر سازه، تعداد مفصل و نیز رفتار غیر ارتجاعی سازه افزایش می‌یابد. در تحلیل غیرخطی سازه‌ی سه طبقه نخست بررسی عمیق‌تری روی دوام انجام گرفت و آستانه‌ی شتاب حداقلی برابر با 0.2 g در نظر گرفته شد و دوام شتاب‌نگاشت‌ها توسط نرم‌افزار Excel از لحظه‌ی تجاوز از شتاب 0.2 g تا کاهش از شتاب 0.2 g محاسبه گردید. با در نظر گرفتن مقدار دوام اصلاح شده بر پایه‌ی 0.2 g ترتیب افزایش تغییر مکان‌های غیر ارتجاعی و مفصل پلاستیک سازه محرز گردید.

خاطر نشان می‌گردد طبق تحلیل‌های متعدد نتیجه‌گیری گردید که سازه‌های بلند با شتاب‌های کمتر تحریک پذیر هستند. در صورت اصلاح دوام شتاب‌نگاشت‌ها برای سازه‌ی ۹ و ۱۵ طبقه بر اساس شتاب آستانه‌ی کمتر (نظیر 0.1 g)، تغییری در ترتیب دوام شتاب‌نگاشت‌ها ملاحظه نگردید. اما در سازه‌های کوتاه مرتبه، رتبه‌بندی دوام‌ها باید بر اساس شتاب‌های آستانه‌ی بیشتری نسبت به سازه‌های بلند انجام گیرد. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که هر چه تعداد سیکل‌های یک شتاب‌نگاشت - که هم از نظر پریود متناظر نزدیک به پریود غالب سازه باشند و هم دامنه‌ی شتاب بیشتری داشته باشند - بیشتر باشد، آسیب‌پذیری سازه و افزایش تعداد مفصل پلاستیک و حد آن‌ها بیشتر خواهد شد.

نتایج تحلیل غیرخطی با در نظر گرفتن اثرات زوال سختی و مقاومت در سازه‌های کوتاه و بلند مرتبه نشان داد:

۱. درصد تشکیل مفصل پلاستیک در قاب‌ها در زلزله‌های با دوام زیاد عموماً بیشتر از زلزله با دوام پایین است.
۲. با افزایش دوام لرزه‌ای، مقدار تغییر مکان‌های حداکثر سازه، تعداد مفصل و نیز رفتار غیر ارتجاعی سازه افزایش می‌یابد.
۳. مشاهده گردید سازه‌های بلند نسبت به سازه‌های کوتاه به شتاب‌های پایه‌ی کمتری حساس اند و در نتیجه آسیب‌پذیرتر هستند و در این گونه سازه‌ها باید آستانه شتابی که در محاسبه‌ی دوام زلزله در نظر گرفته می‌شود را کمتر از ساختمان‌های کوتاه انتخاب نمود.
۴. آستانه‌ی شتاب برای در نظر گرفتن دوام واقعی باید با توجه به شرایط سازه از جمله هندسه و مقاطع و ارتفاع به گونه‌ای در نظر گرفته شود که آن شتاب باعث ایجاد رفتار غیرخطی در اعضا

دوام رکوردها ملاحظه گردید. از این رو به اصلاح دوام رکوردها برای سازه‌ی ۹ طبقه نیازی نیست.

به منظور تطبیق محدوده‌ی شتابی 0.2 g با دامنه‌ی آریاس با سعی و خطا دامنه‌های مشابه زیر محاسبه گردید:

به‌طور مشابه و برای اطمینان بخشی از صحت استنتاج سه رکورد انتخاب شده بر مدل ساختمان ۱۵ طبقه اعمال گردیدند و تعداد مفصل تشکیل شده به ازای هر زلزله و در هر سه سطح عملکرد محاسبه گردید. نتایج این تحلیل در جدول ۷ به‌طور خلاصه آمده است و نتایج همانند سازه‌ی ۹ طبقه نشانگر آن است که در سازه‌های بلند شتاب آستانه‌ی کمتر تأثیر بیشتری بر سازه دارد و همان ترتیب دوام آریاسی مطابق با ترتیب مفصل ایجاد شده است.

یافته‌ها

در این تحقیق رکوردهای مختلفی بر اساس دوام‌های متفاوت انتخاب گردیدند و توسط نرم‌افزار SeismoArtif بر روی طیف خاک نوع ۲ آئین‌نامه ۲۸۰۰ و ساختگاه با لرزه‌خیزی بسیار زیاد (0.35 g) مقیاس شدند. با این کار تأثیر انرژی ورودی زلزله‌ها و شرایط خاک در تمام شتاب‌نگاشت‌ها یکسان شد و مقایسه صرفاً روی دوام‌های مختلف قابل انجام گردید. در ادامه آن دسته از زلزله‌هایی که دارای شتاب تقریباً یکسان با زمان دوام مختلف بودند انتخاب شده و سازه‌های الگوی ۳، ۹ و ۱۵ طبقه توسط نرم‌افزار Siesmo Struct مدل‌سازی و تحت تحلیل غیر خطی با در نظر گرفتن اثرات زوال سختی و کاهش مقاومت قرار گرفتند. یافته‌ها نشانگر آن هستند که در سازه‌های کوتاه مرتبه افزایش دوام آریاسی الزاماً به معنی افزایش آسیب‌های وارد بر سازه نیست، بلکه آسیب‌های وارد بر سازه در سازه‌های کوتاه به مدت زمانی که سازه تحت شتاب آستانه‌ی بالاتری قرار گرفته است مرتبط است. در سازه‌های بلندتر سازه با شتاب‌های آستانه‌ی کمتری نیز آسیب‌پذیر می‌شود و افزایش دوام آریاسی می‌تواند نشانگر افزایش آسیب بیشتر باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل غیرخطی با در نظر گرفتن اثرات زوال سختی و مقاومت در سازه‌های نسبتاً بلند مرتبه (۹ و ۱۵ طبقه) نشان داد

12. Page, R.A., Boore, D.M., Joyner, W.B. and Caulter, H.W. (1972). *Ground Motion Values for use in the Seismic Design of the Trans-Alaska Pipeline System*, USGS Circular 672.
13. Bolt, B.A. (1969). *Duration of Strong Motion*, Proc. 4th World Conf. Earthquake Eng., 1304-1315, Santiago, Chile.
14. Husid, L. R., (1969). Características de terremotos, Análisis general, Revista del IDIEM 8, Santiago del Chile, pp. 21-42.
15. Trifunac, M.D. and Brady, A.G. (1975). *A study of the duration of strong earthquake ground motion*, Bulletin of the Seismological Society of America, 65, 581-626.
16. N. Nanos, A. Elenas and P. Ponterosso, (2008). *Correlation of Different Strong Motion Duration Parameters and Damage Indicators of Reinforced Concrete Structure*, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
17. Housner, G.W. (1975). *Measures of the severity of ground shaking*. Proceedings U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Ann Arbor, Michigan, 25-33.
18. Uang, C.; Bertero, V. (1990). *Evaluation of seismic energy in structures*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19, 77-90.
19. Shome, N.; Cornell, C.; Bazzurro, P. and Carballo, J. (1998). *Earthquakes, records, and nonlinear responses*, Earthquake Spectra 14 (3), 469-500.
20. Rahnema, M. and Manuel, L. (1996). *The effect of strong motion duration on seismic demands*, Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering, Mexico, Paper No. 924.
21. Khanzadi, M., Ghodrati Amiri, G. and Abdollahzadeh Darzi, G. (2007). *Earthquake Duration and Damping Effects on Input Energy*, college of civil Eng, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran.
22. قدرتی امیری، غلامرضا؛ محبی، بنیامین؛ حمیدی جمنانی، حامد (۱۳۸۸). بررسی رفتار تنزل یافته چرخه های هیستریزس در تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه های بتن آرمه با شکل پذیری متوسط، دانشگاه علم و صنعت ایران. <http://fa.journals.sid.ir/ViewPaper.aspx?id=124836>
23. Gong, M. S. & Xie, L. (2004). *The Use Of Input Energy For Seismic Hazard Assessment With Different Ductility Level*, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, Canada www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_1083.pdf
24. Huang, W., Qian, J., Zhuang, B. and Fu, Q. (2012). *Damage Assessment of RC Frame Structures under Multi-Earthquake Sequences*, Tongji University, P.R.China

۲۵. خوش رفتار، علی؛ عباس نیا، رضا (۱۳۸۵). مطالعه ی تأثیر کاهش مقاومت در آسیب پذیری لرزه ای سازه های بتنی، اولین کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی ایران، تهران، مرکز ملی مقاوم سازی ایران.

گردد. به عبارت دیگر در نظر گرفتن سیکل هایی از شتاب نگاشت که سازه در اثر آن ها فقط رفتار خطی نشان می دهد و نسبت نیرو به ظرفیت اعضا در حد کمی باشد در دوام واقعی سازه و مقایسه ی نسبی رکوردها با آن دوام درست نیست.

پی نوشت

1. Bracketed Duration
2. Significant

منابع

1. Raghunandan, M. (2013). *Influence of Long Duration Ground Shaking on Collapse of Reinforced Concrete Structures*, M.S., University of Colorado at Boulder.
2. Michael W.Salmon, Steven A.Short, (1992). *Strong Motion Duration and Earthquake Magnitude Relationships*, University of California www.osti.gov/servlets/purl/67453/
3. Chai Y.H., Fajfar P. and Romstad K.M. (1998). *Formulation of duration-dependent inelastic seismic design spectrum*. J.of Struct. Eng. 124(8): 913-921.
۴. هفت لنگ، مهدی (۱۳۹۰). تعیین رابطه میان مدت دوام زلزله با بزرگای فاصله و شرایط زمین شناسی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران.
5. FEMA P440A, (June 2009). *Effects of Strength and Stiffness Degradation on Seismic Response*, Applied Technology Council, California 94065, www.AT-Council.org
6. Silvena Stoeva Reshotkina (2015). *3D Stiffness and Strength Degradation Models for Seismic Progressive Collapse Analysis of Reinforced Concrete Structures – Formulations and Implementations Framework*, Dissertation for Doctor of Philosophy In Civil Engineering, Carleton University, Ottawa, Ontario.
7. Adel E. Abdelnaby (2012). *Multiple Earthquake Effects On Degrading Reinforced Concrete Structures*, Dissertation for Doctor Of Philosophy In Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois.
8. Bhargob Deka, Syed Nafifur Rahman, Pranjal Tamuly (2014). *Damage Assessment of RC Frame Structures under Long Duration Aftershock Ground Motion*, Guwahati, Assam, India, https://www.ijirset.com/upload/2014/sepember/50_Damage.pdf
9. A.E. Abdelnaby and A.S. Elnashai (2012). *Response of Degrading Reinforced Concrete Systems Subjected to Replicate Earthquake Ground Motions*, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa.
10. Adel E. Abdelnaby, Amr S. Elnashai (2014). *Performance of Degrading Reinforced Concrete Frame Systems Under the Tohoku and Christchurch Earthquake Sequences*, Journal of Earthquake Engineering, 18:7, 1009-1036, DOI: 10.1080/13632469.2014.923796
۱۱. تهرانی زاده، محسن؛ حامدی، فرزانه (۱۳۷۸). تعیین مدت زمان دوام زلزله های ایران و ارتباط آن با پارامترهای مختلف، سومین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، اردیبهشت ۱۳۷۸.

راهبردهایی به منظور کاهش آسیب پذیری بافت های تاریخی در برابر زلزله

مطالعه ی موردی: بافت تاریخی شهر یزد

محمد امجد*: دانشجوی دکتری مدیریت بحران، پژوهشگاه مهندسی بحران های طبیعی، amjad6161@gmail.com
ایرج سلطانی: استادیار مدیریت، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

این پژوهش با تدوین معیارها و شاخص های مؤثر در آسیب پذیری و مشخص نمودن نقاط آسیب پذیر در سطح بافت به دنبال تدوین راهبردهایی برای پیشگیری و کاهش میزان خطرات احتمالی زلزله در بافت تاریخی شهر یزد است. شهر یزد یکی از شهرهای کشور است که دارای بافت فرسوده و تاریخی ارزشمندی است و همواره در معرض بحران های طبیعی و انسانی قرار دارد. از مشخصه های اصلی این بافت اصولاً ناپایداری بناها و مجموعه ای از نارسایی های کالبدی، دسترسی، زیست محیطی، اقتصادی و مدیریتی است که نیازمند برنامه ریزی به منظور کاهش آسیب پذیری در برابر بحران زلزله است. نوع تحقیق کاربردی و روش آن توصیفی - تحلیلی است. برای تجزیه و تحلیل داده ها از روش های آمار توصیفی و مدل تحلیل شبکه و روش swot استفاده شده است. نتایج حاصل از مدل تحلیل شبکه نشان می دهد، شاخص های کالبدی شامل عرض کم معابر، قدمت ابنیه، وجود مخروبه ها، کیفیت ابنیه، تراکم ساختمانی، مساحت قطعات تفکیکی، نوع مصالح، تعداد طبقات با مقدار ۰/۲۲ بیشترین نقش را در آسیب پذیری بافت در هنگام وقوع زلزله دارد. برابر بررسی های صورت گرفته ضعف ها و تهدیدات با ضرایب ۹/۴۱ و ۸/۳۶ بیشترین مقدار و نقاط قوت و فرصت ها با ضرایب ۷/۱۳ و ۶/۵۴ کمترین مقدار را در آسیب پذیری بافت تاریخی شهر یزد به خود اختصاص داده اند. بر اساس این اطلاعات وضعیت بافت تاریخی شهر یزد با نقاط ضعف بیشمار روبه رو است (یعنی ۴۵/۹ درصد). این بدان معنا است که با روند برنامه ریزی های فعلی، تأکید بیشتر باید بر روی مقاوم سازی ابنیه ی موجود، ایجاد دسترسی های مناسب برای خدمات رسانی به موقع در شرایط بحرانی، اختصاص قسمت هایی از بافت تاریخی به فضاهای باز برای اسکان و تخلیه ی اضطراری در شرایط بحرانی صورت گیرد.

واژه های کلیدی: زلزله، مدیریت بحران کالبدی، آسیب پذیری، بافت تاریخی، شهر یزد

Strategic Planning to Reduce the Vulnerability of Historical Textures Case study: Historical Texture of Yazd City

Mohammad Amjad^{1*}, Iraj Soltani²

Abstract

This research aims to develop vulnerability criteria and indicators and to identify vulnerable points at the surface of the tissue to prevent and reduce the risk of earthquakes in the historical context of Yazd. Yazd city is one of the cities of the country that has a well-worn and historically valuable texture and is always exposed to natural and human crises. The main features of this texture are structural instabilities and a series of physical, motor, environmental, economic and managerial failings that require planning to reduce vulnerability to earthquake crises. The type of research is applied and its method is descriptive-analytical. To analyze the data, descriptive statistics methods and network analysis and swot methods are used to formulate strategic planning. The results of the network analysis model show that physical indices such as low passage widths, building age, demolition, building quality, building density, separation area, type of materials, number of floors with the value of 0.22 have the most role in injury Texture is susceptible to earthquake occurrence. Compared to the study of the planning process to reduce the vulnerability of the historical fabric of Yazd city, weaknesses and threats with coefficients of 9/41 and 8/36 have the highest amount of strengths and opportunities with coefficients of 7/13 and 6/54 have the lowest amount. According to this information, the historical context of Yazd city has numerous disadvantages (45.9%). This means that with the current planning process, more emphasis should be placed on retrofitting Existing buildings, providing adequate access to timely services in critical situations, allocating parts of the historical texture to open spaces for emergency accommodation and evacuation Critical event occurs.

Keywords: earthquake, physical crisis management, vulnerability, historical context, Yazd city

1 PhD student of Crisis Management, Research Institute for Natural Disasters Engineering, Isfahan, Iran; Email: amjad6161@gmail.com
2 Assistant Professor of Management, Faculty Member of Islamic Azad University, Khorasgan Branch, Isfahan, Iran

زمانی که یک مجتمع زیستی در معرض خطرات طبیعی و انسانی قرار می‌گیرد، علم مدیریت بحران با دیدی همه جانبه بررسی مؤلفه‌های بحران را با تأکید بر پیشگیری و کاهش آسیب‌ها و خطرات مدنظر قرار می‌دهد. سیل، طوفان، رانش زمین، طوفان، گردباد، زلزله، آتش‌سوزی بحران‌هایی هستند که هر ساله گروه بزرگی از مردم کره‌ی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۱]. در این میان، زلزله به‌منزله‌ی مرگ‌بارترین مخاطره‌ی طبیعی بر روی زمین در نظر گرفته شده [۲] که همواره به‌منزله‌ی یک پدیده‌ی تکرارپذیر در طول تاریخ وجود داشته و در آینده نیز وجود خواهد داشت [۳]. تجربه‌ی زلزله‌های اخیر در ایران همچون فاجعه‌ی مخرب زلزله‌ی بم نشان می‌دهند که شهرهایی که دارای بافت تاریخی گسترده‌ای هستند به علت ناپایداری ساختاری ابنیه‌ی موجود در آن‌ها - استفاده‌ی بیشتر از مصالحی چون خشت و گل و یا آجر و گل - در زمان وقوع زلزله همواره با ویرانی و خسارات بسیار سنگین و تلفات انسانی قابل توجهی مواجه می‌شوند، از سوی دیگر به علت عرض کم معابر در بافت‌های تاریخی این شهرها، عملیات نجات و امداد با مشکل اساسی روبه‌رو می‌شود به طوری که همواره دسترسی‌های نامناسب عاملی برای افزایش تلفات انسانی در مقایسه با سایر بخش‌های شهر تلقی می‌شود [۴]. می‌توان از این تجربه‌های زلزله نتیجه گرفت که میزان آسیب‌های کالبدی، اقتصادی و جمعیتی در بافت‌های تاریخی و کهن بیش از سایر بافت‌های شهری است. از این رو، نه تنها بافت‌های تاریخی، زندگی ساکنان را در وضعیت موجود با مشکل روبه‌رو ساخته‌اند، بلکه در صورت وقوع حوادث غیر مترقبه (مخصوصاً بحران زلزله)، میزان آسیب‌پذیری در ابعاد مختلف در این گونه بافت‌ها به شدت افزایش می‌یابد. با این تفاسیر می‌توان گفت مشخصه‌های اصلی این بافت‌ها اصولاً ناپایداری بناها و مجموعه‌ای از نارسایی‌های کالبدی، حرکتی، زیست محیطی، اقتصادی و مدیریتی است [۴]. در این میان بخش عمده‌ای از آسیب‌های ناشی از زلزله می‌تواند به علت عدم رعایت اصول و ضوابط شهرسازی باشد که خود متأثر از عدم توجه به تخمین صحیح از آسیب‌پذیری شهرها در اثر وقوع زمین لرزه‌ی احتمالی است. لذا به‌منظور کاهش خطر و کنترل بحران، توجه بیشتر به مواردی چون استانداردسازی مصالح ساختمانی، افزایش ضریب اطمینان و ایمنی در ساخت و سازها و نوسازی‌های بافت‌های فرسوده با هدف کاهش خطر سوانح طبیعی به‌ویژه زلزله، مقاوم‌سازی و ایمن‌سازی و بهینه‌سازی مدیریت بحران و امداد و نجات باید در دستور کار قرار گیرد [۵]. شهر یزد یکی از شهرهای کشور است که دارای بافت فرسوده و تاریخی ارزشمندی است که در معرض بحران‌های طبیعی زلزله [۶]، طوفان ماسه [۷] و خشکسالی [۸] قرار دارد. بافت تاریخی شهر یزد متشکل از دو بخش است که بخش اول به صورت غیر پیوسته و به صورت لکه‌های پراکنده و بخش دوم، بافتی پیوسته با وسعت ۵۱۹ هکتار به عنوان دست نخورده‌ترین بافت تاریخی کشور محسوب می‌شود. در این میان، بخش دوم هسته‌ی مرکزی

شهر یزد را تشکیل می‌دهد و مورد مطالعه‌ی این پژوهش است. جمعیت این بخش از شهر ۴۲۸۵۱ نفر و تراکم خالص آن ۲۲ نفر در هکتار و تراکم ناخالص آن ۶۳ نفر در هکتار است. تعداد بناهای موجود در این بافت، ۲۰۳۴۳ بنا است. این بافت پیوسته در قلب بافت تاریخی شهر یزد در شرایط فعلی با مشکلات متعددی روبه‌رو است که از جمله می‌توان به رشد منفی جمعیت، پایین بودن جایگاه اجتماعی، وجود فضاهای مخروبه و متروکه، دسترسی نامناسب و از رونق افتادن مراکز اقتصادی آن اشاره کرد [۹]. در نتیجه هدف کلی این پژوهش بررسی آسیب‌های طبیعی و انسانی در بافت تاریخی شهر یزد و ارائه‌ی راهبردهایی به‌منظور کاهش آسیب‌های فیزیکی و کالبدی، اقتصادی و جمعیتی بر بافت تاریخی شهر یزد است.

هدف تحقیق

تدوین راهبردهایی به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در اثر بحران زلزله هدف این پژوهش است.

روش تحقیق

بر اساس مؤلفه‌های مورد بررسی نوع تحقیق آمیخته (کیفی - کمی) و روش پژوهش توصیفی - تحلیلی است. این پژوهش به صورت نظری است که بخشی از اطلاعات مورد نیاز از منابع کتابخانه‌ای به‌وسیله‌ی ابزار سنجش مانند فیش، جدول، کارت و مانند آن گردآوری شده و از طریق استدلال قیاسی و استقرایی، تمثیل و تشبیه و به کمک تفکر و تعقل و منطق داده‌های به دست آمده ارزیابی و تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری شده است. جامعه‌ی آماری این پژوهش، در بخش کیفی متخصصان مرتبط با زمینه‌ی پژوهش است. این پژوهش به منابع کاملاً تخصصی نیازمند است که به روش اسنادی شامل کتابخانه و مرکز اسناد دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و همچنین ارگان‌های مرتبط با زلزله و مدیریت بحران و سامانه‌های اینترنتی و نشریات تخصصی ممکن است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از مدل تحلیل شبکه (ANP) و به‌منظور تدوین راهبردها از روش SWOT استفاده شده است. با استفاده از مدل تحلیل شبکه عوامل مهم تأثیرگذار در شدت آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد اولویت‌بندی شده است و نهایتاً بر اساس شناسایی نقاط ضعف و تهدیدات موجود در بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله اقدام به بهره‌گیری از فرصت‌ها و قوت‌ها به‌منظور کاهش میزان آسیب‌پذیری بافت تاریخی شده است. به علت پهنه‌ی وسیع بافت تاریخی یزد به میزان ۵۱۹ هکتار و قریب ۲۰۳۴۳ بنا به‌منزله‌ی جامعه‌ی آماری حجم نمونه بر اساس نمونه‌گیری با استفاده از رابطه‌ی کوکران، محاسبه گردید. همچنین روش نمونه‌برداری این پژوهش بر اساس روش کوکران (حجم نمونه بر این اساس برای متخصصین ۱۲۷ است که بر اساس فرمول کوکران حجم نمونه‌ی نهایی انتخاب شده است) انجام شده است. جامعه‌ی آماری این پژوهش، در بخش کمی مؤلفه‌ها و معیارهای کالبدی، اقتصادی و جمعیتی محدوده‌ی بافت تاریخی شهر یزد شامل تعداد بناهای تاریخی، تعداد طبقات،

نوع مصالح، عمر بنا، ظرفیت و عرض معابر، وضعیت اقتصادی ساکنین، میزان جمعیت است. در این رابطه برای بررسی و تحلیل میزان آسیب پذیری از مطالعه‌ی میدانی (پرسش نامه) نیز استفاده شده است.

مبانی نظری تحقیق

در طول قرن بیستم حدود ۱۱۰۰ زلزله‌ی مرگبار در ۷۵ کشور جهان رخ داده و علاوه بر خسارات مادی عظیم، حداقل ۱/۵ میلیون نفر جان خود را بر اثر این رویداد طبیعی از دست داده‌اند. این در شرایطی است که ایران جزو زلزله‌خیزترین کشورهای جهان محسوب می‌شود. طبق آمار رسمی ۱۷/۶ درصد از زلزله‌های مخرب جهان به کشور ما تعلق دارد. این رقم بیش از ۳ برابر زلزله‌های مخرب کشور ژاپن با ۷/۱ درصد است. بر پایه‌ی آمارهای رسمی هر ۱۰ سال یک زمین‌لرزه با بزرگی بیش از ۷ ریشتر و هر سال ۱/۳ زمین‌لرزه با بزرگی بین ۶ تا ۷ ریشتر و ۱۰ زمین‌لرزه با بزرگی ۵ تا ۶ ریشتر در ایران روی داده است [۱۰] که باعث گردیده در ۲۵ سال گذشته، ۶ درصد از تلفات جانی کشور ناشی از زلزله باشد [۱۱]. پهنه‌بندی نقشه‌های زمین لرزه‌خیزی در ایران نشان می‌دهد بیش از دو سوم وسعت کشور در محور زمین لرزه‌خیز پرخطری قرار گرفته که بیشتر شهرهای پرجمعیت نیز در راستای آن استقرار یافته‌اند؛ یعنی مناطقی که بیشتر تحت تأثیر فعالیت گسل‌اند و شدت عمق کانون زمین‌لرزه در آن‌ها نیز کم عمق و سطحی است [۱۲] تا جایی که ۹۰ درصد شهرهای کشور در برابر یک زلزله، ۵/۵ ریشتری آسیب‌پذیر گشته‌اند [۱۳]. با در نظر گرفتن طول گسل‌های فعال کشور و منطقه، خطر آن‌ها (۲۰ کیلومتر اطراف گسل‌ها) ۳۵ درصد از مساحت ایران با خطر جدی زمین‌لرزه مواجه است. در این راستا، شهر یزد به وسعت ۱۳۶۴۰ هکتار برای قرارگیری در حد فاصل شهرهای مهریز و اردکان تحت تأثیر مستقیم گسل امتداد لغز راست بر مهریز به طول ۱۱ کیلومتر و گسل معکوس یزد - اردکان به طول ۶۰ کیلومتر است [۱۴]. در این خصوص، برپریان در بررسی لرزه‌خیزی طرح فولاد آلیاژی یزد و گسل‌های پیرامون آن در سال ۱۹۸۸ میلادی معتقد است این گسل‌ها با زلزله‌های پرانرژی و دوره‌ی بازگشت طولانی همراهند که می‌تواند بزرگ و ویرانگر باشند. از مهم‌ترین زلزله‌های قرن حاضر در شهر یزد می‌توان به زلزله‌ی ۲۰ نوامبر ۱۹۷۳ یزد - اردکان اشاره داشت که در ساعت ۵ و ۳۰ دقیقه بامداد به فاصله‌ی نیم ساعت سه زمین‌لرزه در یزد و اردکان و روستاهای پیرامونی با بزرگی $M = 5 - 5/2$ به وقوع پیوست و به شدت احساس گردید. همچنین زلزله ساعت ۵ و ۲۱ دقیقه ۱۵ نوامبر ۱۹۷۵ شهر یزد که باعث خرابی‌هایی از جمله فرو ریختن پنج بادگیر و شکستن شیشه‌های منازل گردید [۱۶]. بر این اساس، وقوع هر نوع مخاطره‌ای، با توجه به سطح آسیب‌پذیری آن‌ها، می‌تواند سبب بروز خسارات و تلفات بسیاری برای فضاها تحت تأثیر مخاطره گردد [۱۵]. بنابراین آسیب‌پذیری فضاها در برابر مخاطرات از اصلی‌ترین عامل بروز خسارات و تلفات به شمار می‌آیند. آسیب‌پذیری اصطلاحی است که برای نشان دادن وسعت و میزان خسارت احتمالی بر اثر وقوع سوانح طبیعی به

جوامع، ساختمان‌ها و مناطق جغرافیایی به کار می‌رود. ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود در واقع یک نوع پیش‌بینی خسارت دیدگی آن‌ها در مقابل زلزله‌های احتمالی است [۱۶] و به همین ترتیب تحلیل آسیب‌پذیری شهری، تحلیل، ارزیابی و پیش‌بینی احتمال خسارت‌های جانی و مالی و معنوی شهر و ساکنان شهر در برابر مخاطرات احتمالی است. عوامل تأثیرگذار بر میزان آسیب‌پذیری بسیار گوناگون و شامل عوامل طبیعی، کالبدی، اجتماعی، اقتصادی، بنیادی، قوانین و مقررات است. این عوامل همدیگر را نه به صورت منفرد بلکه به صورت یک سیستم جامع، تحت تأثیر قرار می‌دهند، حتی گروه‌های آسیب‌پذیر از بحران‌ها با عوامل جمعیتی چون سن، مذهب، اقلیت، فقر، سواد در ارتباط هستند [۱۷]. با این حال، انواع آسیب‌پذیری‌ها به شدت تحت تأثیر نوع مخاطرات و ویژگی‌های آن‌ها، متغیر است. مخاطرات براساس منشأ، زمان، نوع خسارات، قابلیت پیش‌بینی و نظایر آن به انواع مختلفی دسته‌بندی می‌شوند. کمیته‌ی کاهش بلایای محیطی در سازمان ملل، کلیه‌ی مخاطرات را ناشی از دو منشأ: ۱. مخاطرات طبیعی؛ ۲. مخاطرات ناشی از فناوری اعلام نموده [۱۸] که زلزله به منزله‌ی یکی از مخاطرات طبیعی، زندگی و بعد کالبدی استقرار انسانی را به شدت تحت‌الشعاع قرار داده است. انسان در طول تاریخ همواره با زلزله به منزله‌ی مخاطره‌ای طبیعی مواجه بوده و زبان‌های اجتماعی و اقتصادی فراوانی را بر اثر آن متحمل شده است. آنچه زلزله را به سانحه تبدیل می‌کند، عدم آگاهی انسان و توانایی در مواجهه و برخورد با آن است. این مسئله عموماً با گسترده‌ترین دخالت‌های نسنجیده‌ی انسانی در محیط طبیعی از جمله ساخت و سازهای بی‌رویه در حریم گسل، فقدان و یا بی‌توجهی به ضوابط و استانداردهای ساخت و ساز تشدید می‌شود [۱۹]. در نتیجه عوامل طبیعی و انسانی همواره نقش زیادی در ایجاد مخاطرات دارد. عوامل طبیعی در آسیب‌پذیری نواحی موقعیت استقرار سکونتگاه‌ها از نظر بستر طبیعی و همجواری با عناصر مخاطره‌آمیز مانند گسل‌ها، مسیل‌ها و ناهمواری‌ها تأثیر بسزایی دارد [۲۰]. هر چه تنوع ژئومورفولوژیک یک منطقه کمتر باشد پایداری آن منطقه بیشتر است. از دیگر عوامل طبیعی مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله شدت و عمق زلزله‌های حادثه است که هر چه عمق زلزله کمتر و شدت آن بیشتر باشد، وسعت و گستردگی و ویرانی حاصل از آن بیشتر می‌گردد و بالعکس هر چه عمق زلزله بیشتر و شدت آن کمتر و در فاصله‌ی دورتر از کانون اتفاق بیفتد، آسیب‌های ناشی از آن کمتر می‌گردد [۲۱]. همچنین از جمله عوامل انسانی مؤثر در افزایش آسیب‌های ناشی از زلزله، افزایش جمعیت شهری، مسکن نامناسب، شرایط نامتعادل اقتصادی و اجتماعی، حاشیه‌نشینی و ... در جهان است [۲۲]. اما صرف افزایش جمعیت پدیده‌ای مذموم نیست بلکه توزیع نامتناسب جمعیت در سطوح مختلف جغرافیایی شهر به‌ویژه محلات کم درآمد شهری با تراکم نسبی بالا و مسکن با کیفیت پایین، آسیب‌پذیری را بیشتر می‌کند. افزایش جمعیت در واحد سطح، امکان گریز و پناه را کمتر، و بر تعداد مصدومان می‌افزاید [۲۰]. مسکن نامناسب شهری از دیگر عوامل انسانی مؤثر در افزایش آسیب‌های ناشی از زلزله در

مرحله ی قبل از وقوع زلزله است. زلزله پدیده ای طبیعی، مانند سایر پدیده های طبیعی، نظیر سیل، طوفان، و ... است که در تبدیل آن به یک فاجعه، آسیب پذیری مجتمع های مسکونی نقش بسزایی دارد. شرایط نامتعادل اقتصادی و اجتماعی در کشورهای در حال توسعه سبب گردیده تا تنها قشر محدودی از افراد جامعه از مسکن مناسب (با ضوابط علمی و فنی) بهره مند گردیده و بقیه همواره از نداشتن آن در رنج باشند [۲۳]. بنابراین شرایط نامتعادل اقتصادی و اجتماعی نقش بسیار مهمی در ایجاد نابرابری در توزیع خدمات شهری دارد به گونه ای که چنین نابرابری هایی در ابعاد اقتصادی منجر به شکل گیری بافتی ناپایدار و متراکم می گردد که در هنگام وقوع بحران زلزله میزان تلفات انسانی و مالی را افزایش می دهد. بررسی سابقه نابرابری های اقتصادی و اجتماعی در جهان نشان می دهد نابرابری های شهری از مسائل عمده و نگران کننده در بیشتر بخش های جهان است، از این رو، بخشی از هدف اجتماعی برنامه ریزان و سیاست گذاران، کاهش نابرابری شهری، به طور عام و خاص است [۲۴]. در واقع، نابرابری های شهری، تداوم چالش های توسعه در بیشتر شهرها را نشان می دهد [۲۵] که تداعی کننده ی یک نوع بی عدالتی در فضاهای شهری است [۲۶]. در این راستا، یکی از مهم ترین عوامل کاهش نابرابری های شهری، توزیع مناسب خدمات شهری در بین مناطق و محلات شهر است. از نظر جغرافیایی، توزیع فضایی عادلانه ی امکانات و منابع بین مناطق مختلف شهری و دستیابی برابر شهروندان به آن ها مترادف با عدالت اجتماعی است، زیرا از یک سو، توزیع ناعادلانه ی خدمات شهری منجر به ایجاد بحران های کالبدی و اجتماعی و مشکلات پیچیده ی فضایی [۲۷] و از سوی دیگر، توزیع عادلانه باعث کاهش سفرهای درون شهری و تأمین نیازهای شهروندان در همان محله خواهد شد که این امر با بهبود سیستم حمل و نقل شهری در زمینه ی توسعه ی گره های اتصالاتی بین خدمات شهری باعث نشاط اقتصادی شهر، پویایی زندگی شهری و افزایش سطح آسایش و رفاه شهروندان می شود و منجر به شکل گیری مناطقی با تراکم پایین می گردد که در صورت وقوع هر گونه بحران زلزله امکان خدمات رسانی به کل منطقه فراهم می گردد [۲۸]. در نتیجه، تمرکز بر روی انتخاب بهترین روش برای مکان گزینی امکانات عمومی شهری با توجه به نیاز شهروندان در تمام شرایط بحرانی و غیر بحرانی منجر به تعادل بهره وری و تحقق عدالت اجتماعی در شهر می شود [۲۹] زیرا دسترسی به خدمات و امکانات شهری برای سلامت، امنیت، معیشت و کیفیت زندگی در هر شرایطی بسیار ضروری است. برای مثال از آن جایی که در بافت های تاریخی و فرسوده ی شهری ساکنان دسترسی کمتری به خدمات شهری دارند لذا با وقوع یک بحران مانند بحران زلزله کمک رسانی به ساکنان به شدت در خطر قرار می گیرد و امنیت آن ها به خطر می افتد [۳۰] بنابراین چگونگی توزیع خدمات در مناطق شهری تأثیرات عظیمی بر محیط، اقتصاد، اجتماع می گذارد [۳۱]. یکی از پارامترهای تعیین کننده در بهبود حیات همگانی شهروندان که در نهایت منجر به رضایت شهروندان از شیوه ی زندگی خود می شود، عدالت اجتماعی است که مترادف با توزیع

فضایی عادلانه ی امکانات و منابع بین مناطق مختلف شهری و دستیابی برابر شهروندان به آن ها است [۲۷]. به عبارت دیگر، توزیع بهینه ی خدمات و امکانات باید به گونه ای هدایت شود که به نفع تمامی اقشار و گروه های اجتماعی جامعه باشد و عدالت اجتماعی و فضایی تحقق یابد [۳۲] در این رابطه، دیوید هاروی، عدالت اجتماعی و فضایی در شهرها را تخصیص عادلانه ی منابع و امکانات شهری می داند که بتواند به گونه ای هدایت شود که افراد با حداقل شکاف و اعتراض نسبت به حقوق خود مواجه باشند و نیازهای جمعیتی آن در ابعاد مختلف برآورده گردد [۳۳]. پس هدف از عدالت اجتماعی، توزیع عادلانه ی امکانات و ثروت میان افرادی است که طبق تعریف دارای حقوق برابرند [۳۴]. به عبارتی دیگر، توزیع عادلانه ی نیازهای اساسی، امکانات، تسهیلات و خدمات شهری در میان محلات و مناطق مختلف شهر، به طوری که هیچ محله یا منطقه ای نسبت به منطقه یا محله ی دیگر از نظر برخورداری، برتری فضایی نداشته باشد و اصل دسترسی برابر رعایت شده باشد، به علاوه از لحاظ سرانه ی برخورداری با توجه به میزان جمعیت در هر منطقه از شهر، اختلاف زیادی وجود نداشته باشد [۳۵]. در نتیجه، اگر در جریان برنامه ریزی شهری، تعیین کاربری های مختلف طوری انجام گیرد که توزیع متوازن سرانه ها را با توجه به اصول صحیح مکان یابی مد نظر قرار دهد، تا حد زیادی به حصول عدالت اجتماعی و سازمان فضایی متعادل در شهرها مدد خواهد رساند. در چنین شرایطی است که کاربری های ضروری چون ایستگاه های آتش نشانی بر حسب میزان خطر در بافت های تاریخی در مکان های مطلوب استقرار پیدا می کنند تا در زمان وقوع بحران بتوانند با کمترین خسارت و تلفات امداد رسانی کنند.

در نتیجه می توان گفت، توزیع نامناسب عناصر کالبدی و کاربری های شهری، شبکه ی ارتباطی ناکارآمد، بافت شهری فشرده، تراکم های شهری بالا، وضعیت نامناسب استقرار تأسیسات زیربنایی شهری و کمبود فضاهای باز شهری نقش خاصی در افزایش میزان آسیب های وارده به شهرها در برابر زلزله دارند [۳۶] که بعضی از آن ها در زیر توضیح داده شده است:

- بافت و فرم شهر: بافت شهری به منزله ی یکی از عناصر مهم ساختار شهری در برابر آسیب های ناشی از زلزله سهم بسزایی ایفا می کند، به گونه ای که بافت های منظم و پیوسته بیشتر از نامنظم و پیوسته از درجه ی ایمنی بالایی برخوردارند [۳۷].
- آسیب پذیری نواحی با توجه به فضای باز شهری: فضای باز، نقش مهمی در کاهش وسعت میزان عمل و نتایج اکثر حوادث طبیعی دارد. فضای باز می تواند در مواقع اضطراری به عنوان یک فضای باز در دسترس برای فرار و استقرار و پناه گرفتن مطرح شود و به منزله ی مرکز اسکان موقت پس از بحران در نظر گرفته می شود و باید بتواند جمعیت منطقه را پوشش دهد.
- توزیع و تقسیمات فضایی شهر: شهرها بر اساس چگونگی توزیع و ترکیب عناصرشان دارای ساختارهای گوناگونی هستند. شهرهای تک مرکز بر اساس شکل و فرم بافت خاصشان نسبت به شهرهای چند مرکزی با تقسیمات کالبدی (کوی، محله، ناحیه، منطقه) از مقاومت کمتری برخوردارند.

- کاربری اراضی و تراکم‌های شهری: برنامه‌ریزی بهینه‌ی کاربری‌های اراضی شهری نقش مهمی در کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله دارد. هرگاه در تعیین کاربری اراضی شهری همجواری و اصول سازگاری بین آن‌ها رعایت گردد، امکان تخلیه‌ی سریع و پیشگیری از بروز حوادث ثانویه ناشی از بروز بلایا فراهم می‌گردد. برخی کاربری‌ها مانند بیمارستان‌ها، مخازن سوخت، مراکز امداد و آتش‌نشانی، شبکه‌های دسترسی و ... را به منزله‌ی کاربری‌های ویژه می‌نامند که نیازمند توجه خاص برای حفاظت در برابر بلایای طبیعی هستند [۳۶].

- تراکم بافت: هر چه نسبت سطح ساخته شده به سطح کل زمین در هر ناحیه بیشتر باشد، تراکم بافت بیشتر می‌شود و این امر باعث افزایش آسیب‌پذیری فضای باز در اثر ریزش آوار گردیده، و در نتیجه موجب افزایش تعداد تلفات و مصدومان و کاهش امکان اسکان موقت بعد از وقوع زلزله می‌شود.

- تراکم جمعیت: اهمیت تراکم از آنجا که ترتیب زمانی آثار زلزله به صورت: لرزش‌های شدید زمین - تحریک - تلفات است، می‌تواند در آخرین مرحله از وقوع بحران بسیار تعیین‌کننده باشد [۳۸].

- شبکه‌ی ارتباطی: به طور کلی شبکه‌ی ارتباطی کارآمد می‌تواند صدمات ناشی از زلزله را کاهش دهد. شبکه‌ی ارتباطی کارآمد شبکه‌ای است که دارای عرض بیشتر است، و سطح آن نسبت به سطح ساخته شده بیشتر باشد. همچنین با شبکه‌ی خارج از شهر در ارتباط بوده و پیچ و خم کمتری داشته باشد.

- کاربری‌های حساس: کاربری‌های حساس کاربری‌هایی هستند که به دلیل خطرزا بودن می‌توانند باعث افزایش دامنه‌ی بحران شوند مانند کارخانجات صنایع، مخازن سوخت، تأسیسات شهری و ... یا کاربری‌های پرجمعیتی هستند که در صورت آسیب دیدن خسارات جانی فراوانی را موجب می‌شوند مانند مرکز آموزشی، اداری و تجاری [۳۶].

می‌توان نتیجه گرفت برنامه‌ریزی و طراحی شهری باید کاربری‌های شهری را به صورتی جانمایی کند که این کاربری‌ها اولاً به صورت سکونتگاه‌های ایمن در برابر زلزله عمل نمایند، ثانیاً شرایط لازم برای اجرای هر چه بهتر طرح مدیریت بحران را تسهیل نماید. چرا که اثرات زیانبار حادث شده از زلزله معمولاً شامل آسیب‌های کالبدی، اختلالات عملکردی و تلفات جانی است. وضعیت بد استقرار عناصر کالبدی و کاربری‌های نامناسب زمین شهری، شبکه‌ی ارتباطی ناکارآمد در شهر، بافت شهری فشرده، تراکم بالای شهر، وضعیت بد استقرار تأسیسات زیربنایی شهر و کمبود و توزیع نامناسب فضاهای باز شهری و مواردی از این قبیل نقش اساسی در افزایش آسیب‌های وارده دارد و کاهش و مدیریت آن وابسته به برنامه‌ریزی شهری، تصمیم‌گیری، اجرا و نظارت آن در قالب قانون‌گذاری است. افزون بر این امور نباید از ابعاد اجتماعی و زیرساختی مسئله نیز غافل گردید. علی‌رغم وجود اهرم‌های قانون‌گذاری، شیوه‌های قانون‌گریزی به علت عدم درک شرایط بحرانی و تلفات ناشی از آن در شهرها از عوامل اصلی ضرورت بخش به تشویق و فرهنگ‌سازی در میان اجتماعات شهری است. اقدامی

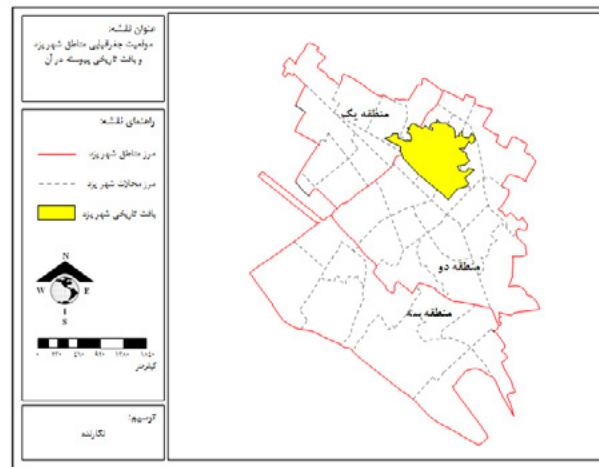
که با ارتقای سطح زیرساخت‌ها و خدمات مورد نیاز در شرایط بحرانی و تسهیل امداد مردم بحران‌زده می‌تواند زمینه‌ساز افزایش اعتماد مردمی به مدیران شهری و توفیق آن‌ها در امر کاهش آسیب‌پذیری شهری باشد. بر این اساس می‌توان اهم متغیرهای عملکردی مدیران شهری در زمینه‌ی کاهش آسیب‌پذیری را در چهار بعد تدوین و تشریح نمود. به عبارتی مدیران شهری در چهار بعد قانون‌گذاری، فرهنگ‌سازی، برنامه‌ریزی و طراحی شهری، ارائه‌ی خدمات و زیرساخت‌های مناسب می‌توانند به کاهش آسیب‌پذیری بافت شهرها کمک کنند [۳۹].

بررسی ویژگی‌های بافت تاریخی شهر یزد

بافت تاریخی یزد اولین شهر خشت خام دنیا و دومین شهر دارای بافت تاریخی بعد از ونیز ایتالیا در جهان است و در حال حاضر دست نخورده‌ترین بافت تاریخی کشور به شماره ۱۵۰۰ فهرست ملی ثبت شده است [۴۰].

شهر یزد در میان شهرهای تاریخی ایران، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است جمعیت بافت تاریخی براساس آخرین سرشماری مرکز امار ایران ۴۳۸۵۱ نفر گزارش شده است و سهمی معادل ۱۰ درصد از کل جمعیت شهر را به خود اختصاص داده است. شناخت بافت تاریخی براساس تقسیمات کالبدی (برزن) انجام یافته است. بافت تاریخی یزد شامل ۹ برزن است: شبخداد، دولت‌آباد، گودال مصلی، فهادان، گنبد سبز، گازرگاه، شش بادگیر، زرتشتی‌ها، پشت باغ [۴۱].

بافت تاریخی یزد با مساحت عرصه‌ی ۷۵۱ هکتار گسترده‌ترین بافت تاریخی ایران محسوب می‌شود که دربرگیرنده‌ی ۷۷ محله در قالب ۹ برزن است. در تحلیل و بررسی ترکیب بافت قدیمی شهر یزد و سایر شهرهای مشابه که از وضعیت گرم و خشک برخوردارند، ذکر این نکته دارای اهمیت است که عامل آب و هوا در شکل منطقی بخشیدن به بافت آن‌ها و ترکیب معماری این نواحی نقش اساسی را دارا بوده است [۴۲]. بافت کالبد تاریخی یزد پدیده‌ای گسترده و پیچیده است. این بافت از زیرسیستم‌های گوناگونی به وجود آمده است، مانند: دانه‌ها، بلوک‌ها، سوپر بلوک‌ها، بخش‌ها و کاربری اراضی بافت و رابطه‌های درونی و بیرونی آن‌ها، که در محیط ساخت سیستم بافت کالبد تاریخی شهر یزد و زیرسیستم‌های آن، از نظامی سلسله‌مراتبی تبعیت دارند [۴۳]. استقرار نیمی از نشانه‌های شهری در بافت تاریخی شهر یزد، حاکی از آن است که بافت تاریخی و عناصر موجود در آن به منزله‌ی ریشه‌ی هویت بخش و تعریف‌کننده‌ی اصل شهر، جایگاه ویژه‌ای نزد ساکنان شهر دارند، از طرف دیگر بافت‌های جدید شهر که طی دهه‌های اخیر شکل گرفته‌اند، نتوانسته‌اند به اندازه‌ی بافت تاریخی، هویت مندی و ساختارسازی ذهنی نزد شهروندان یزدی داشته باشند [۴۴].



تصویر ۱: محدوده بافت تاریخی شهر یزد [نگارندگان، ۱۳۹۶]



تصویر ۲: نوع مصالح بناها در بافت تاریخی شهر یزد [مهندسين مشاور آرمان شهر، ۱۳۹۰]

ویژگی های کیفی واحدهای مسکونی در بافت تاریخی شهر یزد

کیفیت مسکن از نظر تأثیری که بر سلامت، ایمنی و شرایط مناسب زیستی برجای می گذارد، تأثیر مستقیم با درجه ی توان مالی و درآمد مردم دارد. این شاخص شامل عواملی همچون نوع مصالح، کیفیت و عمر بنا، عمر ساختمان، شیوه های فناوری ساخت و تأسیسات مورد نیاز است.

۱. نوع مصالح ساختمانی

یکی از عناصر عمده در ساخت مسکن، مصالح مورد استفاده است که در کیفیت و دوام آن ها تأثیر تعیین کننده ای دارد. انتخاب مصالح با توجه به اوضاع اقلیمی و وضعیت تولید مصالح و سبک معماری آن در احداث واحدهای مسکونی اهمیت بسزایی دارد. نوع مصالح ساختمانی به کار رفته در ساختمان های شهر یزد از اسکلت فلزی تا خشت و گل متفاوت است.

در بافت تاریخی در سال ۱۳۴۵ در حدود ۸۹/۱ درصد واحدهای مسکونی از خشت و گل بوده اند که در سال ۱۳۹۰ به ۴۸/۳ درصد کاهش یافته اند و همچنین درصد واحدهای ساخته

شده از آجر و آهن از ۸/۷ درصد به ۵۱/۶ درصد افزایش یافته است (جدول ۱)، (تصویر ۲).

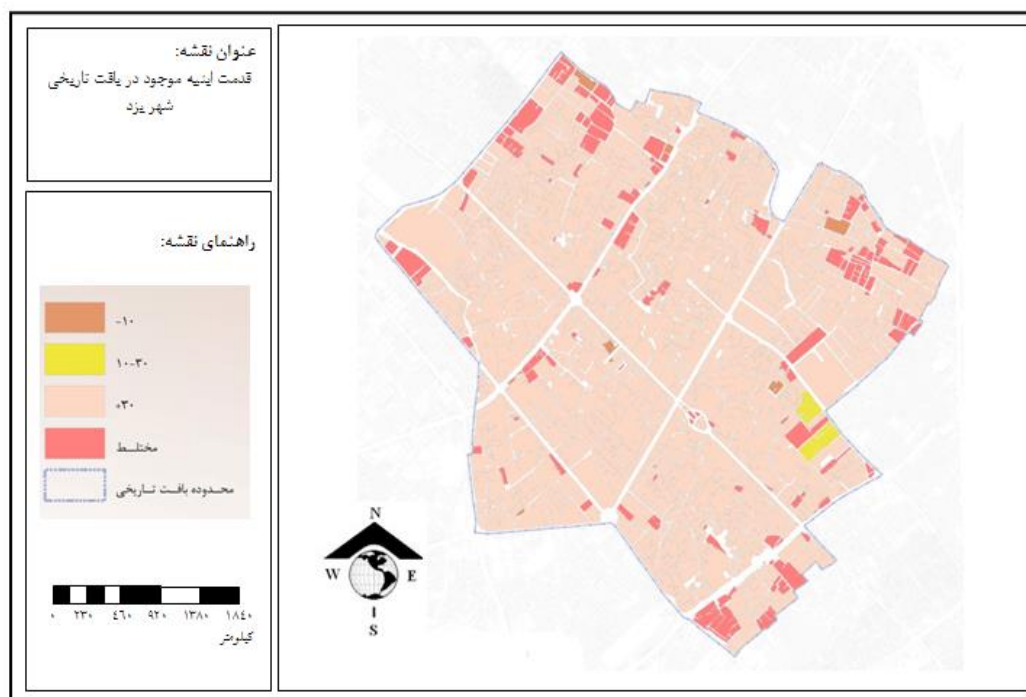
۲. میانگین عمر بناها

یکی از شاخص هایی که در بررسی و ارزیابی کیفی بناها اهمیت دارد، عمر ساختمان و سال اتمام بنا است که نشان می دهد چند درصد از بناهای موجود از نظر این شاخص، قابلیت سکونت دارد و چند درصد به دلیل اتمام عمر مفید بنا از رده ی سرمایه های موجود خارج می گردد. البته در قابلیت سکونت ساختمان ها عوامل و مؤلفه های مهم دیگری چون سیستم های تهویه ی مطبوع، سیستم های سرمایش و گرمایش، میزان نورگیری، جهت ساختمان ها و ... نقش دارند.

در بافت تاریخی شهر یزد ۹/۴ درصد بناها کمتر از پنج سال، ۱۱/۶ درصد ساختمان ها ۵ تا ۹ سال، ۱۵/۲ درصد ۱۰-۲۹ سال، ۲۶/۲ درصد ۳۰-۵۹ سال و ۳۷/۶ درصد بیش از ۶۰ سال قدمت دارند. در محله های بافت تاریخی نیز قدمت بناها متفاوت است (نقشه ی ۳).

جدول ۱: مقایسه‌ی نوع مصالح به کار رفته در بافت تاریخی شهر یزد [مهندسين مشاور آرمانشهر، ۱۳۹۰]

نوع مصالح	خشت و گل		اجر و آهن		اجر و تیرچه و بلوک		ترکیبی و سایر		جمع	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
۱۳۴۵ ^(۱)	۱۰۵۴۹	۸۹/۱	۱۰۲۹	۸/۷	۸۱	۰/۷۶	۱۷۹	۱/۴۴	۱۱۸۳۸	۱۰۰
۱۳۸۵ ^(۲)	۶۰۰۳	۵۳/۵۶	۴۶۶۰	۴۱/۶	۱۰۱	۰/۹	۴۳۶	۳/۹	۱۱۲۰۰	۱۰۰



تصویر ۳: قدمت ابنیه‌ی موجود در بافت تاریخی شهر یزد [مهندسان مشاور آرمانشهر، ۱۳۹۰]

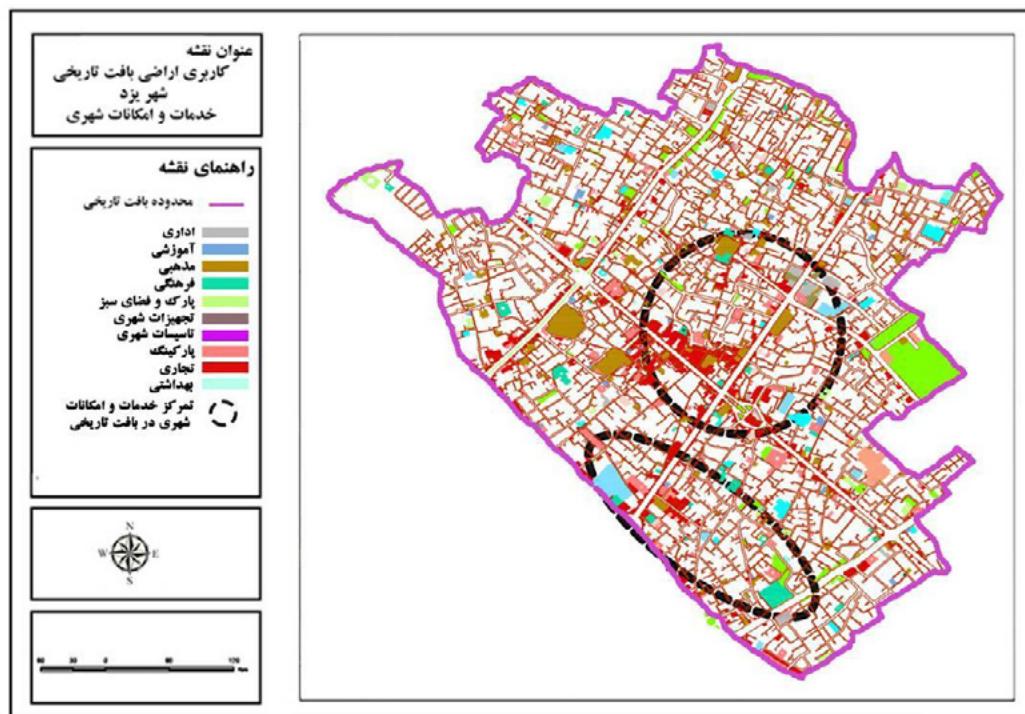
۳. کیفیت بناها

یکی دیگر از معیارهای مورد استفاده در بررسی وضعیت مسکن، کیفیت بنا است. بناها از نظر کیفی به نوساز، مرمتی، تخریبی و با ارزش قابل تفکیک است. در بافت تاریخی شهر یزد از کل واحدهای مسکونی موجود ۲/۶ درصد با ارزش، ۴۸/۸ درصد مرمتی، ۳۴/۱ درصد نوساز و ۱۴/۵ درصد تخریبی و مخروبه بوده است. در میان محله‌های بافت تاریخی در محله گنبد سبز، بیشترین حرکت نوسازی و مرمت در جریان بوده است. در این محله ۴۳/۱ درصد از ساختمان‌ها نوسازی و مرمت شده‌اند. بیشترین درصد ساختمان‌های با ارزش در محله گازرگاه ۹/۷ درصد، بیشترین ساختمان‌های مرمتی در محله شش بادگیری ۵۹ درصد، بیشترین ساختمان‌های تخریبی در محله گنبد سبز ۱۵/۴ درصد و بیشترین ساختمان‌های مخروبه در محله شش بادگیری ۱۲ درصد قرار دارند.

توزیع خدمات و امکانات شهری در بافت تاریخی شهر یزد

از جمله عواملی که باید برای اجرای عدالت اجتماعی در برنامه‌ریزی شهری رعایت کرد، توزیع متناسب خدمات شهری و

استفاده‌ی صحیح از فضاها است. در این خصوص خدمات شهری عوامل مؤثری هستند که با ارضای نیازهای جمعیتی، افزایش منافع عمومی و توجه به استحقاق افراد می‌توانند عدالت اجتماعی - اقتصادی و فضایی را در مناطق شهر برقرار نمایند. لذا نبود توزیع مناسب خدمات شهری نه تنها منجر به نبود توازن جمعیت در شهر می‌گردد، بلکه فضاهای شهری را متناقض با عدالت از نظر ابعاد اجتماعی و اقتصادی شکل می‌دهد. چرا که رابطه‌ی تنگاتنگی بین عدالت فضایی و تسهیلات عمومی شهری وجود دارد. از این رو تحقق عدالت فضایی منوط به وجود تسهیلات شهری و توزیع عادلانه‌ی آن‌ها در فضاهای شهری و دسترسی آسان شهروندان به آن است [۴۶]. بافت تاریخی شهر یزد با جمعیت ۴۲۸۵۱ نفر و تراکم خالص آن ۲۲ نفر در هکتار و تراکم ناخالص آن ۶۳ نفر در هکتار نیازمند خدمات و امکانات شهری متناسب با این میزان جمعیت است. بررسی سطح و سطوح کاربری اراضی در بافت تاریخی نشان می‌دهد از بین کاربری‌های خدماتی بافت، کاربری‌های ورزشی و تأسیسات شهری با کمبود سرانه مواجه هستند. همچنین از بین کاربری‌های شهری کاربری تفریحی پذیرایی و بهداشتی با ۰/۶۹ و ۰/۱۷ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین میزان سطوح اراضی شهری را به خود اختصاص داده‌اند.



تصویر ۴: کاربری اراضی بافت تاریخی شهر یزد [مهندسان مشاور آرمانشهر، ۱۳۹۰]

زلزله است که آن را نیازمند ملاحظات برنامه‌ریزی و طراحی شهری همساز با مدیریت بحران می‌نماید.

بررسی دیدگاه‌های متخصصان در آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد

اگر کاربری‌ها در ساختار شهری به گونه‌ای توزیع شوند که سبب نبود تمرکز در نقاط ثقل شهری و مناطق حساس درونی شهر گردند، می‌توان انتظار داشت در فرایند چرخه‌ی مدیریت بحران علاوه بر کاهش آسیب‌پذیری شهر در برابر بلایای طبیعی در فرایند امداد و حتی بازسازی پس از سانحه نیز تأثیرگذار باشد. در این میان بسیاری از کاربری‌های اراضی شهری نقش اساسی در کاهش میزان و گستره‌ی آسیب‌پذیری شهر دارند که تحت عنوان کاربری ویژه از آن‌ها یاد می‌شود. این کاربری‌ها شامل مدارس، دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها، مراکز امداد رسانی، مراکز مدیریت شهری و کارخانجات و مخازن سوخت می‌شوند. در این رابطه، مدارس و ادارات و دانشگاه‌ها به دلیل حجم انبوه جمعیت درون آن‌ها و کارخانجات و مخازن سوخت به دلیل ایجاد خطرات احتمالی برای مناطق اطراف و کاربری‌های همجوار و مراکز امداد رسانی و بیمارستان‌ها به دلیل نقش کلیدی در فرایند درمانی و نجات و امداد آسیب‌دیدگان از حساسیت و اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌شوند که باید در نحوه‌ی همجواری کاربری‌های درونی شهر و مکان‌یابی و همچنین نحوه‌ی استقرار آن‌ها دقت نظر لازم به عمل آید.

در این میان توزیع متعادل و متناسب و مکان‌گزینی برخی از کاربری‌های شهری مانند مراکز امداد رسانی و مدیریت بحران و بیمارستان‌ها در ساختار شهری دارای چنان اهمیتی می‌شود که

می‌توان گفت به لحاظ توزیع مناسب خدمات همواره بین بافت تاریخی شهر یزد با سایر بافت‌های شهری شکاف زیادی وجود دارد و این امر به منزله‌ی نبود عدالت توزیعی در بخش خدمات شهری در این بافت است. علاوه بر این نبود فضاهای باز مورد نیاز در کنار ناسازگاری کاربری‌ها و همچنین سطح زیاد معابر کم عرض در بافت در مقایسه با سایر بخش‌های شهر یزد حساسیت و شکنندگی این بافت را در برابر بحران‌هایی مانند زلزله دوچندان می‌کند چرا که در هنگام وقوع بحران زلزله در این بافت عملاً امکان خدمات‌رسانی مطلوب وجود نخواهد داشت. نکته‌ی مهم دیگر وجود سطح زیاد مراکز مذهبی در این بافت است که در زمان برگزاری انواع مراسم مذهبی بالاترین میزان تراکم جمعیت را دارند و لازم است در کنار چنین مراکزی و همچنین مراکز بهداشتی و درمانی فضاهای باز مورد نیاز در نظر گرفته شود. بر اساس یافته‌های تحقیق در بافت تاریخی شهر یزد در سطح زیاد ۱۷/۶ درصد و در سطح خیلی زیاد ۳۵/۳ درصد کاربری‌های موجود، سازگار نیستند و این امر می‌تواند منجر به ایجاد بحران‌های جدیدی چون آتش‌سوزی‌های گسترده در سطح بافت تاریخی در هنگام وقوع زلزله گردد و عملاً منجر به شدت و وخامت بیشتر بحران گردد، از این رو دسترسی به فضاهای باز در محدوده‌های پرتراکم بافت می‌تواند شرایط لازم برای اسکان موقت در حین و پس از بحران زلزله را به نحو مطلوب فراهم سازد. می‌توان گفت در وضعیت موجود به دلیل عدم وجود نظام کاربری منطبق با مدیریت بحران، عدم وجود شبکه‌های شربانی لازم به ویژه شبکه‌های ارتباطی کارآمد و دارای سلسله‌مراتب، فرسودگی شدید کالبدی و ناپایداری ساختاری، بافت تاریخی شهر یزد به منزله‌ی یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق کشور در هنگام بحران

جدول ۲: میزان تأثیرگذاری هر یک از معیارهای آسیب‌پذیری بافت تاریخی یزد [برداشت میدانی، ۱۳۹۵]

شاخص‌ها	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
الگوهای قطعه‌بندی نامنظم	۱۱/۸	۵/۹	۳۵/۳	۴۱/۲	۵/۹
نسبت طول زیاد معابر به عرض آن‌ها	۰	۵/۹	۱۱/۸	۵۲/۹	۲۹/۴
فرسودگی زیرساخت‌های آب و برق و ..	۰	۰	۱۱/۸	۳۵/۳	۵۲/۹
تراکم ساختمانی زیاد در بافت	۰	۰	۲۳/۵	۵۲/۹	۲۳/۵
نماهای همگن، بسته‌تر و متقارن‌تر	۱۱/۸	۲۹/۴	۳۵/۳	۱۷/۶	۵/۹
وجود حیاط مرکزی در واحدهای مسکونی	۱۷/۶	۳۵/۳	۱۱/۸	۳۵/۳	۰
استفاده از خشت و گل در ساختار بنا	۰	۵/۹	۱۷/۶	۳۵/۳	۴۱/۲
رعایت نکردن مفاد آیین‌نامه ۲۸۰۰	۰	۰	۵/۹	۲۳/۵	۷۰/۶
کمتر بودن سطح معبرها به سطح ساخته شده	۰	۱۱/۸	۱۷/۶	۴۱/۲	۲۹/۴
مشکلات تردد ناشی از تقاطع‌های غیراستاندارد	۰	۰	۵/۹	۶۴/۷	۲۹/۴
وجود بن‌بست‌ها	۰	۰	۱۷/۶	۴۷/۱	۳۵/۳
انطباق شبکه‌های ارتباطی بافت تاریخی با گسل شمال یزد	۰	۵/۹	۱۷/۶	۴۱/۲	۲۹/۴
زیاد بودن نسبت عرض یک معبر به ارتفاع بدنه‌ی آن	۵/۹	۵/۹	۱۷/۶	۴۷/۱	۲۳/۵
آسیب‌پذیری جداره‌ی فضاهای باز در آسیب‌پذیری بافت	۵/۹	۵/۹	۱۷/۶	۵۲/۹	۱۷/۶
تناسبات فضایی در فضاهای باز موجود در بافت	۰	۲۳/۵	۳۵/۳	۲۹/۴	۱۱/۸
سلسله‌مراتب فضایی در بافت تاریخی	۵/۹	۱۱/۸	۴۷/۱	۲۳/۵	۱۱/۸
تناسب نداشتن مساحت فضاهای باز با جمعیت تحت پوشش	۵/۹	۵/۹	۵/۹	۴۷/۱	۳۵/۳
نبود فضای باز در بافت تاریخی	۵/۹	۱۱/۸	۴۷/۱	۲۳/۵	۱۱/۸
وجود بناهای مخروبه در بافت تاریخی	۲۳/۵	۵/۹	۰	۴۷/۱	۲۳/۵
تراکم بالای خانوار در واحد مسکونی	۵/۹	۵/۹	۱۷/۶	۴۷/۱	۲۳/۵
همگون‌تر بودن جامعه از نظر فرهنگی	۲۳/۵	۳۵/۳	۲۳/۵	۱۱/۸	۵/۹
تراکم اقشار آسیب‌پذیر (کودکان، افراد مسن و زنان)	۱۱/۸	۵/۹	۱۱/۸	۵۲/۹	۱۷/۶
همجواری کارگاه‌های اقتصادی با واحدهای مسکونی	۱۳/۳	۱۸/۷	۱۴/۳	۱۷/۵	۳۶/۲
پایین بودن توان اقتصادی ساکنان در نوسازی ساختمان‌ها	۱۰/۶	۱۳/۸	۱۱/۶	۳۶/۱	۲۷/۹
پایین بودن رونق اقتصادی بافت به لحاظ استقرار کاربری‌های خدماتی	۵/۴	۱۰/۵	۱۸/۲	۲۹/۳	۳۶/۶

کالبدی

جمعیتی

اقتصادی

توزیع آن‌ها در سطح شهر نقشی اساسی در کاهش آسیب‌پذیری شهر در برابر بلایای طبیعی دارد. این امر از آن جهت است که فضاهای باز می‌توانند به‌منزله‌ی محلی برای پناه‌گیری اسکان موقت و جمع‌آوری مصدومان و کمک‌های مردمی عمل کنند و هر اندازه این فضاها دارای ارتباط مستقیم و نزدیک‌تری با مناطق مسکونی باشند و مسیرهای ارتباطی آن‌ها قابل دسترسی و سهل الوصول‌تر باشد بر افزایش ایمنی شهر در برابر سوانح طبیعی تأثیر مثبت دارد. هر اندازه درجه‌ی محصوریت این فضاها کمتر باشد مقاومت شهر در برابر بلایای طبیعی افزایش چشمگیری می‌یابد.

از سوی دیگر، آسیب دیدن تأسیسات زیربنایی می‌تواند تلفات ناشی از بلایای طبیعی را در یک شهر افزایش دهد. همچنین آسیب دیدن شبکه‌ی گاز می‌تواند سبب نشت گاز در فضا شده و آتش‌سوزی‌های بزرگی را ایجاد کند که نمونه‌ی آن در زلزله‌ی کوبه اتفاق افتاد.

نتایج بررسی شاخص‌ها بر اساس جدول (۲۰-۴) نشان می‌دهد الگوی قطعه‌بندی نامنظم در حدود ۵۰ درصد تأثیر زیاد و خیلی زیادی در آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله دارد. قطعه‌بندی نامنظم غالباً بیانگر رشد ارگانیک منطقه و

باید در رابطه با مکان و مسیرهای ارتباطی با این کاربری‌ها دقت نظر لازم صورت گیرد چنانچه نمی‌توان انتظار داشت بدون توجه کافی و تدقیق نظر در رابطه با مکان‌یابی و استقرار این کاربری‌ها در شهر بتوان اقدامات مداخلاتی بهینه و کارآمدی در رابطه با مدیریت بحران و نجات و امداد آسیب‌دیدگان صورت داد. در این رابطه نیز ضروری است تا با تخصیص اراضی بدون شیب و هموار در ارتباط مستقیم و بلاواسطه با شبکه‌ی معابر و در عین حال عدم همجواری با مناطق آسیب‌پذیر شهری برای انتقال و اعزام مناسب آسیب‌دیدگان به این مراکز و یا عدم ایجاد توده‌ها و گره‌های ترافیکی در نقاط همجوار آن‌ها آسیب‌پذیری شهر در برابر سوانح طبیعی و زلزله را تا حد ممکن کاهش داد و در نتیجه موجبات افزایش درجه‌ی ایمنی شهر در برابر خطر بلایای طبیعی را افزایش داد.

فضاهای باز شهری از دیگر کاربری‌های اساسی شهر به شمار می‌رود که می‌تواند در فرایند مدیریت بحران و اقدامات مداخلاتی پس از وقوع سانحه مانند نجات و امداد و حتی اسکان موقت ابتدایی پس از سانحه به‌منزله‌ی فضاهای پشتیبان عمل نماید. بر همین اساس است که کمیت و کیفیت فضاهای باز شهری و نحوه‌ی

جدول ۳: ماتریس مقایسه‌ی زوجی و وزن خوشه‌ها [نگارندگان، ۱۳۹۵]

عنوان	جمعیتی	اقتصادی	کالبدی	وزن نسبی	وزن نهایی
جمعیتی	۱	۱/۳۸	۳	۰/۶۳۷	۰/۱۱۷
اقتصادی	۲/۶۴	۱	۱/۲۱	۰/۷۰۴	۰/۱۰۳
کالبدی	۳/۴۶	۳/۴۱	۱	۰/۸۴۸	۰/۲۳۱

جدول ۴: نرخ ناسازگاری مدل شبکه‌ای ANP [نگارندگان، ۱۳۹۵]

شاخص‌ها	جمعیتی	اقتصادی	کالبدی	متوسط نرخ سازگاری
نرخ ناسازگاری	۰/۰۳۲۵۴۱	۰/۰۵۱۲۴۱	۰/۰۱۲۵۴۷	۰/۰۳۲۱۰

در این پژوهش معیارها در سه خوشه شامل خوشه‌های جمعیتی، اقتصادی و کالبدی که هر یک از آن‌ها دربرگیرنده‌ی تعدادی عناصر تأثیرگذار هستند قرار گرفته‌اند، به گونه‌ای که علاوه بر ارتباط درون‌گروهی، در بین خوشه‌ها نیز وابستگی وجود دارد (جدول ۳).

مقایسه‌های زوجی و ماتریس مربوط به همه‌ی معیارها و خوشه‌ها با استفاده از مقیاس‌های تعیین ارجحیت یا اهمیت در هر قضاوت به وسیله‌ی اعداد ۱ تا ۹ مشخص می‌گردد. گفتنی است مقایسه‌ی زوجی برای کلیه‌ی معیارها و گزینه‌ها انجام می‌شود. در جدول ۳ نتایج مقایسه‌های زوجی در مدل تحلیل شبکه برای آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله و مؤلفه‌های تأثیرگذار در حوزه‌ی مدیریت بحران آمده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، نرخ ناسازگاری قضاوت انجام شده برابر با ۰/۰۳۲۱۰ است. در این روش مقدار ناسازگاری نباید از ۱ بیشتر باشد. این میزان از خطا با در نظر گرفتن تعداد زیاد قضاوت‌ها و خطای ناشی از نظرسنجی پذیرفتنی است (جدول ۴).

با توجه به اینکه برخی عناصر درون خوشه‌ها ممکن است به عناصر سایر خوشه‌ها وابسته باشند، در این صورت با توجه به معیارهای کنترل ماتریس مقایسه‌ی زوجی تشکیل شده و عناصر ماتریس دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و وزن ماتریس به دست می‌آید و نتیجه وارد سوپر ماتریس اولیه می‌شود. سوپر ماتریس

عدم وجود شبکه‌ی شهری منظم و غالباً با معابر باریک و پیچ در پیچ است که در هنگام وقوع زلزله منجر به قطع ارتباط کامل با بافت تاریخی به منظور نجات و امداد می‌شود.

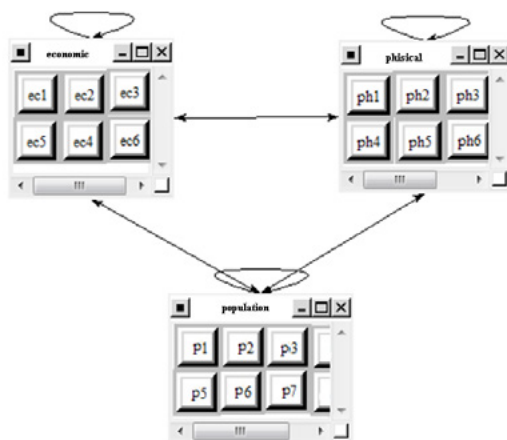
بررسی نسبت طول زیاد معابر به عرض آن‌ها در بافت تاریخی یزد به خوبی بیانگر الگوی قطعه‌بندی نامنظم است چرا که در حدود ۸۲/۳ درصد از متخصصان به این امر در سطح زیاد و خیلی زیاد به منزله‌ی عامل مؤثر در آسیب‌پذیری بافت تاریخی این شهر اشاره کرده‌اند، بنابراین لازم است طرح تعریض این بافت با در نظر گرفتن مؤلفه‌هایی چون حفظ هویت تاریخی و حفاظت از تک بناهای ارزشمند در این بافت مدنظر قرار بگیرد.

از سوی دیگر از آنجایی که بافت تاریخی شهر یزد دارای قدمت زیادی است یکی از مهم‌ترین مشکلات این بافت فرسودگی زیرساخت‌های آب و فاضلاب و برق است که در هنگام وقوع زلزله به شدت و ابعاد آسیب‌پذیری بافت خواهد افزود.

از بررسی جدول ۲ می‌توان گفت نقش تراکم ساختمانی زیاد در بافت تاریخی در سطح زیاد و خیلی زیاد است. استفاده از خشت و گل در ساختار بناهای موجود در سطح زیاد و خیلی زیاد یعنی ۷۶/۵ درصد در آسیب‌پذیری بافت تاریخی تأثیرگذار است. ۹۴/۱ درصد از متخصصان در سطح زیاد و خیلی زیاد رعایت نکردن مفاد آیین‌نامه ۲۸۰۰ را مؤثر در آسیب‌پذیری بافت تاریخی در هنگام وقوع زلزله می‌دانند.

اولویت‌بندی عوامل مهم تأثیرگذار در شدت آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله با استفاده از مدل ANP

آنچه تاکنون مورد بررسی قرار گرفت معیارهای جمعیتی، اقتصادی و کالبدی بود که هم بر اساس اسناد و مدارک و هم از دیدگاه متخصصان مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که هدف این پژوهش، شناسایی شاخص‌های تأثیرگذار در آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله است، در ارتباط با آسیب‌پذیری بافت تاریخی، معیارهای مورد مطالعه در سه شاخص اصلی در نظر گرفته شده است. به گونه‌ای که با ایجاد ارتباط درون‌گروهی و برون‌گروهی بین عناصر و شاخص‌ها، تأثیرات هر یک از عناصر در آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر مشخص می‌شود. (تصویر ۵).



تصویر ۵: روابط بین خوشه‌های آسیب‌پذیری بافت تاریخی [نگارندگان، ۱۳۹۵]

جدول ۵: وزن نهایی شاخص‌های مورد مطالعه‌ی آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله [نگارندگان، ۱۳۹۵]

شاخص‌های تحقیق	وزن عمومی	وزن خوشه‌ها	وزن نهایی
جمعیتی	۰/۶۳۳	۰/۱۱۷	۰/۰۷۴۰
اقتصادی	۰/۴۰۵	۰/۱۰۳	۰/۰۴۱۷
کالبدی	۰/۹۵۶	۰/۲۳۱	۰/۲۲۰۸

حاصل از تلفیق ماتریس‌های مختلف، سوپر ماتریس اولیه است که جمع عناصر هر ستون سوپر ماتریس بیش از یک است.

در مرحله‌ی بعد، سوپر ماتریس نرمال می‌شود و سوپر ماتریس حاصله از آن سوپر ماتریس وزنی است و نهایتاً برای همگرا شدن سوپر ماتریس وزنی، عناصر موجود در معیارها آن قدر به توان می‌رسند تا همگرا شوند. در آخرین مرحله وزن نهایی معیارها محاسبه شده است، که در این مرحله جدول سوپر ماتریس حد وزن عمومی بر حسب برابر بودن اعداد عناصر در سطرها ذکر نگردیده و تنها عدد حاصله در جدول ۵ در قالب وزن نهایی بیان شده است.

نتایج حاصل از مدل تحلیل شبکه نشان می‌دهد، شاخص‌های کالبدی شامل عرض کم معابر، قدمت ابنیه، وجود مخروبه‌ها، کیفیت ابنیه، تراکم ساختمانی، مساحت قطعات تفکیکی، نوع مصالح، تعداد طبقات با مقدار ۰/۲۲۰ بیشترین نقش را در آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله دارد. در مرتبه‌ی بعد شاخص‌های جمعیتی مانند تراکم جمعیت، تراکم خانوار و واحدهای مسکونی، زیاد بودن تعداد کودکان، افراد مسن و زنان نقش بسیار زیادی در آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله دارند. در این میان، تراکم جمعیتی یکی از فاکتورهای مؤثر در آسیب‌پذیری است. هر چه تراکم جمعیتی بیشتر باشد، در هنگام رخداد زلزله، امکان امداد رسانی محدودتر می‌شود، چون ازدیاد جمعیت باعث کندی تردد و ترافیک می‌شود. بر اساس یافته‌های تحقیق هر گونه برنامه‌ریزی در راستای مدیریت بحران در بافت تاریخی شهر یزد باید با تأکید بر مؤلفه‌های کالبدی باشد، چرا که رعایت استانداردها در مؤلفه‌های کالبدی به مقاوم‌سازی بناها در بافت کمک خواهد کرد که در صورت وقوع زلزله مؤلفه‌های جمعیتی و ابعاد اقتصادی کمتر مورد آسیب قرار خواهند گرفت. بنابراین در تدوین مدل نهایی مدیریت بحران باید ابعاد کالبدی در چرخه‌ی مدیریت بحران نقش چشمگیرتری داشته باشد.

تدوین راهبردهایی برای کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله با استفاده از تحلیل (SWOT)

اولین قدم در تدوین راهبردهای کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله، شناسایی ابعاد و متغیرهای تأثیرگذار در افزایش شدت و ابعاد بحران زلزله است. بنابراین ابتدا باید اقدام به استخراج نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدات وضعیت بافت تاریخی شهر یزد به لحاظ نارسایی‌ها و مشکلات موجود در این بافت مبادرت گردد. در این پژوهش علاوه بر این که شاخص‌های جمعیتی، اقتصادی و اجتماعی در قالب پرسش‌نامه

مورد بررسی قرار گرفت، سؤالات بازی نیز مطرح گردید که در آن‌ها اهم مسائل و مشکلات موجود در بافت تاریخی شهر یزد بر اساس شاخص‌های مورد بررسی از دیدگاه متخصصان مطرح گردید که در تحلیل SWOT برخی از این مسائل و مشکلات در قالب شاخص‌ها و مؤلفه‌ها در تدوین راهبردها مدنظر قرار گرفته شد (جدول ۶).

با توجه به نتایج به دست آمده از داده‌های تحقیق و تجزیه و تحلیل آن‌ها هر یک از متغیرهای آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله، مقدار داده‌ها به عددی از ۱ تا ۱۰ استانداردسازی گردید. سپس قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدهای مدیریت بحران کالبدی بافت تاریخی از ۳۷ متغیر مشخص گردید. در نهایت میانگین ضریب هر یک از مؤلفه‌های SWOT در بافت تاریخی بر اساس وزن‌دهی هر یک از سؤالات توسط متخصصان محاسبه شد. برابر بررسی‌های صورت گرفته در رابطه با روند برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد، ضعف‌ها و تهدیدات با ضرایب ۹/۴۱ و ۸/۳۶ بیشترین مقدار و نقاط قوت و فرصت‌ها با ضرایب ۷/۱۳ و ۶/۵۴ کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۷).

بعد از اینکه عوامل داخلی (نقاط قوت، ضعف) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) و ضرایب هر کدام در بافت تاریخی شهر یزد مشخص گردید، درصد هر کدام از این چهار فاکتور در این بافت در جدول ۸ ارائه شده است. در ستون SWOT درصد متغیرهای وارده بر مدل در بافت تاریخی آورده شده است. سپس از این میزان چه درصدی به قوت، ضعف، فرصت و تهدید اختصاص یافته است مشخص گردیده است. نهایتاً بر اساس درصدهای محاسبه شده نوع استراتژی لازم برای کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی در هنگام وقوع زلزله ارائه شده است.

بر اساس اطلاعات جدول ۸ وضعیت بافت تاریخی شهر یزد با نقاط ضعف بی‌شماری روبه‌رو است (یعنی ۴۵/۹ درصد) این بدان معنا است که با روند برنامه‌ریزی‌های فعلی، باید تأکید بیشتر بر روی مقاوم‌سازی ابنیه‌ی موجود، ایجاد دسترسی‌های مناسب برای خدمات‌رسانی به موقع در شرایط بحرانی، اختصاص قسمت‌هایی از بافت تاریخی به فضاهای باز برای اسکان و تخلیه‌ی اضطراری در شرایط بحرانی صورت بگیرد. البته نقاط قوت هم چشمگیر است و می‌توان با تکیه بر این نقاط قوت و همچنین فرصت‌ها، اقدام به کم‌رنگ‌تر کردن نقاط ضعف و تهدیدات کرد. بنابراین با توجه به نتایج جدول ۸ استراتژی‌هایی برای نیل به برنامه‌ریزی کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد که امروزه اهمیتی استراتژیک به لحاظ ثبت جهانی این بافت و همچنین نقش بی‌بدیل این بافت ارزشمند در توسعه‌ی صنعت گردشگری دارند ارائه شده است.

جدول ۶: نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدات بافت تاریخی شهر یزد با رویکرد کاهش آسیب‌پذیری بافت [نگارندگان، ۱۳۹۵]

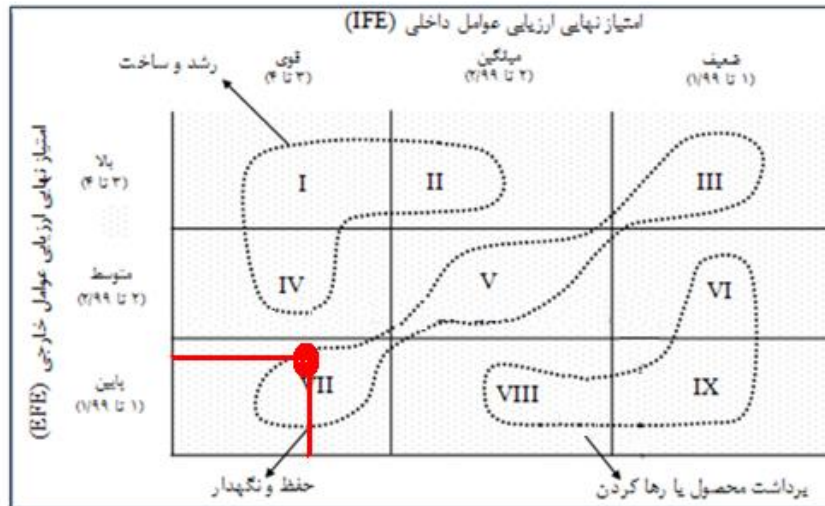
نقاط قوت (S)	نقاط ضعف (W)	ماتریس SWOT
X_1 - وجود حیاط مرکزی در اکثر واحدهای مسکونی بافت تاریخی، X_2 - اعطای تسهیلات بانکی برای نوسازی و بهسازی بافت‌های تاریخی، X_3 - بالا بودن درصد ساختمان‌های یک طبقه در بافت تاریخی، X_4 - شیب ملایم زمین‌های بافت تاریخی، X_5 - جایگاه و نقش ویژه بافت تاریخی در زمینه جذب گردشگر که عاملی برای افزایش انگیزه‌ی مسئولان و دست‌اندرکاران در زمینه‌ی توجه به مدیریت بحران زلزله در بافت می‌شود، X_6 - برگزاری آموزش‌های اولیه آشنایی با مدیریت بحران زلزله در ادارات و مدارس، X_7 - عزم شهرداری برای مشارکت در نوسازی محلات واقع در بافت تاریخی	X_8 - عدم امکان دسترسی خودروهای امدادی به قسمت‌های درونی محلات بافت تاریخی در مواقع بحران زلزله با دارا بودن ۱۳۱ هکتار پهنه‌های دارای دسترسی نامطلوب در محلات بافت تاریخی، X_9 - قرار گرفتن ۱۹۷۵۳ متر مربع سابات در مسیر معابر محلات بافت تاریخی، X_{10} - عدم دسترسی ۶۵ درصد از قطعات موجود در بافت تاریخی به معبر سواره، X_{11} - فاقد کیفیت مقاوم ۷۰ درصد از ابنیه موجود در بافت تاریخی، X_{12} - قدمت بالای ابنیه (بیش از ۶۲ درصد از ابنیه بالاتر از ۳۰ سال قدمت دارند)، X_{13} - احتمال آسیب‌پذیری بافت تاریخی با توجه به نزدیکی تر بودن آن به گسل شمالی یزد، X_{14} - فقدان مطالعات در زمینه‌ی مدیریت بحران در بافت تاریخی در هنگام وقوع بحران زلزله، X_{15} - وجود ناهمگونی در هرم سنی جمعیت و وجود افراد مسن در بافت تاریخی، X_{16} - تأمین نشدن ظرفیت مناسب برای دسترسی وسایل نقلیه‌ی اضطراری در شرایط بحران زلزله در کل بافت تاریخی شهر، X_{17} - ساختار بافت و ریزدانی پلاک‌ها، X_{18} - فقدان رویکرد ثابت مدیریت بحران زلزله در سطوح کلان مدیریتی، X_{19} - بازدهی پایین تجهیزات آتش‌نشانی شهر در بافت تاریخی، X_{20} - وجود کاربری‌های جاذب ترافیک در مقیاس فرامنطقه‌ای به‌ویژه در خیابان امام و قیام، X_{21} - آسیب‌پذیری بالای مسیرهای ارتباطی از بافت تاریخی به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی شهر، X_{22} - نبود امکان ارائه‌ی به موقع خدمات آتش‌نشانی برای دسترسی‌های نامناسب در بافت، X_{23} - وجود گره‌های ترافیکی در بافت تاریخی مانند گره ترافیکی تقاطع چهارراه شهدا، چهارراه بعثت و میدان امام رضا (ع)، X_{24} - خشت و گلی بودن بیش از ۵۰ درصد واحدهای مسکونی در بافت	ماتریس SWOT بیرونی
X_{25} - تشکیل شهرداری ناحیه‌ی تاریخی به‌منزله‌ی زیرمجموعه‌ی شهرداری مرکز، همانند شهرداری سایر مناطق، X_{26} - توسعه‌ی اندیشه‌ی ایران‌شهری و تأکید بر ساماندهی بافت تاریخی شهر، X_{27} - پیشنهاد ثبت جهانی بافت تاریخی شهر و توجه ویژه به این بافت در طرح‌های توسعه، X_{28} - وجود طرح جامع حفاظت بافت تاریخی شهر یزد، X_{29} - وجود تشکیلات نجات و امداد همچون هلال احمر در سطح شهر یزد؛	X_{30} - فقدان سیاست خرد و کلان در عرصه‌ی مدیریت بحران در ایران و در شهر یزد، X_{31} - عدم تخصیص بودجه‌ی لازم و کافی برای مدیریت در هنگام وقوع بحران زلزله، X_{32} - استقرار ناصحیح و پراکندگی غیراصولی مراکز خدمات‌رسانی در مواقع بحرانی (زلزله) در سطح شهر یزد، X_{33} - عدم شناسایی نقاط حادثه‌خیز در هنگام وقوع بحران زلزله در سطح شهر یزد و بافت تاریخی، X_{34} - ساختارهای فرا قانونی قدرت و احتمال افزایش وقوع جرایم و تخلفات در هنگام وقوع بحران زلزله، X_{35} - پراکندگی تپه‌های ماسه‌ای در اطراف شهر یزد و وزش بادهای تند و گاه طوفان همراه با دانه‌های ریز ماسه (به‌منزله‌ی یک عامل تشدید کننده)، X_{36} - عدم پایداری و مقاومت ابنیه و عدم وجود تغییر در ضوابط و نقش آن در افزایش فرسودگی بیشتر ابنیه موجود در بافت	فرصت‌ها (O) تهدیدات (T)

جدول ۷: استانداردسازی ضرایب متغیرها (از ۱۰-۱) در مدل SWOT در بافت تاریخی شهر یزد [نگارندگان، ۱۳۹۵]

تهدیدات (T)	فرصت‌ها (O)	ضعف‌ها (W)	قوت‌ها (S)	
میانگین ضریب	نام متغیرها	میانگین ضریب	نام متغیرها	میانگین ضریب
۸/۳۶	(X^6) ؛ (X^7) (X^{12}) ؛ (X^{19}) (X^{24}) ؛ (X^{27}) (X^{29})	(X^{11}) ؛ (X^{15}) ؛ (X^{17}) ؛ (X^{18})	(X^{16}) ؛ (X^{20}) ؛ (X^{21}) ؛ (X^{22}) ؛ (X^{23}) ؛ (X^{25}) ؛ (X^{26}) ؛ (X^{28})	۷/۱۳

جدول ۸: محاسبه‌ی درصد قوت و ضعف و تهدیدها و تعیین استراتژی در بافت تاریخی شهر یزد

نوع استراتژی	SWOT									عنوان
	SWOT	منفی W/T	مثبت S/O	خارجی O/T	داخلی S/W	T	O	W	S	
دوم	۸۳/۴	۶۷/۵	۳۲/۴	۳۵/۱	۶۴/۸	۲۱/۶	۱۳/۵	۴۵/۹	۱۸/۹	بافت تاریخی یزد



تصویر ۶: ماتریس استراتژی‌ها و اولویت‌های اجرایی کاهش آسیب‌پذیری در بافت تاریخی شهر یزد [نگارندگان، ۱۳۹۵]

برای پیش‌گیری و کاهش میزان خطرات احتمالی زلزله در بافت تاریخی شهر یزد صورت گرفت. نتایج بررسی‌های توصیفی از دیدگاه متخصصان نشان می‌دهد الگوی قطعه‌بندی نامنظم در حدود ۵۰ درصد تأثیر زیاد و خیلی زیادی در آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله دارد.

همچنین بررسی نسبت طول زیاد معابر به عرض آن‌ها در بافت تاریخی یزد به خوبی بیانگر الگوی قطعه‌بندی نامنظم است چرا که در حدود ۸۲/۳ درصد از متخصصان به این امر در سطح زیاد و خیلی زیاد به منزله‌ی عامل مؤثر در آسیب‌پذیری بافت تاریخی این شهر اشاره کرده‌اند.

نقش تراکم ساختمانی زیاد در بافت تاریخی نیز در سطح زیاد و خیلی زیاد است. استفاده از خشت و گل در ساختار بناهای موجود در سطح زیاد و خیلی زیاد یعنی ۷۶/۵ درصد در آسیب‌پذیری بافت تاریخی تأثیرگذار است. ۹۴/۱ درصد از متخصصان در سطح زیاد و خیلی زیاد رعایت نکردن مفاد آیین‌نامه ۲۸۰۰ را مؤثر در آسیب‌پذیری بافت تاریخی در هنگام وقوع زلزله می‌دانند.

نتایج حاصل از مدل تحلیل شبکه نشان می‌دهد، شاخص‌های کالبدی شامل عرض کم معابر، قدمت ابنیه، وجود مخروبه‌ها، کیفیت ابنیه، تراکم ساختمانی، مساحت قطعات تفکیکی، نوع مصالح، تعداد طبقات با مقدار ۰/۲۲۰ بیشترین نقش را در آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله دارد.

برابر بررسی‌های صورت گرفته در رابطه با روند برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد، ضعف‌ها و تهدیدات با ضرایب ۹/۴۱ و ۸/۳۶ بیشترین مقدار و نقاط قوت و فرصت‌ها با ضرایب ۷/۱۳ و ۶/۵۴ کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس این اطلاعات وضعیت بافت تاریخی شهر یزد با نقاط ضعف بی‌شماری روبه‌رو است (یعنی ۴۵/۹ درصد) این بدان معنا است که با روند برنامه‌ریزی‌های فعلی، باید تأکید بیشتر بر روی مقاوم‌سازی ابنیه‌ی موجود، ایجاد دسترسی‌های مناسب برای خدمات‌رسانی به موقع در شرایط بحرانی، اختصاص قسمت‌هایی از بافت تاریخی به فضاهای باز

با توجه به نتایج جدول ۸، برای ارائه‌ی برنامه‌ریزی کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد در هنگام وقوع زلزله از استراتژی غلبه کردن (این استراتژی نسبت به استراتژی نوع اول محافظه‌کارانه و منسجم‌تر است) استفاده می‌شود چرا که این استراتژی منطق خود را برای عوامل مثبت داخلی و خارجی به کار می‌گیرد تا از این طریق عوامل منفی داخلی (نقاط ضعف) را کوچک و یا کاملاً غیر فعال سازد (تصویر ۶).

نتایج تحلیل SWOT نشان می‌دهد که علاوه بر اینکه باید از استراتژی غلبه کردن بر نقاط ضعف با استفاده از نقاط قوت استفاده کرد همچنین باید از استراتژی رقابتی با توجه به قرارگیری امتیاز نهایی در خانه‌ی شماره‌ی ۷ استفاده کرد زیرا برنامه‌ریزی بر اساس یک مدل مشخص و بومی مدیریت بحران زلزله در هر منطقه با توجه به وسعت و ابعاد بافت آسیب‌پذیر آن می‌تواند زمینه‌های ساماندهی بافت تاریخی در هنگام وقوع بحران را فراهم سازد (تصویر ۶).

نتیجه‌گیری و ارائه‌ی راهبردهای کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی

آسیب‌پذیری کالبدی با مؤلفه‌هایی چون میزان قدمت بنا و نوع مصالح بیان‌کننده‌ی میزان بار تخریب و تاب‌آوری بافت تاریخی است چرا که بخش عمده‌ای از آسیب‌های ناشی از زلزله می‌تواند به علت رعایت نکردن اصول و ضوابط شهرسازی باشد که خود متأثر از بی‌توجهی به آسیب‌های کالبدی ناشی از تخمین ناصحیح آسیب‌پذیری شهرها در اثر وقوع زمین‌لرزه‌ی احتمالی است. علاوه بر این مواردی چون کم‌عرض بودن معابر و خیابان‌ها و ناسازگار با ترافیک امروزه، که حمل و نقل و ارائه‌ی خدمات و تأسیسات زیربنایی را در هنگام وقوع بحران زیاد می‌کند، فرسوده بودن بافت تاریخی و پایین بودن مقاومت مصالح در آن زمینه‌های آسیب‌پذیری بافت تاریخی را در برابر وقوع زلزله دوجندان می‌کند. این پژوهش با بررسی معیارها و شاخص‌های مؤثر در آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر یزد به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری

برای اسکان و تخلیه‌ی اضطراری در شرایط بحرانی صورت بگیرد. البته نقاط قوت هم چشمگیر است و می‌توان با تکیه بر این نقاط قوت و همچنین فرصت‌ها، اقدام به کم‌رنگ‌تر کردن نقاط ضعف و تهدیدات کرد. می‌توان گفت به‌منظور ساماندهی بافت تاریخی شهر یزد برای کاهش میزان آسیب‌پذیری این بافت در هنگام وقوع زلزله لازم است راهبردهای زیر در مراحل مختلف قبل از بحران، شروع بحران، حین بحران و بعد از بحران مورد استفاده قرار گیرد. این راهکارها عبارت است از:

- توسعه‌ی کاربری‌های امدادی در بافت تاریخی شهر یزد؛
- نهادینه کردن مدیریت بحران و ایجاد مدیریت بحران توانمند در حوادث و بلایا در بافت‌های تاریخی؛
- تهیه‌ی دستورالعمل‌های اجرایی مدیریت بحران در عرصه‌ی بهداشت، درمان حوادث و بلایا در بافت تاریخی؛
- استفاده از زمین‌های وقفی و فضاهای خالی موجود در بافت تاریخی برای مکان‌یابی و استقرار مراکز امدادرسانی و خدمات‌رسانی برای مدیریت بحران در بافت تاریخی و جلوگیری از گسترش بی‌رویه‌ی شهر؛
- اطلاع‌رسانی عمومی و تخصصی در پی شکل‌گیری و مقابله با حوادث و بلایا در شهر یزد و بافت تاریخی و آماده‌سازی ساکنان بافت برای رویارویی با شرایط اضطراری؛
- استفاده و بهره‌گیری از دانش تخصصی و تجربی مدیران اجرایی سازمان‌هایی مانند هلال احمر در زمینه‌ی مباحث نظری، آموزشی و پژوهشی مدیریت بحران در بافت تاریخی؛
- بهسازی ابنیه‌ی میراثی موجود در بافت تاریخی برای جلوگیری از متروکه ماندن آن‌ها با رویکرد کاهش آسیب‌پذیری بافت تاریخی؛
- استفاده از مصالح بادوام در ساخت و سازهای جدید با رویکرد حفظ هویت بافت تاریخی شهر با استفاده از الگوهای معماری بومی؛
- اصلاح شبکه‌های دسترسی و تعریض معابر با اختصاص حیات‌های باز واحدهای مسکونی موجود در بافت با رویکرد حفظ بناهای باارزش بافت تاریخی؛
- تعمیر و نوسازی شبکه‌های آب و گاز و برق در سطح محلات بافت تاریخی به‌منظور پیشگیری از بحران در هنگام وقوع زلزله؛
- مکان‌یابی و استقرار بهینه‌ی سازمان‌های خدمات‌رسان همچون اورژانس و خدمات درمانی در محدوده و نزدیکی بافت تاریخی؛
- حذف کاربری‌های ناسازگار مانند واحدهای کارگاهی مزاحم و انبارها از بافت مسکونی برای احتمال افزایش ابعاد و شدت بحران زلزله؛
- اصلاح کارکردی محله‌های بافت تاریخی و جبران کمبود خدمات، تجهیزات و تأسیسات زیرساختی مورد نیاز

محله‌ها با اولویت استفاده از بناهای در حال تخریب و بی‌دوام با رویکرد مدیریت بحران؛

- جلوگیری از افزایش تراکم ساختمانی و جمعیتی در بافت تاریخی؛
- تنظیم و تعادل بخشی به تراکم‌های ارتفاعی ساختمان‌ها با توجه به متغیرهایی از جمله تراکم جمعیت، وضعیت شبکه‌ی معابر، ساختمان‌های همجوار؛
- حذف یا جابه‌جایی تیرهای برق مانع امداد و نجات در مواقع بحران زلزله؛
- حذف بن‌بست‌های طولانی و کم‌عرض در بافت تاریخی؛
- مقاوم‌سازی بدنه‌های معابر که در حین زلزله باعث مسدود شدن سایر راه‌ها می‌شوند؛
- کاهش تعداد مراکز تصمیم‌گیر در زمینه‌ی بافت تاریخی در راستای اجرای برنامه‌های مرتبط با مقاوم‌سازی ابنیه در برابر زلزله؛
- ایجاد مسیرهای اضطراری در بافت به‌منظور خدمات‌رسانی سریع در مواقع بحران زلزله؛
- آموزش نحوه‌ی برخورد با بحران زلزله برای شهروندان و ساماندهی آن‌ها برای بهره‌گیری از توان‌های مشارکتی آن‌ها در هنگام وقوع بحران؛
- استفاده از فناوری‌های نوین مخابراتی از جمله ICT در عرصه‌ی مدیریت بحران به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری ناشی از بحران زلزله و امدادرسانی سریع؛
- شناسایی ابعاد مدیریتی مربوط به اسکان اضطراری و موقت و به‌کارگیری تمامی ظرفیت‌ها به‌منظور برقراری تعادل نسبی در اسکان اضطراری در هنگام وقوع زلزله؛
- توجه به نیازهای ویژه پس از وقوع سانحه برای بازگشت سریع به شرایط عادی.

منابع

۱. نکویی مقدم، محمود؛ حیدری، آرزو؛ امیراسماعیلی، محمدرضا؛ مسعود، علی (۱۳۹۵). بررسی میزان آمادگی بیمارستان‌های دانشگاه علوم پزشکی کرمان برای مقابله با بلایا، مجله‌ی تصویر سلامت، شماره‌ی ۵.
2. Santos-Reyes, Jaime, Tatiana Gouzeva, Galdino Santos-Reyes (2014). Earthquake risk perception and Mexico City's public safety, Procedia Engineering, 84.
3. Shia, Esmail (2010). Studying cities vulnerability against earthquake with the use of Inversion hierarchical weight process (IHWP) analysis method and GIS – case study of district 6 of the municipality of Tehran, Article series of the 4th International Congress of the Islamic World Geographers, Iran, Zahedan.
۴. محمودزاده، امیر؛ پیراسته، سعید؛ ایرانپور، آزاده (۱۳۹۰). آشنایی با مفاهیم مدیریت بحران، انتشارات علم آفرین، چاپ هفتم.
۵. شمس، مجید؛ معصوم پور، جعفر؛ سعیدی، شهرام؛ شهبازی، حسین (۱۳۹۰). بررسی مدیریت بحران زلزله در بافت‌های فرسوده شهر کرمانشاه. فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط، شماره‌ی ۱۳.



25. Shankar, R. and A. Shah (2003). Bridging the Economic Divide within Countries - a Scorecard on the Performance of Regional Policies in Reducing Regional Income Disparities, World Development, 31(8): 1410-1432.
26. Dufaux, F. (2008), Birth Announcement, justice Spatial, www.JSSJ.org
۲۷. شریفی، عبدالنبی (۱۳۸۵). عدالت اجتماعی و شهر، تحلیل نابرابری های منطقه ای در شهر اهواز. پایان نامه ی دوره ی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تهران.
28. Lopez, D. P. (2011). Urban Distribution centers a means to reducing freight vehicle miles Traveled, New York State Energy Research and Development Authority, Contract No. 11098/C-08-23, PIN: R021.20.881: 1-37.
29. Deverteuil, G. (2000). Reconsidering the legacy of urban public facility location theory in human geography, department of Geography, KAP 416, University of southern California, Los Angeles, Progress in Human Geography 24, 43-65.
30. Duflo, E, Galiani, S, Mobarak, M, (2012). Improving Access to Urban Services for the Poor: open issues and a framework for a future research agenda, Translating research into action, J-PAL Urban services review paper, Cambridge, MA: Abdul Latif Jameel, Poverty Action Lab.
31. Anisur, M, R, (2011). Developing a Model for Finding Optimum Location for Urban Facilities by using GIS, Student ID#g200901630, Research Assistant, Department of City & Regional Planning KFUPM, KSA.
۳۲. پاگ، سدريک (۱۳۸۳). شهرهای پایدار در کشورهای در حال توسعه. ترجمه ناصر محرم نژاد، مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری، تهران
۳۳. هاروی، دیوید (۱۳۷۹). عدالت اجتماعی و شهر. ترجمه فرخ حسامیان، محمد رضا حائری و بهروز منادی زاده، شرکت پردازش و برنامه ریزی شهری وابسته به شهرداری تهران، چاپ دوم
۳۴. غنی نژاد، موسی (۱۳۷۹). عدالت اجتماعی و اقتصادی، فصلنامه ی تأمین اجتماعی، شماره ی ۶.
۳۵. رستمی، مسلم و جعفر شاعلی (۱۳۸۸). تحلیل توزیع فضایی خدمات شهری در شهر کرمانشاه، فصلنامه ی چشم انداز جغرافیایی، سال چهارم، شماره ی ۹.
۳۶. عبدالهی، مجید (۱۳۸۳). مدیریت بحران در نواحی شهری، انتشارات سازمان شهرداری ها و دهیاری های کشور.
۳۷. احمدی، حسن (۱۳۷۶). نقش شهرسازی در کاهش آسیب پذیری شهر، نشریه ی مسکن، شماره ی ۲۳.
۳۸. بحرینی، سیدحسین (۱۳۷۵). برنامه ریزی کاربری زمین در مناطق زلزله خیز، نمونه شهرهای منجیل، لوشان، رودبار، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، تهران.
۳۹. حبیبی، سیدمحسن؛ مقصودی، ملیحه (۱۳۸۴). مرمت شهری تعاریف نظریه ها تجارب منشورها و قطعه های جهانی روش ها و اقدامات شهری. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، تهران، چاپ دوم.
۴۰. قرخلو، مهدی و زنگنه شهرکی، سعید (۱۳۸۸). شناخت الگوی رشد کالبدی - فضایی شهر با استفاده از مدل های کمی - مطالعه ی موردی: شهر تهران. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ی ۲.
۴۱. سرایی، محمد حسین؛ رضایی، محمدرضا؛ حسینی، سید مصطفی (۱۳۹۲). ارزیابی وضعیت ایمنی در پارک های شهری (مطالعه ی موردی: ۶. پژوهشکده سوانح طبیعی (۱۳۸۲). ریزپهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای شهر یزد. انتشارات سوانح طبیعی.
۷. کلاتری خلیل آباد، حسین؛ کیامهر، مراد علی (۱۳۸۹). مدیریت بحران در محورهای برون شهری مورد مطالعه: طوفان ماسه در محور یزد - اردکان. فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک، سال چهارم، شماره ۱۵.
۸. علیجانی، بهلول؛ مؤیدفر، سعیده؛ صبابی مهر، مهدیه (۱۳۸۹). بررسی تغییرات اقلیمی شهر یزد در رابطه با توسعه ی شهری و منطقه ای، پژوهش و برنامه ریزی شهری، دوره ی یک، شماره ی ۳.
۹. مهندسین مشاور آرمان شهر (۱۳۹۰). طرح حفاظت جامع بافت تاریخی یزد، اداره کل راه و شهرسازی استان یزد.
۱۰. آبسالان، علی؛ کنگی، عباس (۱۳۹۳). گزارش تحقیقاتی مجموعه دستاوردهای تحقیقاتی - کاربردی سامانه، مدیریت بحران زلزله، شهر هوشمند مشهد، سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری مشهد، شماره ی نشر ۱۰۱.
۱۱. خاکپور، براتعلی؛ حیاتی، سلمان؛ کاظمی بی نیاز، مهدی؛ ربانی ابوالفضل، غزاله (۱۳۹۲). مقایسه تطبیقی - تحلیلی میزان آسیب پذیری بافت های شهری در برابر زلزله با استفاده از مدل های تحلیلی سلسله مراتبی و فازی (نمونه ی موردی: شهر لاس وگاس). فصلنامه آمایش محیط، شماره ی ۲۲.
۱۲. شایان، سیاوش؛ زارع، غلامرضا؛ حق پناه، یعقوب (۱۳۹۲). زلزله خیزی ایران و مقاوم سازی مدارس، مجله رشد آموزش جغرافیا، شماره ی ۳.
۱۳. پور محمد، بهزاد (۱۳۸۹). همزیستی با زلزله. انتشارات مبنای خرد، چاپ اول، تهران.
۱۴. ادیب، احمد؛ افضل، پیمان؛ زارع، معصومه (۱۳۹۵). پهنه بندی لرزه ای شرق استان یزد بر اساس زلزله ها و گسل های کواترنری با استفاده از مدل سازی فرکتال. نشریه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ی ۲۲.
۱۵. قریشی تبار، احمد (۱۳۸۴). مدیریت بحران. انتشارات معاونت آموزشی ناجا، تهران.
۱۶. زهرایی، سید مهدی؛ ارشاد، لیلی (۱۳۸۴). بررسی آسیب پذیری لرزه ای ساختمان های شهر قزوین، نشریه ی دانشکده فنی، شماره ی ۳۹.
۷۱. Paton, Douglas and Fohnston, David (2001). Disaster and Communities: Vulnerability Resilience and Preparedness, Disaster prevention and management, MCB University, Vol, No 4, ISSN 0965- 3562.
18. More, Tun Lin and pathranakul, P. (2006). An Integrated Approach to Natural Disaster Prevention and Management, Vol 15, No.3, Emerald Group Publishing Limited of natural hazards. Geographical Review, 79
۱۹. حاتمی نژاد و دیگران (۱۳۸۸). ارزیابی میزان آسیب پذیری لرزه ای در شهر: نمونه مورد مطالعه منطقه ی ۱۰ شهرداری تهران. پژوهش های جغرافیایی انسانی، شماره ی ۶۸، تهران.
۲۰. حمیدی، ملیحه (۱۳۷۴). ارزیابی قطعه بندی اراضی و بافت شهری در آسیب پذیری مسکن از سوانح طبیعی، مجموعه مقالات سمینار سیاست های توسعه ی مسکن در ایران.
۲۱. اصغری مقدم، محمد رضا (۱۳۸۷). جغرافیای طبیعی شهر (۱)، ژرموفولوژی. انتشارات مسعی، چاپ اول. تهران.
۲۲. عبدالهی، مجید (۱۳۹۱). مدیریت بحران در نواحی شهری. انتشارات سازمان شهرداری ها و دهیاری های کشور، وزارت کشور.
۲۳. فلاحي، حسین (۱۳۸۸). مبانی مدیریت بحران با تأکید بر بحران های طبیعی، مجله ی تخصصی اندیشه ی سپهر، سال دهم، شماره ی ۲۳.
24. Dupont, V. (2007). Do geographical agglomeration, growth and equity conflict? Papers in Regional Science, 86.

پارک‌های ناحیه‌ای شهر یزد). *مجله‌ی مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، سال پنجم، شماره‌ی ۱۸.

۴۲. مویدفر، سعیده (۱۳۹۳). سیری در یافت تاریخی شهر یزد. *جزوه‌ی درسی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، گروه شهرسازی.

۴۳. بهزادفر، مصطفی؛ نور محمدزاده، حسین (۱۳۹۰). *ساخت‌شناسی بافت کالبد تاریخی شهر یزد. نامه‌ی معماری و شهرسازی*، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۶.

۴۴. پورجعفر، محمدرضا؛ بمانیان، محمدرضا؛ تقوایی، علی اکبر؛ منتظرالحجه، مهدی (۱۳۹۰). درآمدی بر گونه‌شناسی کالبدی نشانه‌های شهری در نقشه‌های ادراکی شهروندان (مطالعه‌ی موردی: شهر یزد). *نامه‌ی معماری و شهرسازی*، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۷.

ارائه‌ی مدل ارزیابی جامع آسیب‌پذیری پهنه‌های شهری به تفکیک لایه‌های تشکیل‌دهنده‌ی شهر با رویکرد پدافند غیرعامل

آرزو علیخانی*: پژوهشگر دانشگاه صنعتی مالک اشتر، alikhani.arezu@gmail.com

اکرم برزگر: پژوهشگر دانشگاه صنعتی مالک اشتر

حانیه نوراللهی: پژوهشگر دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

ارزیابی و کاهش آسیب‌پذیری شهرها یکی از مهم‌ترین الزامات طرح‌های پدافند غیرعامل است. با نگاه به شهر به مثابه‌ی سیستمی از عناصر و اجزای به هم وابسته، لازمه‌ی ارزیابی آسیب‌پذیری شهری، بررسی همه‌جانبه‌ی اجزای شهری و روابط بین آن‌هاست. پژوهش حاضر با رویکردی کاربردی سعی در ارائه‌ی مدلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهر به صورت جامع در برنامه‌ریزی شهری دارد که بتواند در رابطه با هر شهر مورد استفاده قرار گیرد. به این منظور پس از تبیین و تفکیک عناصر تشکیل‌دهنده‌ی شهر و اجزای مرتبط با هر یک از این عناصر، در قالب هشت معیار اصلی و زیر معیارهای مربوط به هر یک، میزان آسیب‌پذیری شهر ناشی از نبود هر یک در نمونه‌ی فرضی مورد بررسی قرار گرفت و سپس با استفاده از روش AHP و بهره‌گیری از نظر بیش از شصت کارشناس متخصص در حوزه‌ی شهرسازی، مدیریت شهری و پدافند غیرعامل، لایه‌ها چه به صورت درون سیستمی و چه به صورت برون سیستمی نسبت به یکدیگر وزن‌دهی شد، سپس وزن هر یک از عناصر در لایه‌ی مربوط در سیستم مکانی اعمال شد. در مرحله‌ی بعد شعاع آسیب‌پذیری هر یک از لایه‌ها مشخص شد و به منزله‌ی ضریب در لایه‌ها در نظر گرفته شد. در نهایت با کمک نرم‌افزار GIS و همپوشانی لایه‌ها در نمونه‌ی فرضی، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری برای هر یک از معیارهای اصلی تولید شده است و در مرحله‌ی بعد با همپوشانی نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به هر یک از معیارها نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در نمونه‌ی فرضی مشخص شده است که در پنج طیف آسیب‌پذیری پهنه‌های شهری را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، رویکردهای ارزیابی آسیب‌پذیری، معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری، شعاع آسیب‌پذیری

Developing a New Model for Vulnerability Assessment of city zones with passive defense approach

Arezo Alikhani^{1*}, Akram Barzegar², Hanieh Nurollahi³

Abstract

Vulnerability assessment and vulnerability reduction in cities is one of the requirements of civil defense plans. Considering cities as a complex system consisting of related elements, we can assume that vulnerability assessment of cities needs a holistic analysis of all the elements and their connections. In this research, it has been tried to produce an applicable model for urban vulnerability assessment to use in urban planning in any city. To reach the goal, first, the consisting elements of cities and their different components in eight main criteria and related sub-criteria were determined. Then, the amount of urban vulnerability that occurs in the case of lacking any of the criteria in the hypothetical case study was measured. By using the AHP model and opinions of more than 60 experts in the field of urban planning, urban management, and civil defense; criteria, whether inside or outside the system, had been weighed in relationship with each other. The measurement (weight) of any elements presents in the geographical system. Then, the vulnerability radius of any elements is defined to be used as the score of layers and more importantly to zoning the city based on these layers. Finally, by using GIS software and overlaying layers in the case study, urban vulnerability zoning is produced for main layers and then by overlaying these maps, the final map of urban vulnerability zoning is generated in five groups.

Keywords: Vulnerability, urban planning, passive defense

1. Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran; Email: alikhani.arezu@gmail.com

2. Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran

3. Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

مقدمه

بر اساس دیدگاه سیستمی، شهرها از پیچیده‌ترین سیستم‌هایی محسوب می‌شوند که از یک طرف متشکل از زیر سیستم‌ها یا ساختارهای بی‌شماری نظیر ساختارهای محیطی و جغرافیایی، اجتماعی و فرهنگی، سیاسی و اداری، اقتصادی و تولیدی، فضایی و کالبدی هستند که با یکدیگر در ارتباط‌اند و تأثیرات متفاوتی بر همدیگر دارند و از طرف دیگر، به‌منزله‌ی جزئی از یک سیستم بزرگ‌تر به‌شمار می‌روند که در چارچوب آن عمل می‌کنند. بر همین اساس، برای شناخت، پیش‌بینی، کنترل و نظارت بر امور مختلف شهرها باید تمام زیرسیستم‌های اثرگذار بر شهرها مورد مطالعه و تحلیل قرار گیرد تا سیستم شهری در نهایت به هدف اصلی خود که ایجاد تعادل در روابط درونی و بیرونی سیستم و حفظ هماهنگی بین ساختار و عملکرد است دست یابد.

با توجه به اینکه شهرها به علت جمعیت بالا، تراکم ساختمان‌ها و امکانات زیرساختی آسیب‌پذیری بیشتری در برابر فجایع دارند، اهمیت ارزیابی آسیب‌پذیری در شهر دارای نمود بیشتری است. با گسترش کالبد و اقتصاد جوامع شهری، به تدریج نیاز به کاهش مخاطرات، نه تنها به عاملی اطمینان‌بخش در کنترل ریسک مخاطرات تبدیل شده است، بلکه اقدامی مهم برای تهیه‌ی برنامه و پیگیری طرح‌های بازدارنده از بروز آسیب‌پذیری است. این موضوع چه در زمان وقوع جنگ و بحران و چه پس از آن تأثیرگذار خواهد بود. در نگرش سیستمی به شهر می‌توان چنین استنباط کرد که با توجه به ارتباط کلیه‌ی عناصر و اجزای سیستم و تأثیر آن‌ها بر یکدیگر، وقوع یک بحران بر کلیه‌ی این اجزا تأثیرگذار است و کارکرد هر یک از زیرسیستم‌های شهری را می‌تواند مختل یا متوقف کند. بروز اختلال در هر یک از زیرسیستم‌ها ادامه‌ی کارکرد سایر زیر سیستم‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. از این رو شناسایی اجزای شهر و تأثیر هر یک از اجزا بر آسیب‌پذیری شهر، در سطح طرح‌های جامع و بررسی آثار آن‌ها بر یکدیگر ضروری است.

با بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون مطالعه‌ی جامعی که بتواند با تلفیق دیدگاه‌های شهرسازی، مدیریت بحران و پدافند غیرعامل به شناسایی لایه‌های سیستم شهری پردازد و میزان تأثیر هر یک از لایه‌ها را در آسیب‌پذیری شهر بررسی کند، انجام نشده است و مطالعات به بررسی آسیب‌پذیری هر یک از اجزا به‌طور مجزا پرداخته‌اند. این مقاله به دنبال آن است تا به ارائه‌ی مدلی جامع از آسیب‌پذیری شهری و نحوه‌ی مطالعه‌ی آن پردازد تا از این طریق بتوان به الگویی برای بررسی آسیب‌پذیری در شهرهای مختلف پرداخت. به‌منظور ملموس شدن یافته‌ها و نتایج این مدل در یک نمونه‌ی فرضی مورد آزمون قرار گرفته است.

پیشینه‌ی تحقیق

در سال‌های اخیر توجه به مسئله‌ی آسیب‌پذیری شهری مورد توجه محققان و صاحب‌نظران بسیاری قرار گرفته است. اغلب آسیب‌پذیری شهرها در برابر سوانح طبیعی مد نظر بوده است، لیکن موضوع امنیت شهرها و پدافند غیرعامل و میزان آسیب‌پذیری شهری در برابر تهدیدات انسانی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

در صورتی که نگاه همه‌جانبه در ارتباط با انواع مختلف تهدیدات چه تهدیدات انسانی و چه تهدیدات طبیعی ضروری است. علاوه بر این مطالعات صورت گرفته به بررسی برخی ابعاد آسیب‌پذیری شهری پرداخته‌اند و تاکنون مطالعه‌ی جامعی که بتواند تمامی لایه‌های شهری را شامل شود، صورت نگرفته است.

یکی از پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی امنیت شهری در مقاله‌ای با عنوان «امنیت شهری در شهرهای امریکا» با در نظر گرفتن تهدیدات میزان آسیب‌پذیری شهرهای امریکا در زمینه‌ی حملات تروریستی نظیر حملات ۱۱ سپتامبر و حمله به تأسیسات شهری بررسی و مسئله‌ی اساسی تخلیه‌ی شهرها در هنگام بحران و اسکان ساکنان در پناهگاه‌های امن شناسایی شده است. در درجه‌ی دوم تأمین امنیت سکونتگاه‌های موقت و پشتیبانی از آن‌ها مورد اهمیت است [۱]. همچنین در تحقیق دیگری از آقای جرج باگلیارلو با عنوان «دورنمای امنیت شهری» به بررسی وضعیت مهم‌ترین شهرهای جهان از نظر حملات تروریستی پرداخته شده است. در قسمت نتیجه‌گیری این مقاله تأکید شده است که هیچ‌کس و هیچ ارگانی به تنهایی نمی‌تواند تمامی یک شهر را حفظ کند، بلکه باید قابلیت‌ها بر روی حفاظت از تأسیسات زیربنایی و حیاتی شهر متمرکز شوند. همچنین مراکز حساس باید به صورت پراکنده در سطح شهر مکان‌یابی شوند تا با مورد حمله قرار گرفتن قسمتی از آن کل سیستم دچار اختلال نگردد [۲].

علاوه بر این در مقاله‌ی «شهرهای پایدار و امنیت شهری» نقش اقتصاد شهری و فاکتورهای اقتصادی در آسیب‌پذیری شهری در برابر حملات تروریستی و حوادث طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است و به نقش حیاتی امنیت در شهرها اشاره دارد [۳]. علاوه بر این، برنارد و دیگران (۲۰۰۸) در پژوهش «برنامه‌ریزی و طراحی دفاع شهری در کشور سنگاپور» به بررسی و تحلیل میزان آسیب‌پذیری کاربری‌ها و مقاومت آن‌ها در برابر بحران‌های داخلی و خارجی پرداخته‌اند و نشان دادند بهترین روش برای کاهش آسیب‌پذیری ایزوله کردن محیط‌های در معرض خطر است [۴]. همچنین کیان گانگوی و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله‌ای با عنوان سیستم آسیب‌پذیری تأسیسات شهری در واکنش اضطراری با نگرش سیستمی به شهر به بررسی آسیب‌پذیری شهر پرداخته‌اند و نگاه سیستمی به زیرساخت‌ها در شهر را بهترین روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری دانسته‌اند [۵]. رازیپور و همکاران در مقاله‌ای با توجه به کمبود مباحث دفاع غیرعامل در اسناد توسعه‌ی شهری و نظام برنامه‌ریزی شهری در کشور، الگویی برای ورود مفاهیم دفاع غیرعامل به اسناد توسعه‌ی شهری و کاهش آسیب‌پذیری شهری حین بحران‌های نظامی و تروریستی را تبیین کرده و ابعاد کالبدی، شبکه‌ی زیرساختی و تسهیلات شهری، اقتصادی و خدماتی، اجتماعی و فرهنگی، مدیریت شهری و نظامی را معرفی می‌کنند؛ در ادامه اهداف آسیب‌پذیری شهری حین حملات نظامی و بحران‌های ناشی از آن بیان شده است [۶].

تحقیقات بسیاری با نگاه به سوانح طبیعی به بررسی آسیب‌پذیری شهر پرداخته‌اند. در مقاله‌ی برنامه‌ریزی همگام با مخاطرات طبیعی با تأکید بر ایران، متغیرهای طبیعی، کالبدی

- ساختمانی و اجتماعی- اقتصادی در میزان آسیب پذیری لرزه ای شهرها مؤثر شناخته شده است. در ویژگی های طبیعی به زمین لرزه، شرایط زمین شناسی و مرفولوژی ساختمانی، توپوگرافی و شیب اشاره شده است. در رابطه با متغیرهای کالبدی، کیفیت و کمیت شبکه ای معابر، توزیع کاربری ها، تراکم و نوع معماری و طرح ساختمان مد نظر بوده است و تراکم جمعیت، نحوه ی مدیریت بحران، سطح سواد و وضعیت مالی ساکنان، در ارتباط با متغیرهای اجتماعی و اقتصادی شناسایی شده است [۷].

تاکنون پژوهش های بسیاری به بررسی آسیب پذیری شهر یا بخشی از آن در برابر خطر زلزله پرداخته اند که هر یک به یک یا چند جنبه اشاره نموده و همه ی شاخص ها مد نظر قرار نگرفته است. امینیان و همکاران (۱۳۹۴) به محاسبه ی آسیب پذیری شهر در برابر زلزله با تأکید بر فاصله از تأسیسات شهری و پهنه بندی آسیب پذیری شهر پرداخته اند. در این پژوهش تأسیساتی نظیر مراکز درمانی، مراکز آتش نشانی، مراکز اسکان موقت، پمپ بنزین ها و پمپ گاز در نظر گرفته شده است [۸]. از جمله تحقیقات دیگر در رابطه با تأثیر زلزله، پژوهش عابدی (۱۳۸۵) در منطقه ی ۱ تهران است که به بررسی آسیب پذیری معابر در برابر زلزله پس از ریختن آوار پرداخته است [۹]. مجید شمس و همکاران یکی از محلات کرمانشاه را با بررسی شاخص هایی مانند نوع مصالح، قدمت بنا، تعداد طبقات، تراکم جمعیت و غیره به لحاظ آسیب پذیری ارزیابی کرده اند [۱۰]. در رابطه با شهر زنجان نیز، حبیبی و همکاران (۱۳۸۶) به تعیین عوامل ساختمانی مؤثر در آسیب پذیری بافت تاریخی شهر پرداخته اند [۱۱]. از دیگر تحقیقات می توان به پژوهش زنگ آبادی و همکاران در رابطه با تحلیل شاخص های آسیب پذیری مسکن شهری در برابر خطر زلزله در شهر اصفهان اشاره نمود که شاخص های فضایی- کالبدی نظیر تراکم، مقاومت مصالح و دسترسی به مراکز امداد و نجات و شاخص های انسانی- اجتماعی نظیر امکانات در مواقع بحرانی، آموزش و آگاهی را مورد بررسی قرار داده است [۱۲]. بمانیان و همکاران نیز به منظور کاهش خطرپذیری شهر از بلایای طبیعی به ویژه زلزله از طریق برنامه ریزی کاربری زمین به سه معیار دسترسی، ترکیب سنی و جنسی جمعیت و تخریب پیش بینی نشده به منزله ی عوامل مؤثر در آسیب پذیری اشاره نموده اند [۱۳]. در مقاله ی دیگری احمدی و همکاران به ارزیابی تاب آوری محیط شهری در برابر مخاطرات طبیعی با تأکید بر زمین لرزه پرداخته اند و شاخص های تراکم جمعیت، تراکم ساختمان ها، تعداد طبقات ساختمان ها، کاربری اراضی شهری، فاصله از گسل ها، فاصله از معابر ارتباطی، فاصله از برق فشار قوی، دسترسی به فضاهای باز، دسترسی به مراکز درمانی و دسترسی به مراکز امدادی را معرفی کرده اند [۱۴]. حیدری در مقاله ای آسیب پذیری بافت های شهری در برابر خطر زلزله را ارزیابی کرده و شاخص های مصالح ساختمانی، قدمت ابنیه، کیفیت ابنیه، نظام تفکیک قطعات، تراکم ساختمانی، تعداد طبقات، تراکم جمعیت، سازگاری کاربری ها را معرفی کرده و ماتریس سازگاری کاربری بافت های قدیم زنجان را ترسیم کرده است [۱۵].

بررسی سوابق موضوع نشانگر توجه به مسئله ی آسیب پذیری شهرها و اهمیت بررسی و ارزیابی آن در شهرهاست. بررسی آسیب پذیری زمانی معنادار خواهد بود که آسیب پذیری در برابر نوع تهدید مشخص شود. تحقیقات صورت گرفته تاکنون بیشتر سوانح طبیعی را مد نظر قرار داده اند و در محدود مطالعاتی که در زمینه ی تهدیدات انسان ساخت صورت گرفته است، بیشتر تهدیدات تروریستی یا هوایی مد نظر بوده است و با تغییر نوع تهدید آسیب پذیری نیز تغییر خواهد کرد. چنانچه شهر به صورت سیستم و موجودی زنده در نظر گرفته شود، آسیب پذیری ناشی از کارکرد یا اختلال در کارکرد هر یک از اجزای سیستم و تأثیر آن بر عملکرد سیستم مد نظر خواهد بود. با اتخاذ این رویکرد در رابطه با شهر، فارغ از نوع تهدید، آسیب پذیری شهر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بنابراین در این پژوهش به ارائه ی مدلی برای بررسی آسیب پذیری شهرها پرداخته می شود که تهدید را فارغ از نوع عامل تهدید کننده هرگونه عملی می داند که موجب از کار افتادن یا اختلال در سیستم شود.

روش تحقیق و ابزارها

این پژوهش از نوع کاربردی و به روش کمی است که در آن اطلاعات مورد استفاده در نمونه ی مورد مطالعه ی فرضی در یک منطقه ی شهری فرضی و در سامانه ی اطلاعات جغرافیایی پیاده سازی شده است. با در نظر گرفتن اهداف تحقیق ابتدا معیارهای مؤثر بر میزان آسیب پذیری شهرها در مواجهه با حملات نظامی از طریق مطالعه ی تحقیقات پیشین، روش های کتابخانه ای و مصاحبه از کارشناسان شناسایی شده اند و سپس با استفاده از روش تحلیل محتوای مقوله ای این معیارها دسته بندی شده و زیر معیارهای مربوط به هر یک مشخص شده اند. زیر معیارها به شاخص های قابل اندازه گیری تبدیل شده اند و در مرحله ی بعد با استفاده از روش AHP معیارهای مؤثر در نمونه ی موردی فرضی به لحاظ اهمیت رتبه بندی و وزن دهی شده اند. در این قسمت نظر کارشناسان مؤثر در حوزه ی هر یک از لایه های سیستم شهری اخذ شده است و در نهایت از طریق برآیند نظرات ۴۷ نفر از مسئولان شهری و خبرگان مرتبط با موضوع، لایه ها وزن دهی شده اند. اخذ نظر کارشناسان خبره و مسئولان شهری، قابلیت تعمیم رتبه بندی به سایر مناطق و شهرها را تا حد زیادی امکان پذیر می سازد. سپس متناسب با نوع و اهمیت مشخص شده برای هر معیار، داده های مورد نظر از طریق عملیات رقومی سازی و پیمایش با فرمت مناسب وارد محیط GIS شده اند. با در نظر گرفتن نگاه سیستمی بر شهر، از نرم افزار GIS با توانایی ذخیره، بازیابی و تحلیل داده های جغرافیایی استفاده شده است. لایه های مختلف از طریق نرم افزار همپوشانی شده و در نهایت نقشه ی آسیب پذیری محدوده ی مورد نظر اخذ شده است.

آسیب پذیری

شهرها به منزله ی یکی از نمودهای سکونتگاه های انسانی از دیرباز تاکنون در معرض آسیب های فراوان ناشی از سوانح قرار

داشته اند. سوانحی اعم از طبیعی و انسان ساخت، محیط های شهری را گاه تخریب و گاه به کلی ویران نموده است، لذا آدمی همواره در جستجوی دستیابی به راهکارهایی برای مقابله با پیامدهای سوانح در سکونتگاه های شهری بوده است. در این راستا شناسایی و تحلیل آسیب ها و رسیدن به معیارهای ارزیابی آسیب پذیری به منزله ی یکی از ابزارهای مهم مورد توجه قرار می گیرد. آسیب پذیری یک ابزار تحلیلی در مطالعات ایمنی شهری است و تحلیل و ارزیابی آسیب پذیری پایه و اساسی جدید برای برنامه ریزی شهری فراهم می آورد [۱۶]. آسیب پذیری به مجموعه شرایط ناشی از فاکتورهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی گویند که در معرض ضرر و زیان بودن یک جامعه را افزایش می دهد [۱۷]. در تعریفی دیگر، به هر گونه ضعف در یک دارایی که این امکان را به یک تهدید می دهد تا توانایی آسیب و ایجاد خسارت به یک دارایی، شریان های حیاتی و یا زیرساخت ها را ایجاد نماید، گویند و به عبارتی از هر نقطه ضعفی که می تواند به وسیله ی دشمن مورد بهره برداری قرار گیرد تا دارایی ها را مورد هدف قرار دهد و به آن ها خسارت وارد نموده یا آن ها را سرقت نماید [۱۸]. با در نظر گرفتن تعاریف فوق می توان گفت، به میزانی از احتمال صدمات و خسارات ناشی از اقدامات دشمن از صفر تا صد، آسیب پذیری گویند و بنابراین آسیب پذیری باید به صورت کمی بررسی شود تا بتوان کاهش یا افزایش را اندازه گیری نمود.

رویکردهای ارزیابی آسیب پذیری

ارزیابی آسیب پذیری ناشی از حملات دشمن را می توان از دو منظر مختلف مورد بررسی قرار داد. یکی از این رویکردها تقسیم بندی بر اساس کمی یا کیفی بودن آسیب پذیری است. گرچه تعیین کمی و کیفی آسیب های احتمالی وارده به دارایی ها به صورت کامل ممکن نیست، اما بررسی این پارامترها و اشراف بر مسائل احتمالی ناشی از حملات دشمن، این امکان را برای مدیران و مسئولان فراهم می نماید که تمهیدات لازم را برای برخورد مناسب در صورت وقوع بحران پیش بینی و با آموزش نیروی انسانی و افزایش درجه ی مقاومت دارایی، نسبت به کاهش زیان ها و برگشت سریع به وضع عادی اقدام نمایند.

رویکرد دیگری که می توان برای ارزیابی آسیب پذیری ها در نظر گرفت، تحلیل آسیب پذیری ها بر اساس دو روش سناریومحور و دارایی محور است. در این روش ابتدا سناریوها تعریف و پیامدهای ویژه مورد ارزیابی قرار می گیرند. سپس به شناسایی اقدامات امنیتی موجود برای حفظ دارایی های حیاتی و تخمین سطح تأثیر آن ها در کاهش آسیب پذیری هر کدام از دارایی ها در برابر تهدیدات یا دشمن پرداخته می شود و در نهایت آسیب پذیری های بالقوه ی هر دارایی حیاتی در رابطه با تهدیدات شناسایی شده و درجه ی آسیب پذیری آن تخمین زده می شود. هر دو روش در شروع کار مثل هم هستند. اما در جزئیات تجزیه و تحلیل سناریوهای تهدید و اقدامات پیشگیرانه ای که با توجه به سناریو در نظر گرفته می شود، اختلاف دارند. اما، در هر دو روش برای دارایی های شناخته شده پیامد و جاذبه ی هدف تعیین می شود [۱۹].

پس از بررسی هر دو رویکرد، به نظر می رسد که اکتفا به یکی از جوانب کمی یا کیفی و انتخاب یکی از رویکردها در ارزیابی آسیب پذیری ها نتیجه ی چندان دقیقی را حاصل نمی کند، چنانکه روش کیفی را می توان کمی نمود. از طرفی در مورد روش دوم نیز نمی توان تأثیر سناریوی تهدید را در آسیب پذیری نادیده گرفت و با توجه به اینکه آسیب پذیری ذاتی دارایی و آسیبی که در اثر مورد هدف قرار گرفتن دارایی ها به شهر وارد می شود در میزان آسیب پذیری مؤثر است، نمی توان تنها یکی از روش های سناریومحور و یا دارایی محور را برگزید. بنابراین می توان چنین بیان کرد که با در نظر داشتن سناریوی تهدید و ویژگی های ذاتی دارایی ها و آسیب پذیری هایی که شهر در اثر نبود آن دارایی متحمل می شود، آسیب پذیری های کیفی را با تدوین معیارهایی می توان به آسیب پذیری کمی تبدیل نمود.

همان طور که بیان شد در این پژوهش معیارهای مؤثر در آسیب پذیری لایه های مختلف شهر، تدوین می شود. یک شهر علاوه بر تأمین کلیه ی نیازهای ساکنان خود باید در برابر انواع مخاطرات پایدار و از نظر عملکردی، محیطی سامان یافته و کارا باشد. با توجه به ارتباط متقابل و وابستگی عناصر و اجزای شهری، باید تمامی عوامل موجود در یک شهر در نظر گرفته شود. با اتخاذ رویکرد فوق باید بتوان به طریقی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در آسیب پذیری شهری را به شاخصه هایی قابل اندازه گیری تبدیل نمود.

معیارهای مؤثر در آسیب پذیری

به منظور شناخت آسیب پذیری های شهر فرضی کلیه ی عناصر موجود در شهر که در آسیب پذیری آن مؤثرند را با نگرش سیستمی آنالیز کرده و معیارهای آسیب پذیری استخراج شده است. در این راستا اجزای تشکیل دهنده ی سیستم شهری تجزیه و تحلیل شده و عناصری که به نحوی در آسیب پذیری شهر مؤثرند استخراج شده است. در این مرحله از روش تحلیل محتوا به منظور استخراج عوامل استفاده شده و معیارها و شاخص های مؤثر در آسیب پذیری شهری به صورت همه جانبه از اسناد و پژوهش ها استخراج شده است. مرور پیشینه ی پژوهش بیانگر نگاه های بخشی و موردی به موضوع آسیب پذیری شهری است در صورتی که با اتخاذ رویکرد جامع می توان فارغ از نوع تهدید آسیب پذیری ناشی از اختلال در سیستم شهری به هر دلیلی را اندازه گیری نموده و با شناسایی عوامل ایجادکننده ی آسیب پذیری پیشنهاداتی برای کاهش آن ارائه کرد. طبق مطالعات صورت گرفته و با جمع بندی مقوله های مؤثر در نهایت هشت معیار اصلی و زیرمعیارهای مربوطه به هر یک استخراج شده است. هر یک از این معیارها دارای زیرمعیارهای متعددی است. استفاده از زیرمعیارها کمک می کند تا بررسی عمیق تر شود و کارشناسانی که رتبه بندی را انجام می دهند خطای کمتری داشته باشند. معیارهای استخراج شده با استفاده از روش تحلیل محتوا شامل موارد زیر است:

از آنجایی که شهر به منزله‌ی یک محیط کالبدی انسانی مطرح می‌شود، مهم‌ترین عنصر در بررسی آسیب‌پذیری‌های فیزیکی در شهر کالبد شهر و سازمان فضایی آن است. این معیار با زیر معیارهای قدمت و مقاومت بنا، نوع بافت، دانه‌بندی، تراکم و عرض معابر مورد بررسی قرار گرفته است. بدیهی است که هر چه مقاومت بنا بیشتر باشد و از مصالح با دوام‌تری ساخته شده باشد، آسیب‌پذیری کمتری خواهد داشت [۲۰، ۲۱]. در ارتباط با نوع بافت، آسیب‌پذیری در بافت پیوسته و منظم در اراضی هموار با راه‌هایی با درجه محصوریت کم یا متوسط و بلوک‌هایی با یک یا دو ردیف منظم ساختمانی کمتر است و امداد رسانی در هنگام بحران بیشتر است. بافت شطرنجی راه‌ها نیز بر علت دسترسی آسان در امداد رسانی مؤثر است. بافت ناپیوسته منظم و پلکانی در اراضی کوهپایه‌ای از نظر کارایی و آسیب‌پذیری در سطح متوسطی است و بافت پیوسته و نامنظم در نواحی هموار کارایی کمتری دارد. نحوه‌ی مجاورت قطعات تفکیکی با گذر، همجواری فضای باز و ساخته شده‌ی هر قطعه با گذر و میزان محصوریت بافت‌ها و نیز الگو و اندازه‌ی بلوک‌های شهری و الگوی ترکیب راه‌ها و بلوک‌های شهری از شاخص‌های بافت شهری در ارزیابی آسیب‌پذیری هستند [۲۲]. دانه‌بندی بافت نیز یکی از معیارهای مؤثر آسیب‌پذیری بافت‌های شهری است [۲۳]. شورای عالی شهرسازی و معماری ایران یکی از معیارهای شناسایی بافت‌های فرسوده را دارا بودن قطعات زیر ۱۵۰ مترمربع به میزان حداقل ۵۰٪ بافت دانسته است. از این رو دانه‌بندی بافت رابطه‌ای مستقیم با آسیب‌پذیری بافت دارد. یکی دیگر از معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شهری، نفوذپذیری بافت بر اساس عرض معابر است. شورای عالی شهرسازی و معماری ایران یکی از معیارهای شناسایی بافت‌های فرسوده را دارا بودن معابر زیر ۶ متر به میزان حداقل ۵۰٪ بافت دانسته است. از این رو نفوذپذیری بافت رابطه‌ای مستقیم با آسیب‌پذیری دارد. تراکم کالبدی نیز یکی از شاخص‌های تبیین‌کننده‌ی کیفیت فضایی بافت‌های مسکونی است، که هر چه شدت آن بیشتر باشد، تأثیر منفی بیشتری بر سطح کیفی سکونت داشته و آسیب‌پذیری را افزایش می‌دهد.

معیار دسترسی

راه‌ها و شبکه‌ی حمل و نقل یکی از آسیب‌پذیرترین عناصر در برابر سوانح است. اهمیت شبکه‌ی راه‌ها در برقراری ارتباط میان عناصر مختلف شهر است که در صورت آسیب این ارتباط دچار اختلال و در نتیجه بر شدت بحران افزوده می‌شود [۲۴]. از این رو اهمیت شبکه‌ی راه‌ها هم به منزله‌ی عاملی که می‌تواند آسیب‌پذیری را کاهش و یا تشدید نماید دوچندان می‌شود، با توجه به انواع مختلف شبکه‌ی معابر که هر کدام حجم خاصی از تردها را پوشش می‌دهد و دارای سطحی از سرویس‌دهی شبکه‌ی معابر است [۲۵]. علاوه بر این، تردد توسط شبکه‌های مختلف صورت می‌گیرد از جمله شبکه‌های هوایی، ریلی و جاده‌ای که هر کدام بر آسیب‌پذیری شهر تأثیرات خاصی را می‌گذارند و دارای درجاتی از آسیب‌پذیری هستند [۲۶].

رفاه و امنیت هر ملت متکی بر دارایی‌ها و زیرساخت‌ها است که این زیرساخت‌ها برای هر کشوری آن قدر حیاتی و ضروری هستند که عدم صلاحیت یا نابودی آن‌ها تأثیر تضعیف‌کننده‌ای بر روی سلامت، ایمنی، اقتصاد و رفاه اجتماعی خواهد گذاشت و می‌تواند دولت‌ها را دچار بحران نماید. نقص در یکی از این زیرساخت‌ها ممکن است برای یک جامعه و اقتصاد آن، به اندازه‌ای مخرب باشد که پتانسیلی را برای فروپاشی چند زیرساخت و ایجاد عواقب پیش‌بینی‌نشده، دارا باشد. در زمینه‌ی شبکه‌ی زیرساختی آنچه مهم است، نقش مهم این شبکه‌ها بر زندگی شهروندان و حیات شهری و همچنین اثری است که نبود یا آسیب‌پذیر بودن این شبکه‌ها بر زندگی شهروندان می‌گذارند [۲۷]. بازگرداندن سیستم‌های آب‌رسانی به منزله‌ی یکی از شریان‌های حیاتی به حالت عادی با توجه به نقش اساسی آن‌ها در ادامه‌ی زندگی و حیات جوامع بشری بسیار حائز اهمیت است. کمبود آب در شرایط بحرانی سبب می‌شود که مردم به سوی آب‌های آلوده روی آورده و برای ادامه‌ی حیات هر گونه آبی را به مصرف برسانند. تأسیسات برقی موجود در شهرها شامل خطوط انتقال برق، نیروگاه‌ها، پست‌های برق و شبکه‌ی توزیع است. نیروگاه‌ها و خطوط انتقال برق از جمله اهدافی هستند که در ساعات اولیه‌ی جنگ مورد اصابت قرار می‌گیرند و با از کار افتادن بسیاری از دارایی‌ها که توسط برق تغذیه می‌شوند، دشمن به بسیاری از موارد مورد نظر خود می‌رسد. تأسیسات گازرسانی از جهات زیادی مشابه تأسیسات آب‌رسانی هستند با این تفاوت عمده که این تأسیسات از آسیب‌پذیری بسیار بالاتری به سبب احتمال وقوع انفجار و اتفاقات بعد از آن برخوردار است. مشکلات و تهدیدات موجود در تأسیسات گازرسانی را می‌توان شامل مشکلات پیش‌آمده بر اثر قطع گاز و نشت گاز دانست. اهمیت بحث تأسیسات مخابراتی از منظر پدافند غیرعامل، در قطع شدن ارتباط و اطلاع‌رسانی و پیامدهای ناشی از آن در شرایط آسیب دیدن این تأسیسات است. اگرچه امروزه تنوع و گستردگی سیستم‌های ارتباطی با گسترش شبکه‌ی تلفن‌های ثابت و سیار و افزایش فرستنده‌های رادیویی و تلویزیونی بسیار بیش از گذشته‌ی نه چندان دور (دوره‌ی جنگ تحمیلی) است، اما با این وجود باید به این نکته نیز توجه نمود که قطع سیستم‌های ارتباطی همواره به معنی افزایش تلفات و خسارات مالی و انسانی است. همچنین قطع سیستم‌های مخابراتی در بسیاری از موارد، اطلاع‌رسانی، اعلام خطر و اعلام دستورات ایمنی و آموزش‌های ویژه را در مواقع بحران و جنگ دشوار می‌سازد [۲۸].

مخازن سوخت از دیگر زیرساخت‌هایی است که در مقابل حملات نظامی بسیار آسیب‌پذیرند. با توجه به اینکه در مکان‌یابی آن‌ها الزامات و ملاحظات دفاعی و امنیتی و زیست‌محیطی رعایت نشده و پیامدهای همجواری آن‌ها با دیگر اجزای شهری مورد بررسی قرار نگرفته است، از طرفی از اهداف شاخص حملات است، باید مورد توجه ویژه قرار گیرد [۲۹].

مراکز امداد و نجات

مراکز امداد و نجات همواره در مدیریت بحران نقش بسزایی داشته است که یکی از امتیازات معابر پس از بروز سانحه، نزدیکی به این مراکز است. مراکز عمده‌ی امداد و نجات شامل دو بخش مراکز آتش‌نشانی و مراکز درمانی است. وجود مراکز درمانی در کاهش آسیب‌های ثانویه نقش مهمی دارند و بنابراین هرچه فاصله‌ی معابر از این مراکز کمتر باشد، آن معابر دارای آسیب‌پذیری کمتری هستند [۳۰].

معیار ساختار اجتماعی

چهارمین معیار اصلی آسیب‌پذیری در یک شهر بررسی لایه‌های اجتماعی شهرهاست که به واسطه‌ی تجمع و تمرکز جمعیت، ارتباط مستقیمی بین این بخش و آسیب‌پذیری‌های شهر وجود دارد. یکی از تأثیرگذارترین زیرمعیارهای اجتماعی، در آسیب‌پذیری شهرها تراکم جمعیتی است. در سوانح اعم از طبیعی و غیرطبیعی، در همان ساعات اولیه‌ی بروز سانحه جمعیت مردمی از آسیب‌پذیرترین بخش‌ها است که آسیب‌پذیری شهر را بیشتر می‌کند. گروهی از جمعیت را که شامل زنان، کودکان و سالم‌خوردگان هستند، جمعیت آسیب‌پذیرتر گویند. بدیهی است که با افزایش تراکم جمعیت آسیب‌پذیری نیز افزایش می‌یابد. [۳۱، ۳۲، ۳۳]. علاوه بر این، امنیت اجتماعی یکی از شاخص‌های مهم تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری شهری است که رابطه‌ای مستقیم با وقوع جرم و خشونت دارد [۳۴].

معیار ساختار اقتصادی

سیستم اقتصادی شهری شامل منابع تولید، توزیع، مصرف، سرمایه، اشتغال و درآمد است. با ارزیابی میزان آسیب‌پذیری این بخش اقتصادی می‌توان با ایجاد راهکارهایی از پیامدهای ناشی از حوادث پیش‌گیری نمود. ضمن اینکه هر چه تعداد واحدهای صنعتی در شهر بیشتر باشد آسیب‌پذیری اقتصادی بیشتر است. واحدهای سرمایه‌داری و بانک‌ها از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی هر جامعه هستند که باید مورد توجه قرار گیرند. انبارها و دیوها، مراکز تولید و توزیع مواد غذایی، زمین‌های کشاورزی و باغات از دیگر بخش‌هایی هستند که در ارزیابی آسیب‌پذیری اقتصادی منظور می‌گردند.

معیار مراکز خاص

صنایع شیمیایی و میکروبی، افراد شاغل در این صنایع و جمعیت‌های ساکن در اطراف این صنایع با توجه به اینکه در معرض خطرات احتمالی آن‌ها هستند، از آسیب‌پذیری بسیاری برخوردارند. اثرات و پیامدهای محیطی و اجتماعی حوادث شیمیایی در این صنایع موجب شده که این صنایع یکی از خطرناک‌ترین صنایع محسوب شوند. تعیین دقیق آسیب‌پذیری در صنایع شیمیایی و میکروبی کار بسیار دشواری است. آسیب‌های مستقیم و غیر مستقیم این حوادث بسیار سنگین است و باید در ارزیابی آسیب‌پذیری مورد توجه قرار گیرند. توجه به مراکز هسته‌ای و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری آن به دلیل نشت مواد رادیو اکتیو و نواکلیدها به محیط پیرامون و خطرات ناشی از آن ضروری است.

علاوه بر این در حملات نظامی مراکز تولید و نگهداری مواد منفجره از پرخطرترین مکان‌هایی هستند که در صورت انفجار شهر را با مشکلات بسیاری مواجه می‌کنند.

معیار مراکز مذهبی، فرهنگی

مراکز مذهبی و فرهنگی نقش اساسی در هویت هر جامعه دارند و در صورت از بین رفتن آن آسیب‌های روانی بر محدوده وارد خواهند نمود.

معیار مراکز سیاسی امنیتی و مدیریتی

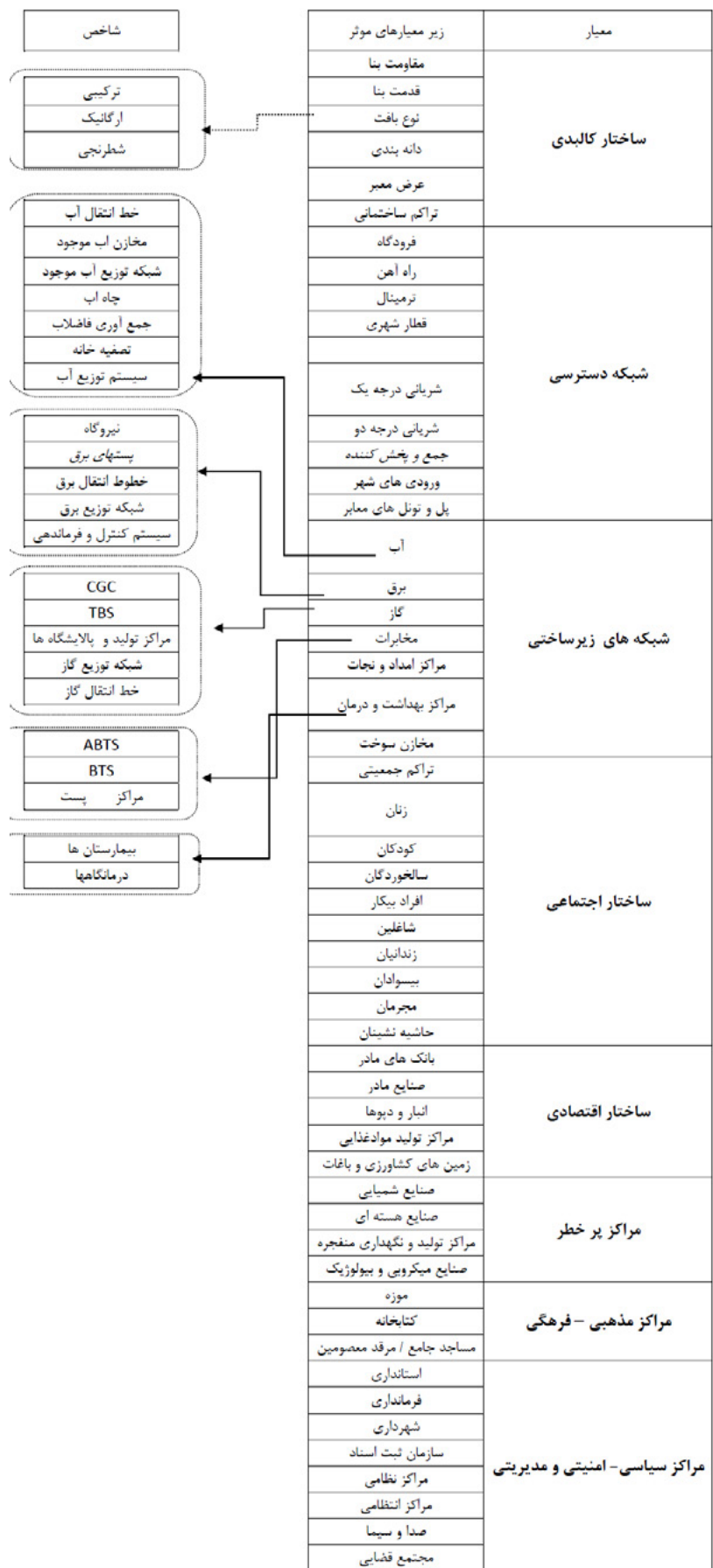
مراکز نظامی و انتظامی از نقاطی هستند که در طی جنگ‌ها به دلیل فرم خاص و مساحت زیادی که دارند از تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی و از طرفی با وجود افراد مؤثر نظامی و تجهیزات جنگی از اصلی‌ترین هدف‌های حملات به شمار می‌روند. شهرداری، فرمانداری و استانداری‌ها از مراکز تصمیم‌گیری در شهرها است که نقش مؤثری در مدیریت آن‌ها دارند. این مراکز در صورتی که هدف حملات نظامی دشمن قرار گیرند، شهر را دچار اختلالات فراوانی می‌کنند. بنابراین ارزیابی میزان آسیب‌پذیری این مراکز می‌تواند در این طرح مفید واقع گردد. سازمان‌های ثبت اسناد و احوال در صورت آسیب‌پذیری در مواقع بحران، پیامدهای مدیریتی و امنیتی و همچنین سیاسی را به شهر تحمیل می‌کنند. سازمان صدا و سیما در مواقع بحران نقش بسیار مهمی در ایجاد آرامش و تقویت روحیه‌ی ملی دارند، در صورتی که این مراکز منهدم شوند و یا مورد هدف نظامی قرار گیرند، تضعیف روحیه‌ی مردمی و شکست روانی را در پی دارند. علاوه بر نقش مدیریتی و امنیتی به لحاظ سیاسی در اذهان عمومی از دست رفتن این سازمان به معنای شکست حکومت سیاسی کشور تلقی می‌شود.

شعاع آسیب‌پذیری معیارها

آسیب‌پذیری شهر ناشی از وجود معیارهای شناخته شده در مرحله‌ی قبل به دو دسته آسیب‌پذیری فیزیکی و عملکردی قابل تقسیم است. در میزان آسیب‌پذیری فیزیکی به بررسی شعاع هر کدام از معیارها و زیرمعیارهای مشخص شده پس از انفجار پرداخته می‌شود. به این منظور فاصله‌ی پیرامون هر کدام از دارایی‌ها که بعد از انفجار با آسیب بسیار بالا تا بسیار پایین مواجه خواهند شد، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به منظور تعیین شعاع مذکور باید از نمونه‌های مختلف بهره گرفت. از آنجا که در مطالعات داخلی تحقیق مشابهی انجام نشده است، بنابراین از متون و مطالعات مختلفی که در شهرهای مختلف جهان انجام شده، استفاده شده است. در تحقیقات مشابه در این زمینه، شعاع آسیب‌پذیری دارایی‌ها براساس وجود یا عدم وجود مواد منفجره در آن‌ها تعیین شده است. با توجه به این مطلب تمامی دارایی‌هایی که مواد منفجره در آن‌ها وجود ندارد و صرفاً ساختمان از لحاظ کالبدی مورد نظر است، با یک شعاع مشخص برای میزان آسیب‌پذیری مشخص می‌شوند و برای سایر دارایی‌ها که دارای مواد منفجره هستند، شعاع با توجه به نوع مواد منفجره‌ی موجود در آن‌ها تعیین شده است.

شعاع خرابی یک ساختمان پس از انفجار به عواملی همچون میزان یا مقدار مواد منفجره، فاصله میان ساختمان و مواد منفجره،



جدول ۱: استخراج معیارهای موثر بر آسیب پذیری شهرها

شرایط و ویژگی‌های ساختمان بستگی دارد. با این وجود با توجه به سابقه‌ی حوادث و وقایع رخ داده در سطح جهان و با در نظر گرفتن نتایج ناشی از انفجارها، به طور متوسط می‌توان شعاع ۲۵۰ متر را برای شعاع آسیب‌پذیری در اطراف ساختمان‌ها و دارایی‌های بدون مواد منفجره در نظر گرفت. آسیب‌های وارده در این شعاع می‌تواند شامل خرابی فیزیکی ساختمان، صدمه‌های بدنی مهلک و مرگ‌آور و در نهایت صدمه‌های سطحی ناشی از فرو ریختن شیشه‌ها باشد. با توجه به مطالب مذکور و با استفاده از نظرات کارشناسی و همچنین از طریق مشابه‌سازی شرایط، شعاع آسیب‌پذیری‌های فیزیکی هرکدام از دارایی‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

با توجه به اینکه دارایی‌های شهر به لحاظ عملکردی نیز شهر را دچار آسیب‌پذیری می‌کنند، آسیب‌پذیری عملکردی برای دارایی‌هایی در نظر گرفته شده است که خدمات‌رسانی آن‌ها بخشی از شهر را شامل می‌شود و دارای سطح‌بندی هستند که عبارتند از شبکه‌ی بهداشت و درمان و آتش‌نشانی. این شعاع‌ها به ترتیب برای درمانگاه، بیمارستان و آتش‌نشانی، ۷۵۰، ۱۵۰۰ و ۲۷۰۰ متر است. با توجه به موردی بودن شعاع عملکردی سایر دارایی‌ها و متغیر بودن آن در شرایط مختلف و با در نظر گرفتن عمومیت این پژوهش شعاع عملکردی سایر دارایی‌ها به روش اندرکنش و ارزیابی میزان حساسیت دارایی‌ها محاسبه شده است.^۲

جدول ۲: شعاع آسیب‌پذیری معیارهای مؤثر [منبع: نگارندگان]

عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	زیرعوامل‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری	عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	شعاع آسیب‌پذیری (فیزیکی (متر)	زیرعوامل‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری	شعاع آسیب‌پذیری (فیزیکی (متر)
شبکه‌های زیرساختی	مراکز امداد و نجات	بیمارستان	۲۵۰	بیمارستان	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۰۰۰		۲۰۰۰
			۸۰۰		۸۰۰
	مخازن سوخت	مخازن سوخت کوچک	۲۰۰۰	مخازن سوخت کوچک	۲۰۰۰
			۳۵۰۰		۳۵۰۰
			۳۰۰۰ در بستر رودخانه		۳۰۰۰ در بستر رودخانه
	آب	خط انتقال آب سد	۲۵۰	خط انتقال آب سد	۲۵۰
			۰		۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۳۰۰۰		۳۰۰۰
			۲۵۰		۲۵۰
	برق	شبکه‌ی توزیع آب موجود	۲۵۰	شبکه‌ی توزیع آب موجود	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
مخابرات	مخابرات	سیستم کنترل و فرماندهی	۵۰۰۰	سیستم کنترل و فرماندهی	۵۰۰۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	نیروگاه	۲۵۰	نیروگاه	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	خطوط انتقال	۲۵۰	خطوط انتقال	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	پست ۴۰۰	۲۵۰	پست ۴۰۰	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	پست ۱۳۲	۲۵۰	پست ۱۳۲	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	پست ۶۳	۲۵۰	پست ۶۳	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	فیدرها	۲۵۰	فیدرها	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	CGC	۲۵۰	CGC	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	TBS	۲۵۰	TBS	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	شبکه‌ی تغذیه (توزیع)	۲۵۰	شبکه‌ی تغذیه (توزیع)	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	دیتا سنترها	۲۵۰	دیتا سنترها	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	مراکز مخابراتی	۲۵۰	مراکز مخابراتی	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	دکل‌های مخابراتی	۲۵۰	دکل‌های مخابراتی	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	ABTS	۲۵۰	ABTS	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	BTS	۲۵۰	BTS	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	پست ۴۰۰	۲۵۰	پست ۴۰۰	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	پست ۱۳۲	۲۵۰	پست ۱۳۲	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	پست ۶۳	۲۵۰	پست ۶۳	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	فیدرها	۲۵۰	فیدرها	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	CGC	۲۵۰	CGC	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	TBS	۲۵۰	TBS	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	شبکه‌ی تغذیه (توزیع)	۲۵۰	شبکه‌ی تغذیه (توزیع)	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	دیتا سنترها	۲۵۰	دیتا سنترها	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	مراکز مخابراتی	۲۵۰	مراکز مخابراتی	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	دکل‌های مخابراتی	۲۵۰	دکل‌های مخابراتی	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری	مخابرات	ABTS	۲۵۰	ABTS	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
	مخابرات	BTS	۲۵۰	BTS	۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰
			۲۵۰		۲۵۰

بررسی نمونه‌ی مطالعاتی فرضی

معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شهرها به یک میزان در آسیب‌پذیری شهر مؤثر نیستند و حتی در رابطه با شهرها و بسترهای متفاوت اهمیت هر یک از معیارها ممکن است افزایش یا کاهش یابد. بنابراین باید بتوان به طریقی این معیارها را در رابطه با هر شهر رتبه‌بندی نمود و اهمیت هر یک را مشخص کرد. در مورد پدیده‌ای نظیر شهر نیازمند دسترسی به نظرات افرادی است که از جنبه‌های مختلف با شهر آشنایی داشته و از اشراف کافی در این زمینه برخوردارند. یکی از روش‌هایی که می‌توان با استفاده از آن به دریافت نظرات متخصصان و صاحبان نظر پرداخت فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است. این روش یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. بنابراین در این مرحله از این روش به منظور ارزیابی معیارها و زیرمعیارهای استخراج شده برای آسیب‌پذیری استفاده شد. نرم‌افزار Expert Choice به منزله‌ی ابزاری برای تحلیل و نتیجه‌گیری دقیق‌تر نظرات مسئولان و متخصصان شهر مورد استفاده قرار گرفته است.

سؤال اصلی مطرح‌شده این بود که محدوده‌ی مورد نظر نسبت به کدام یک از معیارهای مشخص شده آسیب‌پذیرتر است و معیارها و زیرمعیارها چه درجه‌ای را به لحاظ آسیب‌پذیری نسبت به هم دارند. فرایند کار با مقایسه‌ی دودویی معیارهای اصلی نسبت به هم آغاز شد و سپس هر یک از زیرمعیارها در گروه‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند. معیارها و زیرمعیارها، با توجه به جدول زیر مورد مقایسه‌ی دودویی قرار گرفته و امتیازدهی شده‌اند.

توجه به این امتیازات بیانگر آن است که محدوده‌ی مورد نظر به لحاظ کدام یک از معیارها و زیرمعیارها دارای آسیب‌پذیری بیشتر و یا به عبارتی آسیب‌پذیرتر است. نتایج حاصل از ماتریس‌های تشکیل شده به صورت میانگین آورده شده و سپس وزن نهایی هر یک از معیارها و زیرمعیارها به صورت نموداری مورد مقایسه قرار گرفته است. امتیازات مربوط به هر یک از معیارها و شاخص‌ها بر روی لایه‌ی مورد نظر در پایگاه داده GIS قابل پیاده‌سازی است.

در مرحله‌ی بعد، با استفاده از ابزار Raster Calculator ستون‌های امتیازات مربوط به هر یک از لایه‌های اطلاعاتی ایجاد شده با یکدیگر جمع می‌شوند؛ به این ترتیب مجموع ۵۴ ستون

جدول ۳: وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها به روش AHP

معیار	وزن معیار	زیرمعیارهای مؤثر	وزن زیرمعیار	شاخص	وزن شاخص	وزن نهایی
ساختار کالبدی	۰،۱۰۷	مقاومت بنا	۰،۲۰	-	-	۰،۱۶
		قدمت بنا	۰،۱۳	-	-	۰،۱۱
		نوع بافت	۰،۱۶	شطرنجی	۰،۲۰	۰،۰۰۵
				ارگانیک	۰،۵۰	۰،۰۱۳
				ترکیبی	۰،۲۹	۰،۰۰۸
		دانه‌بندی	۰،۱۵	-	-	۰،۱۲
		عرض معبر	۰،۱۶	-	-	۰،۱۲
		تراکم ساختمانی	۰،۱۸	-	-	۰،۰۱۴
شبکه‌ی دسترسی	۰،۱۴۴	فرودگاه	۰،۱۹	-	-	۰،۰۲۲
		راه آهن	۰،۱۲	-	-	۰،۰۱۷
		ترمینال	۰،۰۸	-	-	۰،۰۰۸
		قطار شهری	۰،۰۸	-	-	۰،۰۰۹
		شریانی درجه یک	۰،۱۳	-	-	۰،۰۱۵
		شریانی درجه دو	۰،۰۹	-	-	۰،۰۱۱
		جمع و پخش‌کننده	۰،۰۹	-	-	۰،۰۱۰
		ورودی‌های شهر	۰،۱۴	-	-	۰،۰۱۶
		پل و تونل‌های معابر	۰،۰۷	-	-	۰،۰۰۸
		موزه	۰،۱۴	-	-	۰،۰۰۵
مراکز فرهنگی	۰،۰۳۵	کتابخانه‌های اصلی	۰،۲۳	-	-	۰،۰۰۴
مراکز خاص	۰،۱۰۶	صنایع شیمیایی	۰،۲۵	-	-	۰،۰۱۲
		صنایع میکروبی و بیولوژیک	۰،۳۴	-	-	۰،۰۱۶
		صنایع هسته‌ای	۰،۱۹	-	-	۰،۰۰۹
		مراکز تولید و نگهداری منفجره	۰،۲۲	-	-	۰،۰۲۳

ادامه جدول ۳: وزن دهی به معیارها و زیر معیارها به روش AHP

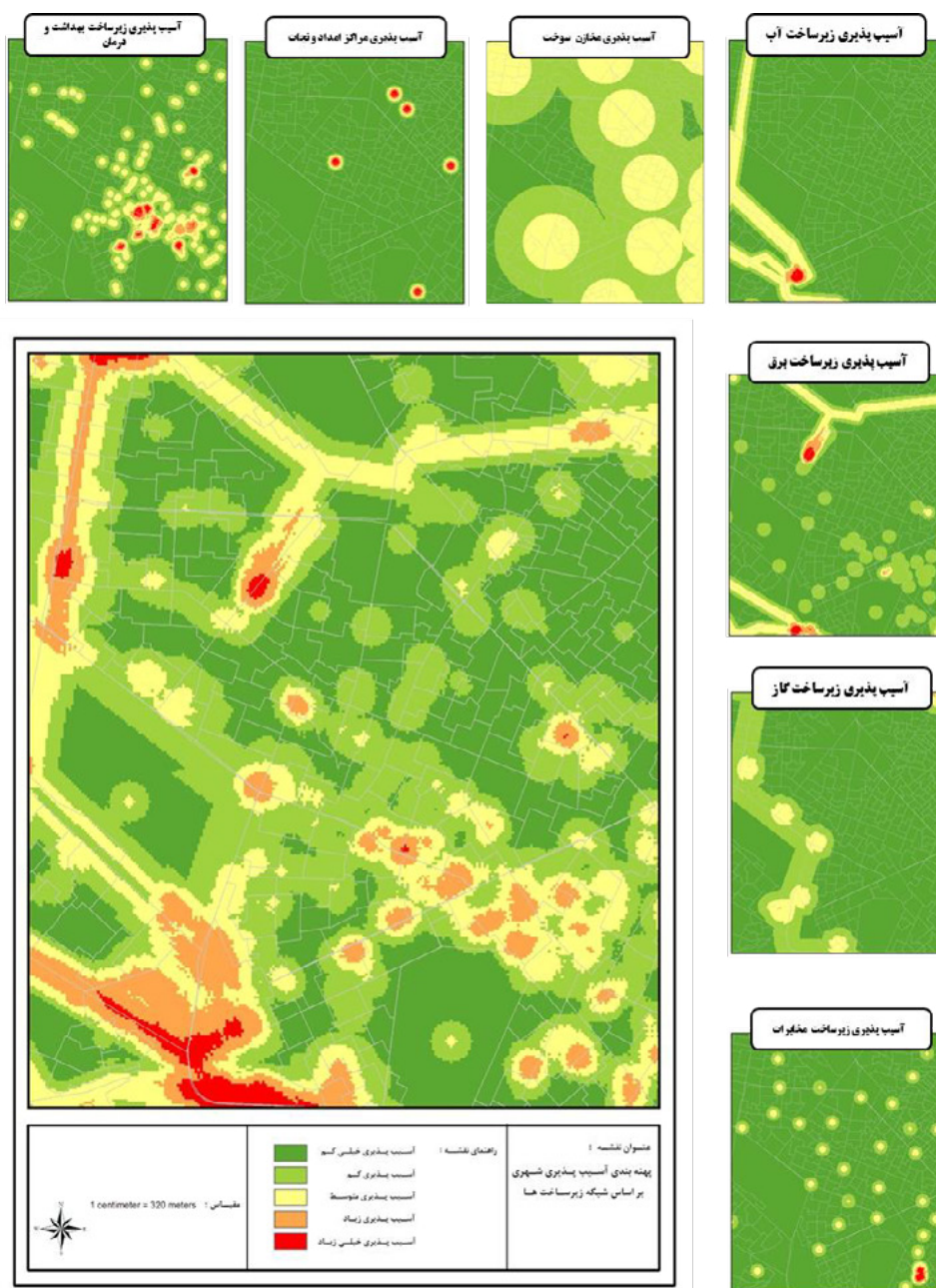
معیار	وزن معیار	زیرمعیارهای مؤثر	وزن زیرمعیار	شاخص	وزن شاخص	وزن نهایی
شبکه‌های زیرساختی	۰.۲۱۲	آب	۰.۱۶	سد	۰.۱۹۵	۰.۰۲۹
				تصفیه خانه	۰.۱۶	۰.۰۲۴
				مخازن آب	۰.۱۹	۰.۰۲۸
				چاه آب	۰.۱۴	۰.۰۲۲
				توزیع آب	۰.۱۶	۰.۰۲۴
				خط انتقال آب	۰.۲۰	۰.۰۳۱
		برق	۰.۱۷	نیروگاه‌ها	۰.۲۵	۰.۰۳۲
				فیدرهای حساس	۰.۱۱	۰.۰۱۶
				توزیع برق	۰.۱۴	۰.۰۲۱
				پست برق	۰.۲۱	۰.۰۲۸
				خطوط انتقال برق	۰.۱۹	۰.۰۲۸
				سیستم کنترل و فرماندهی	۰.۱۳	۰.۰۱۹
		گاز	۰.۱۵	خط انتقال گاز	۰.۲۷	۰.۰۲۹
				توضیع گاز	۰.۱۲	۰.۰۱۳
				TBS	۰.۱۸	۰.۰۱۹
				CGS	۰.۲۳	۰.۰۲۵
		مخابرات	۰.۱۲	مراکز مخابرات	۰.۱۹	۰.۰۱۰
				ABTS	۰.۲۷	۰.۰۱۳
				BTS	۰.۲۲	۰.۰۱۲
				دیتاسنتر	۰.۳۵	۰.۰۲۲
		مراکز امداد و نجات	۰.۱۳	مراکز بهداشت و درمان (بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها)	۰.۲۲	۰.۰۲۲
				آتش نشانی	۰.۲۲	۰.۰۲۴
		مخازن سوخت	۰.۱۶	مخازن سوخت	۰.۲۵	۰.۰۳۰
				پمپ بنزین	۰.۲۵	۰.۰۳۰
				CNG	۰.۲۵	۰.۰۳۰
ساختار اجتماعی	۰.۱۴۴	تراکم جمعیتی	۰.۱۹	-	-	۰.۰۲۲
		زنان	۰.۰۹	-	-	۰.۰۹
		کودکان	۰.۰۹	-	-	۰.۰۱۰
		سالخوردگان	۰.۰۸	-	-	۰.۰۰۷
		افراد بیکار	۰.۱۱	-	-	۰.۰۱۱
		زندانیان	۰.۱۱	-	-	۰.۰۱۱
		بیسوادان	۰.۰۸	-	-	۰.۰۰۷
		مجرمان	۰.۱۲	-	-	۰.۰۱۳
ساختار اقتصادی	۰.۱۲۳	بانک‌های مادر	۰.۱۴	-	-	۰.۰۰۹
		صنایع مادر	۰.۰۳	-	-	۰.۰۱۸
		انبار و دیپوها	۰.۱۲	-	-	۰.۰۱۳
		مراکز تولید مواد غذایی	۰.۲۳	-	-	۰.۰۱۰
		زمین‌های کشاورزی و باغات	۰.۱۱	-	-	۰.۰۰۷
مراکز سیاسی-امنیتی و مدیریتی	۰.۰۹۹	استانداری	۰.۱۴	-	-	۰.۰۱۱
		فرمانداری	۰.۱۰	-	-	۰.۰۰۸
		شهرداری	۰.۱۵	-	-	۰.۰۱۲
		ثبت اسناد	۰.۰۹	-	-	۰.۰۰۷
		مراکز نظامی	۰.۰۹	-	-	۰.۰۰۷
		مراکز انتظامی	۰.۰۸	-	-	۰.۰۰۸
		صدا و سیما	۰.۱۹	-	-	۰.۰۱۵

ارزش‌گذاری شده و سپس هشت نقشه‌ی نهایی حاصله با هم جمع شده و نقشه‌ی نهایی آسیب‌پذیری محدوده‌ی مورد نظر تهیه شده است.

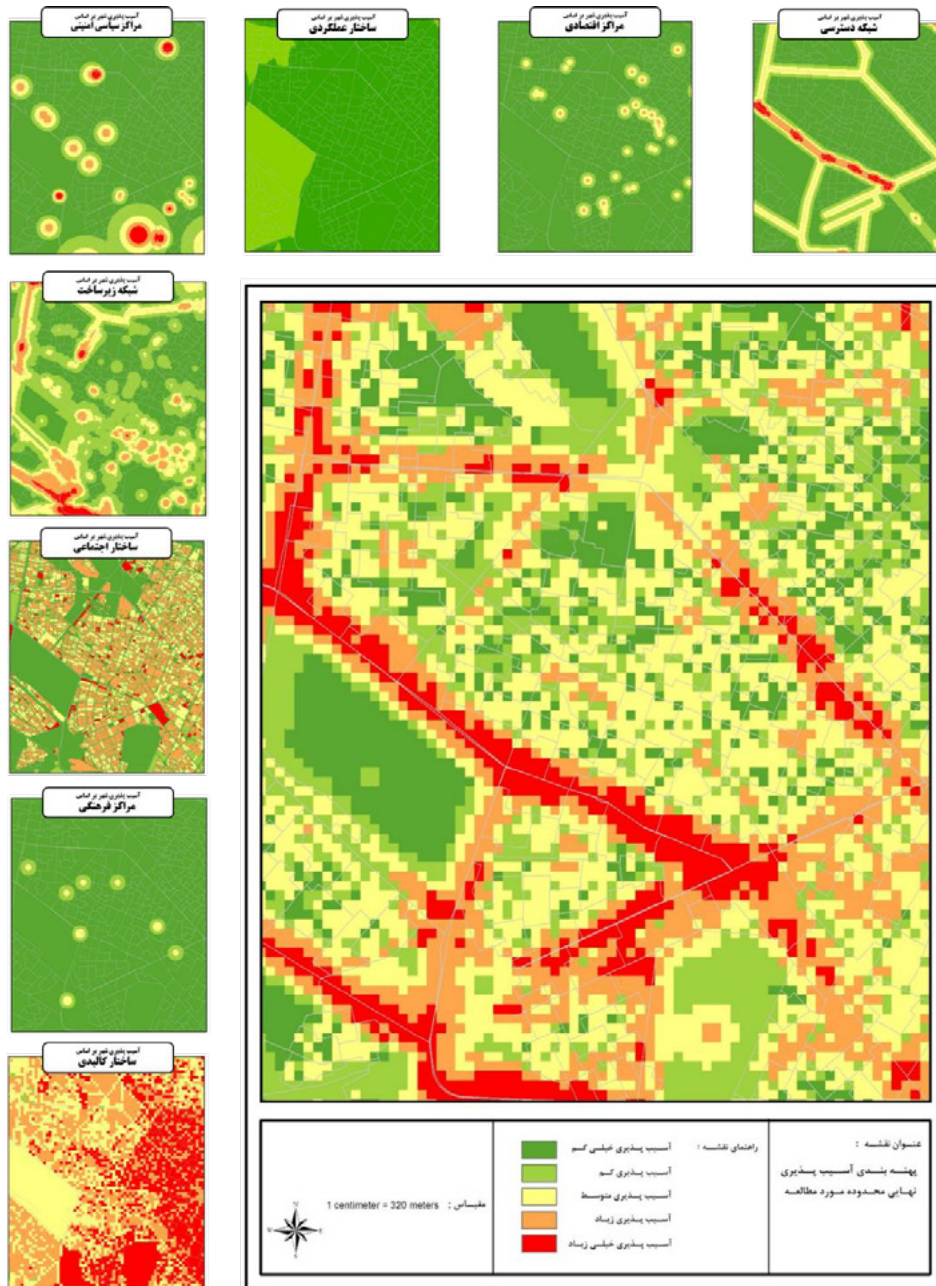
جمع‌بندی

در نهایت با اثرگذاری هر یک از معیارهای عنوان شده، نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری محدوده به دست آمده است که مشخص‌کننده‌ی هم‌افزایی‌های ناشی از آسیب‌پذیری معیارهای مختلف در محدوده است. این نقشه در پنج گروه خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم، میزان آسیب‌پذیری در سطح محدوده‌ی مورد بررسی را نمایش می‌دهد. بدیهی است با جابه‌جایی‌های، آسیب‌پذیری ناشی از بودن یا نبودن دارایی مورد نظر تحت الشعاع قرار گرفته و نقشه‌ی آسیب‌پذیری تغییر خواهد نمود.

مربوط به ۵۴ لایه‌ی اطلاعاتی که در هشت دسته‌ی کلی قرار گرفته‌اند، با توجه به امتیاز داده شده، رتبه‌بندی شده و درصد تأثیر هر یک در نقشه‌ی نهایی آسیب‌پذیری محدوده مشخص می‌گردد. گفتنی است که عملیات جبری داده‌ها در دو مرحله‌ی مجزا صورت گرفته است. برای هر یک از معیارهای مورد نظر، نقشه‌ی آسیب‌پذیری به صورت مجزا تهیه شده و به منظور ترکیب لایه‌ها از روش Weighted Overlay (همپوشانی وزن‌دار) با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. به این معنی که در مرحله‌ی نخست زیرمعیارهای هر یک از معیارهای اصلی نسبت به هم ارزش‌گذاری شده‌اند و بدین ترتیب نقشه‌ی آسیب‌پذیری هر معیار اصلی به طور جداگانه استخراج شده است و در مرحله‌ی بعد هشت معیار اصلی با توجه به امتیازات کسب شده، نسبت به هم



تصویر ۱: آسیب‌پذیری زیرمعیارهای مربوط به معیار آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها (نمونه‌ی مطالعاتی فرضی)



تصویر ۲: پهنه‌بندی نهایی آسیب‌پذیری نمونه‌ی مطالعاتی فرضی

شهر سومین معیار با اهمیتی است که شهر را دچار آسیب‌پذیری می‌نماید و معیار کالبدی به‌منزله‌ی چهارمین معیار با اهمیت در ارزیابی آسیب‌پذیری‌های شهر مورد بررسی قرار گرفته است که در نقشه‌ی نهایی این معیار اثرگذاری متفاوتی در نقاط مختلف داشته است.

نتیجه‌گیری

آسیب‌پذیری به معنای شرایطی است که در معرض خطر بودن یک جامعه را افزایش دهد یا به عبارتی نقطه ضعف‌هایی است که منجر به افزایش تبعات پس از وقوع خطر خواهد شد. بررسی ادبیات موجود نشان داد، آسیب‌پذیری سیستم شهری نه تنها ناشی از آسیب‌پذیری اجزای سیستم است بلکه مجاورت دارایی‌ها در کنار یکدیگر نیز اثرات هم‌افزایی بر آسیب‌پذیری شهر دارد؛

در انتهای هر بخش که متعلق به یکی از معیارها است، نقشه‌ی نهایی معیارهای اصلی آورده شده است. برآیند این نقشه‌ها که در واقع از هم‌پوشانی آن‌ها و اعمال وزن‌های مربوطه حاصل شده است، نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری محدوده‌ی مورد نظر را نشان می‌دهد.

در بین معیارهای آسیب‌پذیری، شبکه‌ی زیرساخت‌های شهری مهم‌ترین معیاری است که در آسیب‌پذیری شهر نقش بسزایی ایفا می‌کند. تأثیری که این معیار بر نقشه‌ی نهایی آسیب‌پذیری محدوده‌ی مورد نظر دارد بسیار بیشتر از سایر معیارها است.

شبکه‌ی دسترسی‌ها دومین معیار با اهمیت در ارزیابی آسیب‌پذیری محدوده‌ی مورد بررسی است. شبکه‌ی اقتصادی

بنابراین این پژوهش با ارائه‌ی مدل جامع ارزیابی آسیب‌پذیری، امکان پهنه‌بندی شهر بر اساس میزان آسیب‌پذیری ناشی از نبود یا وجود دارایی‌های شهری را فراهم آورد به گونه‌ای که اثرات متقابل و هم‌افزا آسیب‌پذیری اجزا در این مدل قابل دست‌یابی است. به این منظور ابتدا اجزا و معیارهای مختلف سنجش آسیب‌پذیری شهر مورد واکاوی قرار گرفت. به‌طورکلی معیارها شامل ساختار کالبدی، دسترسی، زیرساخت، اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی، سیاسی-امنیتی-مدیریتی و مراکز خاص است و می‌توان آن‌ها را متناسب با مکان و زمان، بومی‌سازی نمود. آنچه مسلم است تمامی معیارها دارای ارزش واحدی نیست و به تبع پیامد هر یک از آن‌ها در شهر متفاوت است و از این رو در منظر مسئولان و متخصصان جایگاه متفاوتی دارند که بر اساس پرسش‌نامه‌های توزیع شده، زیرساخت‌ها به خصوص زیرساخت سوخت‌رسانی و برق از بیشترین اثرگذاری بر آسیب‌پذیری برخوردارند. علاوه بر این آسیب‌پذیری در دو دسته قابل بررسی است: نخست ناشی از پیامدهای فیزیکی و تخریب اجزا که با شعاع آسیب‌پذیری مطرح می‌شود و وابسته به میزان مواد خطرناک است و دسته‌ی دوم به واسطه‌ی عدم پوشش شعاع عملکردی مراکز امداد و نجات و بیمارستان‌ها و ... در سطح شهر مطرح است. در نمونه‌ی موردی فرضی با اعمال شعاع‌های آسیب‌پذیری و ضریب اهمیت هر یک، پهنه‌های آسیب‌پذیر شهر مشخص شد که می‌تواند مبنایی برای پیشنهاداتی در محدوده‌ی فرضی باشد.

پی‌نوشت

1. Lifeline
2. Infrastructure
3. در مقاله‌ی ارائه‌ی الگوی ارزیابی خطرپذیری (ریسک) براساس تلفیق رویکردهای عملکردی و آمایشی در زیرساخت‌های حیاتی که در سال ۱۳۹۴ در فصلنامه‌ی مدیریت بحران چاپ شده به روش‌های ارزیابی حساسیت دارایی‌ها به طور خاص پرداخته شده است.

منابع

1. Bugliarello, Georg (2005). Urban security in the United States: An overview. *Technology in Society*, Volume:25, Issue:4
2. Bugliarello, Georg (2003). Urban security in perspective, Article in *Technology in Society* 25(4):499-507
3. Lewis M. Branscomb (Jan.-Apr. 2006). Sustainable Cities: Safety and Security. *Technology in Society*, Vol. 28, issue 1-2
4. تقوایی، مسعود؛ جوزی خمسلویی، علی (۱۳۹۰). بررسی آسیب‌پذیری کاربری‌های شهری در مسیرهای راهپیمایی با رویکرد پدافند غیرعامل. فصلنامه‌ی آمایش محیط، شماره‌ی ۱۶، ۲-۱۶.
5. Qian Gangvi et al. (2009). System Vulnerability of Urban Lifeline in Emergency Response. Management and Service Science, 2009. MASS '09. International Conference on Wuhan, Pages 1 - 4.
6. رازپور، مهدی؛ عراقی زاده، مجتبی؛ علی الحسابی، مهران (۱۳۹۷). الگوی تبیین شاخص‌های دفاع غیرعامل در راستای کاهش آسیب‌پذیری شهری.

- دوفصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران، پاییز و زمستان ۱۳۹۷.
۷. حسین زاده، سید رضا (۱۳۸۳). برنامه‌ریزی همگام با مخاطرات طبیعی با تأکید بر ایران. *مجله‌ی جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، شماره‌ی سوم.
۸. امینیان، امیراحمد؛ صیامی، قدیر؛ تقی‌نژاد، کاظم؛ زاهدی کال کی، ابراهیم (۱۳۹۴). تخمین آسیب‌پذیری شهر گرگان در برابر زلزله با تأکید بر فاصله از تأسیسات شهری با روش منطق فازی. *دوفصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*. شماره‌ی ۸، ۴۷-۵۴.
۹. عابدی، مهدی (۱۳۹۰). بررسی اثرات ناشی از تخریب ساختمان‌ها پس از وقوع زلزله در معابر شهری - نمونه موردی محله چندر منطقه‌ی ۱. پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شهرسازی - برنامه ریزی شهری و منطقه ای، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
۱۰. شمس، مجید؛ جعفر معصوم‌پور، شهرام سعیدی؛ شهپازی، حسین (۱۳۹۰). بررسی مدیریت بحران در بافت‌های فرسوده شهر کرمانشاه مطالعه‌ی موردی محله فیض آباد. *مجله آمایش محیط*، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۱۳-۴۱.
۱۱. حبیبی، کیومرث و همکاران (۱۳۸۷). تعیین عوامل ساختمانی مؤثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و FUZZY LOGIC. *هنرهای زیبا*، شماره‌ی ۳۳، صص ۲۷-۳۶.
۱۲. زنگی آبادی، علی؛ محمدی، جمال؛ صفایی، همایون؛ قائدرحمتی، صفر (۱۳۸۷). تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر خطر زلزله، نمونه‌ی موردی: مساکن شهر اصفهان، *مجله علمی - پژوهشی جغرافیا و توسعه*، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان، دوره‌ی ۶، شماره‌ی پیاپی ۶۱، ۷۹-۶۱.
۱۳. بمانیان، محمدرضا؛ رفیعیان، مجتبی؛ خالصی، محمدمهدی؛ بمانیان، رضا (۱۳۹۱). کاهش خطرپذیری شهر از بلایای طبیعی (زلزله) از طریق برنامه‌ریزی کاربری زمین. *دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، شماره‌ی دوم، ۵-۱۵.
۱۴. احمدی، عبدالمجید؛ فتحی، سعید؛ اکبری، ابراهیم (۱۳۹۷). ارزیابی تاب‌آوری محیط شهری در برابر مخاطرات طبیعی با تأکید بر زمین‌لرزه با استفاده از منطق فازی و GIS (مطالعه‌ی موردی: شهر ارومیه). *نشریه‌ی جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره‌ی ۲۷.
۱۵. حیدری، محمدجواد (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های شهری از خطر زلزله (مطالعه‌ی موردی: بافت قدیم شهر زنجان). *نشریه‌ی مهندسی جغرافیایی زمین*، دوره‌ی دوم، شماره‌ی ۳، بهار و تابستان.
16. Chunliang XiuT, Lin Cheng, Wei Song, Wei Wu. (2011). Vulnerability of large city and its implication in urban planning: A perspective of intra-urban structure, *Chinese Geographical Science*, Volume 21, Issue 2, pp 204-210.
17. UN (United Nations) (2002). Report of the World Summit on Sustainable Development. UN, New York, NY.
18. Piers Blaikie, Terry Cannon, Ian Davis, and Ben Wisner (2004). At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters, Routledge, 2nd Edition
19. David A. Moorea, , Brad Fullera, Michael Hazzana, J. William Jonesb (2007). Development of a security vulnerability assessment process for the RAMCAP chemical sector. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 142, Issue 3, Pages 689-694.
۲۰. احدنژاد روشنی، محسن؛ روستایی، شهرپور؛ کاملی‌فر، محمدجواد (۱۳۹۴). ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر شهری در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی ۱ شهر تبریز. *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*، دوره ۲۴، شماره ۹۵.
۲۱. توکلی، حمیدرضا؛ اکبرپور، سوده (۱۳۸۹). ملاحظات بهسازی ساختمان‌ها

در برابر اجزای پیش‌رونده. اولین کنفرانس پدافند غیرعامل و سازه‌های مقاوم.

۲۲. محمدی ده چشمه، مصطفی (۱۳۹۲). شکل خوب شهر از منظر ملاحظات پدافند غیرعامل. کنگره انجمن ژئوپلتیک ایران.

۲۳. کامران، حسن؛ امینی، داوود؛ حسینی امینی، حسین (۱۳۹۱). کاربرد پدافند غیرعامل در برنامه‌ریزی مسکن شهری. *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*. سال چهارم، شماره‌ی پانزدهم.

۲۴. بهرام پور، مهدی؛ بمانیان، محمدرضا (۱۳۹۱). تبیین الگوی جانمایی پایگاه‌های مدیریت بحران با استفاده از GIS-نمونه‌ی موردی شهر تهران منطقه‌ی ۳. *مجله‌ی مدیریت بحران*، شماره‌ی اول، ص ۵۱-۵۹.

۲۵. عزیزی، محمد مهدی؛ اکبری، رضا (۱۳۸۷). ملاحظات شهرسازی آسیب‌پذیری شهرها از زلزله‌ی تهران، *نشریه‌ی هنرهای زیبا*. شماره ۴۰، تهران

۲۶. قلی زاده، سعید؛ نکویی، محمدعلی؛ فیضی، احسان (۱۳۹۴). کاربرد ارزیابی خطرپذیری امنیتی در سامانه ریلی و ایستگاه راه آهن. *دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، شماره‌ی هفتم، بهار و تابستان

۲۷. محمدپور، علی؛ ضرغامی، سعید (۱۳۹۳). الزامات مکان‌یابی تأسیسات شهری از دیدگاه پدافند غیرعامل. *مجله سپهر*، شماره‌ی ۹۰، ص ۸۹-۹۳.

۲۸. هاشمی فشارکی، جواد؛ شکیبامنش، امیر (۱۳۹۰). *طراحی شهری از منظر دفاع غیرعاملی*. انتشارات بوستان حمید.

۲۹. نوراللهی، حانیه؛ برزگر، اکرم؛ عوض‌آبادیان، فرشید، سلیمانی، عاطفه؛ علیخانی، آرزو (۱۳۹۴). ارائه‌ی الگوی ارزیابی خطرپذیری ریسک براساس تلفیق رویکردهای عملکردی و آمایشی در زیرساخت‌های حیاتی. *فصلنامه مدیریت بحران*، شماره‌ی هفتم، تهران.

۳۰. ابراهیم زاده، عیسی؛ احدنژاد، محسن؛ ابراهیم زاده آسمین، حسین؛ شفیعی، یوسف (۱۳۸۸). برنامه‌ریزی و ساماندهی فضایی مکانی خدمات بهداشتی و درمانی با استفاده از GIS-مورد: شهر زنجان. *مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی/انسانی*، شماره ۷۳، ۳۹-۵۸.

31. Enarson, Elaine, and Betty Hearn Morrow, eds. (1998). *The gendered terrain of disaster*. Westport, CT: Praeger.

32. Peacock, Walter G., Betty Hearn Morrow, and Hugh Gladwin. (1997). *Hurricane Andrew: Ethnicity, Gender and the Sociology of Disaster*. London: Routledge

33. Tierney, Kathleen. (2006). Social Inequality, Hazards, and Disasters. In *On Risk and Disaster: Lessons from Hurricane Katrina*, edited by R. J. Daniels, D. F. Kettl, and H. Kunreuther. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.

34. CLimate change and Urban Vulnerability in Africa (CLUVA), 2011.

مکان‌یابی احداث اسکان اضطراری شهر کرمان با استفاده از GIS

عبدالرضا کاظمی نیا*: مربی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران، kazeminia@sirjantech.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر سوانح طبیعی از جمله زلزله، به منزله یکی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی کالبدی، شهری و طراحی شهری محسوب می‌گردد. لذا، اولین گام، شناسایی مناطق ایمن شهری برای احداث مکان‌های اسکان اضطراری در برابر زلزله است. بنابراین این تحقیق سعی دارد با هدف شناسایی نواحی ایمن شهر کرمان را در برابر زلزله و در راستای مدیریت بحران، با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، مشخص و پهنه‌بندی نماید. با توجه به اینکه ایمن بودن نواحی شهری خود تابعی از چندین معیار است، لذا مدل مدنظر تحقیق از نوع مدل‌های چند معیاره است و با توجه به ماهیت مکانی معیارها پیاده‌سازی مدل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت گرفته است. استخراج معیارهای ایمن بودن نواحی شهری با روش دلفی و تهیه پرسش‌نامه‌هایی از کارشناسان شهرسازی، سازه، معماری و مطالعه کارهای گذشته انجام پذیرفت. این معیارها عبارتند از: معیارهای ماتریس مطلوبیت (مقاومت زمین)، معیارهای ماتریس سازگاری (۱). همجواری با کاربری‌های سازگار: پارک‌ها و فضای سبز، فاصله از مراکز درمانی - امدادی و فاصله از معابر اصلی، ۲. عدم همجواری با کاربری‌های ناسازگار: صنایع عمده انفجاری مانند پمپ‌گاز- بنزین و مراکز نظامی و معیار ماتریس ظرفیت (تراکم جمعیتی). هر کدام از این معیارها بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس رتبه‌بندی شده و سپس در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مدل‌سازی و با به‌کار بردن توابع تحلیلی نقشه مکان‌های مناسب برای ایجاد اسکان اضطراری شهر کرمان تهیه گردید. نتایج حاصل حاکی از آن است که مکان‌های بسیار مناسب احداث مکان‌های اسکان اضطراری به ترتیب در مناطق ۲، ۳ شهر کرمان بیشتر به چشم می‌خورد که در برنامه‌ریزی‌ها باید در اولویت قرار گیرند. در نهایت بعد از تعریف پایگاه داده زمین مرجع برای شبکه‌ی حمل و نقل شهری، برای خدمات‌رسانی و رسیدن سریع‌تر آسیب‌دیدگان در زمان و یا بعد از بحران به مکان‌های اسکان اضطراری، شبکه‌ی هندسی معابر منطقه طراحی گردید. با طراحی شبکه‌ی هندسی معابر و تعریف محدودیت‌های مورد نظر برای هر خیابان مانند طول خیابان و وجود چراغ راهنما، می‌توان با به‌کار بردن تحلیل‌های شبکه در زمان مورد نیاز، به راحتی مناسب‌ترین خیابان رسیدن به نزدیک‌ترین مکان اسکان اضطراری را تعیین نمود.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، مکان‌های اسکان اضطراری، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تحلیل شبکه، کرمان

Site selection of Emergency Accommodation in Kerman City by using GIS

Abdolreza Kazeminia

Abstract

Reducing the vulnerability of cities to natural disasters such as earthquakes is considered as one of the main goals of Urban and urban planning. Hence, the first step is to identify the safe areas of the city for the construction of a shelter against earthquakes. This research aims to identify and zonate safe areas of the Kerman city during earthquakes and to manage the crisis using spatial information systems. Because the safety of urban areas depends on several criteria, the model of the research is a multi-criteria model and according to the spatial nature of the criteria, implementation of the model was done in the GIS environment. Safety criteria of urban areas were determined by the Delphi method and preparing questionnaires from urban planners, constructors, architects and studying past works. These criteria are utility matrix (ground resistance) criteria, criteria of adaptation matrix (1- neighborhood to compatible uses: parks and green space, and distance from health centers & urgent cares 2- Non-adherence to incompatible uses: major explosive industries such as gas-petrol stations and military centers) and the matrix of capacity (population density). Each of these criteria was ranked according to the inverse hierarchical analysis method and then modeled in the GIS environment. Finally, by using analytical functions maps of safe shelters in Kerman were prepared. Our results indicate that the most suitable places for the construction of shelters are in regions 2 & 3 in the Kerman city, which should be prioritized in the city plans. Finally, after the definition of the land reference database for urban routes, the geometric network of the distances of the area was designed to react more quickly to shelters to provide services to injured people after the crisis. By designing the geometric network of passages and defining the limits for each path, such as the length of the route and the presence of the traffic lights, it is possible to determine the best route to the closest shelter by using network analysis at the time it is needed.

Keywords: Site Selection, Temporary Sheltering, GIS, Network analysis, Kerman.

Instructor, Civil Faculty, Sirjan University of Technology, Sirjan, Kerman, Iran; Email: kazeminia@sirjantech.ac.ir

۴۷

شماره شانزدهم

پاییز و زمستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



مقدمه

شهرها در طول تاریخ هیچ‌گاه از آسیب‌های حوادث طبیعی بی‌امان نبوده‌اند. یکی از راه‌های اساسی برای ایجاد آمادگی در برابر مخاطرات، آگاهی از مناطق ایمن شهری است. لذا اگر بتوان با روش‌هایی مکان‌های اسکان اضطراری امن در شهرها در برابر حوادث طبیعی مانند زلزله را تعیین کرد، می‌توان با اتخاذ راهکارهایی آمادگی را تا حد بسیار زیادی افزایش داد [۱]. زلزله یکی از فعالیت‌های طبیعی زمین است که امروزه با وقوع آن در جوامع بشری تبدیل به حادثه‌ای مهیب شده است و به دلیل نقص علم بشر باعث تخریب بسیاری از سازه‌های ساخت او می‌شود و هزینه‌های فراوانی را برجای می‌گذارد. زلزله هنگامی تبدیل به سانحه می‌شود که راهکارهای مناسبی برای کاهش خطرات و تلفات در هنگام وقوع و بعد آن وجود نداشته باشد؛ این موضوع با دخالت‌های نسنجیده‌ی انسانی در محیط‌های طبیعی، از جمله ساخت و سازهای بی‌رویه در حریم گسل‌ها، تمرکز ساختمانی، کمبود فضاهای باز، همچنین عدم رعایت استانداردهای جهانی در ساخت و سازها، تراکم و توزیع نامناسب جمعیت، عدم تناسب زیر ساخت‌ها و کاربری‌های شهری و آموزش ناکافی شهروندان تشدید می‌شود [۲]. در قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله‌ی مخرب در نقاط مختلف کره‌ی زمین روی داده که در اثر آن بیش از یک میلیون نفر جان خود را از دست داده‌اند که ۹۰ درصد آن‌ها عمدتاً ناشی از ریزش ساختمان‌هایی بوده که از اصول مهندسی و ایمنی کافی برخوردار نبودند [۳]. با توجه به قرارگیری کشور ایران در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا (کمربند مستعد زلزله) ضرورت توجه اصلی به مسئله‌ی مدیریت بحران امری بدیهی است. بر اساس گزارش سازمان ملل، در سال ۲۰۰۳ میلادی، کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه‌ی نخست را در تعداد زلزله و تعداد افراد کشته شده در اثر این سانحه، داشته است [۴]. علت اصلی این امر آسیب‌پذیر بودن اکثر شهرهای ایران و کمبود مکان‌های اسکان اضطراری ایمن در آن‌ها بوده است. تا جایی که آمارها نشان می‌دهد ۹۰ درصد شهرهای کشور در برابر زلزله‌ی ۵ ریشتری آسیب‌پذیر هستند [۵]. بر این اساس سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی و دستورالعمل‌های مدون برای مقابله با کلیه‌ی حوادث غیرمترقبه از جمله زلزله می‌تواند عوارض و پیامدهای ناشی از آن را کاهش دهد. شناسایی نواحی ایمن و مناسب در شهرسازی می‌تواند نقش بسزایی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های حوزه‌ی شهری داشته باشد که این خود بیانگر ضرورت مدل‌سازی مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری است [۶]. مکان‌های اسکان اضطراری، مکان‌هایی هستند که دارای حداقل استانداردهای زیستی لازم برای زندگی در مدت زمان نسبتاً طولانی در قبل، حین و پس از بحران هستند. این فضاها باید برای مردم کاملاً شناخته شده باشد و فاصله‌ی دسترسی به آن‌ها طوری باشد که افراد بتوانند با طی مسافتی نه چندان زیاد به آن‌ها مراجعه کنند. فاصله‌ی مناسب تا فضاهای اسکان منطقه‌ای، حدود یک کیلومتر از محل سکونت است و ترجیحاً این فضاها باید نزدیک به امکانات و زیرساخت‌های شهری موجود نیز باشند [۷]. مکان‌یابی مکان‌های اسکان

اضطراری، در واقع تجزیه و تحلیل توأمان اطلاعات فضایی آن‌ها و داده‌های توصیفی مربوطه به منظور یافتن یک یا چند موقعیت مناسب با ویژگی‌های تعیین شده مورد نظر کاربر است [۸]. با توجه به اینکه مدیریت بحران فرایندی است که می‌تواند از بحران پیش‌گیری نمایند یا در صورت وقوع آن برای کاهش آثار، ایجاد آمادگی لازم، مقابله، امدادرسانی سریع و بهبود اوضاع تا رسیدن به وضعیت عادی و بازسازی تلاش کند، بنابراین شناسایی مناطق امن به این امر نیز کمک می‌نماید [۹]. با توجه به اهمیت بسیار بالای مقوله‌ی مسکن و سرپناه برای بشر، پیش‌بینی و اجرای مکان‌هایی برای اسکان اضطراری آسیب‌دیدگان از حوادث به‌ویژه زلزله، امری اجتناب‌ناپذیر بلکه دارای تقدم و اولویت اساسی است. یکی از وظایف مهم برنامه‌ریزان بخش مدیریت بحران در هر سیستم برنامه‌ریزی و اجرایی، پیش‌بینی‌های جدی برای اسکان اضطراری و موقت است [۱۰]. چرا که انسان آسیب‌دیده بدون سرپناه متعارف در آستانه‌ی آسیب‌های جدی جسمی، روحی و روانی است. در صورت عدم پیش‌بینی صحیح و به موقع در این زمینه جامعه‌ی آسیب‌دیده شاهد تأثیرات منفی و غیر قابل جبران برای نسل حادثه‌دیده‌ی فعلی و نسل‌های آتی خواهد بود. به همین دلیل نقش مکان‌یابی مراکز اسکان اضطراری آسیب‌دیدگان در مکان‌های پیش‌بینی شده، حائز اهمیت بسیاری در مدیریت شهرها و شهرسازی است [۱۱]. قرارگیری شهر کرمان بر روی کمربند زلزله‌ی آلپ- همالیا و فاصله‌ی ۱۳ کیلومتری شهر تا گسل اصلی و واقع شدن به‌منزله‌ی مرکز استان، لزوم برنامه‌ریزی شهری با در نظر گرفتن اهمیت مکان‌یابی مراکز اسکان اضطراری امن در برابر آسیب‌های ناشی از بلایای طبیعی غیرمنتظره مانند زلزله را آشکار می‌سازد. کارشناسان متعددی زلزله‌خیزی شهر کرمان را بررسی نموده‌اند که بسیاری حتی احتمال زلزله‌ی ۷ ریشتری را نیز تخمین زده‌اند. بر این اساس توجه به احداث مراکز اسکان اضطراری در مکان‌های ایمن برای کاهش آسیب‌های احتمالی، از ضروریات مدیریت شهر کرمان است.

پیشینه‌ی پژوهش

در سال‌های اخیر، مطالعات بسیاری در زمینه‌ی موضوع تحقیق حاضر انجام گرفته است که در ادامه، برخی از آن‌ها بررسی می‌شود.

زین لیم و سامسونگ لیم در سال ۲۰۱۵ در تحقیق خود یک روش تجزیه و تحلیل فضایی در ناحیه‌ای از کشور استرالیا را با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پیشنهاد دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که می‌توان مکان‌های مناسب احداث مکان‌های اسکان اضطراری را با روش‌های تحلیلی تعیین نمود و حتی با آنالیزهای شبکه در محیط سیستم‌های اطلاعات مکانی می‌توان آن‌ها را نیز مسیریابی کرد [۱۲]. یونال و اسلو (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی دسترسی‌پذیر بودن مکان‌های اسکان اضطراری اضطراری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پارامترهایی مانند فاصله از مراکز درمانی، فاصله از خطوط گسل، تراکم جمعیت، فاصله از فضاهای باز شهری را اساس مطالعه‌ی

خود قرار دادند. آن‌ها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که از مجموع بلوک‌های شهر آدانای کشور ترکیه، ۱۶۴ بلوک از فضای باز، ۲۷۵ بلوک از فضای مدرسه و ۳۳۳ بلوک از فضای سبز مناسب برای احداث مکان‌های اسکان اضطراری هستند [۱۳]. اسکوارتز (۲۰۱۷) در پایان‌نامه‌ی خود با استفاده از تحلیل‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استقرار مکان‌های اسکان اضطراری ایمن در شهر نیویورک را ارزیابی نمود. او به این نتیجه رسید که استقرار مکان‌های اسکان اضطراری در شهر نیویورک بیشتر بستگی به پارامترهای نزدیکی به معابر اصلی، مراکز درمانی و وسایل نقلیه دارد [۱۴]. فرقانی و دربندی (۱۳۹۴)، عوامل مؤثر در انتخاب مکان‌های اسکان اضطراری پس از زلزله را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارزیابی نمودند. آن‌ها برای مکان‌یابی مراکز اسکان از مدل منطق دو وجهی بولین استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که فقط شش محل منطقه‌ی چهار شهر کرمان، برای اسکان مناسب هستند [۱۵]. خمر و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی مکان‌گزینی مکان‌های اسکان اضطراری منطقه‌ی یک شهر کرمان با استفاده از مدل IO و روش AHP به این نتیجه رسیدند که فضاهای مدنظر برای انتخاب مکان‌های اسکان اضطراری در این سطح پاسخ‌گوی جمعیت موجود منطقه در برابر حوادث نیست [۱۶]. خزایی و روستایی (۱۳۹۵) در تحقیق خود با عنوان مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری چند منظوره‌ی شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، موقعیت‌های مناسب برای احداث مکان‌های اسکان اضطراری را در منطقه‌ی یک شهر تهران، بررسی نمودند. براساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق آن‌ها، ۲۰۸ محدوده برای احداث مکان‌های اسکان اضطراری چندمنظوره‌ی شهری در منطقه‌ی یک تهران دارای شایستگی مناسب و بسیار مناسب هستند [۸]. بنابراین در این راستا، در تحقیق پیشرو نسبت به مطالعات پیشین، ابتدا مکان‌های مناسب احداث اسکان اضطراری را بر اساس معیارهای جدید ماتریس مطلوبیت (مانند مقاومت زمین)، ماتریس سازگاری (مانند فاصله از مراکز درمانی - امدادی، صنایع عمده آلوده کننده و انفجاری مانند پمپ گاز- بنزین و مراکز نظامی) و ماتریس ظرفیت (تراکم جمعیت) ارزیابی نموده که برای نخستین مرتبه برای وزن‌دهی این معیارها، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس استفاده شده است و در نهایت با توجه به این محدودیت‌ها به مکان‌گزینی‌های ایجاد مکان‌های اسکان اضطراری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام شده است. همچنین در این مطالعه نسبت به تحقیق‌های قبلی، شبکه‌ی هندسی معابر برای تعیین مناسب‌ترین خیابان دستیابی آسیب‌دیدگان برای امداد و نجات به نزدیک‌ترین مکان‌های اسکان اضطراری طراحی گردیده است.

مبانی نظری

مکان‌یابی^۱: فرایند مکان‌یابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شامل یک سری مراحل معین و مشخصی

بوده که برای دستیابی به نتایج قابل اطمینان، اجرای آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است. مکان‌یابی به ارزیابی یک محیط فیزیکی که تأمین‌کننده‌ی شرایط و پشتیبانی از فعالیت‌های انسانی است می‌پردازد. هدف عمده‌ی ارزیابی مکان برای استفاده خاص از زمین، برای این است که مطمئن شویم در آنجا توسعه و گسترش فعالیت‌های انسان با توجه به امکانات و محدودیت‌ها، محیط زیست طبیعی، سازگاری و هماهنگی دارد. به‌طور کلی فرایند مکان‌یابی را می‌توان شامل مراحل شناخت، تهیه‌ی داده‌های مورد نیاز، تعیین پارامترهای تأثیرگذار، شناخت دقیق از محدوده‌ی مطالعاتی، گردآوری و آماده‌سازی داده‌ها، تهیه‌ی نقشه، تلفیق نقشه‌ها و تهیه‌ی خروجی دانست [۱۷].

معیارهای مکان‌گزینی مراکز اسکان اضطراری شهری در این تحقیق

معیارهای ماتریس مطلوبیت: در این ماتریس معیارهایی که در مطلوب بخشیدن یک فضای ایمن مؤثر هستند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این ماتریس استقرار مکان‌های اسکان اضطراری با توجه به شرایط محیطی، شعاع دسترسی، انطباق با طرح‌های شهری، دسترسی‌ها، تأسیسات و تجهیزات شهری مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند تا از آن‌ها به‌منزله‌ی معیارهای تفصیلی برای تعیین مکان مناسب برای احداث مراکز اسکان اضطراری استفاده شود. معیارهای مقاومت زمین شامل روانگرایی، جنبش و حرکات دامنه‌ای زمین شهر کرمان به‌منزله‌ی معیارهای ماتریس مطلوبیت در این مطالعه در نظر گرفته شده‌اند.

معیارهای ماتریس سازگاری: سازگاری به معنای هماهنگی و همخوانی، تعریف شده است. در این بحث منظور از این معیارها، هماهنگی و همخوانی بین فعالیت‌های شهری از یک طرف و هماهنگی بین فرم و عملکرد مکان‌های اسکان اضطراری از سوی دیگر است. این ماتریس بیان می‌کند که کاربری‌های مجاور با مکان‌های اسکان اضطراری هماهنگ بوده و مزاحمتی برای آن‌ها به وجود نمی‌آورد. با توجه به این مطلب معیارهایی که جزو ماتریس سازگاری در مکان‌یابی مراکز اسکان اضطراری در این تحقیق قرار گرفته‌اند عبارتند از: کاربری‌های سازگار مانند همجواری با پارک‌ها، فضای سبز، فضاهای باز و فاصله از مراکز درمانی - امدادی و کاربری‌های ناسازگار مانند فاصله از صنایع عمده‌ی آلوده کننده و انفجاری مانند پمپ گاز- بنزین.

معیار ماتریس ظرفیت: ظرفیت مکانی، به عنوان یک عامل اساسی و تعیین کننده در موقعیت مکان‌های اسکان اضطراری محسوب می‌شود. این ماتریس بیان می‌کند که مکان‌های اسکان اضطراری یک مقیاس دارد و هر جایی که این فعالیت قرار گیرد باید آن محل، ظرفیت پذیرش آن فعالیت را داشته باشد. از معیار تراکم جمعیت شهری در این تحقیق به‌منزله‌ی معیار ماتریس ظرفیت، استفاده گردیده است.

روش وزن‌دهی تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس^۲ (IHWP)

برای وزن‌دهی روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله می‌توان روش‌های بولین، نسبتی، رتبه‌بندی، تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس را نام برد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس ترکیبی از روش منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است [۱۸]. پس از مشخص و طبقه‌بندی معیارهای مورد نظر با استفاده از روش دلفی، برای مشخص نمودن وزن و طبقه‌بندی هر معیار، که به طبقه‌بندی نقشه‌ی لایه‌های آن در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) منتهی خواهد شد، از روش وزن‌دهی تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس (IHWP) طبق مراحل زیر استفاده می‌گردد [۱۹]:

- تعیین ماتریس داده‌ها و اهمیت و رتبه‌ی آن‌ها
- محاسبه‌ی امتیاز و تهیه‌ی نقشه‌ی هر یک از معیارها؛ در این مرحله هر معیار با توجه به رتبه‌ی معکوس به دست آمده طبق روابط ۱ و ۲ طبقه‌بندی می‌شود.

$$\text{رابطه‌ی ۱: } X = \frac{D}{N}$$

$$\text{رابطه‌ی ۲: } J = D - (N - I) \times X$$

X: امتیاز اولیه‌ی هر معیار، D: امتیاز هر معیار بر اساس روش دلفی، N: تعداد طبقات هر شاخص، J: امتیاز به دست آمده برای طبقه‌بندی‌های هر معیار و I: رقم اختصاص داده شده برای طبقه‌بندی‌های مختلف هر معیار است.

- تلفیق نقشه‌ها برای تعیین نقشه‌ی نهایی
- با انجام طبقه‌بندی برای هر معیار در هر لایه نقشه مطابق با منطق فازی نامناسب‌ترین مناطق عدد ۱ و مناسب‌ترین مناطق عدد صفر را کسب می‌نمایند. در این میان شاخص‌های گسسته به شاخص‌های پیوسته تبدیل می‌شوند که این عمل با تغییر ساختار مدل داده‌ای از برداری به شبکه‌ای امکان‌پذیر است. در این مرحله متناسب با معکوس رتبه‌ی کسب شده، وزن‌دهی به کلاس‌های هر لایه صورت می‌گیرد و در نهایت با میانگین‌گیری هندسی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی ایجاد شده نقشه‌ها تلفیق می‌گردند. بنابراین مراحل روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس برای وزن‌دهی معیارهای ماتریس مطلوبیت، سازگاری و ظرفیت در تحقیق حاضر، به شرح زیر انجام شده است:

- مرحله‌ی اول و دوم: تعیین ماتریس داده‌ها، اهمیت و رتبه‌ی آن‌ها؛

مرحله‌ی اول تهیه‌ی نقشه‌های معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی مراکز اسکان اضطراری منطقه‌ی مورد مطالعه است که این موضوع با استفاده از روش دلفی انجام می‌گیرد. بنابراین معیارها طبق جدول‌های ۳، ۵، ۶ و ۷ که در ادامه ارائه گردیده، تعیین و رتبه‌بندی شدند. بر این اساس با اهمیت‌ترین معیار عدد ۳ و کم اهمیت‌ترین عدد ۱ را به خود اختصاص می‌دهد. در مرحله‌ی دوم، رتبه‌ی معکوس هر معیار برای مشخص کردن وزن هر لایه تعیین و سپس فرض‌های وزن‌دهی آن‌ها مشخص گردید. به عبارتی

معکوس رتبه‌ی هر لایه به عنوان وزن آن در مدل IHWP در نظر گرفته می‌شود.

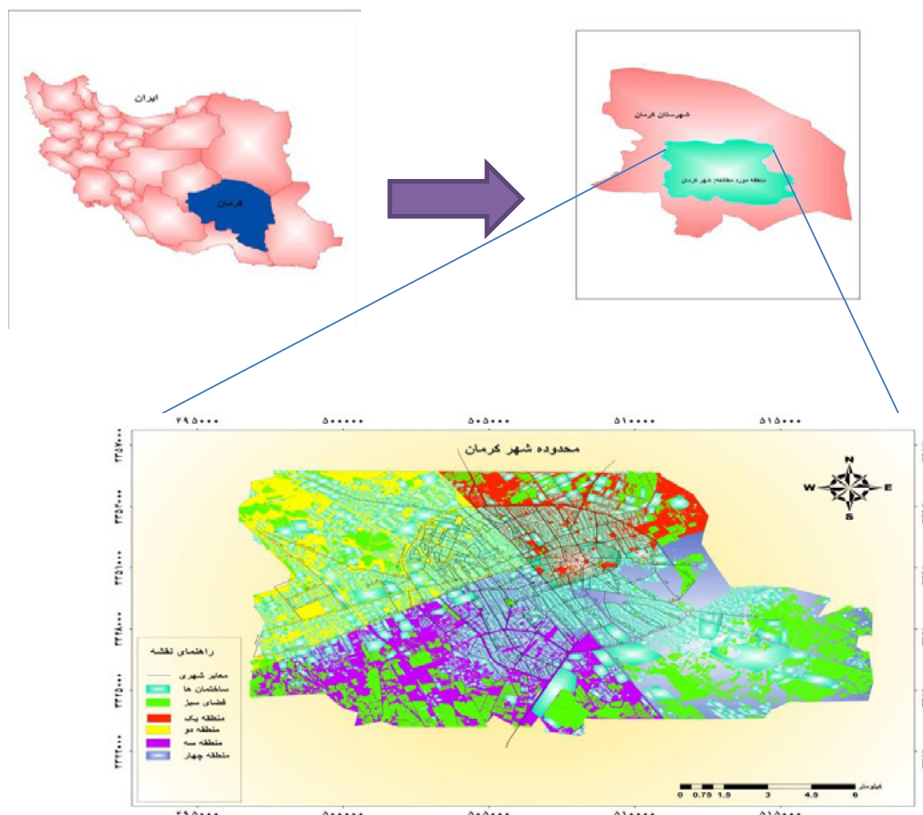
- مرحله‌ی سوم: محاسبه‌ی امتیاز و تهیه‌ی نقشه‌ی هر یک از معیارها
- در این مرحله هر معیار با توجه به رتبه‌ی معکوس کسب شده، با استفاده از روابط ۱ و ۲ طبقه‌بندی گردیدند. با انجام این طبقه‌بندی برای هر معیار در هر لایه مطابق منطق فازی نامناسب‌ترین مناطق، عدد ۱ و مناسب‌ترین مناطق، عدد صفر را کسب می‌نمایند. پس از تعیین وزن هر معیار و طبقه‌بندی آن‌ها، نقشه‌ی وزن‌دار شده‌ی هر معیار نیز تهیه گردید که در ادامه ارائه شده است.

شناخت محدوده‌ی پژوهش

شهر کرمان در دشتی نسبتاً وسیع قرار گرفته که از نظر جمعیتی در رده‌ی شهرهای بالای پانصد هزار نفر کشور و از نظر ناحیه‌ای، به منزله‌ی مهم‌ترین و بزرگ‌ترین شهر جنوب شرق، با عملکردی فرا منطقه‌ای، در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی ۳۰°۱۴ تا ۳۰°۱۹ و طول جغرافیایی ۵۷° تا ۵۷°۷ شمالی واقع شده است. کارشناسان متعددی زلزله‌خیزی شهر کرمان را بررسی نموده‌اند که بسیاری حتی احتمال زلزله‌ی ۷ ریشتری را نیز تخمین زده‌اند [۲۰]. این شهر با ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. شهر کرمان دارای قدمت طولانی بوده و از نظر تقسیمات شهرداری دارای چهار منطقه‌ی شهری است. (تصویر ۱).

روش تحقیق

مکان‌یابی مراکز اسکان اضطراری با توجه به دو شاخص انجام می‌شود: ۱. مطلوبیت که مکان در نظر گرفته شده باید در نزدیکی یا همجواری این خدمات یا مکان‌ها باشد، مانند: نزدیکی به مراکز درمانی، مراکز امداد و نجات، فضاهای باز شهری، مناطق با مقاومت زیرساخت مناسب، دسترسی به خیابان‌های عریض و تراکم جمعیتی مناسب؛ ۲. نامطلوب که مراکز اسکان اضطراری نباید در نزدیکی این مکان‌ها قرار گیرند، مانند مراکز انفجاری و آتش‌زا، زمین‌های سست و کم‌مقاوم. بنابراین در این تحقیق با توجه به معیارهای تأثیرگذار بر مکان‌گزینی مراکز اسکان اضطراری نسبت به بحران زلزله، معیارهای مورد نظر در سه گروه معیارهای ماتریس مطلوبیت، معیارهای ماتریس سازگاری یا همجواری با کاربری‌های سازگار و عدم همجواری با کاربری‌های ناسازگار شهری و معیار ماتریس ظرفیت طبقه‌بندی گردیدند. سپس معیارهای انتخاب شده طبق روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس وزن‌دهی و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه‌ی هر معیار تهیه و در نهایت با میانگین‌گیری هندسی نقشه‌ها، نقشه‌ی نهایی مکان‌های مناسب پیشنهادی برای ایجاد مکان‌های اسکان اضطراری در سطح شهر کرمان، ارائه و همچنین برای خدمات‌رسانی و رسیدن سریع‌تر آسیب‌دیدگان در زمان و یا پس از بحران به مکان‌های اسکان اضطراری، بعد از تعریف پایگاه داده زمین مرجع برای معابر شهری، شبکه‌ی هندسی خیابان‌های



تصویر ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

تعیین معیارهای مؤثر در مکان‌یابی اسکان موقت شهر کرمان

طبقه‌بندی معیارها

معیارهای مربوط به
ماتریس ظرفیت

معیارهای مربوط به ماتریس
سازگاری یا همجواری با کاربری
های سازگار و عدم همجواری با
کاربری‌های ناسازگار

معیارهای مربوط به
ماتریس مطلوبیت

اهمیت و رتبه‌بندی معیارها بر اساس
روش دلفی

استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS)

محاسبه وزن معیارها بر
اساس IHWP

طبقه‌بندی مجدد

مکان‌یابی احداث مکان‌های اسکان موقت بر اساس ترکیب معیارهای ماتریس‌های
مطلوبیت، سازگاری، ظرفیت و طراحی شبکه‌ی هندسی معابر برای تعیین مناسب‌ترین
خیابان رسیدن به نزدیک‌ترین مکان اسکان موقت

تصویر ۲: نمودار فرایند انجام تحقیق

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در تحقیق

ردیف	داده (نقشه‌ها)	مقیاس	سال تهیه	منبع
۱	عکس‌های هوایی	۱/۵۰۰۰	۱۳۸۷	سازمان نقشه‌برداری کشور
۲	نقشه‌ی معابر شهری	۱/۲۰۰۰	۱۳۹۱	شهرداری کرمان
۳	نقشه‌ی کاربری اراضی شهری	۱/۲۰۰۰	۱۳۹۲	شهرداری کرمان

منطقه نیز طراحی شده است. مراحل کلی انجام این تحقیق در تصویر ۲ ارائه شده است.

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از نقشه‌های شهری به مقیاس ۱/۲۰۰۰ که به روش نقشه‌برداری هوایی (فتوگرامتری) همراه با نقشه‌برداری زمینی تهیه شده‌اند، استفاده گردید. در جدول ۱ داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر ارائه شده است.

یافته‌های تحقیق

الف. تهیه نقشه‌ی مکان‌یابی مراکز اسکان اضطراری با استفاده از معیارهای مطلوبیت

با توجه به اینکه مکان در نظر گرفته شده برای مکان‌های اسکان اضطراری باید از لحاظ زمینی که روی آن بنا می‌شود دارای پایداری مناسب و بالایی باشد، بنابراین معیار مقاومت زمین یکی از پارامترهایی است که باید مد نظر قرار گیرد. ناپایداری زمین و نداشتن برنامه‌های اصولی برای رویارویی با بحران‌های آبی سبب گردید که در مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری شهر کرمان معیار ویژگی‌های مقاومت زمین به منزله‌ی معیار ماتریس مطلوبیت انتخاب شوند (جدول ۲). در تحقیق پیش رو معیارهای مربوط به مقاومت زمین، شامل روان‌گرایی، جنبش و حرکت‌های دامنه‌ای زمین هستند. خطر روان‌گرایی زمین اراضی رابطه‌ی مستقیمی با سطح ایستایی آب‌های زیرزمینی و رسوبات سست ماسه‌ای دارد. هم‌اکنون یکی از مشکلاتی که شهر کرمان با آن مواجه شده بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی به علت ورود فاضلاب شهری است و برخی نواحی آن مخصوصاً بافت قدیمی شهر، دارای این معضل است. هر چه عمق آب زیرزمینی کم و رسوبات سست‌تر باشند، روان‌گرایی خاک اراضی به راحتی رخ داده و زمین آن ناحیه سست‌تر است. در این تحقیق برای تهیه‌ی نقشه بر اساس خطر روان‌گرایی، از نقشه‌ی سطح ایستایی آب‌های زیرزمینی سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان و نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه (نقشه‌ی بافت رسوبات سطحی) استفاده شده است (تصویر ۳. الف). برای تعیین معیار جنبش زمین در هر منطقه می‌توان از تلفیق یافته‌های مطالعات میکروترمورها و طبقه‌بندی بر پایه‌ی اطلاعات گمانه‌ها، استفاده نمود و نقشه‌ی جنبش زمین را تهیه کرد. میکروترمورها لرزش‌های بسیار ضعیف دائمی زمین هستند که در اثر عوامل مختلفی مانند حرکت ترافیک، وزش باد و غیره

ایجاد می‌شوند [۲۰]. رسوبات زمین بخش‌های مشخصی از طیف میکروترمورها را تقویت می‌کنند که تابع ویژگی‌های دینامیکی رسوب است. بر این اساس در تحقیق حاضر، نقشه‌ی جنبش زمین در منطقه‌ی مورد مطالعه مطابق تصویر ۳. ب تهیه شده است. یکی از جنبه‌های رایج آسیب لرزه‌ای و سستی زمین اراضی، خطر حرکت‌های دامنه‌ای یا گسیختگی دامنه‌ها در تمامی سطوح شیب‌دار در هنگام وقوع زلزله است که در اثر آن آسیب وارد می‌شود. شیب زمین ارتباط مستقیم با حرکات دامنه‌ای دارد. هرچه شیب کمتر باشد خطر حرکت‌های دامنه‌ای زمین و آسیب ناشی از آن کمتر خواهد بود. بنابراین در این تحقیق برای تهیه‌ی نقشه‌ی مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری بر اساس حرکت‌های دامنه‌ای زمین، ابتدا، اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی شیب شد. برای این منظور، با استفاده از ۴۲۰ نقطه کنترل ارتفاعی برداشت شده در سطح منطقه با درون‌یابی، مدل رقومی ارتفاعی تهیه، و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ۱۰.۲ نقشه‌ی شیب شهر کرمان آماده گردید (تصویر ۳. پ). بعد از تهیه‌ی نقشه‌ی شیب با توجه به این که هر چه شیب کمتر باشد حرکت‌های دامنه‌ای زمین کمتر می‌شود، اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی این معیار در منطقه‌ی مورد مطالعه گردید (تصویر ۳. ت). پس از تعیین معیارهای مطلوبیت و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس اهمیت مطابق روش دلفی، برای تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری بر اساس معیارهای ماتریس مطلوبیت هر کدام از نقشه‌های مورد نظر مطابق روش IHWP وزن‌دهی (جدول ۳) و در نهایت تلفیق شدند (تصویر ۳. ث).

ب. تهیه نقشه مکان‌یابی مراکز اسکان اضطراری با استفاده از معیارهای ماتریس سازگاری

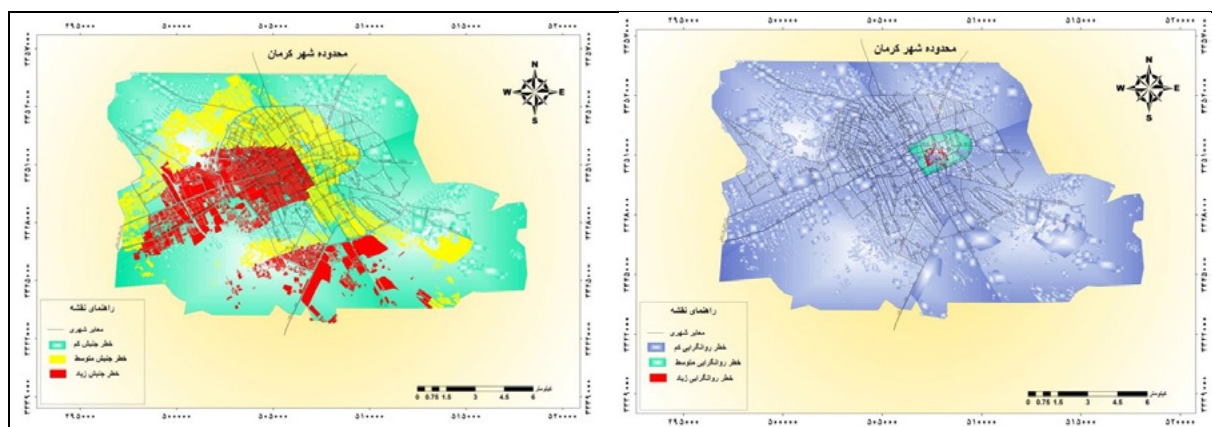
معیارهای ماتریس سازگاری بر اساس سازگار بودن کاربری هر مکان با مکان‌های هم‌جوار آن تعیین می‌شود [۲۱]. به بیان دیگر وجود کاربری‌هایی مثل زمین‌های خالی، فضاهای سبز، زمین‌های کشاورزی، پارک‌ها، پارکینگ‌ها کاملاً سازگار بوده و در ایجاد مکان‌های اسکان اضطراری مناسب است و همچنین در امداد رسانی و کاهش آسیب رساندن کمک می‌نمایند. اما کاربری‌های ناسازگار (کاربری‌های صنعتی و آتش‌زا، تأسیسات قابل انفجار) می‌تواند سبب آسیب رساندن به مکان هم‌جوار خود شوند و برای احداث مکان‌های اسکان اضطراری نامناسبند [۲۲]. در این تحقیق معیارهای هم‌جواری با فضای سبز و پارک‌ها، زمین‌های خالی و باز، فاصله از مراکز درمانی و امدادی به منزله‌ی کاربری‌های سازگار و مکان‌های مجاور با این کاربری‌ها، مناسب و معیارهای فاصله از تأسیسات انفجاری مانند پمپ بنزین، گاز را به منزله‌ی

جدول ۲: معیارهای مربوط ماتریس مطلوبیت در منطقه‌ی مورد مطالعه

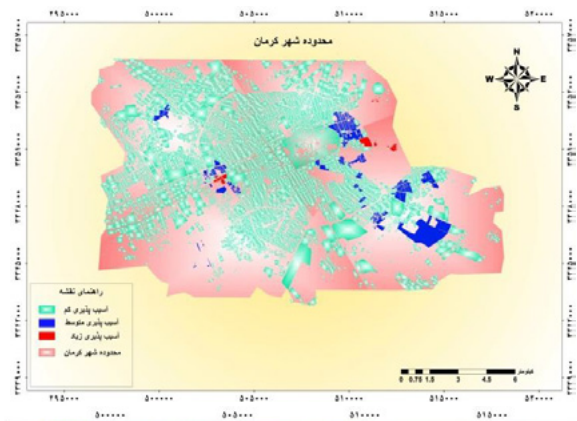
ردیف	معیار	طبقه
۱	حرکت‌های دامنه‌ای بر اساس شیب زمین	گسیختگی کم (شیب کمتر از ۵ درصد)
		گسیختگی متوسط (شیب ۵ تا ۱۰ درصد)
		گسیختگی زیاد (شیب بیش از ۱۰ درصد)
۲	خطر روان‌گرایی بر اساس عمق آب زیرزمینی و زمین ماسه‌ای	عمق کمتر از ۵ متر
		عمق بین ۵ تا ۱۰ متر
		عمق بیشتر از ۱۰ متر
۳	جنبش زمین بر اساس بافت خاک و رسوبات	شن
		رس
		ماسه

جدول ۳: رتبه و طبقه‌بندی معیارهای ماتریس مطلوبیت برای تعیین مکان‌یابی مکان موقت در شهر کرمان

معیار	رتبه بر اساس دلفی	معکوس رتبه	تعداد طبقات	دامنه‌ی طبقات متغیرها	وزن طبقات در روش IHWP		
					طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳
خطر روان‌گرایی زمین	۱	۳	۳	۱	۱	۲	۳
جنبش زمین	۲	۲	۳	۰,۶۶	۰,۶۶	۱,۳۲	۲
حرکات دامنه‌ای زمین	۳	۱	۳	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۶۶	۱

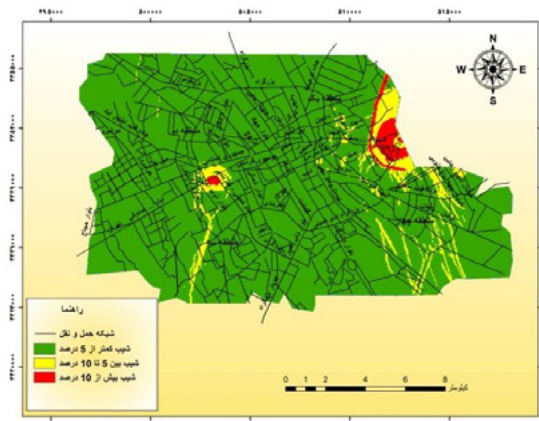


تصویر ۳. ب: خطر جنبش زمین منطقه‌ی مورد مطالعه



تصویر ۳. ت: خطر حرکت دامنه‌ای زمین منطقه‌ی مورد مطالعه

تصویر ۳. الف: خطر روان‌گرایی زمین منطقه‌ی مورد مطالعه



تصویر ۳. پ: شیب زمین منطقه‌ی مورد مطالعه

۵۳

شماره شانزدهم

پاییز و زمستان

۱۳۹۸

دوفصلنامه

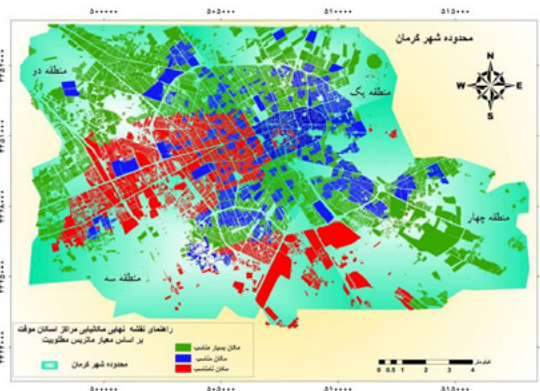
علمی و پژوهشی

مکان‌یابی

مکان‌یابی احداث اسکان اضطراری شهر کرمان با استفاده از GIS

جدول ۴: معیارهای مربوط ماتریس سازگاری در منطقه‌ی مورد مطالعه

ردیف	معیار	طبقه
۱	سازگاری کاربری‌ها	بی تفاوت
		سازگار
		ناسازگار
۲	فاصله از مراکز درمانی - امدادی	فاصله کمتر از ۷۰۰ متر
		فاصله بین ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر
		فاصله بیشتر از ۲۰۰۰ متر
۳	فاصله از تأسیسات انفجاری (پمپ بنزین و گاز)	فاصله بیشتر از ۱۰۰۰ متر
		فاصله بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر
		فاصله کمتر از ۵۰۰ متر



تصویر ۳. ث: نقشه‌ی نهایی مکان یابی مراکز اسکان موقت در شهر کرمان بر اساس ماتریس مطلوبیت

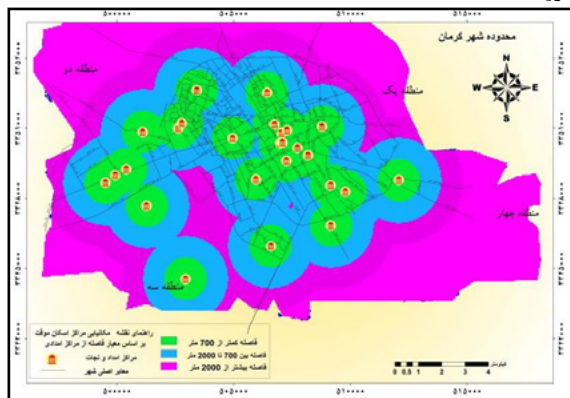
تصویر ۳: نقشه‌های معیار ماتریس مطلوبیت منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول ۵: رتبه و طبقه‌بندی معیارهای ماتریس سازگاری برای تعیین مکان‌یابی مکان‌های اسکان موقت در شهر کرمان

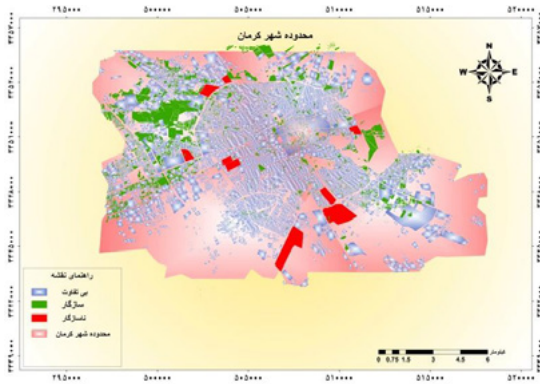
معیار	رتبه بر اساس دلفی	معکوس رتبه	تعداد طبقات	دامنه‌ی طبقات متغیرها	وزن طبقات در روش IHWP		
					طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳
سازگاری کاربری‌ها	۱	۴	۳	۱,۳۳	۱,۳۳	۲,۶۶	۴
فاصله از تأسیسات انفجاری	۲	۳	۳	۱	۱	۲	۳
فاصله از مراکز امدادی	۳	۲	۳	۰,۶۶	۰,۶۶	۱,۳۲	۲
فاصله از مراکز درمانی	۴	۱	۳	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۶۶	۱



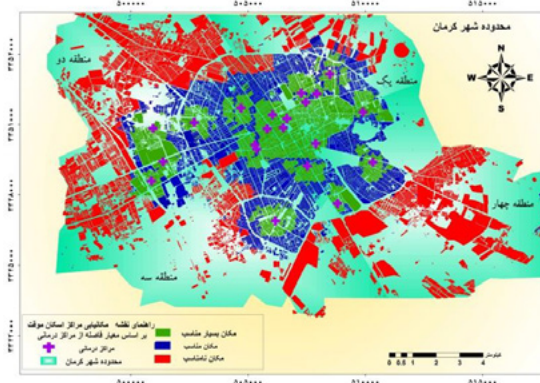
تصویر ۴. ب: نقشه‌ی پراکندگی مراکز درمانی و فاصله از آنها در منطقه‌ی مورد مطالعه



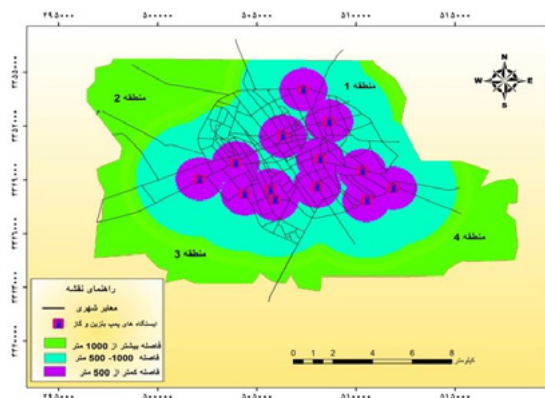
تصویر ۴. ت: نقشه‌ی پراکندگی مراکز امدادی و فاصله از آنها در منطقه‌ی مورد مطالعه



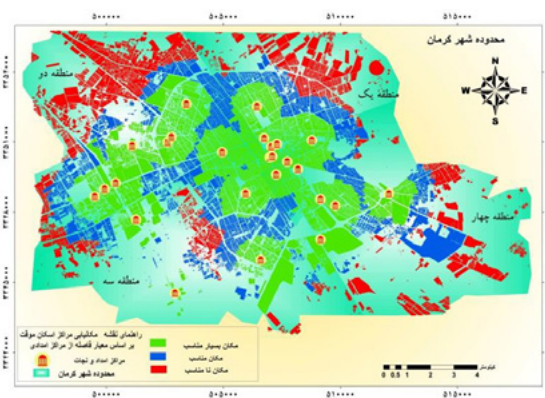
تصویر ۴. الف: نقشه‌ی معیار سازگاری کاربری‌های منطقه‌ی مورد مطالعه



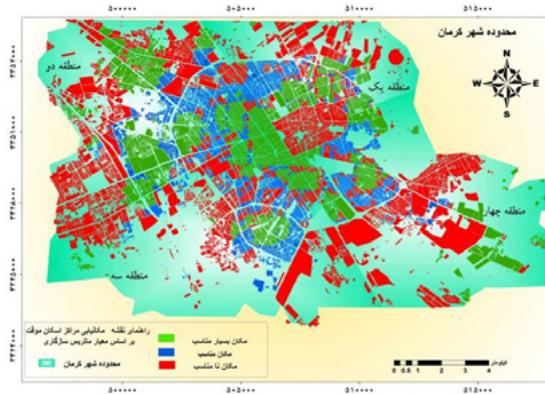
تصویر ۴. پ: نقشه‌ی معیار فاصله از مراکز درمانی منطقه‌ی مورد مطالعه



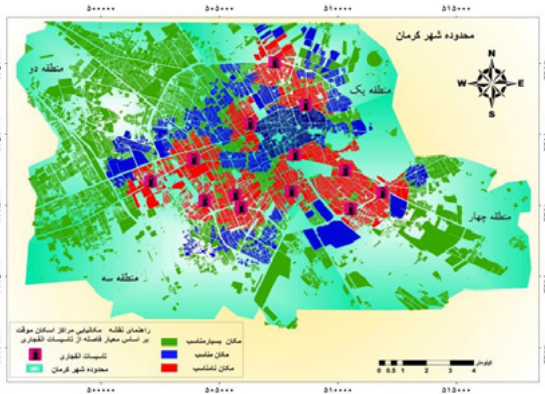
تصویر ۴. ت: نقشه‌ی پراکندگی تاسیسات انفجاری و فاصله از آنها در منطقه‌ی مورد مطالعه



تصویر ۴. ت: نقشه‌ی معیار فاصله از مراکز امدادی منطقه‌ی مورد مطالعه



تصویر ۴. خ: نقشه‌ی نهایی مکان یابی مراکز اسکان موقت در شهر کرمان بر اساس معیار ماتریس سازگاری



تصویر ۴. ح: نقشه‌ی معیار فاصله از تاسیسات انفجاری منطقه‌ی مورد مطالعه

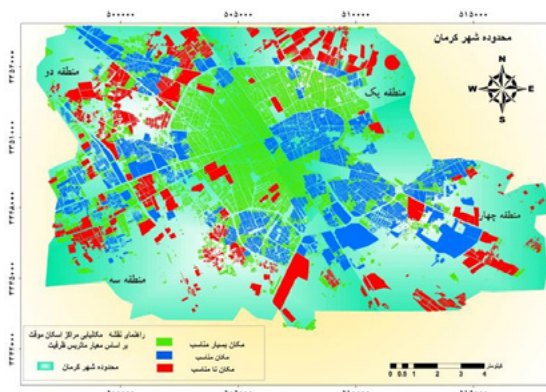
تصویر ۴: نقشه‌های معیار ماتریس سازگاری منطقه‌ی مورد مطالعه

و همچنین همکاری متقابل بین این مراکز با سازمان هلال احمر به منزله‌ی متصدی امر اسکان تا حد زیادی کارایی هر دورا افزایش می‌دهد. بر این اساس اولویت گزینه‌ها با محل‌هایی است که به این ایستگاه‌ها نزدیک‌تر باشند. در این تحقیق به‌طور متوسط حداقل فاصله مکان‌های اسکان اضطراری از مراکز امدادی ۷۰۰ متر در نظر گرفته شده و بر این اساس نقشه‌ی معیار فاصله مکان‌های اسکان اضطراری از مراکز امدادی شهر کرمان، در تصویر ۴. ث. ترسیم شده است. معیار فاصله‌ی مکان‌های اسکان اضطراری از تاسیسات انفجاری مانند پمپ بنزین و گاز، هر چه بیشتر باشد در اولویت بالاتری در ایجاد مکان‌های اسکان اضطراری قرار می‌گیرد. به عبارتی نزدیکی مکان‌های اسکان اضطراری به این تاسیسات در هنگام بحران، امکان آسیب رساندن به آن را امکان‌پذیر می‌نماید. در این تحقیق، با توجه به حداقل فاصله‌ی مراکز اشتعال آور (۵۰۰ متر) طبق دستورالعمل مکان‌یابی مراکز آتش‌نشانی در شهرها انتخاب شده است. حریم ۵۰۰ متر نشان‌دهنده‌ی حداکثر آسیب به مکان‌های مورد نظر است (تصویر ۴. ح). معیارهای ماتریس سازگاری مورد نظر، با توجه به نظر کارشناسان و روش دلفی طبقه‌بندی و بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس وزن‌دهی گردیده‌اند (جداول ۴ و ۵). در نهایت نقشه‌ی هر معیار ماتریس سازگاری تهیه (تصاویر ۴) و بعد از تلفیق نقشه‌ی

کاربری‌های ناسازگار و مکان‌های مجاور با این کاربری‌ها، نامناسب در نظر گرفته شده‌اند. ابتدا بر اساس همجواری کاربری‌های شهر کرمان با یکدیگر و بر اساس نرخ سازگاری محاسبه شده در این تحقیق نقشه‌ی سازگاری کاربری‌ها برای منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه شد (تصویر ۴. الف). مراکز درمانی (بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و خانه‌های بهداشت) بدون شک از اساسی‌ترین نیازهای یک شهر در زمان بحران و حتی بعد از آن است. با توجه به اهمیت دسترسی آسان به این‌گونه مراکز، مطلوب‌ترین فاصله از مراکز درمانی ۷۰۰ متر است [۱۶]. هر چه فاصله‌ی مکان‌های اسکان اضطراری از این مراکز بیشتر شود خدمات‌رسانی مشکل‌تر خواهد شد. بنابراین در تحقیق پیش رو این معیار در سه طبقه، تقسیم‌بندی شده و نقشه‌ی آن در ادامه ارائه گردیده است (تصویر ۴. پ). نزدیکی مراکز امدادی (مراکز انتظامی، کلانتری و ایستگاه‌های آتش‌نشانی) به محل‌های اسکان اضطراری زلزله‌دیدگان، از نکات قوت برنامه‌ریزی برای مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری محسوب می‌شود [۲۳]. طبق استانداردها بهترین فاصله از ایستگاه‌های امدادی حدوداً ۱ کیلومتر است [۲۴]. هر چه مکان‌های اسکان اضطراری به این مراکز نزدیک‌تر باشد، خدمات‌رسانی بهتر انجام می‌گیرد. در واقع نزدیکی مکان‌های اسکان اضطراری و مراکز امدادی برای خدمت‌رسانی در هنگام وقوع حوادث غیرمترقبه

جدول ۶: معیار وزن دهی ماتریس ظرفیت (تراکم جمعیت) شهر کرمان

معیار ماتریس ظرفیت (تراکم جمعیتی)	رتبه بر اساس دلفی	معکوس رتبه	تعداد طبقات	وزن طبقات در روش IHWP
تراکم جمعیتی زیاد (بیش از ۲۰۰ نفر)	۱	۳	۳	۱
تراکم جمعیتی متوسط (۱۰۰-۲۰۰)	۲	۲	۳	۰.۶۶
تراکم جمعیتی کم (کمتر از ۱۰۰ نفر)	۳	۱	۳	۰.۳۳



تصویر ۵. ب: نقشه‌ی نهایی مکان‌یابی ایجاد مکان‌های اسکان موقت در شهر کرمان بر اساس معیار ماتریس ظرفیت

تصویر ۵. الف: نقشه‌ی تراکم جمعیتی منطقه‌ی مورد مطالعه

تصویر ۵: نقشه‌های معیار ماتریس ظرفیت منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول ۷: معیار وزن دهی نهایی ترکیب معیارهای ماتریس مطلوبیت، سازگاری و ظرفیت شهر کرمان

معیارهای کلی	رتبه بر اساس دلفی	معکوس رتبه	تعداد طبقات	وزن طبقات در روش IHWP
معیار ماتریس مطلوبیت	۱	۳	۳	۱
معیار ماتریس سازگاری	۲	۲	۳	۰.۶۶
معیار ماتریس ظرفیت	۳	۱	۳	۰.۳۳

به نواحی با تراکم جمعیتی زیادتر در اولویت مکان‌یابی ایجاد مکان‌های اسکان اضطراری قرار داده خواهند شد.

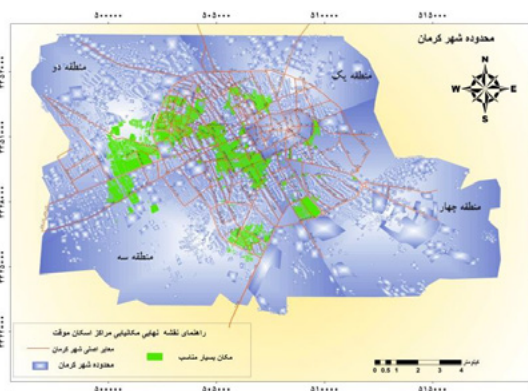
ت. تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری شهر کرمان با استفاده از میانگین هندسی معیارهای ماتریس مطلوبیت، سازگاری و ظرفیت

با توجه به این که مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری در این تحقیق تابعی از سه معیار مطلوبیت، سازگاری و ظرفیت در نظر گرفته شده است و نقشه‌ی هر معیار مؤثر در مکان‌گزینی مکان‌های اسکان اضطراری در سه گروه، مکان‌های بسیار مناسب، مناسب و نامناسب طبقه‌بندی شده‌اند، بنابراین برای نقشه‌ی نهایی مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری از میانگین‌گیری هندسی سه معیار کلی مطلوبیت، سازگاری و ظرفیت طبق رابطه‌ی ۳ استفاده شد. برای وزن دهی این سه معیار کلی، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس (جدول ۷) استفاده شده و نقشه‌ی نهایی مکان‌یابی ترسیم گردیده است (تصویر ۶. الف). در تحقیق پیش رو چون هدف ایجاد مکان‌های مناسب اسکان اضطراری مد نظر است، بنابراین این مکان‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استخراج و در تصویر ۶. ب نشان داده شده‌اند.

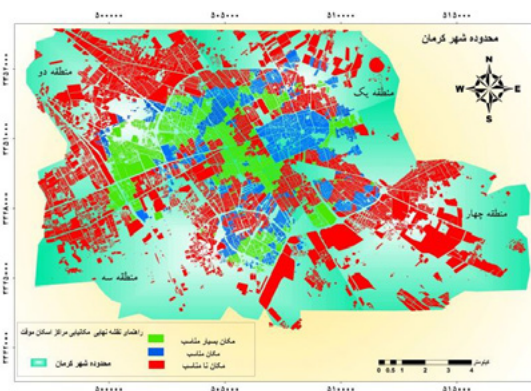
معیارهای ماتریس سازگاری با یکدیگر، نقشه‌ی نهایی این معیار آماده گردید (تصویر ۴. خ).

پ. تهیه‌ی نقشه‌ی مکان‌یابی مراکز اسکان اضطراری با استفاده از معیار ماتریس ظرفیت

معیار ماتریس ظرفیت در این تحقیق به معنی تراکم جمعیتی در واحد سطح است که با تعداد نفر در هر کیلومتر مربع بیان می‌گردد. هر چه تراکم جمعیت در ناحیه‌ای از شهر کمتر و این تراکم به طور متعادل در سطح شهر توزیع شده باشد، آسیب‌پذیری شهر در برابر بحران‌ها به خصوص زلزله کمتر خواهد بود. تراکم‌های جمعیتی زیاد در مناطق شهری کمبود فضای خالی، برای اسکان را در آن مناطق به دنبال خواهد داشت. بنابراین ضروری است مکان‌های اسکان اضطراری در مجاورت مناطق پرتراکم یا پر جمعیت ایجاد گردند تا در صورت بروز حادثه افراد زیادی بتوانند در نزدیک‌ترین مکان‌های اسکان اضطراری اسکان یابند. از این رو، در این پژوهش بر اساس داده‌های جمعیتی شهر کرمان (تصویر ۵. الف) و با توجه به روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس مطابق وزن‌های ارائه شده در جدول ۶ نقشه‌ی معیار ماتریس ظرفیت تهیه گردیده است (تصویر ۵. ب). به عبارتی طبق این نقشه مناطق نزدیک‌تر

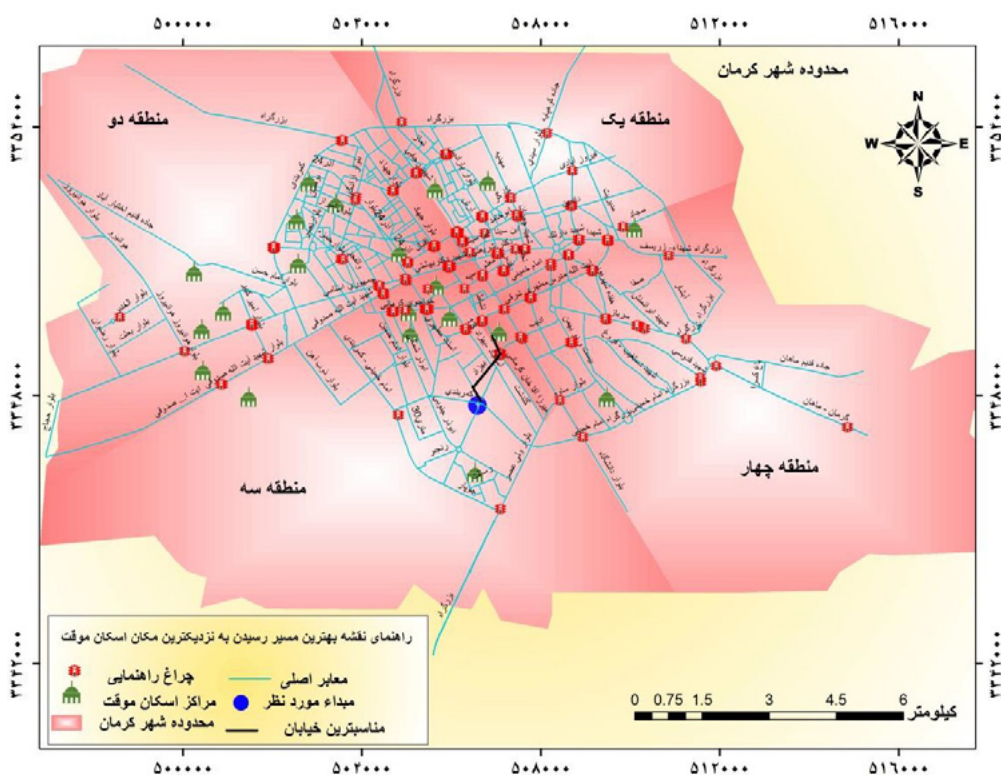


تصویر ۶. ب: نقشه مکان های بسیار مناسب احداث مکان های اسکان موقت در شهر کرمان



تصویر ۶. الف: نقشه نهایی مکان یابی اسکان موقت منطقه ی مورد مطالعه حاصل از تلفیق نقشه های ماتریس مطلوبیت، سازگاری و ظرفیت

تصویر ۶: نقشه های نهایی مکان یابی مکان های اسکان موقتی شهر کرمان



تصویر ۷: نقشه ی تعیین مناسب ترین خیابان بین مبدأ و نزدیک ترین مکان اسکان موقت

رابطه ی ۳:

$\times$ معیار ماتریس مطلوبیت = نقشه ی نهایی مکان یابی
 $\times$ معیار ماتریس ظرفیت $\times$ معیار ماتریس سازگاری
 ث. تعیین مناسب ترین خیابان رسیدن به نزدیک ترین مکان های

اسکان اضطراری در منطقه ی مورد مطالعه

پس از تعیین مکان های مناسب احداث مکان های اسکان اضطراری، برای خدمات رسانی و رسیدن سریع تر آسیب دیدگان هنگام و بعد از بحران، یک پایگاه داده ی زمین مرجع برای معابر اصلی شهر کرمان طراحی گردید. به این منظور ابتدا پایگاه داده ای به نام Kerman.mdb ایجاد و سپس سه دسته داده درون این

پایگاه داده ایجاد شد و کلاس های عارضه مربوط به هر دسته داده به درون آن وارد گردیدند. برای یافتن خطاها در داده های ورودی و جلوگیری از ویرایش نادرست داده ها در آینده، قوانین توپولوژی نیز تعریف شد. در این مرحله خطاهایی مانند به هم نرسیدگی^۲ و ردشدگی^۴ خطوط شبکه ی معابر شهری برطرف گردید. مسیرهای شبکه ی معابر منطقه بر اساس خیابان اصلی طراحی شدند. سپس در جداول توصیفی لایه ی شبکه ی معابر شهری منطقه، فیلدهای طول خیابان ها و وجود چراغ راهنما به همراه فیلدهای نام، کد شناسایی، مدت زمان مسیر رفت و برگشت ایجاد و اطلاعات توصیفی مربوطه وارد گردید. بعد از این مراحل،

شبکه‌ی هندسی معابر شهر کرمان با در نظر گرفتن فیلدهای طول و وجود چراغ راهنما در طول خیابان‌ها ایجاد گردید. همان‌طور که در تصویر ۷ مشاهده می‌شود، می‌توان با به کار بردن تحلیل‌های شبکه در هنگام بحران یا بعد از آن، به راحتی بهترین خیابان نجات آسیب‌دیدگان را با در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه‌ی معابر و مناسب‌ترین خیابان منتهی به نزدیک‌ترین مکان اسکان اضطراری تعیین نمود.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به آسیب‌پذیری بالایی شهرهای کشور برنامه‌ریزی اسکان و مراکز امداد رسانی از اهمیت بسزایی برخوردار است. احداث مکان‌های اسکان اضطراری در مناطق شهری، مستلزم مکان‌یابی صحیح و بر پایه‌ی مستندات و محاسبات علمی و فنی است. شناخت معیارها و ضوابط مکان‌یابی مؤثر در استقرار مکان‌های اسکان اضطراری از این جمله است. بر پایه‌ی واقعیات و تجارب کنونی، مکان‌گزینی مکان‌های اسکان اضطراری باید بر مبنای مخاطرات و تهدیدات طبیعی و انسان ساخت و برای نجات جان جمعیت پویا و با در نظر گرفتن شعاع زمانی و مکانی، انجام پذیرد. در این تحقیق معیارهای کلی مؤثر در مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری شناسایی و در سه گروه معیارهای ماتریس ظرفیت، سازگاری و ظرفیت تقسیم‌بندی گردیدند. این معیارها بر پایه‌ی روش علمی تحلیلی سلسله‌مراتبی معکوس، مورد بررسی و وزن‌دهی قرار گرفته و نقشه‌های خروجی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد تحلیل قرار گرفت. بر مبنای اعمال ضرایب اهمیت معیارها و با استفاده از همپوشانی نقشه‌های اطلاعات مکانی به دست آمده، محدوده‌هایی برای احداث مکان‌های اسکان اضطراری شهری در بازه‌های بسیار مناسب، مناسب و نامناسب در شهر کرمان پهنه‌بندی گردید که از این میان محدوده‌های بسیار مناسب در نظر گرفته شده‌اند و با مساحتی در حدود ۶۰ هکتار منطقه را تحت پوشش قرار می‌دهند. همچنین با توجه به تصویر ۶. ب. مشاهده می‌شود که بیشترین مکان‌های بسیار مناسب برای احداث مکان‌های اسکان اضطراری در شهر کرمان، در مناطق دو و سه واقع شده‌اند که دلیل آن را می‌توان مطلوبیت و پراکندگی مراکز امداد رسانی در این نواحی دانست. تعیین اهمیت نسبی (وزن) معیارها به کمک فرایند سلسله‌مراتبی معکوس یا IHWP نشان داد که معیار ماتریس مطلوبیت بیشترین اهمیت را دارد و از بین معیارهای مطلوبیت معیار خطر حرکت‌های دامنه‌ای از کمترین اهمیت در تعیین مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری برخوردار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری شهری با رویکرد مدیریت بحران، معلول یک معیار خاص نیست بلکه، برآیند مجموعه‌ای از عوامل و معیارها است که در کنار هم، تحلیل مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری شهرها را فراهم می‌سازند. با توجه به مدل ارزیابی پیشنهادی این تحقیق و تحلیل توأمان معیارها در ارزیابی مکان‌های اسکان اضطراری، تنوع معیارهای انتخابی و تشابهات کالبدی در اکثر نقاط کشور، می‌تواند از کارایی و مطلوبیت

لازم برخوردار و قابل کاربرد برای سایر مناطق شهری نیز باشد. از کاربردهای مدل مذکور می‌توان به ارزیابی‌های قبل از اجرای طرح‌های توسعه‌ی مناطق جدید شهری و یا شهرک‌های جدید با هدف تعیین ضوابط تراکم جمعیتی و ساختمانی، قوانین و الگوی کاربری زمین اشاره نمود. همچنین در نواحی با آسیب‌پذیری زیاد و احتمال خطر بیشتر هنگام بحرانی مانند زلزله، می‌توان با توسعه و گسترش فضاهای باز و فضاهای سبز، فضاهای امن را برای نجات آسیب‌دیدگان افزایش داد. اجرای مدل در قالب یک نرم‌افزار تجاری می‌تواند ابزاری مهم در طراحی و برنامه‌ریزی شهری، و اجرای طرح‌های آمایش سرزمین باشد. از روند انجام این پژوهش پیشنهادات زیر برای تهیه‌ی طرح‌های مدیریت بحران و مطالعات کاهش آسیب‌پذیری شهر کرمان ارائه می‌گردد: ۱. رعایت حریم مناسب کاربری‌های خطرآفرین نظیر پمپ بنزین و گاز نسبت به ساختمان‌های مسکونی؛ ۲. بازنگری در توزیع کاربری‌های مربوط به تأسیسات شهری در طرح جامع و تفصیلی شهر کرمان ب منظور تسریع در دسترسی ساکنان محدوده‌های پیرامونی شهر به کاربری‌های درمانی و امدادی؛ ۳. ایجاد و تعریض نمودن معابر شهری در مناطق آسیب‌پذیر برای دسترسی‌های سریع و مناسب به داخل بافت‌های مسکونی با تراکم زیاد. در مقایسه‌ی این تحقیق با مطالعات پیشین مانند فرقانی و دربندی، خمر و صالح گوهری، خزایی و روستایی، مشاهده می‌شود علاوه بر استفاده از معیارهای جدیدتر مانند معیارهای مربوط به مقاومت زمین در مدل کردن مکان‌یابی مکان‌های اسکان اضطراری شهری و استفاده از میانگین هندسی در ترکیب نقشه‌ها، کارایی و دقت مدل را در تهیه نقشه نهایی افزایش می‌دهد. همچنین اجرای تحلیل‌های شبکه مانند یافتن بهترین مسیر رسیدن به نزدیک‌ترین محل اسکان یا مکان‌های اسکان اضطراری امن با در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه‌ی معابر، کارایی مدل را در امداد رسانی و نجات هرچه سریع‌تر مصدومان و آسیب‌دیدگان افزایش می‌دهد. از موارد مهم دیگر در احداث مکان‌های اسکان اضطراری که موجب بروز مسائل و مشکلات فراوانی در اکثر شهرها شده است، نامشخص بودن ضوابط و معیارهای علمی و فنی برای مکان‌یابی آن‌ها است. با توجه به عوامل زیادی که در انتخاب مکان مناسب ایجاد مکان‌های اسکان اضطراری نقش دارد، رسیدن به این مسئله با روش‌های سنتی تا حدود زیادی دشوار است اما با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و قابلیت‌های این سیستم، می‌توان به نتایج مطلوب‌تری دست یافت. بنابراین لازم است تا مسئولان و برنامه‌ریزان شهری در ارزیابی وضع موجود و مکان‌یابی اسکان اضطراری در شهرها از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده نمایند.

پی‌نوشت

1. Site Selection
2. Inversion Hierarchical Weight Process
3. Undershoot
4. Overshoot

- ences, Volume XLII-2/W1, 2016 3rd International GeoAdvances Workshop, 16-17 October 2016, Istanbul, Turkey.
14. Brooke, S. (2017). Location, Location, Location: An Analysis of Safe Haven Siting in New York City, partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Arts in Department of Urban and Environmental Policy and Planning, Tufts University.
 ۱۵. فرقانی، محمد علی؛ دربندی، سمانه (۱۳۹۴). ارزیابی عوامل مؤثر در انتخاب مکان‌های اسکان موقت پس از زلزله با استفاده از GIS و تکنیک AHP. *فصلنامه علمی پژوهشی امداد و نجات*، سال هفتم، شماره ۲، ۸۰-۵۴.
 ۱۶. خمر، غلامعلی؛ صالح گوهری، حسام الدین؛ حسینی، زهرا (۱۳۹۳). امکان‌سنجی مکان‌گزینی مکان‌های اسکان موقت شهری با استفاده از مدل IO و روش AHP. *فصلنامه مطالعات برنامه‌ریزی شهری*، سال دوم، شماره ۱، هفتم، ۲۹-۵۴.
 ۱۷. عظیمی حسینی، محمد؛ نظری فر، محمد؛ مومنی، رضوانه (۱۳۸۹). کاربرد GIS در مکان‌یابی، تهران: مهرگان قلم، جلد اول.
 ۱۸. حبیبی، کیومرث (۱۳۸۷). تعیین عوامل ساختمانی مؤثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و FUZZY LOGIC. *نشریه هنرهای زیبا*، شماره ۳۳، ۲۷-۳۶.
 ۱۹. زنگنه، محمد (۱۳۹۵). ارزیابی و تحلیل مخاطرات و راهکارهای پدافند غیر عامل در شبکه راه‌های استان البرز با استفاده از روش‌های SWOT و IHWP. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، دوره ۲۵، شماره ۹۸، ۱۱۳-۱۲۸.
 ۲۰. حسن زاده، رضا؛ عباس نژاد، احمد؛ علوی، اکبر؛ شریفی تشنیزی، ابراهیم (۱۳۸۹). تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با تأکید بر کاربرد GIS در ریز پهنه‌بندی مقدماتی درجه ۲. *فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین*، سال بیست و یکم، شماره ۸۱، ۲۳-۳۰.
 21. Molina, M and Bayarri, S. (2011). A multinational SDI-based system to facilitate disaster risk management in the andean community, *Computers & Geosciences*, vol. 37, no. 9, pp.1501-1510.
 22. Mas, E., Adriano, B., & Koshimura, S. (2013). An integrated simulation of tsunami hazard and human evacuation in La Punta, Peru. *Journal of Disaster Research*, 8 (2), 285-295.
 23. Middelmann, M. H. (2007). NATURAL HAZARDS in AUSTRALIA, identify Risk Analysis Requirements. *Geoscience Australia* Retrieved from http://www.ga.gov.au/corporate_data/65444/65444.pdf.
 24. Papinski, D and Scott, D. M. (2011). A GIS-based toolkit for route choice analysis", *Journal of Transport Geography*, vol. 19, no. 3, 434-442.
 1. Giuliani, G. and Peduzzi, P. (2011). The PREVIEW global risk data platform: a geoportal to serve and share global data on risk to natural hazards, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 11, pp. 53-66.
 ۲. زنگی آبادی، علی؛ تبریزی، نازنین (۱۳۸۵). زلزله‌ی تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری مناطق شهری، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۵۶، ۱۱۵-۱۳۰.
 3. Lantada, N., Pujades, L., & Barbat, A. (2008). Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. *A comparison*, *Nat Hazards* 51.
 4. UNDP (2002). *An Overview of Disaster Management Training Modules*, UN. *Disaster Management Training Program*, 355.
 ۵. پورموسوی، سید موسی؛ شماعی، علی؛ احد نژاد، محسن؛ عشقی چهاربرج، علی؛ خسروی، سمیه (۱۳۹۳). ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر با مدل Fuzzy AHP و GIS مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی ۳ شهرداری تهران. *فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا و توسعه*. شماره ۳۴، صفحات ۱۲۱-۱۳۸.
 ۶. حسینی، سید بهشید؛ شریفه سرگلزایی، احمد رضا (۱۳۹۰). بررسی چگونگی ارتقای سطح کیفی عملکرد عناصر شهری با رویکرد پدافند غیرعامل، همایش شهرسازی و معماری با رویکرد پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۳-۲.
 ۷. خمر، غلامعلی؛ صالح گوهری، حسام الدین (۱۳۹۲). برنامه‌ریزی پدافند غیرعامل و مکان‌یابی مکان‌های اسکان موقت شهری با استفاده از منطق فازی. *فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی*، سال دوم، شماره هفتم، ۲۱-۳۴.
 ۸. خزایی، صفا؛ روستایی حسین آبادی، سعید (۱۳۹۵). مکان‌یابی مکان‌های اسکان موقت چندانظوره شهری با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی. *فصلنامه علمی ترویجی پدافند غیرعامل*، سال هفتم، شماره ۴، ۱۲-۱.
 9. Taylor, M. A. P., & Freeman, S. K. (2010). A review of planning and operational models used for emergency evacuation situations in Australia. *Procedia Engineering*, 3, 3-14.
 10. Chen, Z., Chen, X., Li, Q., and Chen, J. (2013). The temporal hierarchy of shelters: a hierarchical location model for earthquake-shelter planning, *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 27, no. 8, pp. 1612-1630.
 ۱۱. احد نژاد روشتی، محسن؛ جلیلی، کریم؛ زلفی، علی (۱۳۹۰). مکان‌یابی بهینه محل‌های اسکان موقت آسیب‌دیدگان ناشی از زلزله در مناطق شهری با استفاده از روش‌های چند معیاری و GIS مطالعه‌ی موردی شهر زنجان، *نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، جلد ۲۰، شماره ۲۳، ۴۵-۶۱.
 12. Xuefen Liu and Samsung Lim (2015). A spatial analysis approach to evacuation management: shelter assignment and routing, *Eds.): Research@Locate'15*, Brisbane, Australia, 10-12 March 2015, published at <http://ceur-ws.org>.
 13. Unal, M and Uslu, C. (2016). GIS-Based Accessibility analysis of urban emergency shelters: the case of adana city, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sci-*

چارچوب نظری برای تاب‌آوری مکانی در مواجهه با سانحه

نمونه‌ی موردی: سیل ۱۳۶۶ تجریش

زهیرمتکی*: دکترای معماری و طراحی محیط، هیأت علمی گروه سوانح و بازسازی، دانشکده معماری و شهرسازی شهید بهشتی
فاطمه موقر: کارشناس ارشد بازسازی پس از سانحه، دانشکده معماری و شهرسازی شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

سوانح همواره موجب تحولات جدی در سکونتگاه‌های انسانی می‌شوند. این تغییرات که عمدتاً به شکل خسارات محسوس و نامحسوس بروز می‌کند طیف وسیعی از شرایط استقرار انسان‌ها را مورد آسیب قرار می‌دهد. سکونتگاه‌های تاب‌آور در این میان این توانایی را دارا هستند که ظرفیت جذب و بازگشت به شرایط تعادل و چه بسا شرایطی بهتر نسبت به پیش از سانحه داشته باشند. چنانچه این قابلیت و ظرفیت در جوامع و سکونتگاه‌ها وجود نداشته باشد، عملاً فعالیت‌های مرتبط با آمادگی، مقابله و بازسازی در برابر سانحه با دشواری جدی روبه‌رو می‌گردد. یکی از اختلال‌های جدی در این میان رابطه‌ی مردم و مکان سکونت ایشان است که در شکل نامحسوس آن به صورت عامل دلبستگی به مکان بروز می‌کند. مطالعات حاکی از اهمیت تاب‌آوری مکانی در مدیریت و بازسازی پس از سانحه در کامیابی فعالیت‌های مرتبط با سانحه است. این مقاله با جمع‌آوری، مستندسازی و تجزیه و تحلیل سیل تجریش در سال ۶۶ به عوامل مرتبط با تاب‌آوری مکانی و به طور خاص جایگاه دلبستگی مکانی در فرایند بازسازی می‌پردازد و چارچوبی مفهومی برای فهم جایگاه دلبستگی مکانی پیشنهاد می‌کند. این چارچوب با عنایت به درس‌های مدیریتی استخراج شده از تجربه‌ی سیل تجریش در سه مرحله‌ی پیش از وقوع سانحه، پاسخ‌گویی مقابله‌ای و بازسازی پس از سانحه دو مفهوم پاسخ‌گویی مقابله‌ای و تاب‌آوری انطباقی را برای بازه‌ی اقدامات از کوتاه تا بلندمدت برای مدیریت سانحه و بحران شهری فراهم می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری مکانی، دلبستگی مکانی، سیل تجریش، بازسازی پس از سانحه

A Theoretical Framework for Place-Based Resilience to Disaster

Case Study: Tajrish Flood 1987, Tehran, Iran

Zoheir Mottaki^{1*}, Fatemeh Moaghar²

Abstract

Disasters have always been drastically affected by human settlements. These disaster-motivated impacts have tangible and intangible implications as well as direct and indirect consequences on human habitat and his dwelling. Resilient settlements and communities possess such capacity to absorb disaster and not only rebound to the relative stability before the disaster but also build back better. If such composite capacity were not provided, preparation, mitigation, and reconstruction activities would face serious difficulty and complication while paralyzing future development. One of the major damages entailed by the disaster is a serious disruption in people and place a relationship in the form of "place attachment" loss. This article considering place resilience concept in post-disaster circumstances attempts to scrutinize such a relationship in the 1987 Tehran, Tajrish flood proposing a 'place based-resilience' perspective. The authors documented and analyzed the way flood-affected Tajrish community and derive lessons for similar post-flood reconstruction and disaster management to be considered by responsible bodies of government and field actors. The proposed Theoretical framework would embrace measures before, during and after the disaster, to be taken into account as well two important concepts of coping response and adaptive resilience.

Keywords: Place Based-Resilience, Place Attachment, Tajrish flood, Post-Disaster Reconstruction Theoretical Framework

1 Assist. Prof., Departement of crisis and reconstruction, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2 MSc. Graduated, Faculty of Achitecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

مقدمه

شهرسازی سریع و برنامه‌ریزی نشده، تنزل زیست محیطی^۱، تمرکز جمعیتی در مناطق سانحه‌خیز، بالارفتن تفاوت‌های اقتصادی و البته رخداد پیاپی سوانح، ظرفیت‌های گسترده‌ی جامعه را برای مقاومت و بازتوانی تضعیف کرده است. این عدم قطعیت‌ها، محتوای سیاست‌ها و ممارست‌ها را تغییر داده است و با معرفی مفهوم جدید تاب‌آوری، به اهمیت مفاهیمی مانند دوام، انعطاف‌پذیری و «برگشت به تعادل پس از سانحه»^۲ تأکید نموده است [۱]. تغییر نگرش به مخاطرات سبب شد که عموم دیدگاه‌ها در مدیریت سوانح به جای تمرکز صرف بر روی آسیب‌پذیری به افزایش تاب‌آوری در برابر سوانح بپردازند. از طرف دیگر مخاطرات طبیعی این ظرفیت را دارند که در صورت نبود سامانه‌های کاهش خطر به سوانحی ویرانگر و هولناک برای جوامع بشری تبدیل شوند [۲]. تاب‌آوری قابلیت خودسازمان‌دهی، انطباق، سازگاری، تعادل‌پذیری و انعطاف‌پذیری یک نظام سکونتگاهی و یکی از مهم‌ترین عوامل تحقق پایداری است [۳]. با توجه به گستردگی و پیچیدگی مفهوم تاب‌آوری، تعاریف، مدل‌ها و شاخص‌های متعددی برای سنجش تاب‌آوری از سوی متخصصان ارائه شده است که هر کدام بر جنبه‌های مشخصی تمرکز یافته و کمتر به ابعاد وجودی مکان و حس مکان پرداخته‌اند. در صورتی که در کلان‌شهرها علاوه بر وجوه کالبدی آسیب‌پذیری، حس مکان و دلبستگی مکانی نیز در برابر سوانح مورد آسیب قرار می‌گیرند. از این رو بازآفرینی حس دلبستگی به مکان در میان بازماندگان در فرایند بازسازی خانه و محله، می‌تواند توأمان توانمندی روحی- روانی بازماندگان را با ایجاد پیوندهای عاطفی میان مردم-مردم و مردم-مکان بالا ببرد [۴]. بنابراین فهم وجوه و حدود تعلق به مکان می‌تواند در بازسازی هدایت‌گر و موجب تاب‌آوری آن شود. از این رو ارائه‌ی چارچوبی مشخص بر مبنای تاب‌آوری مکانی و حس مکان برای بازخوانی و تحلیل شرایط پیش، حین و پس از سانحه ضروری است.

هر سانحه رویدادی منحصر به فرد است که می‌توان از آن درسی آموخت [۵]. در حقیقت بازگشت به گذشته به منظور جلوگیری از تکرار اشتباهات در آینده و استفاده از فرصت‌هایی است که در گذشته وجود داشته و به درستی از آن‌ها استفاده نشده است [۶]. مستندسازی سوانح و تحلیل شرایط سکونتگاه‌ها از منظر تاب‌آوری مکانی و مطالعه‌ی نحوه‌ی بازگرداندن تعادل به جامعه از طریق فرایند بازسازی و بررسی نتایج حاصل از آن‌ها می‌تواند سبب انتقال و فهم بهتر تجربیات گذشته، صرفه‌جویی در هزینه و زمان و در نهایت عدم تکرار اشتباهات احتمالی آتی و برنامه‌ریزی‌های آمادگی و کاهش خطرپذیری بهتر در این زمینه شود؛ اما فقدان اطلاعات دسته‌بندی شده درباره‌ی تجارب سوانح گذشته و نبود تجزیه و تحلیل نظام‌مند مذکور پس از آن‌ها همواره مانعی بر سر بازسازی کارگشا بوده است.

شهر تهران به سبب جایگاه خاص سیاسی و اقتصادی و تأثیرگذاری ویژه بر کل کشور از اهمیت خاصی برخوردار است و وقوع سوانح و بحران در آن بر بخش‌های وسیعی از کارکرد آن

اثراگذار است. موقعیت جغرافیایی این شهر سبب شده که در صورت عدم توجه به مقوله‌ی سیل در بخش شمالی تهران، می‌تواند بخش قابل توجهی از بافت شهر را در معرض تهدید قرار دهد. با وجود سابقه‌ی طولانی رخداد سیل و بازسازی پس از آن در کشور و به‌طور خاص در شهر تهران، تاکنون اطلاعات و مستندات کمی در این زمینه نگارش شده است. سیل سال ۱۳۶۶ تجربه‌ی به‌منزله‌ی یکی از مهم‌ترین سوانح رخ داده در شهر تهران منجر به خسارات بسیاری شده که به دنبال آن اقدامات و برنامه‌ی بازسازی بر مبنای جابه‌جایی بخش‌های آسیب‌پذیر تدوین و اجرا شده است. با این وجود، هیچگاه گزارش جامعی از میزان تلفات و خسارات این سیل و روند اقدامات پس از آن منتشر نشده است. به نظر می‌رسد مطالعه‌ی تجربه‌ی سیل تجربیش، بازسازی و نتایج حاصل از آن پس از گذشت سی سال می‌تواند حاوی اطلاعات و آموخته‌های مفیدی باشد که در راستای تصمیم‌گیری‌های بهتر و برنامه‌ریزی‌های اصولی‌تر در سوانح آتی خصوصاً در مناطق شهری به کار گرفته شود. لذا در این پژوهش سعی شده است که با مستندسازی و شناخت روند سانحه و بازسازی پس از آن در چارچوب تاب‌آوری مکانی، به این مهم پاسخ داد که با چه مدل و چهارچوب مفهومی می‌توان مدیریت سانحه، روند اقدامات مرتبط با سیل تجربیش را با محوریت تاب‌آوری مکانی بهبود بخشید.

روش پژوهش

این پژوهش از نوع مستندسازی تحلیلی است که روش‌شناسی آن کیفی است. بدین منظور، ابتدا از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، چارچوب نظری برای تاب‌آوری مکانی در برابر سوانح تدوین شده و سپس داده‌های مرتبط با سیل تجربیش از بررسی اسناد و مدارک، منابع مکتوب و غیرمکتوب مانند نشریات، مقالات، روزنامه‌های منتشر شده در زمان سانحه، مشاهدات میدانی سازمان یافته، برداشت‌های میدانی، تجزیه و تحلیل محیط ساخته‌شده و انجام مصاحبه‌های عمیق با دست‌اندرکاران سانحه، مطلعان محلی و کسبه‌ی محل، استخراج شده است و در نهایت، اطلاعات حاصل از سیل ۱۳۶۶ بر اساس چارچوب مفهومی تاب‌آوری مکانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

مبانی نظری پژوهش

مفاهیم کلیدی

تاب‌آوری^۳: توانایی یک نظام، گروه‌های اجتماعی یا جامعه‌ی در معرض مخاطره برای مقاومت^۴، جذب کردن^۵، گنجاندن^۶ هم در برابر آن و هم در بازتوانی به موقع و کارآمد از اثرات مخاطره از طریق حفاظت^۷، بازگردانی ساختارهای اساسی اولیه^۸ و عملکردهایش است [۷]. تاب‌آوری مکان^۹: مکان عنصر بنیادی در تاب‌آوری در برابر سوانح است. برخورد و اشتراک تاب‌آوری اجتماعی و کالبدی - زیستی^{۱۰} است که تاب‌آوری مکان را می‌سازد. با وجود این که خصوصیات مخاطره (تناوب، شدت، مدت، دوره‌ی بازگشت و منطقه‌ی تحت تأثیر و ...) تنوع فراوانی دارد، تطابق با خصوصیات

جغرافیایی (خطر سانه، ساختار اجتماعی-اقتصادی، فرهنگ بومی) تاب‌آوری محیط را بهبود خواهد بخشید [۲].

دلبستگی به مکان^{۱۱}: در واقع دلبستگی به مکان رابطه‌ی نمادین ایجاد شده توسط افراد به مکان است که معانی احساسی، عاطفی و فرهنگی مشترکی به یک فضای خاص می‌دهد. دلبستگی به مکان مبنایی برای درک فرد و گروه نسبت به محیط است و معمولاً در محیطی فرهنگی به وجود می‌آید. بنابراین تعلق به مکان، چیزی بیش از تجربه‌ی عاطفی و شناختی است و عقاید فرهنگی مرتبط‌کننده‌ی افراد به مکان را نیز شامل می‌شود [۸].

نتیجه‌ی بررسی میشر^{۱۲} و همکارانش [۹] نشان می‌دهد که دلبستگی مکانی بر آمادگی در برابر سیلاب نیز اثر می‌گذارد. پژوهش این گروه نگاهی اجمالی دارد به ارتباطات احساسی بین مردم و محیط پیرامون چنانچه در مفهوم دلبستگی مکانی آمده و به نیاز به ملاحظه‌ی احساسات خصوصاً ارتباطات احساسی با مکان و تعلقات آن اشاره دارد. برخی از مردم حتی زمانی که در معرض تلفات و آسیب‌های جدی به خود قرار می‌گیرند، تمایلی به تغییر دیدگاه‌های خود درباره‌ی محیط پیرامون، تغییر مکان خود و یا انجام اقدامات حفاظتی ندارند. از سوی دیگر بحران‌ها در بی‌خانمانی مردمان نقش عمده‌ای دارند به‌طوری‌که بحران را کاتالیزور مفهوم بی‌مکانی یا از دست دادن «حس مکان» می‌شناسند [۱۰]. دلبستگی مکانی اگرچه به آرامی شکل می‌گیرد و حاصل درهم آمیختگی پیچیده‌ی روابط انسان و محیط است اما می‌تواند به سرعت از هم گسیخته شود و می‌تواند سبب ایجاد یک دوره‌ی بلندمدت برای دست و پنجه نرم کردن با فقدان‌ها و ترمیم‌ها و یا بازسازی دلبستگی‌های مردمی و مکانی شود. از آنجایی‌که دلبستگی مکانی در پس‌زمینه‌ی آگاهی عمل می‌کند، ارزیابی آن کار دشواری است [۱۱]. براساس تحقیق دانشپور و همکاران [۱۲] فاکتورهای اثرگذار بر دلبستگی مکانی شامل فاکتورهای کالبدی، اجتماعی، فرهنگی، فردی، خاطرات و تجارب، رضایتمندی از مکان، عوامل فعالیت‌ی و تعاملی، عامل زمان و مشارکت در طراحی است. براساس نظر محققان مختلف مدل‌ها و ابعاد مختلفی برای دلبستگی مکانی در نظر گرفته می‌شود برای مثال تیلور^{۱۳} دلبستگی به مکان را با ابعاد زیر تعریف می‌کند:

- وابستگی کالبدی: ریشه داشتن که اشاره به قدمت مکان و زمان آشنایی با آن دارد.
 - وابستگی اجتماعی افراد و گروه‌ها در فضا [۱۳].
- نمونه‌ای دیگر از مدل‌های دلبستگی به مکان مدل کایل^{۱۴} [۱۴] است که دلبستگی به مکان در آن به هویت مکانی^{۱۵}، وابستگی مکانی و پیوند اجتماعی^{۱۶} بستگی دارد (تصویر ۱). با توجه به تعدد



تصویر ۱: مدل دلبستگی مکانی کایل [۱۴]

فاکتورها می‌توان همانند تحقیق میشر و همکاران براساس مکان مورد نظر و ضروریات پژوهش این فاکتورها را محدود کرد.

بررسی چارچوب‌های تاب‌آوری

ارزیابی تاب‌آوری جامعه به دلیل تعاملات پویا بین مردم، گروه‌های اجتماعی، جامعه و محیط یک فرایند پیچیده است. در حال حاضر چندین چارچوب مفهومی برای سنجش این مفهوم ارائه شده است. عموماً اغلب این چارچوب‌های مفهومی تاب‌آوری در برابر سانه شیوه‌ای مشابه دارند که در آن بر عواملی که می‌توانند آسیب‌پذیری را کاهش و تاب‌آوری را افزایش دهند تمرکز می‌کنند. هرچند محدودیت اغلب این چارچوب‌ها این است که تمایل به تمرکز بر یک یا چند بعد تاب‌آوری سانه دارند [۱۵]. در حوزه‌ی مخاطره، اغلب مدل‌های تاب‌آوری دربرگیرنده‌ی نظام‌های مهندسی شده هستند. در این چارچوب‌ها ویژگی‌های تاب‌آوری زیرساخت‌ها، فراوانی‌ها، سرعت احتمال شکست را کاهش می‌دهد [۱۶]. با این‌وجود این چارچوب‌ها اغلب در لحاظ کردن عوامل اجتماعی پیشین که در سطوح محلی اتفاق می‌افتد و یا به حساب آوردن آسیب‌پذیری یا تاب‌آوری محیط طبیعی کامیاب نیستند. تاب‌آوری دو کیفیت اساسی دارد: بالقوه^{۱۷} (عملکردهای مطلوب در دوره‌های غیربحرانی) و انطباقی^{۱۸} (انعطاف‌پذیری در مقابله هنگام سانه) که می‌تواند برای زیرساخت‌ها، سازمان‌ها، نظام‌های اجتماعی و اقتصادی به کار گرفته شود [۱۷]. برخی از این چارچوب‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

مدل تاب‌آوری مکانی

با شناخت مدل‌های موجود و محدودیت‌شان در بستر آسیب‌پذیری و تاب‌آوری، مدل دراپ^{۱۹} که در بردارنده‌ی ارتباط جدیدی میان مفاهیم تاب‌آوری سوانح است انتخاب می‌شود. این مدل توسط کاتر ارائه شده است و با روش نظریه‌ی زمینه‌ای مبتنی بر کمی شدن است و می‌تواند برای نشان دادن مشکلات واقعی در مکان‌های واقعی به کار گرفته شود [۱۷] (تصویر ۲).

از آنجایی که مدل‌ها ساده شده‌ی شرایط واقعی هستند، چندین فرضیه در مفهوم‌سازی دراپ الزامی است. اول این که این مدل به طور خاص برای سوانح طبیعی ساخته شده است اما می‌تواند برای حوادث ناگهانی مانند تروریسم یا سوانح تکنولوژیکی و یا سوانح طبیعی با وقوع آهسته مانند خشکسالی نیز انطباق یابد [۱۷].

دوم این که دراپ روی تاب‌آوری در سطح اجتماع تمرکز می‌کند، بنابراین از مدل‌های ساخته شده برای ارزیابی تاب‌آوری در سطح کلان مبتنی بر مناطق متمایز است. سوم، تمرکز اصلی این مدل روی تاب‌آوری اجتماعی مکان‌هاست. با این حال، اذعان می‌کنیم که اشکال دیگر تاب‌آوری وجود دارند و نمی‌توانند از فرایندهای اجتماعی جدا شود [۱۷].

نظام‌های طبیعی^{۲۰}، نظام‌های اجتماعی^{۲۱} و محیط ساخته شده^{۲۲} به هم پیوسته هستند و بنابراین جدایی آن‌ها

جدول ۱: خلاصه مباحث نظری در خصوص تاب‌آوری در ارتباط با سازه و ویژگی‌های آن‌ها

ویژگی‌ها	چارچوب تاب‌آوری
این مدل بر اساس پنج سرمایه‌ی اساسی که در کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری جامعه نقش دارند ارائه شده است. این موارد شامل سرمایه‌ی اجتماعی، اقتصادی، انسانی، کالبدی و طبیعی می‌شوند. سپس شاخص‌های تاب‌آوری متناسب با هر کدام از این عناصر معرفی شده است و در ادامه با وزن‌دهی به این شاخص‌ها ابتدا تاب‌آوری در هر بخش به صورت جداگانه و در نهایت با میانگین تاب‌آوری از بخش‌ها، تاب‌آوری کل سنجیده شده است.	رویکرد سرمایه محور ^{۲۹} [۱۵]
این چارچوب با توجه به دشواری دسترسی به داده‌های مربوط به شاخص‌ها در کشورهای در حال توسعه ارائه شده است. چارچوب ارائه شده چهار جنبه‌ی متوالی دارد که شامل خسارات بالقوه، آسیب‌پذیری، تصور خطرپذیری ^{۳۰} و تاب‌آوری می‌شود. در این مدل آسیب‌پذیری هم به تصور خطرپذیری و هم تاب‌آوری جامعه بستگی دارد. با تعریف عناصر دخیل در هر مرحله در نهایت مدل که با تاب‌آوری شروع شده به تاب‌آوری ختم می‌شود.	چارچوب تاب‌آوری اجتماعی ارائه شده در منطقه مستعد زلزله [۱۸]
این روش در ابتدا به شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر تاب‌آوری پرداخته است. این متغیرها بر اساس استدلال‌های ارائه شده در ادبیات مرتبط با تاب‌آوری و میزان دسترسی به اطلاعات جمع‌آوری شده و در پنج گروه تاب‌آوری اجتماعی، اقتصادی، نهادی زیرساختی و سرمایه‌ی اجتماعی طبقه‌بندی شده‌اند. پس از شناسایی و دسته‌بندی، متغیرهای مورد نظر، انتخاب و وزن‌دهی شده‌اند و در نهایت تاب‌آوری نهایی بر روی نقشه نشان داده شده است.	شاخص‌های تاب‌آوری برای ارزیابی شرایط پایه ^{۳۱} [۱۹]
در این مدل تاب‌آوری به منزله‌ی ظرفیت ساختار سازه‌دیده برای مقاومت در برابر خسارات و سازماندهی مجدد پس از سانحه در زمان و مکان مشخص در نظر گرفته می‌شود. همچنین خطر به منزله‌ی خسارات در نظر گرفته می‌شود که در ترکیب با اقدامات امداد و نجات ^{۳۲} سبب ایجاد خسارات بالقوه ^{۳۳} می‌شود. این خسارات بالقوه بر اساس بافت جغرافیایی، اجتماعی فیلتر می‌شود چرا که هرچقدر تطابق با مشخصات جغرافیایی بیشتر باشد، تاب‌آوری مکان هم بیشتر خواهد شد. پس از عبور از فاکتورهای ذکر شده، تاب‌آوری اجتماعی و کالبدی و در نهایت تاب‌آوری مکان حاصل می‌شود. در مفهوم مدل خسارت - پاسخ‌گویی مکان سه بعد در نظر گرفته می‌شود: ۱. زمان (که می‌تواند به سه دسته پیش، هنگام و پس از سانحه و یا بازه‌های بیشتر تقسیم شود. ۲. فضا (می‌تواند مقیاس‌های فضایی مختلف از روستا تا کشور را در بر بگیرد). ۳. وجه یا جنبه ^{۳۴} (می‌تواند حاوی خصوصیات محیطی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی باشد).	مدل خسارت - پاسخ‌گویی مکانی ^{۳۲} [۲]
این مدل نیز از مدل‌های مکان محور مفهومی است که بر اساس چرخه‌ی سانحه از شرایط پیشین سانحه آغاز و با رخداد سانحه و نحوه‌ی مقابله و بازتوانی آن ادامه می‌یابد تا به این نکته برسد که اقدامات آمادگی و کاهش خطر سبب تاب‌آوری شده است یا خیر. گرچه این مدل به صورت مفهومی و گسترده بیان شده اما می‌توان با تعریف شاخص‌های مورد نظر، آن را به ارزیابی تاب‌آوری کمی تبدیل کرد.	مدل تاب‌آوری مکانی [۱۷]

شرایط پیشین با خصوصیات سانحه تلاقی پیدا می‌کند که منجر به اثرات آنی^{۳۵} می‌شود. خصوصیات سانحه شامل تناوب، طول مدت، شدت و سرعت وقوع است که به نوع سانحه و مکان مورد مطالعه بستگی دارد. اثرات آنی سانحه با وجود یا عدم وجود اقدامات کاهش‌دهنده^{۳۶} و پاسخ‌های مقابله‌ای جامعه تقویت یا تضعیف می‌شوند که خود این اقدامات تابعی از شرایط پیشین جامعه هستند و در مدل با مثبت و منفی نشان داده شده است. پاسخ‌های مقابله‌ای^{۳۸} به جامعه اجازه می‌دهند تا از راه مشخص به اثرات آنی سانحه پاسخ دهند که این پاسخ‌ها شامل نقشه‌ی تخلیه‌ی از پیش تعیین‌شده، ساخت سرپناه، انتشار اطلاعات و برنامه‌ی پاسخ‌گویی اضطراری می‌شوند. وقتی این پاسخ‌های مقابله‌ای اجرایی شدند، اثر مخاطره یا سانحه مشخص می‌شود [۱۷].

اثر کلی سانحه یا مخاطره، اثری انباشته^{۳۹} از شرایط پیشین، خصوصیات رخدادی سانحه و پاسخ‌های مقابله‌ای است. تأثیر کلی البته می‌تواند به وسیله‌ی ظرفیت جذب^{۴۰} جامعه تعدیل شود. ظرفیت جذب (آستانه) توانایی جامعه برای جذب اثرات رویداد با به‌کارگیری پاسخ‌های مقابله‌ای از پیش تعیین شده است. اگر یک جامعه پاسخ‌های مقابله‌ای کافی را انجام دهند، اثر مخاطره تضعیف خواهد شد و ظرفیت جذب جامعه از حد تجاوز نخواهد کرد که منجر به درجه‌ی بالای بازتوانی^{۴۱} خواهد شد. ظرفیت جذب جامعه در برابر سانحه هنگامی ناکافی است که اولاً رویداد مخاطره‌آمیز آنقدر بزرگ باشد که ظرفیت

از هم به صورت اختیاری انجام می‌گیرد. فعالیت‌های انسانی روی وضعیت محیط تأثیر می‌گذارند و بالعکس.

بدیهی است یک محیط تضعیف شده حفاظت کمتری در برابر مخاطرات به وجود می‌آورد. بنابراین دراپ تاب‌آوری را هم به منزله‌ی شرایط ذاتی یا پیشین و هم فرایند ارائه می‌کند. شرایط پیشین^{۴۲} را می‌توان به صورت تصویری لحظه‌ای از زمان یا حالتی ایستا در نظر گرفت. باین حال فرایندهای پس از سانحه تعبیه شده درون مدل به آن اجازه می‌دهد که مفهوم‌سازی پویا نیز باشد. در نهایت

با وجود این که دراپ مدل تاب‌آوری مبتنی بر مکان است، می‌دانیم که عوامل خارجی^{۴۳} مانند سیاست‌ها و مقررات تأثیر بسزایی بر تاب‌آوری در سطح اجتماع می‌گذارد [۱۷].

نقطه‌ی آغازین این مدل با شرایط پیشین شروع می‌شود که محصول فرایندهای چندمقیاسی حساس به مکان^{۴۴} است که بین نظام‌های طبیعی، اجتماعی و محیط ساخته شده اتفاق می‌افتد [۱۷]. شرایط پیشین هم شامل تاب‌آوری بالقوه^{۴۵} و هم آسیب‌پذیری بالقوه^{۴۶} می‌شوند. این مفهوم به صورت مثلی تودرتو^{۴۸} نمایش داده شده است.

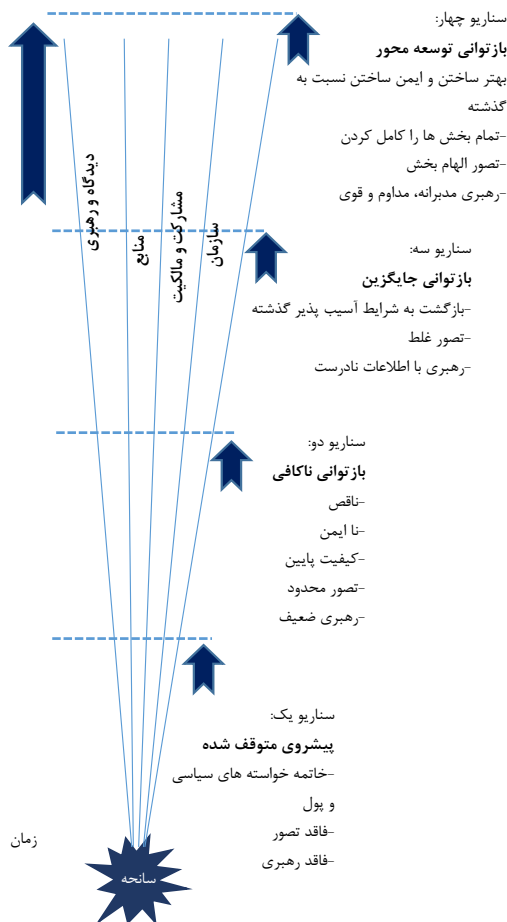
برخلاف برخی مفهوم‌سازی‌ها که در آن تاب‌آوری و آسیب‌پذیری را در برابر هم قرار می‌دهند در این مدل همپوشانی بین این مفهوم‌ها وجود دارد که نه تماماً در برگیرنده‌ی همدیگرند و نه کاملاً متمایز از یکدیگر هستند [۱۷].

محلی را از بین ببرد و دوماً اگر حادثه با شدت کمتر پاسخ‌های مقابله‌ای متناسبی در جامعه‌ی هدف برای تحمل نداشته نباشد. ظرفیت جذب جامعه ممکن است از حد تجاوز کرده و آن را به سانحه نزدیک‌تر کند. اگر هرکدام از این‌ها اتفاق بیفتند، جامعه تاب‌آوری انطباقی^{۴۲} خود را از طریق یادگیری و ابتکار به کار می‌اندازد. ابتکارها شامل اقدامات بداهه‌ای^{۴۴} می‌شود که به فرایند بازتوانی کمک می‌کند. یادگیری اجتماعی به صورت «تنوع‌سازی‌ها و ترویج انسجام اجتماعی قوی و ساز و کاری برای اقدام جمع» تعریف می‌شود [۲۵]. یادگیری اجتماعی زمانی اتفاق می‌افتد که اقدامات بداهه‌ای به سیاست‌های نهادی برای کنترل سوانح آتی منجر شود و خصوصاً این امر به این دلیل حائز اهمیت است که حافظه‌ی فردی در معرض فراموشی به مرور زمان قرار دارد. ظهور یادگیری اجتماعی در سیاست‌گذاری و بهبود آمادگی پیش از سانحه بروز می‌یابد. زمانی که ابتکار و یادگیری اجتماعی^{۴۵} اتفاق بیفتد تاب‌آوری بالقوه برای سوانح آتی را تغییر می‌دهد که به صورت چرخه‌های بازخوردی^{۴۶} در تصویر ۲ نشان داده شده است.

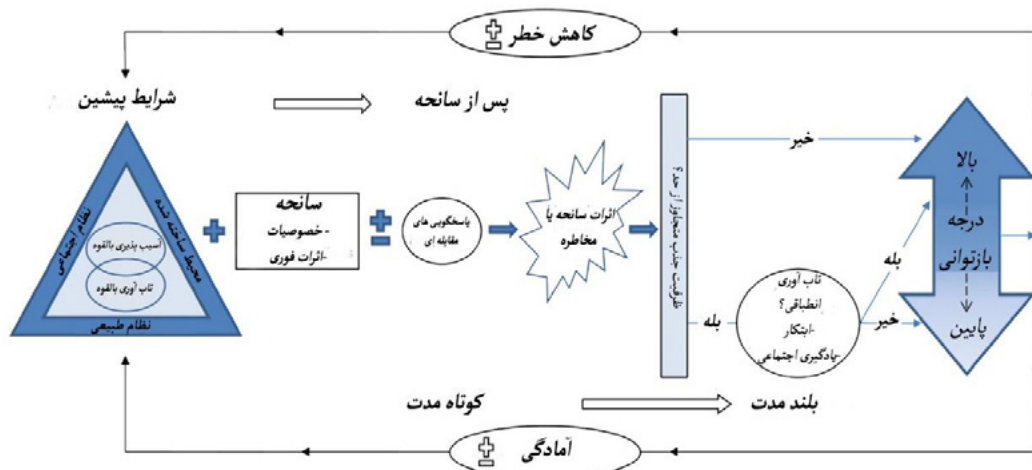
باید به خاطر داشت که بین یادگیری در زمینه‌ی فرایند تاب‌آوری انطباقی و درس‌های آموخته شده در فرایند پاسخ‌گویی تفاوت مفهومی ظریفی وجود دارد. درس‌های آموخته شده بیانیه‌هایی هستند که پس از سانحه به پایان می‌رسند و برای شناسایی این‌که چه اشتباهات و چه اقدامات درستی در پاسخ‌گویی انجام شده است، به کار می‌روند. در واقعیت، درس‌های آموخته شده صرفاً درس‌های شناسایی شده هستند. این توصیه‌های غالباً منفعلانه ارائه و دریافت می‌شوند که شاید برای سانحه‌ی بعدی هم مورد استفاده قرار نگیرند، حال آنکه یادگیری اجتماعی نیازمند مشارکت فعال مردم و نهادهای اثرگذار در حوزه‌ی سانحه است.

درجه‌ی بازتوانی را می‌توان به صورت طیفی پیوسته از کم تا زیاد در نظر گرفت. اگر ظرفیت جذب از حد تجاوز نکند میزان بالاتر بازتوانی به سرعت به دست می‌آید. اگر ظرفیت جذب از حد تجاوز کند و فرایند تاب‌آوری انطباقی اتفاق نیفتد درجه‌ی پایین‌تر بازتوانی ممکن است اتفاق بیفتد. در دیگرام با فلش «خیر» به سمت تاب‌آوری انطباقی در تصویر ۲ نشان داده شده است. هر

چند اگر ظرفیت جذب از حد تجاوز کند و فرایند تاب‌آوری انطباقی رخ دهد، جامعه ممکن است بیشتر به درجات بالاتر بازتوانی برسد. با این حال، بازتوانی کلی یک فرایند در حال جریان است و ممکن است تا سانحه‌ی بعدی ادامه یابد [۱۷]. به منظور سنجش درجه‌ی بازتوانی می‌توان از مدل‌های تکمیلی مانند مدل پیشرفت با بازتوانی (تصویر ۳) نیز استفاده کرد که در آن مراحل و سناریوهای مختلف بازتوانی تشریح شده است. همچنین بر



تصویر ۳: سناریوهای مختلف توسعه و پیشرفت در نسبت با بازتوانی [۲۰]



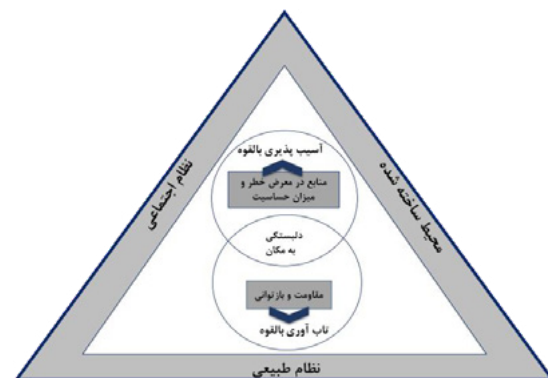
تصویر ۲: مدل تاب‌آوری مکانی در برابر سانحه (DROP) [۱۷]

اساس مدل بخش‌های بازتوانی، برای این‌که بازتوانی جامع باشد باید دربرگیرنده‌ی بخش‌های مختلف از جمله بازتوانی کالبدی، اقتصادی و معیشتی، روانی، زیست‌محیطی، نهادی و دولتی باشد [۲۰].

گفتنی است که هر دو مؤلفه‌ی درجه‌ی بازتوانی و دانش بالقوه به دست آمده از فرایند تاب‌آوری انطباقی بر شرایط اجتماعی، طبیعی و نظام‌های محیط ساخته شده و شرایط پیشین حاصله برای واقعه‌ی بعدی اثر می‌گذارد. به علاوه دانش جدید به دست آمده از فرایند تاب‌آوری انطباقی هم بر شرایط پیشین تأثیر می‌گذارد و هم تاب‌آوری بالقوه را از طریق اجرای استراتژی‌های جدید پاسخ‌گویی بهبود می‌بخشد. روند بازخورد^{۴۷} شامل ظرفیت تغییر آمادگی و کاهش خطر است. تصور نمی‌شود که آمادگی و کاهش خطر بهبود خواهد یافت، هرچند اگر یادگیری اجتماعی اتفاق بیفتد احتمال بیشتری وجود دارد که کاهش خطر^{۴۸} و آمادگی^{۴۹} بهبود یابد.

چارچوب مفهومی پژوهش

با توجه به مفاهیم نظری مرور شده در پژوهش ابتدا مدل تاب‌آوری مکانی به‌منزله‌ی چارچوبی برای مرور تجربه‌ی سیل و اقدامات انجام شده پس از آن برای مناسب‌سازی انتخاب شد (تصویر ۲). این مدل مفهومی وسیع را می‌توان بر اساس نیازهای پژوهش فعلی تغییر و انطباق داد تا بتوان در بستر مکانی مورد نظر این پژوهش بر اساس ویژگی‌ها و داده‌های موجود باز تعریف و تحدید شود. علاوه بر این مفهومی بودن این مدل امکان به‌کارگیری آن در تحقیق‌های کیفی را میسر می‌سازد. در این پژوهش با توجه به گذشت سی سال از سانحه‌ی سیل و عدم امکان به‌کارگیری شاخص‌های دقیق کمی برای بازخوانی سیل ۱۳۶۶ از چارچوب اصلی مدل تاب‌آوری مکانی مناسب‌سازی شده استفاده شده است. تاب‌آوری و آسیب‌پذیری دو مفهوم کلیدی در مطالعات سوانح طبیعی هستند [۲]. آسیب‌پذیری به قابلیت خسارت‌پذیری^{۵۰} [۲۱] و در مفاهیم خاص‌تر، محاسبه‌ی قابلیت خسارت‌پذیری با در نظر گرفتن احتمال خسارت منابع و حساسیت آن‌ها عنوان می‌شود [۲۲]. منابع در معرض خطر^{۵۱} و میزان حساسیت^{۵۲} دو جنبه‌ی آسیب‌پذیری هستند که با تغییر ساختار و عملکرد نظام



تصویر ۴: چارچوب شرایط پیش از سانحه

سانحه‌دیده تغییر می‌کند. مفهوم آسیب‌پذیری تنها روی موقعیت نظام پیش از سانحه تمرکز می‌کند و به آماده‌سازی در برابر سوانح آتی کمک می‌کند. این مفهوم از خصوصیات بالقوه‌ی یک نظام سکونتگاهی است که با تغییر از یک مکان به مکان دیگر و یا بازسازی پس از سانحه تغییر می‌کند. برای مثال وقتی یک سکونتگاه به محدوده‌ی سیل خیز نقل مکان می‌کند، آسیب‌پذیری آن بالا می‌رود [۲]. بنابراین می‌توان مکان را عاملی بنیادی در آسیب‌پذیری در نظر گرفت. از سوی دیگر تاب‌آوری توانایی مقاومت و بازتوانی پسا سانحه در نظر گرفته می‌شود که مکان و به تبع آن «دلبستگی مکانی» عنصری تأثیرگذار در آن است.

با توجه به این که مفهوم آسیب‌پذیری بالقوه و تاب‌آوری بالقوه ارائه شده در مثلث شرایط پیشین می‌تواند در برگیرنده‌ی جنبه‌های گوناگون کالبدی، اجتماعی و... باشد. در این پژوهش مکان و دلبستگی مکانی به‌منزله‌ی عنصر اشتراکی در نظر گرفته می‌شود (تصویر ۴). برای تبیین دلبستگی مکان نیز با توجه به مدل‌های کایل (تصویر ۱) و تیلور [۱۳] مدلی برای دلبستگی مکانی ارائه می‌شود. تاب‌آوری و آسیب‌پذیری و چارچوب پژوهش بر اساس مدل تاب‌آوری مکانی به صورت تصویر ۵ ارائه می‌شود.

یافته‌های پژوهش

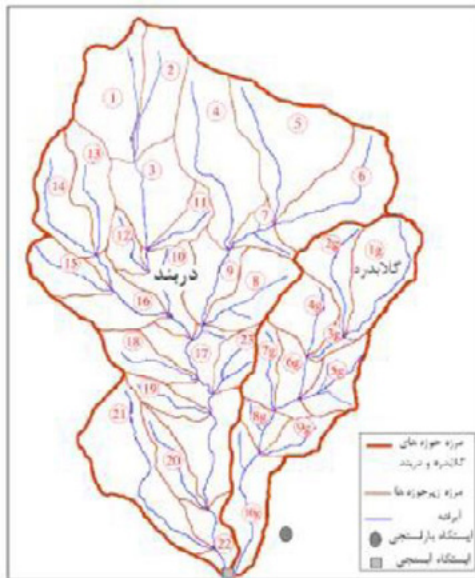
بررسی شرایط پیش از سانحه

نظام طبیعی: حوضه‌ی آبریز گلاب‌دره و دربند از حوضه‌های کوهستانی کشور است که قله توچال با ارتفاع ۳۹۵۷ متر در آن واقع شده است. این حوضه در بیشتر مناطق، صعب‌العبور و کوهستانی است و شیب منطقه شدید است [۲۳]. رودخانه‌ی گلاب‌دره ابتدا از غرب امامزاده قاسم عبور می‌کند، سپس از خیابان ظهیرالدوله و از زیر پل خیابان دربند به سوی جنوب غربی می‌رود و در جنوب میدان تجریش همراه با رودخانه‌ی دربند و سعدآباد به مسیل مقصودبیک می‌پیوندد. در گلاب‌دره بیشترین سطح حوضه را شیب ۳۰ تا ۳۵ درصد اشغال کرده است [۲۴] (تصویر ۶). حوضه‌ی آبریز گلاب‌دره تنها ۶٫۲ کیلومتر مربع وسعت دارد و طول شاخه‌ی اصلی این رودخانه به ۳ کیلومتر بالغ می‌گردد [۲۵].

محیط ساخته شده: بافت محدوده‌ی جنوب میدان عموماً به صورت ارگانیک با دانه‌بندی ریز و متراکم با دسترسی‌های کم عرض بوده و دارای کاربری مسکونی بوده است. قبل از سال ۱۳۶۶ سیمای اکثر خانه‌های واقع در منطقه، یک یا دوطبقه با



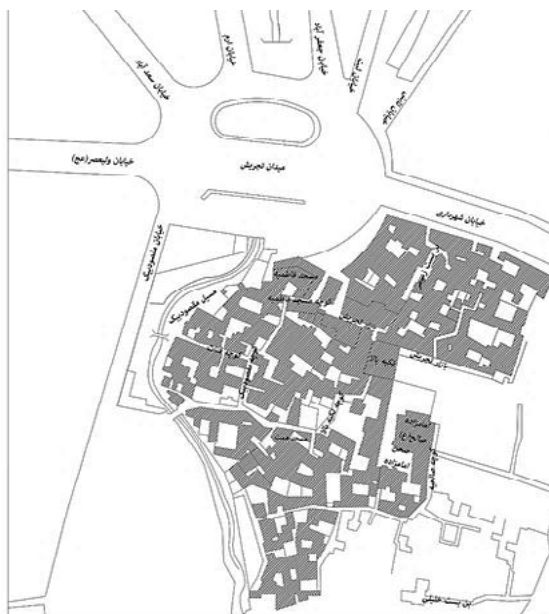
تصویر ۵: مدل دلبستگی به مکان



تصویر ۶: نقشه‌ی حوضه گلاب دره و دربند [۲۶]



تصویر ۷: بافت قدیمی جنوب میدان (دید از جنوب میدان به مناطق شمالی) [۲۷]



تصویر ۸: نقشه‌ی بافت قدیمی جنوب میدان پیش از سیل سال ۱۳۶۶ [۲۸]

سازه‌ی فلزی و آجر و سقف شیروانی بوده‌اند، اما خانه‌های جنوب میدان تجریش که بیشترین خسارت حاصل از سیل را دیده بودند خانه‌هایی خشت و گلی قدیمی با سقف‌های شیروانی و تیرپوش چوبی بوده‌اند و کمتر خانه‌ای در این بافت پیش از سال ۶۶ نوسازی شده بوده است (تصاویر ۷ و ۸). برخی از ساکنان واحدهای مسکونی مساحت منازل خود را در منطقه‌ی حریم رودخانه‌ی گلاب دره افزایش داده بودند که این امر موجب کاهش حریم مسیل از ۱۰ متر به ۲ متر گردیده بوده است.

علاوه بر بافت‌ها و محلات موجود در منطقه، محورها و خیابان‌های مهم در سیمای شهری منطقه مؤثر هستند. این مسیرهای شاخص عبارتند از خیابان‌های ولیعصر و شریعتی که هویت تاریخی و شریانی دارند و از تنوع دید و چشم‌انداز و پیوستگی جداره‌ها و نمادها و هماهنگی ارتفاع ساختمان‌ها و نیز تنوع کاربری‌ها برخوردارند و بناهای تاریخی و مهم را در خود جای داده‌اند. میدان تجریش یکی از کانون‌های با هویت و مهم منطقه است که هم از لحاظ تاریخی و هم از لحاظ عملکردی دارای ارزش است و در واقع مرکزی خدماتی-تجاری است که در مقیاس شهر تهران عملکرد دارد [۲۹]. پیرامون این میدان عناصر شاخصی مانند امامزاده صالح (ع)، بازار تجریش، تکیه‌های تجریش و مسجدهای همت و فاطمیه قرار گرفته‌اند.

نظام اجتماعی: با گسترش شهر تهران و تثبیت نظام شهرنشینی در دهه‌های ۳۰ و ۴۰ این منطقه به دلیل داشتن ارزش‌های زیست محیطی فراوان مورد توجه اقشار پردرآمد، افراد حکومتی و سفارتخانه‌های خارجی قرار گرفت. در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ با وجود خالی بودن مناطق جنوبی و شرق منطقه یک تمایل به ساخت‌وساز در نواحی شمالی در محدوده‌ی ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ بیشتر بوده است. در کل منطقه‌ی یک به منزله‌ی بخش عمده و مرکز اصلی شهرستان شمیرانات، رشد سالانه‌ی جمعیت و میزان مهاجریذیری بالاتر از شهر تهران است. بعد خانوار و تراکم ناخالص جمعیت و میزان بیکاری نیز بسیار پایین‌تر از شهر تهران است و این شاخص‌ها بیانگر موقعیت بالای اقتصادی و اجتماعی ساکنان منطقه است [۲۹] (با توجه به در دسترس نبودن آمار سال ۱۳۶۵ برای این آمار از سرشماری سال ۷۵ در منطقه و شهر تهران استفاده شده است).

دلبستگی مکانی اهالی تجریش: بر اساس ادراکات ذهنی عناصر اصلی که در منظر شمیران (محله‌ی تجریش) در ذهنیات باقی مانده‌اند شامل درختان چنار، درختان میوه، بو و عطرها، برگرفته از طبیعت، آب و طراوت آن، امامزاده صالح، تکیه‌ی بالا و پایین تجریش و قنات‌های قدیمی است. این عناصر شبکه‌ای ذهنی از ادراکات مردم نسبت به محیط و منظر ذهنی خود ایجاد می‌کنند که در طی سال‌ها حتی اگر نشانه‌ای عینی از آن عناصر باقی نمانده باشد، خاطراتش به صورت ذهنی دارای ارزش است [۳۰].

بر این اساس می‌توان از وجود مکان‌های مذهبی مانند مساجد محلی، امامزاده، تکیه، مطلوبیت آب و هوایی، ارزش اقتصادی بالای زمین‌ها در این محدوده به منزله‌ی مهم‌ترین عوامل در

دلبستگی مکانی ساکنان تجریش به این محدوده علی‌رغم آسیب‌پذیری بالقوه در برابر سیل نام برد. (این عوامل بر اساس مطالعات و مصاحبه‌های صورت گرفته توسط نگارنده شناسایی شده است [۳۱]. این همبستگی‌های اجتماعی بالای افراد ساکن در محله‌ی جنوبی میدان، با توجه به سابقه‌ی طولانی سکونت و تعامل افراد در مکان‌های مؤثر در دلبستگی مکانی از عواملی بود که می‌توانست به تاب‌آوری بالقوه در برابر سانحه کمک کند (تصویر ۹).

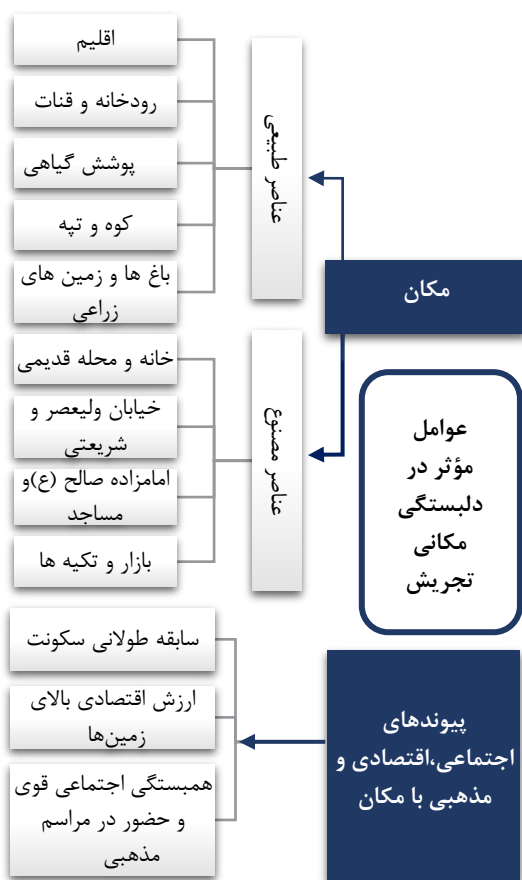
شرح سانحه‌ی سیل ۱۳۶۶ تجریش، ویژگی‌ها و اثرات آن

در میان سوانح طبیعی وقوع سیل از بیشترین تناوب برخوردار است. سیل پدیده‌ای جهانی است که سبب خرابی‌های گسترده، خسارت‌های اقتصادی و تلفات انسانی می‌شود [۳۲]. یکی از عوامل مؤثر در بروز سیلاب توسعه‌ی شهرنشینی است. امروزه با توجه به تغییرات مشخصی که در ساختار و سازمان شهرها به وجود آمده، آن‌ها را در برابر حوادث غیرمترقبه بسیار خطرپذیر کرده است [۳۳].

سیل تجریش، روز یک‌شنبه ۴ مرداد ۱۳۶۶ حوالی ساعت یک بعدازظهر، بر اثر بارش شدید باران و جاری شدن سیلاب شدید در دره‌های دربند و گلاب‌دره، در شمال تهران رخ داد. در این روز با وجود گرمای هوا، رگبار و تگرگ شدیدی شروع به باریدن کرد. شدت رگبار به‌گونه‌ای بوده که در مدت ۱۷۰ دقیقه ۲۸ میلی‌متر بارش ثبت شده است و در مدت کوتاهی سیلاب عظیمی از رودخانه‌ی گلاب‌دره به حرکت درآمده که صدها تن گل‌ولای و سنگ، تنه‌ی قطور درختان و وسایل زندگی مردم را در مسیر رودخانه‌ی گلاب‌دره به سمت میدان تجریش به حرکت درآورده است. بخش اصلی سیل از بالای امامزاده قاسم یعنی بالاتر از پل ظهیرالدوله آغاز می‌شود. در اینجا جریان آب به دلیل پیچ مسیر رودخانه و گرفتگی کانال از مسیل بیرون زده و در معابر اطراف پخش می‌شود. به‌طور کلی سیل در این مکان به شاخه‌های متعدد تقسیم شده است. بخش اعظم سیل به سمت قسمت جنوب میدان از سرگوگل پیش می‌رود و پس از تخریب بافت جنوبی میدان به مسیل خود باز می‌گردد. و دیگری در خیابان دربند به سمت شریعتی و پل رومی حرکت کرده است و بخش اندکی نیز در خیابان ثبت (فنا خسرو فعلی) سرازیر شده است.

پیش از وقوع سیل هیچ‌گونه هشدار رسمی صادر نمی‌شود تا مردم و دستگاه‌ها آمادگی لازم برای مقابله با سیل را به دست بیاورند. بلافاصله پس از وقوع سیل نیز اقدامات فردی و معدودی نظیر مطلع کردن مردم با بلندگوهای واحد گشتی برای آگاه‌سازی مردم صورت می‌گیرد. با توجه به ناگهانی بودن رخداد، در ساعات اولیه هیچ‌کس اقدام قابل توجهی برای جلوگیری از خسارت نمی‌توانسته انجام دهد، اما با فعال شدن سازمان‌های مربوطه سعی شده تا از توسعه‌ی تخریبات جلوگیری شود.

سیل ۱۳۶۶ از نوع سیلاب واریزه‌ای بوده است. تفاوت بین سیل معمولی و واریزه‌ای در مقدار رسوبات آن‌هاست. به‌طوری‌که



تصویر ۹: عوامل تأثیرگذار بر دلبستگی مکانی تجریش [۳۱]

در سیل معمولی، رسوبات حداکثر ۲۰ درصد حجم جریان را تشکیل می‌دهند، درحالی‌که در یک جریان واریزه‌ای رسوبات رسی-سیلتی و تخته‌سنگ‌های بزرگ، ۷۷ درصد (بیش از سه‌چهارم) حجم جریان را به خود اختصاص داده‌اند [۳۴]. گرانروی قابل توجه و خطی بودن جریان نیز باعث می‌شود که قطعات بسیار بزرگ سنگ را به راحتی با خود حمل کند. در حقیقت واریزه‌ای به‌صورت جریانی از گل یا چیزی شبیه مالت سیمان حرکت می‌کند [۳۵]. سرعت متوسط سیلاب برای رودخانه‌ی گلاب‌دره ۴٫۳۵ متر در ثانیه و برآورد دبی از سطح برش در رودخانه‌ی گلاب‌دره ۳۶۸ مترمکعب در ثانیه بوده است. در اثر جریان واریزه‌ای تابستان ۱۳۶۶ تجریش، مقدار زیادی از تخته‌سنگ‌ها به نقاط دور و نزدیک برده شده‌اند [۳۶].

جریان سیل از منطقه‌ی گلاب‌دره آغاز و در محدوده‌ی میدان تجریش تا قسمت جنوبی امامزاده صالح (ع) را تحت تأثیر مستقیم خود قرار می‌دهد. به سبب این سیل بخش‌های مختلفی از جمله واحدهای مسکونی، میدان، تأسیسات عمومی، دیوارهای مسیل، وسایط نقلیه، مغازه‌ها و دکان‌های ابتدای بازار تجریش، حسینیه و مسجد همت متحمل خسارت فراوان شدند. بروز خسارت در بخش زیرساختی نیز سبب قطعی جریان‌های حیاتی آب و برق و تلفن در منطقه و مشکلات متأثر از آن شده بوده است. یکی از تبعات سیل، مسدود شدن مسیرهای عبوری، قطع خطوط ارتباطی خیابان‌های محدوده و عدم امکان دسترسی به مناطق

سانحه دیده بوده است. هیچگاه آمار دقیقی از میزان تلفات سیل تجربیش اعلام نشد اما گزارش‌ها میزان تلفات این سیل را تا حدود ۳۰۰ نفر هم تخمین زده بودند که سبب قرارگیری سیل تجربیش در زمره‌ی یکی از پر تلفات‌ترین سیل‌های ایران می‌شود. باوجود وسعت محدوده‌ی اثرگذاری سیل، محدوده‌ی خسارات کالبدی بخش محدودی از بالای پل ظهیرالدوله در امتداد مسیر رودخانه‌ی گلاب‌دره تا قسمت جنوبی امامزاده را در بر می‌گیرد. این بخش به سبب مجاورت با رودخانه، تجاوز به حریم آن و سازه‌های قدیمی و ضعیف در بافت جنوبی میدان متحمل بیشترین خسارات کالبدی شد. علاوه بر واحدهای مسکونی واقع در این بخش، واحدهای تجاری جنوب میدان و اول بازار تجربیش از دیگر بخش‌هایی بودند که در این سیل مورد آسیب قرار گرفتند. با توجه به ورود سیل از سر بازار به تکیه و خروج از تکیه به سمت بافت مسکونی، محدوده‌ی ابتدایی بازار تا تکیه‌ی تجربیش را می‌توان بخش خسارت‌دیده‌ی بازار سنتی تجربیش در این سیل در نظر گرفت.

پاسخ‌گویی مقابله‌ای

عموماً بلافاصله پس از وقوع سوانح، برای به حداقل رساندن اثرات منفی یک واقعه‌ی ناگهانی اقدامات فوری برای حفظ جان مردم و فراهم کردن خدمات صورت می‌گیرد [۳۷]. این بخش به تشریح اقدامات صورت گرفته در زمینه‌ی عملیات جستجو و نجات، تخلیه‌ی مناطق، خدمات حمل‌ونقل و ارتباطی و نحوه‌ی تأمین مواد غذایی و آشامیدنی و سرپناه مورد بررسی می‌پردازد. پس از رخداد این سانحه با توجه به غافلگیری رخداد آن و عدم توانایی دستگاه‌ها در پیش‌بینی آن، ابتدا گروه‌های مردمی به‌صورت خودجوش اقدام به کمک به مصدومان و گرفتارشده‌گان در سیل می‌کنند، سپس با آگاهی از سانحه، گروه‌های مختلف از سازمان‌های مختلف از جمله آتش‌نشانی، هلال‌احمر، ارتش، نیروی انتظامی و شهرداری به منطقه اعزام‌شده و هر یک در حیطه‌ی وظایف خود به اقدام می‌پردازند. اقدامات صورت گرفته در این بخش عمدتاً در راستای کمک و انتقال مجروحان به مراکز درمانی، برقراری نظم و امنیت در منطقه‌ی آسیب‌دیده، شناسایی ساختمان‌های پر آب و بخش‌های درخطر ریزش، تخلیه‌ی این بخش‌ها، توزیع مواد غذایی و اقلام مورد نیاز صورت گرفت. امدادگران از رفت‌وآمد به قسمت‌های شمالی شمیران جلوگیری کرده و بسیاری از خانه‌ها و خیابان‌های فرعی اطراف از ساکنان تخلیه شده بوده است.

با توجه به جریان سیل بی‌سابقه و غافلگیری نیروهای امدادی برخی مشکلات نظیر تداخل در امور، عدم برنامه‌ریزی در امداد و کمک‌رسانی، بسته شدن مراکز عبور و مرور و عدم هماهنگی در جریان امداد پیش آمده بوده است که از پیامدهای نداشتن برنامه‌ی قبلی بوده است. به همین دلیل، در روزهای آتی امداد و نجات به‌منظور پیشرفت در کار نیروهای امداد به دسته‌های مختلف تقسیم شدند تا بازدهی کارشان بیشتر شود. علاوه بر خدمات امدادی، به دلیل احتمال جاری شدن مجدد سیل عصر روز بعد از سانحه، لایروبی کانال‌های انباشته از گل‌ولای صورت

گرفته بود تا مشکلی ایجاد نشود. علاوه بر سازمان‌های امدادگران، مقامات دولتی از جمله نخست‌وزیر و وزیر کشور وقت نیز برای نظارت مستقیم بر کمک‌رسانی‌ها و مشاهده‌ی شدت خسارت در منطقه‌ی سانحه دیده حضور پیدا کرده و دستورات لازم را صادر کردند.

پس از پنج روز کار امداد و نجات اتمام یافت. برای باز کردن مسیر بولدورز و بیرون کشیدن اجساد زیر آوار منازل با توجه به فشرده‌گی بافت و عرض کم معابر، مجبور به تخریب خانه‌های مجاور مسجد همت شده بودند.

آسیب سیل به بازار تجربیش و مغازه‌های تجاری سر پل و تخریب خانه‌ها سبب شد که بخشی از اقدامات پس از سیل تجربیش به تأمین امنیت و حراست از مایملک مردم سیل‌زده معطوف شود. در لحظات ابتدایی واقعه که نیروها تنها به فکر نجات دادن مصدومان بوده‌اند، عده‌ای از فرصت سوء استفاده کرده و دست به سرقت زده بودند که پس از مدت کوتاهی عده‌ای از سارقان را دستگیر کردند. از این رو برای خارج کردن اثاثیه و لوازم منزل و مغازه‌ها از زیر گل‌ولای نیز با همکاری نیروهای مردمی برگ تردد صادر می‌شد تا مردم از این نظر با مشکلی مواجه نشوند.

با توجه به آسیب‌دیدگی واحدهای مسکونی، گزینه‌های مختلفی همانند اسکان در هتل‌ها و یا اردوگاه‌ها برای اسکان اضطراری سانحه‌دیدگان مطرح می‌شود اما در نهایت آسیب‌دیدگان در خانه‌ی اقوام و بستگان خود استقرار یافتند.

واریزه‌ای بودن سیل و انباشت گل‌ولای تا ارتفاع یک و نیم متری در محدوده‌ی آسیب‌دیده سبب شد که بخش وسیعی از اقدامات مرحله‌ی مقابله به پاک‌سازی معابر، واحدهای مسکونی و تجاری، انتقال گل‌ولای و تخریب سنگ‌های حجیم اختصاص یابد. بدین منظور، ابتدا شهرداری تهران وظیفه‌ی پاک‌سازی مسیل‌ها و معابر عمومی را برعهده گرفت و پاک‌سازی منازل، اماکن خصوصی، اسکان آسیب‌دیدگان و تأمین هزینه‌ی خسارت بر عهده‌ی سایر ارگان‌ها و نهادها گذاشته شده بوده است. گروهی نیز به‌منزله‌ی نماینده‌ی شهرداری تهران مسئولیت بررسی و بازبینی اماکن خصوصی و عمومی را بر عهده گرفته بودند تا در صورت احتمال خطر ریزش ساختمان‌ها نسبت به تخریب آن‌ها اقدام کنند، اما با توجه به عدم توانایی کافی و نبود تجهیزات لازم در شهرداری برای پاک‌سازی مناطق سیل‌زده، بر اساس جلسه‌ای که هفتم مرداد با حضور وزرای کشور در این وزارتخانه تشکیل شد، کار لایروبی و بازسازی مسیل‌ها، تخلیه‌ی مناطق باقی‌مانده و تسطیح مناطق مربوطه به وزارت سپاه پاسداران و جهاد سازندگی محول شد. سنگ‌های چند تنی از ۳ تا ۳۰ تنی در منطقه پراکنده شده بود که شهرداری با وسایل موجود موفق به تکان دادن سنگ‌ها نشده بود و سپاه و ارتش به وسیله‌ی انفجار آن‌ها را به قطعات کوچک‌تری تبدیل کردند. پس از این سیل، میدان تجربیش به مدت دو ماه بسته بود و عملیات پاک‌سازی ادامه یافت، هرچند اتمام پاک‌سازی کل منطقه چهار تا پنج ماه زمان برده است.

ظرفیت جذب سانحه

برای این که جامعه‌ای بتواند رویداد رخ داده را جذب کند تا به سانحه مبدل نشود، لازم است که پاسخ‌های مقابله‌ای از پیش تعیین شده‌ای لحاظ شود. نبود پیش‌آگاهی از سیل تجریش و تخلیه نکردن مناطق در خطر سبب بروز تلفات انسانی بالا در این سیل شد. علاوه بر تلفات انسانی، آسیب‌های وارده به شبکه‌های زیرساختی و اختلال در شبکه‌ی رفت و آمد سبب شد که تا دو ماه بعد از سانحه محدوده‌ی میدان بسته بماند.

با توجه به این که برنامه‌ای از پیش تعیین شده برای مقابله با سیل و جریان واریزه‌ای ناشی از آن وجود نداشت، عموم اقدامات مقابله‌ای پس از رخداد و اثرگذاری عواقب آن بر محیط برنامه‌ریزی شد. علاوه بر این دستگاه‌های محلی قادر به پاسخ‌گویی به آسیب‌های ناشی از جریان‌های واریزه‌ای نبودند و این موضوع سبب به کارگیری دستگاه‌های بالادست شد. بر این اساس می‌توان اظهار داشت که ظرفیت جذب واقعه‌ی سیل از حد توان اجتماع خارج شد و آن را به سانحه مبدل ساخت.

بازتوانی و بازسازی پس از سیل

با توجه به آسیب‌دیدگی واحدهای اقتصادی بازار تجریش به منظور بازتوانی و ساماندهی اقتصادی فوری مناطق آسیب‌دیده به پیشنهاد معتمدان محلی، فروشگاه ارتش در ضلع جنوب غربی در نزدیکی مکان سانحه، به عنوان مکان اسکان موقت کسبه در نظر گرفته شد. افراد تا زمان ترمیم واحدهای تجاری‌شان در این فروشگاه باقی مانده و پس از آن به مکان کسب سابق خود بازگشتند. اما با توجه به این که برای ساکنان منطقه، محلی برای اسکان موقت در نظر گرفته نشد، افراد بنا بر وسع و امکانات شخصی اقدام به تهیه‌ی سرپناه برای خود کردند که عموماً شامل موارد زیر می‌شد:

۱. اسکان در بخش سالم بنا؛
۲. ترمیم واحد آسیب‌دیده و اسکان در همان واحد؛
۳. اجاره واحد مسکونی در محله‌ای دیگر در منطقه؛
۴. اسکان در خانه‌های دیگر تحت تملک مالک.

سیل فرصتی را برای ایجاد تغییر و تحولات در منطقه به وجود آورد. پس از تخمین میزان خسارت و هزینه‌های بازسازی، طرح‌های توسعه محور متعددی از سوی سازمان‌های مختلف از جمله شهرداری تهران، سازمان ترافیک و حمل‌ونقل و وزارت مسکن و شهرسازی مطرح می‌شود. در بیشتر این طرح‌ها، حل مشکلات ترافیکی میدان و کاهش آسیب‌پذیری منطقه از طریق تغییر کاربری واحدهای این محدوده به فضای سبز و پاک‌سازی حریم رودخانه از ساخت‌وسازها مدنظر قرار گرفته بود. سرانجام دو طرح احداث حوضچه‌ی رسوب‌گیر در محدوده‌ی جنوب میدان تجریش که از سوی وزارت مسکن و شهرسازی ارائه شده بود و طرح حریم رودخانه‌ها به تصویب رسیدند و مقرر شد واحدهای واقع در این دو طرح به مکان دیگر منتقل شده و سایر واحدهای آسیب‌دیده در جای خود جاسازی شوند. برنامه‌ی بازسازی در بخش‌های مختلف به شرح زیر به سرانجام رسید:

واحدهای مسکونی: به منظور جابه‌جایی، زمینی در محدوده‌ی شهرک نفت به سیل‌زدگان اختصاص یافت و اقدامات ارزیابی ارزش واحدها شروع شد. اما با توجه به این که منابع مالی برای خریداری واحدها مهیا نشد و مشکلات مالکیتی به درازا کشید، با اخذ مجوز واحدها در جای خود ترمیم شدند تا این که در سال ۱۳۷۱ با فراهم شدن منابع مالی، واحدهای مسکونی واقع در جنوب میدان که عموماً قدمت زیادی داشتند خریداری شدند و با توجه به گذشت زمان و واگذاری زمین در نظر گرفته شده برای آسیب‌دیدگان به سایر سازمان‌ها، پرداخت تاوان به صورت پرداخت پول یا اعطای واحد دیگر در همان منطقه صورت گرفت. سرانجام تا سال ۱۳۷۴ بخش مسکونی جنوب میدان خریداری و به پایانه تغییر کاربری یافت. اما واحدهای واقع در حریم گلاب‌دره به دلیل عدم تأمین مالی منابع لازم برای خریداری واحدها و عدم تمایل ساکنان به همان صورت ماندن ولی محدوده‌ی مشخص شده برای این حریم‌ها به طرح تفصیلی راه یافت تا در بلندمدت این طرح محقق شود.

واحدهای تجاری: واحدهای تجاری واقع در طرح بازسازی شامل مغازه‌هایی بودند که در جنوب میدان در اطراف مسجد فاطمیه و سر بازار تجریش قرار گرفته بودند. این واحدها نیز همانند واحدهای مسکونی با تأخیر در برنامه‌ی بازسازی در جای خود ترمیم شدند تا این که در سال ۱۳۷۱-۱۳۷۲ این واحدها نیز خریداری و یا مغازه معوض به آن‌ها اعطا شد تا این محدوده نیز به فضایی باز مبدل شود.

امامزاده صالح: اگرچه امامزاده در سیل خسارت کالبدی نمی‌بیند و پس از چندین روز به روی زائرین بازگشایی می‌شود، اما تغییر و تحولات پس از سیل و خریداری واحدهای مسکونی بخش غربی امامزاده فرصت توسعه‌ی فضایی امامزاده را فراهم می‌آورد و با خریداری قسمتی از این بخش صحن امامزاده از ضلع جنوب و غرب گسترش یافته و به دنبال آن برخی فضاهای خدماتی به امامزاده افزوده می‌شود. در نتیجه‌ی این اقدامات، امامزاده که پیش از این میان بافت مسکونی محصور بود از میان حصارها خارج و با وسعت فضایی و تسهیل دسترسی پذیرای زائرین بیشتری شد. تکیه‌ی تجریش: با توجه به ورود سیل به تکیه و تخریبات ناشی از آن، پس از سیل در اولین اقدام پس از پاک‌سازی، تعبیه‌ی ستون‌های فلزی به جای ستون‌های چوبی تخریب شده مورد توجه قرار گرفت و همچنین پس از آن برخی اقدامات توسعه‌ای نظیر تبدیل انبارهای طبقه‌ی اول تکیه به سالنی برای خانم‌ها و تجهیز آشپزخانه و افزایش وسعت فضایی آن انجام گرفت.

مسجد همت: پس از سیل خسارات کالبدی مسجد توسط مردم و متولیان ترمیم شد. با توجه به موقعیت قرارگیری مسجد همت و خریداری واحدهای اطراف آن در جریان تغییر و تحولات پس از سیل، فرصت افزایش مساحت مسجد فراهم و مساحت آن چندین برابر شد.

رودخانه‌ی گلاب‌دره: به سبب ظرفیت کم کانال‌ها در عبور سیل، فرایند تعریض دهانه‌ی کانال‌ها و عرض مسیل در بازسازی مورد توجه قرار گرفت. دهانه‌ی کانال در سر پل تجریش تعریض

شد و مسیر رودخانه‌ی گلاب‌دره نیز پس از سیل سال ۶۶ در ابعاد ۴ متر عرض و عمق ۴ متر کانال‌سازی شد [۳۸].

قسمت بالادست رودخانه‌ی گلاب‌دره در بالاتر از پل ظهیرالدوله، به کانال بتنی تبدیل شد. تبدیل رودخانه‌ها به کانال بتنی علاوه بر از بین بردن بستر طبیعی، تخریبات زیست‌محیطی و منظر نامناسب، باعث افزایش سرعت رواناب‌ها نیز می‌شود و با پوشاندن کف آن، امکان نفوذ رواناب به زمین را از دست داده و رواناب بسیار افزایش پیدا کرده و برای پایین‌دست مشکل ایجاد می‌کند. همچنین با پوشاندن دیواره‌ها، پوشش طبیعی منطقه و جذابیت گردشگری رودخانه از بین می‌رود.

از دیگر اقداماتی که پس از سیل برای کنترل رسوبات صورت گرفت، احداث حوضچه‌ی رسوب‌گیر در بالادست رودخانه‌ی گلاب‌دره بوده است. در مقابل این حوضچه‌ی رسوب‌گیر، سازه‌های بتنی اهرم مانند برای جلوگیری از غلتیدن سنگ‌های با قطعات بزرگ به پایین‌دست قرار گرفته است.

با توجه به اجرایی نشدن طرح پاک‌سازی حریم گلاب‌دره پس از سیل سال ۶۶، روند ساخت‌وساز اطراف رودخانه نه‌تنها متوقف نشد، بلکه در حال حاضر آپارتمان‌ها و ساختمان‌های چندین طبقه دو طرف رودخانه را فرا گرفته است، به‌طوری‌که امکان تردد عابر

پیاده هم در حاشیه‌ی رودخانه وجود ندارد. این تراکم ساختمانی از بالای پل ظهیرالدوله تا تقاطع رودخانه‌ی گلاب‌دره در میدان تجریش کاملاً مشهود است. در سال‌های اخیر در طرح جامع و طرح تفصیلی، طرح‌های ساماندهی رود دره‌ها و احداث پارک‌های خطی کوهستانی در این رود دره‌ها مورد توجه قرار گرفته است که باوجود تراکم بالا در این منطقه، اگرچه امری دشوار و زمان‌بر به نظر می‌رسد اما در صورت اجرایی شدن می‌تواند از خسارات سیل احتمالی آتی تا حد زیادی بکاهد.

به هنگام تجاوز ظرفیت جذب از حد توان جامعه، یادگیری‌های اجتماعی و به کارگیری ابتکار در پاسخ به سوانح می‌تواند اقدامی مؤثر برای بازتوانی موفق باشد که عدم تبیین چارچوب مشخص و برنامه‌ریزی از پیش تعیین شده برای مقابله با سیلاب واریزه‌ای و روند اتخاذ راهکارهای مقابله‌ای پس از وقوع سیل سبب شد که فرایند یادگیری اجتماعی نقش پررنگی در بالا بودن درجه‌ی بازتوانی ایفا نکند و در نهایت درجه‌ی بالای بازتوانی پس از سیل ۱۳۶۶ حاصل نشود. اما با این‌وجود از جمله اقدامات ابتکاری صورت گرفته در سیل تجریش، مانند استفاده از ظرفیت‌های محلی برای بازتوانی اقتصادی و تعامل گروه‌های اجتماعی در بازسازی

جدول ۲: آموزه‌های حاصل از تجربه‌ی سیل و بازسازی پس از آن

مرحله	آموزه
پیش از وقوع سانحه	لزوم به‌کارگیری سیستم پیش‌بینی سیلاب آموزش همگانی به مردم برای نحوه‌ی مقابله با سیلاب، تمرین و مانور سیل برنامه‌ریزی تخلیه، شناسایی و تجهیز مکان‌های امن تعیین حریم رودخانه و پاک‌سازی آن از مستحذات به‌کارگیری اقدامات سازه‌ای در مسیر رودخانه برای کنترل جریان‌ات واریزه‌ای و جلوگیری از ورود آن‌ها به واحدهای مسکونی و تجاری اطمینان از آب‌گذری پل‌ها و ظرفیت کافی دهانه‌ی کانال‌ها به هنگام وقوع سیل تهیه‌ی نقشه‌ی خط‌پذیری سیل با نگاه ویژه به محدوده‌ی اثر سیل ۱۳۶۶ اطمینان از تاب‌آوری بافت در برابر سیلاب به وسیله‌ی تدوین مقررات معماری و شهرسازی و اجرای آن‌ها در پهنه‌ی خطر سیلاب برای جلوگیری از افزایش خسارات. از مواردی که بر اساس سیل ۱۳۶۶ می‌توان به آن‌ها اشاره کرد: تبدیل دیوار تیغه‌ای به دیوار مسلح در واحدها نصب بازشوها در تراز بالاتر از ارتفاع طغیان سیل
پس از وقوع سانحه	تبیین وظایف دستگاه‌ها و مراتب به کارگیری آن‌ها به منظور هماهنگی و تسریع مقابله و جلوگیری از موازی‌کاری گروه‌ها صدور هشدار و تخلیه‌ی مناطق در خطر تمهیدات اسکان اضطراری سیل‌زدگان در مناطق امن برای جلوگیری از باقی ماندن سانحه‌دیدگان در محدوده‌ی خطر
بازسازی و بازسازی پس از سانحه	استفاده از ظرفیت گروه‌ها و مسئولان محلی در بازسازی با توجه به شناخت این گروه‌ها از بافت اجتماعی مردم سانحه دیده، نیازهای آنان و آگاهی از ظرفیت‌های محلی می‌تواند در تسهیل بازتوانی و بازسازی آن تأثیر بسزایی بگذارد. جنبه‌های اقتصادی هم از لحاظ اقتصاد خانوار و هم از لحاظ اقتصاد مراکز بازسازی اثرگذارند. بالا بودن ارزش زمین در منطقه و سطح بالای درآمد راهکار و سیاست خاصی در بازسازی می‌طلبد و هنگامی که ارزش زمین بالا است، مردم حاضرند هزینه‌ی خسارت را بدهند و در مقابل زمین با ارزش خود را از دست ندهند. سانحه در کنار شرایط بحرانی که به وجود می‌آورد فرصت‌هایی را نیز برای تغییر و توسعه فراهم می‌آورد. اما در نظر نگرفتن زیرساخت‌های لازم برای توسعه می‌تواند سبب بروز مشکلات دیگری شود. در برنامه‌ی توسعه محور بازسازی، کاهش آسیب‌پذیری در برابر سوانح باید به منزله‌ی یکی از عناصر مهم توسعه‌ی پایدار در نظر گرفته شود. در جابه‌جایی و تغییر سکونتگاه، دلبستگی به مکان، کیفیت بافت پیش از سانحه و میزان تخریب پس از سانحه و شرایط اقتصاد تأثیرگذار است. طولانی شدن فرایند بازسازی، ترمیم و باقی ماندن افراد در منطقه‌ی سانحه دیده شانس جابه‌جایی و تغییر مکان را کمتر خواهد کرد، خصوصاً اگر با تمایل نداشتن مردم به جابه‌جایی همراه باشد. تغییرات مدیریتی پس از سانحه می‌تواند سبب تأخیر و تغییر برنامه‌های بازسازی شود. تغییرات مدیریتی چنانچه با تغییر رویکردها نیز همراه شود می‌تواند سبب فراموشی تدریجی سانحه‌ی سیل و تبعات آن شود.

مکان‌های تأثیرگذار در دلبستگی مکانی مانند تکیه و مسجد همت از عوامل مؤثر در بهبود بازتوانی سیل ۱۳۶۶ بودند.

آموزه‌های حاصل از سیل تجریش به منظور یادگیری اجتماعی برای سوانح آتی به صورت خلاصه در جدول ۲ ارائه می‌شود.

نتیجه‌گیری

سیل تجریش و تلفات بالای آن، زنگ هشدار برای افزایش تراکم و توسعه‌ی ناپایدار در مناطق پرخطر شهر تهران بود که در صورت توجه به این هشدار و برنامه‌ریزی بلندمدت می‌توانست تا حد زیادی از این خطر بکاهد. بیشتر رویکردهای اتخاذ شده پس از سیل تجریش به توسعه‌ی میدان تجریش، حل مشکلات ترافیکی و تغییر کاربری منطقه‌ی آسیب‌دیده (جنوب میدان) اختصاص یافت. کاهش خطر سیل در حوزه‌ی رودخانه نیز به اقدامات آبخیزداری و سازه‌ای منتهی شد. در این میان اقدامات مدیریتی با وجود تلفات بالا و لزوم آموزش و ایجاد آمادگی در مردم کمتر مورد توجه قرار گرفت.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که علی‌رغم ارائه‌ی طرح‌های توسعه‌محور برای بازسازی پس از سیل میدان تجریش و برنامه‌ی کاهش آسیب‌پذیری رود دره‌ی گلاب‌دره از طریق تغییر کاربری و کاهش تراکم، هیچ‌کدام از این طرح‌ها به‌طور کامل محقق نشد و بر اساس چارچوب تاب‌آوری مکانی روند تصمیمات اتخاذ شده پس از سیل تجریش منجر به تحقق تاب‌آوری این ناحیه در برابر سیلاب‌های آتی نشد و حتی از نظر افزایش تراکم به شرایط بدتری نسبت به سیل ۱۳۶۶ بازگردانده شد. خلاصه‌ای از این چارچوب را می‌توان در تصویر ۱۰ مشاهده کرد.

از دلایل تحقق نیافتن بازتوانی بالا می‌توان به هم‌زمانی رخداد سانحه با جنگ و ناتوانی مالی عوامل اجرایی در تأمین هزینه‌های اجرای طرح و خریداری اراضی واقع در مناطق آسیب‌پذیر، شرایط اقتصادی خاص مردم منطقه، تغییرات مدیریتی و تأخیر در بازسازی و فراموش شدن خطر با گذشت زمان از سانحه اشاره نمود. از سوی دیگر به‌کارگیری دستگاه‌های کارآمد برای تسریع پاسخ‌گویی، رضایت مردم از سرعت و فرایند پاک‌سازی، استفاده از ظرفیت‌های محلی برای راه‌اندازی کسب و تقدم بازسازی کسب بر بازسازی کالبدی از نقاط قوت تجربه‌ی سیل سال ۶۶ است.

با وجود دلبستگی‌های مکانی اهالی تجریش به محل سکونت خود، برخی عوامل سبب پذیرش جابه‌جایی و پراکندگی اهالی این ناحیه شد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به اجبار طرح‌های از پیش تعیین شده برای تغییر کاربری این مکان، به‌تکلیفی طولانی مدت اهالی، از بین رفتن تدریجی مطلوبیت مکان به سبب قدمت بالای ابنیه و تخریبات ناشی از سیل، تبدیل تدریجی بافت مسکونی به اماکن تجاری و خریداری خانه‌ها به مبلغ مناسب و منفعت اقتصادی اشاره نمود. هرچند سانحه سبب تسریع اجرای طرح‌های توسعه‌محور و جابه‌جایی ساکنان قدیمی، پراکندگی آن‌ها و گسست پیوندهای اجتماعی بین آن‌ها شد اما اماکن مذهبی باقی‌مانده از بافت قدیمی در محدوده (مسجدهای فاطمیه و همت) هنوز هم به‌منزله‌ی عامل پیونددهنده‌ی ساکنان با بافت

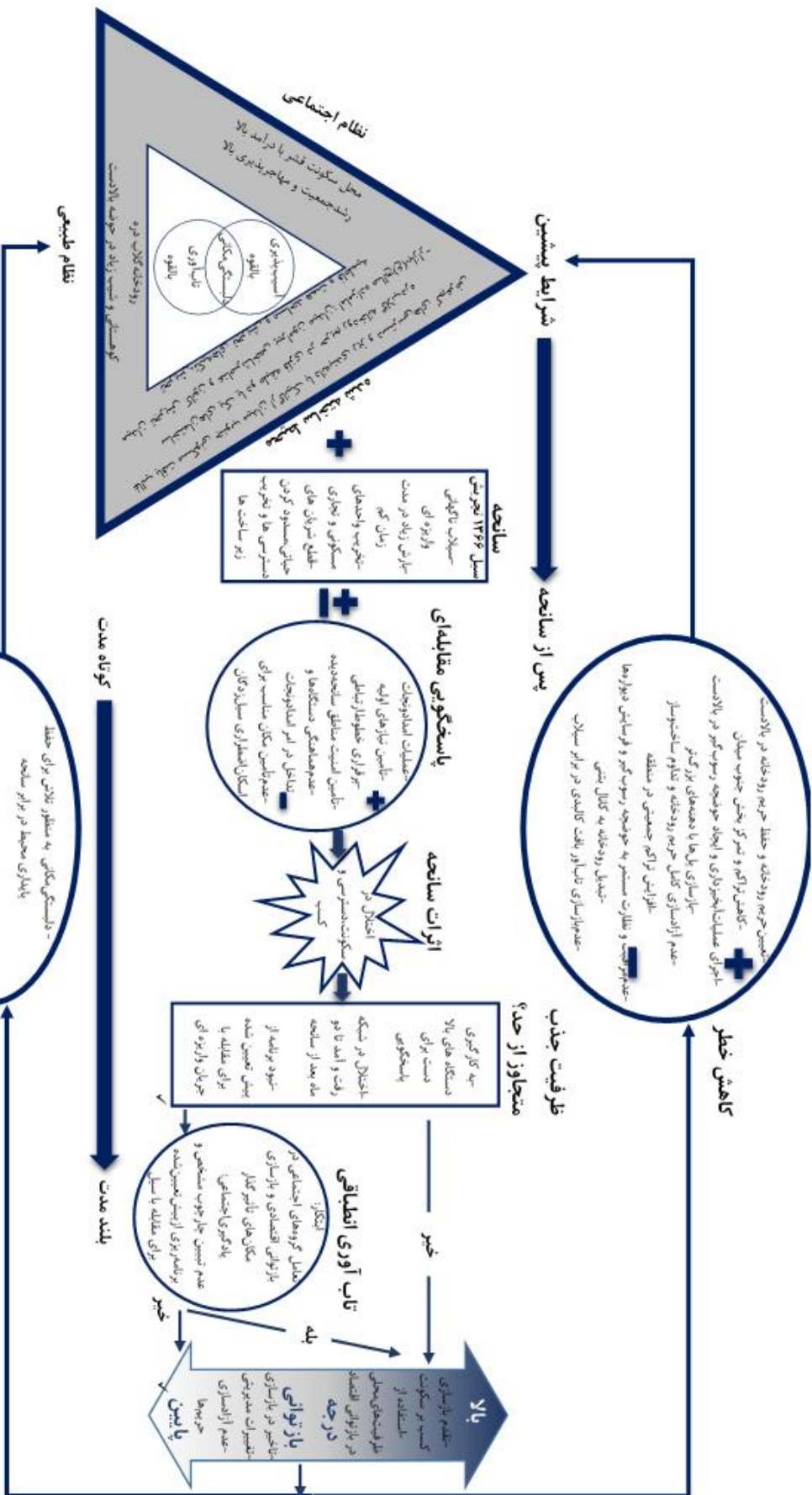
قدیمی عمل می‌کند و افراد برای مراسم مذهبی به محله‌ی قدیمی خود باز می‌گردند.

به نظر می‌رسد با وجود تکرار وقوع سیل در شهر تهران در هر دهه، برنامه‌ریزی‌های متناسب با کاهش خطر این سانحه در طرح‌های بالادست کمتر مورد توجه قرار گرفته است. تهیه‌ی نقشه‌ی خطرپذیری سیل و وضع مقررات کنترل کاربری زمین و جلوگیری از افزایش تراکم بی‌رویه در مناطق خطر می‌تواند اقدامی مؤثر برای کاهش آسیب‌پذیری مناطق مستعد سیل باشد. از سوی دیگر استفاده از ظرفیت‌های طبیعی رود دره‌ها به‌عنوان عناصر هویت‌بخش و تفرجگاهی در شهر می‌تواند گامی مؤثر برای احیای رود دره‌ها و توسعه‌ی پایدار منطقه و شهر باشد.

با توجه به سابقه‌ی سیل در منطقه و تراکم بالای ساختمانی در محدوده‌ی پایین‌دست رودخانه‌ی گلاب‌دره، ارزیابی آسیب‌پذیری رود دره‌ی گلاب‌دره در برابر سیل‌های آتی، طرح‌های ساماندهی و بهسازی گلاب‌دره با رویکرد کاهش خطر سیل می‌تواند زمینه‌ی تحقیقات آتی قرار بگیرد. چهارچوب ارائه شده در این مقاله (تصویر ۱۰) می‌تواند به‌منزله‌ی سندی برای مدیریت سانحه و بحران در مواجهه با سیل‌های احتمالی در مناطق دیگر شهری و نیز برای سازمان‌های متولی امر پیش‌گیری و مدیریت بحران مورد استفاده قرار گیرد.

پی‌نوشت

1. Environmental degradation
2. Rebound after disaster
3. Resilience
4. resist
5. absorb
6. accommodate
7. reservation
8. restoration of its essential basic structures and functions
9. place resilience
10. biophysical
11. Place attachment
12. Mishra
13. Taylor
14. kayle
15. Place identity
16. Social bonding
17. inherent
18. adaptive
19. DROP (Disaster Resilience Of Place)
20. Natural systems
21. Social systems
22. Built environment
23. Antecedent situation
24. Exogenous factors
25. Place-specific multi scalar processes



تصویر ۱۰: چارچوب نظری پیشنهادی تاب‌آوری مکانی بر اساس سازه‌ی سیل تجریش

construction in Yemen, following the 1982 Dhamar earthquake: University of York, Institute of advanced architectural studies, third world/one world studies.

۶. کوپ، آناتول؛ بوشه، فردریک؛ پولی، دانیل (۱۳۶۶). معماری بازسازی، ترجمه محسن حبیبی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه‌ی شماره‌ی ۷۶، تهران.

7. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction (2009), United Nations, p24

8. Altman, I. & Setha Low (ed.) (1992), "Place Attachment", Plenum Press, New York.

9. Sasmita Mishra, Sanjoy Mazumdar, Damodar Suar(2010). Place attachment and flood preparedness, Journal of Environmental Psychology, vol 30, 187-197

10. Relph, E. Place and Placelessness (1976), London: Pion Limited

11. Brown Barbara B, Perkins Douglas D (1992). Disruptions in Place Attachment, Place Attachment. Human Behavior and Environment (Advances in Theory and Research), vol 12. Springer, Boston, MA, 279-304

۱۲. دانشپور، سید عبدالهادی؛ سپهری مقدم، منصور؛ چرخچیان، مریم (۱۳۸۸). تبیین مدل دلبستگی به مکان و بررسی عناصر و ابعاد آن. نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، شماره‌ی ۳۸، ۳۷-۴۸.

13. Taylor, R.B., Gottfredson, S.D. and Brower, B. (1985), 'Attachment to place: Discriminant validity, and impacts of disorder and diversity', American Journal of Community Psychology, vol 13, pp. 525-542.

14. Kyle Gerard, Graefe Ala, Manning Robert (2005). Testing the Dimensionality of Place Attachment in Recreational Settings, environment and behavior, vol 37, 153-177.

15. Mayunga Joseph S (2007) Understanding and Applying the Concept of Community Disaster Resilience: A capital-based approach, Munich, Germany.

16. Bruneau, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T., Lee, G.C., O'Rourke, T.D., Reinhorn, A.M., Shinozuka, M., Tierney, K.T., Wallace, W.A., von Winterfeldt, D (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities, Earthquake Spectra vol 19 (4), 733-752.

17. L. Cutter Susan, Barnes Lindsey, Berry Melissa, Burton Christopher, Evans Elijah, Tate Eric, Webb Jennifer (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters, Global Environmental Change, vol 18, 598-606.

18. Ainuddin Syed, Kumar Routray Jayant (2012). Community resilience framework for an earthquake prone area in Baluchistan, International Journal of Disaster Risk Reduction, vol 2 , 25-36.

26. Inherent resilience

27. Inherent vulnerability

28. Nested triangles

29. Capital -based approach

30. Risk perception

31. Disaster Resilience Indicators for

32. Benchmarking Baseline Conditions

33. Loss-response of location (DRLRL)

34. relief

35. Loss Potential

36. attribute

37. Immediate effects

38. Mitigating actions

39. Coping responses

40. Cumulative effect

41. Absorptive capacity

42. recovery

43. Adaptive resilience

44. improvisation

45. Impromptu actions

46. Social learning

47. Feedback loops

48. Feedback process

49. mitigation

50. preparedness

51. Potential for loss

52. exposure

53. Sensitivity

منابع

1. Paton Douglas, Johnston David (2017). Disaster Resilience: An Integrated Approach (second edition), Charles C Thomas Pub Ltd, Illinois USA, p327

2. Zhou Hongjian, Wang Jing'ai, Wan Jinhong, Jia Hui-cong. (2010), Resilience to natural hazards: a geographic perspective, Nat Hazards, vol 53, 21-41

۳. رفعیان مجتبی و دیگران (۱۳۹۰). تبیین مفهومی تاب‌آوری و شاخص‌سازی آن در مدیریت سوانح اجتماع محور، برنامه ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)، دوره پانزدهم، شماره‌ی ۴، ۴۱-۱۹

۴. لک، آزاده (۱۳۹۴). تجربه‌ی بازآفرینی حس دلبستگی به مکان در محلات آسیب دیده از زلزله با بهره‌گیری از روش نظریه زمینه‌ای بررسی موردی: امامزاده زید و قصر حمید در بم. نامه معماری و شهرسازی، دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۱۵، ۱۷۸-۱۵۹.

5. Barakat, Sultan (1993). Rebuilding and resettlement, 9 years later; a case-study of the contractor built re-

۷۴

شماره شانزدهم
پاییز و زمستان
۱۳۹۸
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



۳۷. آيسان ی و دیویس ی، (۱۳۸۵). معماری و برنامه ریزی بازسازی، ترجمه
فلاحی ع، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ص ۵.
۳۸. مقیمی ابراهیم، صفاری ا، (۱۳۸۹). ارزیابی ژرموفولوژیکی توسعه شهری در
قلمروی حوضه های زهکشی سطحی مطالعه موردی: کلان شهر تهران،
فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ی ۱۴، شماره ی ۱، ۱۱-۱۰

19. L. Cutter Susan, G. Burton Christopher, T. Erich Christopher (2010). Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions, Journal of Homeland Security and Emergency Management, Vol 7, Issue 1, Article 51.

20. Davis Ian, Alexander David (2016). recovery from disaster, Routledge, 43-59

21. Cutter SL (1996) Vulnerability to environmental hazards, Prog Hum Geogr, vol 20(4), 529-539

22. Etkin D, Haque E, Bellisario L, Burton I (2004). an assessment of natural hazards and disasters in Canada, The Canadian natural hazards assessment project. Public safety and emergency preparedness Canada And environment Canada, Ottawa.

۲۳. خدایی، هانیه؛ کبارفرد، محمد؛ مظفری، جواد (۱۳۸۵). پیش بینی و هشدار، ابزاری کارآمد برای همزیستی با سیلاب، کارگاه فنی همزیستی با سیلاب کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۹۱-۱۰۱.

۲۴. شرکت خدمات مهندسی جهاد (۱۳۷۳). مجموعه گزارش ها مطالعات مرحله ی تفضیلی - اجرایی حوضه های دربند-گلاب دره، معاونت آبخیزداری و امور زیربنایی، وزارت جهاد سازندگی.

۲۵. محمودیان، ب. (۱۳۷۵). خسارت جریان واریزه ای بر مناطق مسکونی مطالعه ی موردی سیل ۱۳۶۶ گلاب دره، مجموعه مقالات سومین سمینار سیاست های توسعه مسکن در ایران، جلد دوم، سازمان ملی زمین و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی.

۲۶. بنی حبیب، محمد ابراهیم؛ عربی، آذر (۱۳۸۹). ارزیابی اثر عملیات آبخیزداری بر زمان پیش هشدار حوضه ی آبخیز گلابدره - دربند علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دوازدهم، شماره یک، ۷۶-۸۸.

۲۷. برگرفته از آرشيو شخصی آقای صالحی ازاهاالی قدیم میدان تجریش در سال ۱۳۶۶.

۲۸. سازمان نقشه برداری کشور

۲۹. مهندسین مشاور بافت شهر (۱۳۸۳). طرح تفصیلی منطقه یک تهران

۳۰. گوهری انوشه، ایرانی بهبهانی هما، صالحی اسماعیل (۱۳۹۵) روش شناختی ادراک منظر شهری در ارتباط با ذهنیات و خاطرات جمعی، مطالعه ی موردی تجریش، محیط شناسی، دوره ۴۷ شماره ۱، ۱۹۵-۲۱۰

۳۱. موقر، فاطمه (۱۳۹۵). مستندسازی سیل ۴ مرداد ۱۳۶۶ تجریش، پایان نامه کارشناسی ارشد.

32. K Jha, A. Bloch, R. Lamond, j (2012). Cities and Flooding a Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. Washington DC. the world bank. p19

۳۳. مختاری، سمیه (۱۳۸۸). راهکارهای کنترل سیلاب. مسکن و محیط روستا، ۲۸ (۱۲۶)، ۸۹-۷۲.

34. Coasta, J (1988). (rheologic, geomorphic and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows and debris flow, in flood geomorphology", barker & kochel & patton (eds), john willy & sons, 113-122

35. Pirson, T C (1986). flow behavior of channelized debris flow, ebrahams. A. D (ed), Washington, 269-296

۳۶. دفتر بررسی های منابع آب وزارت نیرو، بررسی سیل مردادماه ۱۳۶۶ تهران، بخش تلفیق و آنالیز آمار؛ وزارت نیرو، ۸-۱۳.

ارائه‌ی الگوی رتبه‌بندی شریان‌های حیاتی بر اساس آنالیز اجزای اصلی

محمد اسکندری*: استادیار، مجتمع دانشگاهی پدافند غیر عامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Eskandarim@ut.ac.ir

بابک امیدوار: دانشیار، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

مهدی مدیری: دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

محمد علی نکوئی: استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

پیشرفت‌های چشمگیر در تولید تسلیحات مدرن در سال‌های اخیر سبب شده که الگو و ماهیت جنگ‌ها به‌طور کلی تغییر یابد و امروزه دشمنان اصلی کشور، انگیزه‌ی بالایی برای حمله به مراکز ثقل و زیرساخت‌های حیاتی داشته باشند. هدف اصلی این مقاله، اولویت‌بندی زیرساخت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه با توجه به معیارهای بالای جذابیت برای دشمنان و اعمال تهدید سخت نظامی هوایی است. الگوی ارائه‌شده در این مقاله با مبحث سطح‌بندی حیاتی، حساس و مهم سازمان پدافند غیرعامل کاملاً متفاوت است. به‌منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها، پنج معیار اصلی «ملاحظات پدافندی»، «محیط پیرامونی زیرساخت»، «ماهیت بنیادی زیرساخت»، «پیامدهای مترتب با حمله هدفمند» و «نحوه‌ی وابستگی» و تعدادی معیار فرعی به همراه شاخص‌های کمی ارائه گردید. هر زیرساخت با توجه به امتیازی که از هر یک از معیارها دریافت می‌کند، رتبه‌بندی می‌شود و هر زیرساختی که امتیاز بالاتری کسب نماید، از رتبه‌ی بیشتری برای اعمال تهدید توسط دشمنان برخوردار است. گفتنی است برای تحلیل بر روی داده‌ها و خروجی تحقیق، تحلیل‌های آمار استنباطی صورت گرفت و ابتدا به کمک آزمون کروسکال والیس، میزان شباهت بین وزن‌هایی که پاسخ‌دهندگان ارائه داده بودند، آنالیز شد و شبیه بودن نظر پاسخ‌دهندگان در ۲۲ معیار تأیید گردید. در انتها به کمک آنالیز اجزای اصلی، معیارهای با اهمیت در هر دسته از معیارهای اصلی مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: زیرساخت‌های حیاتی، اولویت‌بندی، آنالیز اجزای اصلی، آزمون کروسکال والیس، تهدید سخت نظامی

Providing the Pattern for the Prioritization of Critical Infrastructures in Targeted Attacks

Mohammad Eskandari*¹, Babak Omidvar², Mahdi Modiri³, Mohammad Ali Nekooie⁴

Abstract

The pattern of war has been changed in ever more deadly ways as modern and intelligent weapons and more destructive specifications have been taken recently. The potential enemies are trying to attack the important centers and destroy critical infrastructures at the local or national level in new wars. The main purpose of this study is to identify the major infrastructures assets which are located in a geographical areas that could be affected by any incident and also have inherent specification of high attractiveness for the enemies and the proposed model is very different with the classification issue of vital, sensitive, and Important of the passive defense organization. The five main criteria includes; (1) passive defense considerations, (2) surrounding environment of infrastructure, (3) fundamental specifications of infrastructure, (4) attack consequences, and (5) dependency. The score and weight are assigned to each criterion in which those values show the importance of a structure in the desired rank. A higher score means there is higher attack potential by enemies. It should be noted, in order to analyze the data and research outputs, the inferential statistical analysis was performed. Initially, by using the Kruskal-Wallis test, similarities between the weights of experts were analyzed and 22 criteria based on the similarity of answers were confirmed. Finally, by using principal component analysis (PCA), the important criteria of secondary in each of the main criteria were determined.

Keywords: Critical Infrastructure, Prioritization, PCA, Kruskal-Wallis Test, Hard Military Threat

1 - Assistant professor, Faculty of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, 15875-1774, Tehran, Iran, Email: Eskandarim@ut.ac.ir

2 - Associate Professor, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

3 - Associate professor, Malek ashtar University of technology, Tehran, Iran

4 - Assistant professor, Departement of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran

مقدمه

جنگ‌ها خواسته و یا ناخواسته و تحمیلی با زندگی و حیات جوامع بشری آمیخته شده است و در بسیاری از موارد به نظر می‌رسد که هیچ راه گریزی از آن وجود ندارد. بشریت در طول پنج هزار سال تاریخ تمدن خود، چهارده هزار جنگ را دیده و در این جنگ‌ها بیش از چهار میلیارد انسان جان باخته‌اند. به طوری که در این مدت، صرفاً ۲۶۸ سال بدون جنگ و مناقشه بوده است و تنها در طی ۴۵ سال یعنی طی سال‌های ۱۹۴۵ تا ۱۹۹۰ در روی کره‌ی زمین فقط سه هفته بدون جنگ بوده و جالب این‌که اکثر این جنگ‌ها در کشورهای جهان سوم به وقوع پیوسته است (مدیریت بازرسی سازمان صنایع دفاع، ۱۳۸۶). در قرن بیستم بیش از ۲۲۰ جنگ به وقوع پیوسته و ۲۰۰ میلیون تلفات انسانی داشته است. خاورمیانه طی سالیان گذشته، شاهد چهار جنگ مهم (جنگ تحمیلی عراق علیه ایران، جنگ خلیج فارس، جنگ افغانستان و جنگ آمریکا و متحدانش علیه عراق) بوده است [۱].

در طول تاریخ زندگی بشر، همگام و هماهنگ با رشد و پیشرفت فناوری، روش‌ها، قواعد و اصول جنگ با توجه به امکانات و توانمندی‌ها و دانش آن جامعه دچار تغییر و تحول اساسی گردیده است. جنگ‌ها در جهان امروز برخلاف گذشته، از ابعاد و پیچیدگی و خشونت بیشتری برخوردارند. کیفیت سلاح‌ها، پیچیدگی تکنیک‌ها، توسعه‌ی جنگ به اعماق سرزمین کشورها، حملات هوایی و موشکی، بمباران‌های سنگین و انهدام منابع حیاتی و جنگ شهرها از جمله خصوصیات بارز جنگ‌های امروزی است. بنا به نظریه‌ای، امروز جنگ دیگر در مرزها نیست بلکه در شهرهاست و شهرها به میدان‌های جدید کارزار تبدیل شده‌اند [۱].

تجارب حاصله از جنگ‌های گذشته به خصوص هشت سال دفاع مقدس، جنگ ۴۳ روزه‌ی ۱۹۹۱ متحدین علیه عراق (جنگ اول خلیج فارس)، جنگ یازده هفته‌ای سال ۱۹۹۹ ناتو علیه یوگسلاوی، جنگ اخیر آمریکا و انگلیس علیه عراق مؤید این نظر است که کشور مهاجم برای در هم شکستن اراده‌ی ملت و توان اقتصادی، نظامی و سیاسی کشور مورد تهاجم با اتخاذ «استراتژی انهدام مراکز ثقل»، توجه خود را صرف بمباران و انهدام مراکز حیاتی و حساس می‌نماید [۲]. بر این اساس امروزه زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی از جذاب‌ترین اهداف دشمنان برای اعمال تهدید بر یک کشور هستند.

به طور کلی زیرساخت‌ها جزء بنیان‌های اصلی و چارچوب‌های پایه‌ای هر جامعه‌ای به شمار می‌آیند که دربرگیرنده‌ی تمامی تأسیسات، خدمات و تسهیلاتی هستند که مورد نیاز آن جامعه است. این شریان‌ها برای تولید و توزیع کالاها و خدمات در واحدهای شهری به کار می‌روند و امکان زندگی در شهرها نیز بستگی به کیفیت و کمیت کارکرد این شریان‌ها دارد. در زندگی مدرن، افزایش وابستگی سریع به این امکانات نیز، این نیاز روز را افزون نموده است. از طرفی پایداری اقتصاد ملی، ثبات امنیت ملی و کیفیت زندگی مردم به میزان قابل توجهی به در دسترس بودن، دوام و پایداری زیرساخت‌های حیاتی وابسته است. از این رو علی‌رغم مجموعه‌ی وسیعی که تحت عنوان زیرساخت‌ها

معرفی می‌شوند، به طور خلاصه می‌توان شریان‌ها را به دو دسته‌ی کلی خدمت‌رسانی^۱ (مثل شبکه‌ی آب، برق، مخابرات و سوخت) و حمل و نقلی^۲ (شبکه‌ی راه زمینی، هوایی و دریایی) تقسیم‌بندی نمود. آنچه تحت عنوان این مقاله بررسی می‌گردد، بیشتر برای شریان‌های خدمت‌رسان است و مدل پیشنهادی به صورت مطالعه‌ی موردی برای سه شریان شبکه‌ی آب، برق و گاز پیاده‌سازی شده است.

ارزیابی ریسک زیرساخت‌ها یکی از مهم‌ترین مسائل پیشرو در مدیریت بحران است. امروزه عموماً روش‌های ریاضی و تجربی بسیاری برای ارزیابی ریسک طبیعی زیرساخت‌ها ارائه شده است، ولی در حوزه‌ی تهدیدات و پدافند غیرعامل، روش‌ها بیشتر متمرکز بر چک‌لیست‌ها و پرسش‌نامه‌ها است و عموماً محققان از چک‌لیست‌های غیربومی برای ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده می‌کنند. به نظر می‌رسد همان‌طور که در ارزیابی ریسک مخاطرات طبیعی، برای هر مخاطره یک روش مجزا توسعه داده شده است، در حوزه‌ی ریسک پدافند غیرعاملی هم بهتر است برای هر یک از تهدیدات یک روش یا یک چک‌لیست مجزا ارائه شود. این مقاله به تهدیدات حملات هدفمند می‌پردازد. در تهدیدات حملات هدفمند از چهار مؤلفه‌ی ارزیابی ریسک پدافندی (تهدیدشناسی، دارایی‌شناسی، آسیب‌پذیری و پیامدشناسی)، دارایی‌شناسی اهمیت بسیار زیادی دارد؛ زیرا چنانچه دشمن دارایی جذاب و بااهمیت را شناسایی نماید، با توجه به اینکه از تسلیحات دقیق موشکی یا هوایی بهره می‌برد، آسیب‌پذیری دارایی در برابر اصابت موشک بالا است، که می‌توان با پیشنهاد سه سناریوی اصابت مختلف، درجه‌ی آسیب‌پذیری را حدس زد.

در این راستا و برای نیل به اهمیت زیرساخت‌ها و نقش آن‌ها در کنترل بحران، یکی از روش‌های مرسوم در مطالعات پدافند غیرعامل در برابر حملات هدفمند، سطح‌بندی و رتبه‌بندی زیرساخت‌های حیاتی است. بر این اساس در ابتدا به مروری بر مطالعات صورت گرفته در این حوزه پرداخته می‌شود. سپس به طور مختصر الگویی که برای ارزیابی ریسک امنیتی زیرساخت‌ها در مطالعات پدافند غیرعامل مرسوم است، پرداخته می‌شود. سپس فرضیاتی برای ساده نمودن الگوی ارزیابی ریسک برای این پژوهش بیان می‌گردد. در ادامه مدل اصلی سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های حیاتی بر اثر حملات هدفمند در قالب گام‌های تشریح می‌گردد. سپس مدل برای یک شهر به صورت نمونه اجرا می‌شود تا بتوان بر روی خروجی‌های آن بحث و بررسی نمود. در انتها نیز به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پژوهش پرداخته می‌شود.

پیشینه‌ی پژوهش

با توجه به نوپا و جدید بودن مطالعات پدافند غیرعامل در حوزه‌ی زیرساخت‌های حیاتی، پژوهش‌های بسیار کمی در این بخش صورت گرفته است و مروری بر پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تاکنون نمونه‌ای منطبق با موضوع و هدف پژوهش حاضر انجام نشده است. از این رو ابتدا پژوهش‌هایی که تا حدودی

مرتبط با موضوع تحقیق است، به صورت مختصر ارائه می‌شود، سپس به معرفی مختصر الگوی ارزیابی ریسک امنیتی متداول در زیرساخت‌های حیاتی پرداخته می‌شود.

مروری بر پژوهش‌های قبلی

جمشیدی و همکاران [۳]، به ارائه‌ی الگویی برای ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی در صنعت نفت پرداختند. تحقیق پیش‌رو با معرفی سامانه‌ی ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی (سامانه‌ی جوشن) در صدد تغییر نگرش رایج درخصوص شیوه‌های ارزیابی ریسک ناشی از حملات نظامی، تروریستی و خرابکاری طراحی شد. در این پژوهش هدف از ارزیابی ریسک امنیتی دارایی‌های جزیره‌ی لاوان، به دو بخش اصلی تقسیم شد: ۱. شناسایی مخاطرات امنیتی، تهدیدها و آسیب‌پذیری‌های محتمل در مواجهه با دارایی‌های هدف و ۲. اقدامات متقابل در برابر تهدیدها برای حفاظت از عرصه‌ی عمومی، کارگران، سرمایه‌های ملی، محیط‌زیست و شرکت نفت فلات قاره. مراحل پنج‌گانه‌ی مدل ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی در این پژوهش شامل مشخصات دارایی‌ها، ارزیابی تهدید، تحلیل آسیب‌پذیری، ارزیابی ریسک و اقدامات متقابل بودند. همچنین در این پژوهش از نرم‌افزار بومی ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی (جوشن پرو) بدین منظور استفاده شد.

جلالی فراهانی و همکاران [۴] به تعیین و رتبه‌بندی تهدیدات انسان‌ساخت عمدی در اجزای اصلی ایستگاه‌های مترو پرداختند. علت انتخاب ایستگاه‌های مترو به دلایل مختلفی همچون جمعیت‌پذیری بالا صورت پذیرفت. در این پژوهش براساس روش توصیفی - تحلیلی و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و پرسش‌نامه به استخراج تهدیدات انسان‌ساخت عمدی حوزه‌ی ایستگاه‌های مترو و رتبه‌بندی آن‌ها در هر یک از اجزای اصلی این فضاهای عمومی پرداخته شد. استخراج تهدیدات تخصصی ایستگاه‌های مترو و تبیین شاخص‌های رتبه‌بندی تهدیدات از مهم‌ترین داده‌های کیفی است که در تهیه‌ی پرسش‌نامه‌ی تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. برای تحلیل داده‌ها نیز علاوه بر آماره‌های کمی، از روش تحلیل محتوا استفاده شد. یافته‌های تحقیق بیانگر آن بود که از میان ۱۰ تهدید پیش‌روی ایستگاه‌های مترو، بمب‌گذاری اصلی‌ترین تهدید کل این فضا است. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به رتبه‌بندی نه تهدید مذکور در هر یک از اجزای اصلی ایستگاه مترو اشاره کرد. این رتبه‌بندی براساس چهار شاخص «سابقه‌ی رخداد تهدید» و «جذابیت هدف»، «توانایی دشمن»، «شدت خسارت» انجام پذیرفت.

مشهدی و امینی ورکی [۵] در پژوهشی با عنوان تدوین و ارائه‌ی الگوی ارزیابی تهدیدات، آسیب‌پذیری و تحلیل خطرپذیری زیرساخت‌های حیاتی با تأکید بر پدافند غیرعامل به ارائه‌ی چارچوبی برای تحلیل و مدیریت خطرات مرتبط با حملات احتمالی علیه زیرساخت‌های حیاتی پرداختند. بر این اساس در این پژوهش رویکردی جستجوگرانه به‌منظور تدقیق معیارهای دفاع غیرعامل و تلاشی برای یافتن ابزار و امکاناتی برای تبدیل مفاهیم و توصیه‌های کیفی به ضابطه‌های کمی و قانونمند تعیین گردید. روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش "توصیفی-

تحلیلی" بود. بدین منظور از روش‌های کمی و کیفی به صورت توأمان استفاده شد و در گردآوری از روش‌های متداول مانند بررسی کتابخانه‌ای و اسنادی، جستجوی اینترنتی و روش پرسش‌نامه‌ای استفاده شده است. الگوی ارائه شده در این پژوهش با عنایت به فضای تهدید و شرایط خاص کشور تعریف شد که بتواند دربرگیرنده‌ی بسته‌ای از تهدیدات برای یک زیرساخت باشد. در این الگو در بخش ارزیابی دارایی‌ها از معیارهای کارور^۲ استفاده شد؛ در بخش ارزیابی تهدیدات با ارائه‌ی شاخص‌هایی به ارزیابی هر دو حوزه‌ی تهدیدات نرم و سخت پرداخته شد.

در پژوهش دیگر سلیمانی و همکارانش [۶]، الگوی ارزیابی ریسک در مقیاس‌های فراشهری را با تلفیق رویکردهای آمایشی و زیرساختی ارائه کردند. هدف از این پژوهش ارائه‌ی چارچوبی برای ارزیابی ریسک در مقیاس فراتر از شهر بود. فرایند پیشنهادی در این پژوهش، دو رویکرد در ارزیابی ریسک را به‌طور همزمان در نظر گرفت: رویکرد آمایشی و رویکرد زیرساخت‌های حیاتی. به این ترتیب که پس از تعیین تهدیدات متصور برای منطقه، انواع شریان‌های حیاتی در منطقه که در مقیاس بین‌شهری فعالیت و خدمات‌رسانی می‌کنند، به‌منزله‌ی دارایی‌های منطقه انتخاب شدند. سپس روابط بین این دارایی‌ها با استفاده از مفهوم اندرکنش‌های درون زیرساختی و بین زیرساختی محاسبه گردید. سپس با توجه به رویکرد آمایشی در ارزیابی ریسک که به دنبال تعیین آسیب‌پذیری‌ها و پیامدها از منظر جمعیت و فعالیت در پهنه‌ی فضا بود، جمعیت و مساحت تحت تأثیر دارایی‌ها مشخص شد. این عملیات از طریق استفاده از مفهوم «فروش ازدست‌رفته» برای هر دارایی انجام گردید. استفاده از این مفهوم علاوه بر افزودن ملاحظات آمایشی به مطالعه‌ی زیرساخت‌های حیاتی، امکان مقایسه بین دارایی‌های مختلف را نیز فراهم می‌کرد. برای عینی شدن این تحلیل، فرایند مذکور در یک منطقه‌ی شهری فرضی پیاده شد.

در پژوهشی دیگر سهامی و قنادیان [۷]، به ارائه‌ی روش‌های حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی در صنعت نفت و گاز و ارائه‌ی راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری مبتنی بر مدیریت ریسک پرداختند. در این پژوهش تلاش شده است تا مراحل اجرایی و عملیاتی که می‌توان برای ایجاد یک برنامه‌ی مدیریت جامع به کار بست، توصیف گردد و همچنین به روش ارزیابی بر مبنای مدل ریسک اشاره شد. هدف از این پژوهش، تحلیل و واکاوی تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های موجود در صنعت نفت و گاز بود تا روشی روشن، قابل درک و جامع برای مدیریت ریسک ایمنی زیرساخت‌های حیاتی در این صنعت معرفی گردد.

رنجبر و پیرایش [۸] در پژوهشی دیگر، شاخص‌هایی برای ارزیابی آسیب‌پذیری سامانه‌ی قدرت در برابر تهدیدات تروریستی ارائه کردند. در این مقاله ابتدا مفاهیم مربوط به آسیب‌پذیری و رتبه‌بندی حادثه مطرح گردید. سپس در قالب هشت شاخص ترکیبی به آسیب‌پذیری سامانه‌ی انتقال برق پرداخته شد و خطوط انتقال با بیشترین اهمیت شناسایی گردید.

در سال ۲۰۰۸ مدلی به منظور محافظت از زیرساخت‌های حیاتی اطلاعاتی ارائه شد. در این مطالعه ابتدا مفاهیم حفاظت از زیرساخت‌ها تشریح گردید. در ادامه به منظور محافظت از زیرساخت‌های حیاتی، دو مدل امنیت ملی و مدل استمرار فعالیت ارائه گردید. نحوه‌ی استفاده و انتخاب این مدل‌ها به شیوه‌ای که دولت‌ها برای محافظت از زیرساخت‌ها به کار می‌برند، وابسته بود. با مقایسه و تجزیه و تحلیل در سیاست‌های امریکا و رژیم اشغالگر قدس، یک الگو برای پیشنهاد مدل محافظت از زیرساخت‌های حیاتی ارائه گردید [۹].

در سال ۲۰۰۹، تعدادی شاخص برای ارزیابی آسیب‌پذیری بخش‌های صنعتی در مقابله با حوادث ارائه گردید. در این مطالعه ابتدا خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیمی که مخاطرات طبیعی و تهدیدات انسان‌ساخت می‌تواند بر پیکره‌ی بخش‌های صنعتی وارد کند، معرفی گردید. نکته‌ی قابل توجه در این مطالعه این بود که خسارت غیر مستقیم در برخی موارد، زیان‌های بسیار بیشتری نسبت به خسارت مستقیم می‌تواند بر بخش‌های صنعتی وارد نماید. از این‌رو در این مقاله برای ارزیابی کمی آسیب‌پذیری این خسارت‌های غیرمستقیم بر بخش‌های صنعتی، تعدادی شاخص ارائه شد. به نحوی که در این مطالعه در قالب سه معیار اصلی و هشت معیار فرعی، مدلی ارائه گردید که قادر بود بر اساس هفت گام مجزا به تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری خسارات غیرمستقیم در بخش‌های صنعتی بپردازد [۱۰].

در سال ۲۰۱۱ دیارتمان امنیت ملی امریکا برای افزایش آمادگی و ارتقای امنیت در تمامی سطوح دولت و همچنین بخش خصوصی در برابر اقدامات تروریستی و انسان‌ساز، مطالعات گسترده‌ای برای افزایش قابلیت اطمینان زیرساخت‌های حیاتی انجام داد [۱۱]. در سال ۲۰۱۳ هم مطابق دستورالعمل شماره‌ی ۲۱ ریاست جمهوری امریکا، تأکید بسیار زیادی بر ارتقای امنیت و انعطاف‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی به صورت جامع با در نظرگیری وابستگی متقابل داشت [۱۲]. از این رو به منظور تجزیه و تحلیل حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی و همچنین شناسایی راه‌هایی برای بهبود آن‌ها، دیارتمان امنیت داخلی امریکا، شاخص‌هایی برای آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی در قالب یک پروژه‌ی تحقیقاتی ارائه دادند. بر این اساس در این تحلیل از پنج معیار اصلی «امنیت فیزیکی»، «مدیریت امنیت»، «نیروهای امنیتی»، «به اشتراک گذاری اطلاعات» و «سایر فعالیت‌های امنیتی» استفاده گردید. هر یک از این معیارهای اصلی از تعدادی زیر معیار فرعی تشکیل شدند که در مجموع ۲۵ معیار فرعی در این مطالعه ارائه گردید. در ادامه وزن و رتبه‌ی هر یک از معیارهای فرعی ارائه گردید [۱۳].

تمامی پژوهش‌های صورت گرفته عمدتاً به مبحث ارزیابی ریسک بر اساس ارائه‌ی پرسش‌نامه و تحلیل آماری پرسش‌نامه پرداخته شده است. عموماً نتایج ناشی از تحلیل، قبل از ارزیابی قابل پیش‌بینی بودند. در برخی دیگر از پژوهش‌ها صرفاً به ارائه‌ی الگو پرداخته شده است. درحالی‌که در این پژوهش، با توجه به اهمیت بسیار بالای بخش دارایی‌شناسی، تنها به این بخش و رتبه‌بندی و سطح‌بندی زیرساخت‌ها در این حوزه پرداخته شده

است، زیرا عموماً برای رتبه‌بندی زیرساخت‌ها در پژوهش‌های قبلی تنها به تعداد معدودی معیار بسنده می‌شد که غالباً شاخص و سنجه‌ی مناسبی برای اندازه‌گیری نداشتند. درحالی‌که در این پژوهش سعی گردیده تا این معیارها و شاخص‌ها به نحو مناسبی بسط گردد.

مروری بر الگوی ارزیابی ریسک امنیتی

تحلیل ریسک امنیتی به صورت متداول شامل چهار بخش دارایی‌شناسی، تهدیدشناسی، آسیب‌پذیری و مدل‌سازی پیامد به صورت زیر است:

۱. شناسایی دارایی‌ها: در تعریف دارایی، هر آنچه که برای زیرساخت دارای ارزش باشد دارایی تلقی می‌گردد. دارایی‌ها همانند زیرساخت‌ها به دو دسته‌ی غیرحیاتی و حیاتی تقسیم می‌شوند. دارایی‌های غیرحیاتی دسته‌ای هستند که خسارت، آسیب و نابودی آن‌ها تأثیر مهمی برای زیرساخت ندارد. در مقابل، دارایی‌های حیاتی در صورت صدمه و نابودی تأثیر بسیار مهمی بر زیرساخت دارند. دارایی‌هایی که به این دسته متعلق‌اند مستقیماً در تداوم تولید محصولات و ارائه‌ی خدمات نقش دارند. البته در مفهوم دارایی ذکر این نکته حائز اهمیت است که منظور از دارایی تنها امان‌های یک زیرساخت نیست، بلکه ابتدا باید سطح بررسی را مشخص نمود. برای مثال در سطوح کلان، منظور از دارایی، کل یک زیرساخت است و در این بخش، ارزیابی بین تمامی زیرساخت‌ها صورت می‌گیرد. درحالی‌که چنانچه بررسی در سطح خرد باشد، منظور از دارایی، تمامی امان‌های آن زیرساخت مربوطه است.

۲. ارزیابی تهدیدات: بررسی و شناخت تهدیدات و توانمندی‌های تسلیحاتی و فناوری‌های دشمن شرط اول و الزامی برای پی بردن به توانایی‌ها و اهداف دشمن است و عدم کنکاش در این خصوص آسیب‌ها و ضررهای جبران‌ناپذیری را در پی خواهد داشت. نکته‌ی کلیدی این است که هر چه دشمن نیرومندتر و دارای شرایط بهتری باشد، برای طرف مقابل، زمان، امکانات و فرصت‌ها کم و نیاز به بهره‌گیری از تمامی امکانات و مقدرات ممکن، اجتناب‌ناپذیر می‌شود [۱۴]. در این مقاله هدف اصلی دشمن در سناریوی تهدید، فلج کردن کشور هدف با تهاجم به زیرساخت‌های حیاتی و حساس به منظور ناتوان کردن حاکمیت در ارائه‌ی خدمات به مردم، رفع نیازهای اساسی و در نهایت هرج و مرج در اداره‌ی جامعه است. به منظور تهدیدشناسی باید گام‌های زیر طی شود [۱۵]:

- گام اول: دشمن‌شناسی؛
 - گام دوم: شناسایی منابع بروز تهدید؛
 - گام سوم: تعیین سطوح تهدید؛
 - گام چهارم: بررسی روش‌های تهدید و ابزار تهدید؛
 - گام پنجم: سطح‌بندی ابزار تهدید.
- از این‌رو می‌توان تهدیدات متصور برعلیه زیرساخت‌های حیاتی را در پنج دسته‌ی زیر دسته‌بندی نمود:
- حمله‌ی هوایی و موشکی هدفمند: حمله‌ی هوایی شامل حمله‌ی هواپیماهای جنگی و بمب‌افکن‌ها به منظور

نابودی کلیه‌ی تأسیسات و زیرساخت‌های حیاتی است. حمله‌ی موشکی با استفاده از موشک‌های بالستیک و کروز از مهم‌ترین ابزارهای این بخش است. پیامدهای این حملات می‌تواند شامل نابودی ساختمان‌ها و تجهیزات، مجروح شدن کارکنان و مردم عادی اطراف، قطع استمرار تولید، از بین رفتن اطلاعات حیاتی و اعتبار مجموعه، نابودی محیط زیست و ... باشد.

- حمله‌ی تروریستی سخت: شامل حمله‌ی راکت و خمپاره‌ای از اطراف زیرساخت‌های حیاتی، نفوذ، بمب‌گذاری ثابت و خودرویی، آتش‌سوزی عمدی و ... است. این حملات به‌منظور اختلال در فرایند زیرساخت‌ها، ایجاد وحشت و ارباب صورت می‌پذیرد. پیامدهای این حمله می‌تواند شامل کشته و مجروح شدن کارکنان، آسیب به ساختمان‌ها و تجهیزات و قطع استمرار تولید باشد.
- خرابکاری صنعتی: شامل ایجاد آسیب به زیرساخت‌های حیاتی از طریق عوامل نفوذی و یا ورود تجهیزات معیوب و دستکاری شده است. این خرابکاری می‌تواند ماهیت فیزیکی، سایبری و زیستی نیز داشته باشد. خرابکاری صنعتی در نقاط آسیب‌پذیر فرایند هر یک از زیرساخت‌های حیاتی به‌منظور اعمال آسیب و ایجاد اختلال در فرایند تولید صورت می‌پذیرد. بسته به محل وقوع، پیامدهای آن متفاوت است ولی هدف اصلی تمامی آن‌ها ایجاد آسیب به دستگاه‌های اصلی فرایند تولید در زیرساخت مورد نظر است.
- حمله‌ی سایبری: حمله‌ی سایبری با استفاده از بدافزارها به‌منظور ایجاد آسیب در نرم‌افزارهای سازمانی و صنعتی و در نهایت ایجاد آسیب در دستگاه‌های کنترلی واحد اصلی فرایند زیرساخت‌های حیاتی ممکن است به وقوع بپیوندد. پیامدهای این حمله شامل نابودی نرم‌افزارها و اطلاعات و ایجاد آسیب فیزیکی به تجهیزات در هر زیرساخت است.
- حمله‌ی زیستی: حمله‌ی زیستی با استفاده از عوامل زیستی زنده و یا محصولات حاصل از آن‌ها با هدف آسیب زدن به کارکنان و در نهایت مردم اطراف زیرساخت‌های حیاتی صورت می‌پذیرد. این حمله در هر یک از زیرساخت‌ها برای آسیب‌زدن به کارکنان احتمال وقوع دارد ولی بیشتر در زیرساخت‌های مرتبط با تولید آب برای آسیب زدن مردم و مصرف‌کننده‌ها احتمال وقوع دارد که پیامدهای این حمله می‌تواند ایجاد بیماری و مرگ و میر در مردم باشد.

در این مقاله از بین تهدیدات مختلف، آنالیز سطح‌بندی را برای دو منشأ تهدید، «حمله‌ی هوایی هدفمند» و تا حدودی «تروریستی سخت» انتخاب می‌گردد، زیرا از بین تهدیدات مختلف، عموماً آسیب فیزیکی وارده بر زیرساخت‌ها در اثر این دو تهدید، بیش از سایر تهدیدات است.

۳. تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری: ارزیابی صحیح و دقیق میزان آسیب‌پذیری، داده‌های مهم را برای مطالعه و برطرف ساختن خلأهای حفاظتی و پدافندی فراهم می‌آورد. برای تأمین مناسب و مطلوب نیازهای پدافندی برای

برقراری امنیت در زیرساخت مورد نظر متناسب با سطوح دسترسی، پیش از هر چیز باید تجزیه و تحلیل دقیقی برای مشخص‌ساختن میزان آسیب‌پذیری صورت گیرد. بر این اساس آسیب‌پذیری باید به‌منزله‌ی ضعف‌های زیرساخت در برابر تهدیدات احتمالی دشمن قلمداد شود [۱۶].

۴. مدل‌سازی پیامد: طبق تعریف به‌کار گرفته شده در ایزو ۳۱۰۰۰ پیامدها عبارت‌اند از اثرات بالقوه‌ی دشمن بر فضای فیزیکی زیرساخت و جمعیت حاضر در زیرساخت در اثر یک حمله‌ی موفقیت‌آمیز [۱۷]. هر حادثه‌ای می‌تواند منجر به دامنه‌ی وسیعی از پیامدها شود و دشمنان معمولاً درصدد ایجاد بدترین و بیشترین خسارات به دارایی‌ها هستند، لذا در بررسی پیامدها باید بدترین حالت ممکن ناشی از رخداد تهدید، مدنظر قرار گیرد. نکته‌ی دیگر آن است که یک پیامد می‌تواند قطعی و یا غیرقطعی باشد و می‌تواند تأثیرات مثبت و یا منفی بر اهداف داشته باشد که عواقب آن می‌تواند به صورت کمی و یا کیفی بیان شوند و بر اساس شاخص‌هایی از قبیل شدت، عمق و گستره جغرافیایی خسارت و پیامدهای انسانی دسته‌بندی و سنجیده می‌شوند [۱۸].

مؤلفه‌های پیامد معمولاً تأثیراتی را توصیف می‌کنند که وقوع یک بحران یا خطر ممکن است بر روی انسان، ساختارهای شهری (شامل زیرساخت‌ها و اقتصاد) و محیط داشته باشد. به‌طور کلی به‌منظور شناسایی و تعیین پیامدهای یک بحران، سه فاکتور اصلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد: ۱. تعداد تلفات انسانی؛ ۲. تعداد مصدومین؛ ۳. میزان خرابی‌ها در قالب هزینه (واحد پول رایج) [۱۹].

روش شناسی

در هر زیرساخت مجموعه‌ای از دارایی‌ها همچون سازه، تجهیزات، نیروی انسانی، اطلاعات و اعتبار سازمان وجود دارد. این دارایی‌ها اموال منقول و غیرمنقولی هستند که زیرساخت‌ها را تشکیل می‌دهند. نگاه تحلیل در این بخش به صورت کل‌نگر به دارایی‌های یک زیرساخت است و هدف از این مرحله بررسی تک‌تک دارایی‌ها در زیرساخت مذکور نیست. برای مثال در یک زیرساخت همچون نیروگاه، هدف تولید برق است، این زیرساخت شاید از تجهیزات زیادی تشکیل شده باشد و هر یک در سازه‌های مختلف و با فاصله از یکدیگر تعبیه شده باشند، درحالی‌که تمامی دارایی‌ها در این نیروگاه برای خدمت‌رسانی به یک دارایی هدف که وظیفه‌ی آن تولید برق است تلاش می‌کنند.

در این پژوهش هدف انجام ارزیابی ریسک امنیتی برای تک‌تک زیرساخت‌ها نیست. بلکه با تعدادی فرض ساده‌شونده، زیرساخت‌هایی که برای دشمنان از جذابیت بسیار بالایی برای اعمال تهدید (از طریق حملات هدفمند) برخوردارند، به ترتیب اولویت شناسایی می‌گردد و سناریوهای تحلیل خسارت مستقل زیرساخت‌ها در اثر حملات هدفمند طرح‌ریزی می‌گردد. به‌منظور پیاده‌سازی مدل اولویت‌بندی زیرساخت‌ها فرض‌های زیر اعمال می‌گردد:

- فرض ۱: در این مقاله فرض می‌گردد که دشمن در صورت تمایل به حمله‌ی هوایی هدفمند بر یک زیرساخت، از بین سازه‌ها و دارایی‌های موجود، دارایی هدف که تولید اصلی در زیرساخت مذکور در آن صورت می‌گیرد را شناسایی نموده و به کمک ابزارهای پیشرفته و با دقت بالای نقطه‌زنی سعی در تخریب آن دارایی هدف را دارند. بر اساس این فرض، مبحث دارایی‌شناسی الگوهای ارزیابی ریسک مرتفع می‌گردد.
- فرض ۲: در این مقاله فرض می‌گردد که تهدیدگر از ابزاری برای تهدید استفاده می‌کند که اولاً از قابلیت ردیابی بسیار پایین برخوردار است و ثانیاً قابلیت بسیار بالایی در دقت هدف‌گیری دارد. بر اساس این فرض، مبحث تهدیدشناسی الگوهای ارزیابی ریسک مرتفع می‌گردد.
- فرض ۳: پس از مشخص شدن زیرساخت مورد حمله (بر اساس مدل اولویت‌بندی زیرساخت‌ها)، به منظور مرتفع نمودن مبحث آسیب‌پذیری الگوی ارزیابی ریسک امنیتی، میزان آسیب‌پذیری زیرساخت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس سه سناریو فرض می‌گردد:
 - سناریوی ۱: آسیب‌پذیری کامل (۱۰۰٪)؛
 - سناریوی ۲: آسیب‌پذیری متوسط (۵۰٪)؛
 - سناریوی ۳: آسیب‌پذیری کم (۲۵٪).

گام‌های لازم برای سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها

بر این اساس به منظور سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها، باید گام‌های زیر برداشته شود:

گام اول: ارائه‌ی معیارهای اصلی سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها

معیارهای مختلفی برای اولویت‌بندی مراکز ثقل ارائه شده است. برای مثال سازمان پدافند غیرعامل کشور در سند «دستورالعمل سطح‌بندی مراکز ثقل کشور»، هشت معیار کلی، هشت معیار فرعی و ۴۲ شاخص تخصصی ارائه داده است که این معیارها به همراه وزن هر یک در جدول ۱ قابل مشاهده است [۲۰]. علی‌رغم ارائه‌ی معیارهای مناسب برای سطح‌بندی زیرساخت‌های حیاتی در جدول ۱، به دلایل زیر در این مقاله نمی‌توان تنها از این معیارها استفاده نمود.

۱. معیارهایی که در جدول ۱ تهیه شده است تا حدودی با نگاه جامع‌نگر به تمامی تهدیدات توجه داشته است؛ درحالی‌که در این مقاله تنها به حملات هدفمند یا حملات تروریستی سخت تمرکز دارد.

۲. معیارهایی که توسط این دستورالعمل ارائه شده است، تا حدودی از واژه‌های غیرملموس در مدیریت بحران استفاده شده است و تا حدودی برداشت از واژه‌ها برای افرادی که اقدام به پر نمودن پرسش‌نامه‌ها می‌کنند، متفاوت است و پیاده‌سازی آن برای منطقه‌ی مورد مطالعه دشوار است. بر این اساس در امتیاز هر زیرساخت ایجاد خطا می‌کند. برای مثال برای معیار اصلی «گستره‌ی حوزه‌ی نفوذ» از ۳ معیار فرعی «پهنه‌ی نفوذ فعالیت»، «کمیت پوشش» و «کیفیت پوشش» استفاده شده است که تا حدودی این معیارهای فرعی گنگ است.

۳. عموماً شاخص‌های به کار رفته شده، به صورت کیفی و بدون هیچ سنجه‌ی اندازه‌گیری است. برای مثال برای معیار «کمیت پوشش» از ۳ شاخص «جمعیت کم»، «جمعیت متوسط» و «جمعیت زیاد» استفاده شده است که هیچ سنجه‌ای برای جمعیت کم ارائه نشده است. از این‌رو در زمان جمع‌آوری امتیاز هر زیرساخت می‌تواند ایجاد خطا نماید.

جدول ۱: معیارهای سطح‌بندی مراکز ثقل کشور توسط سازمان پدافند غیرعامل

ردیف	معیارهای کلی	امتیاز/نمره	ملاحظات
۱	اهمیت اساسی	۱۵	دارای (۱) معیار فرعی و (۵) شاخص کیفی
۲	گستره‌ی حوزه‌ی نفوذ	۱۶	دارای (۳) معیار فرعی و (۱۰) شاخص کیفی
۳	عمق اثرگذاری در اداره‌ی کشور	۱۷	دارای (۱) معیار فرعی و (۷) شاخص کیفی
۴	امکان جایگزینی	۶	دارای (۳) معیار فرعی و (۳) شاخص کیفی
۵	منحصربه‌فرد بودن	۱۵	دارای (۶) شاخص کیفی
۶	نقش آفرینی	۷	دارای (۳) شاخص کیفی
۷	ارزش سرمایه‌ای	۱۵	دارای (۱) معیار فرعی و (۸) شاخص کیفی
۸	تبعات آسیب دیدن (پیامد)	۹	دارای (۳) شاخص کیفی
مجموع	(۸) معیار کلی	۱۰۰	مجموعاً (۸) معیار فرعی و (۴۲) شاخص کیفی

جدول ۲: دسته‌بندی معیارهای سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها

ردیف	معیارهای اصلی	معیارهای فرعی	شاخص‌های تخصصی
۱	ماهیت بنیادی زیرساخت مورد نظر	دارای (۷) معیار فرعی	دارای (۳۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
۲	محیط پیرامونی زیرساخت مورد نظر	دارای (۵) معیار فرعی	دارای (۲۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
۳	ملاحظات پدافندی	دارای (۵) معیار فرعی	دارای (۲۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
۴	پیامدهای مترتب ناشی از حمله‌ی هدفمند	دارای (۵) معیار فرعی	دارای (۲۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
۵	نحوه‌ی وابستگی زیرساخت مورد نظر	دارای (۳) معیار فرعی	دارای (۱۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
مجموع	(۵) معیار اصلی	(۲۵) معیار فرعی	(۱۲۵) شاخص کیفی با سنجه‌ی قابل اندازه‌گیری

جدول ۳: نتایج بی‌مقیاس‌سازی وزن اهمیت معیارهای اصلی

شماره	وزن معیار اصلی	وزن نرمال
۱	۳۰	۰,۳
۲	۲۵	۰,۲۵
۳	۱۴	۰,۱۴
۴	۱۵	۰,۱۵
۵	۱۶	۰,۱۶
مجموع	۱۰۰	۱

دسته‌بندی معیارهای فرعی برای هر یک از پنج معیار اصلی مطابق جدول ۲ و عناوین معیارهای فرعی برای هر یک از پنج معیار اصلی، مطابق تصویر ۱ ارائه می‌گردد.

گام پنجم: تهیه‌ی وزن اهمیت هر یک از معیارهای فرعی

عموماً مبنای ارزش‌گذاری معیارهای کیفی به دو صورت طیف لیکرت و روش دوقطبی است (تصویر ۲). در این مرحله وزن اهمیت هر یک از معیارهای فرعی براساس نظر خبرگان و امتیازهای روش ۲ قطبی گردآوری می‌گردد. گفتنی است علی‌رغم کمبود تعداد متخصصان و صاحب‌نظران در این حوزه، ۳۱ نفر شناسایی شدند که ۲۰ نفر دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۱۱ نفر دارای مدرک دکتری بودند. ۱۵ نفر از این افراد فارغ‌التحصیل رشته‌ی پدافند غیرعامل، ۱۰ نفر فارغ‌التحصیل رشته‌ی عمران و ۶ نفر فارغ‌التحصیل سایر رشته‌ها ولی با سابقه‌ی انجام مطالعات در حوزه‌ی پدافند و زیرساخت‌های حیاتی بودند. تمامی این افراد جامعه‌ی آماری این مطالعه محسوب می‌شوند. در جدول ۲، میانگین نتایج نظر خبرگان برای پنج دسته معیار فرعی قابل مشاهده است.

گام ششم: تعیین‌روایی و پایایی

پس از تهیه‌ی معیارها، گام بعدی تعیین وزن اهمیت هر یک از معیارهاست. برای این منظور پرسش‌نامه‌ای تهیه گردید و در بین نمونه‌ی تحقیق توزیع گردید. گفتنی است، به طور کلی دو سؤال مهم در بررسی یافته‌های یک طرح تحقیق مطرح می‌شود؛ اول اینکه نسبت به یافته‌های تحقیق یک طرح، تا چه اندازه می‌توان اطمینان داشت؟ در پاسخ به این سؤال باید اعتبار درون تحقیق را مد نظر قرار داد. سؤال دوم این است که تا چه اندازه می‌توان یافته‌های تحقیق را به جوامع دیگر و شرایط گوناگون تعمیم داد؟ این سؤال با اعتبار بیرونی تحقیق سرو کار دارد.

• روایی (اعتبار)

مقصود از روایی آن است که وسیله‌ی اندازه‌گیری‌های نامناسب و ناکافی، می‌تواند هر نوع پژوهش علمی را بی ارزش و ناروا سازد [۲۶]. به همین منظور برای اینکه پرسش‌نامه بتواند صلاحیت لازم را از نظر روایی پیدا کند، از روش روایی محتوا استفاده می‌شود. در این راستا و برای اطمینان از روایی، پرسش‌نامه‌ی طراحی شده در اختیار خبرگان موضوع، از جمله اساتید مدیریت بحران و پدافند غیرعامل و مدیران حوزه‌ی پدافند غیرعامل برخی از زیرساخت‌های حیاتی کشور قرار گرفت و با توجه به بازخوردهای دریافت شده تغییرات لازم اعمال گردید.

• پایایی (اعتماد)

بر این اساس در این بخش براساس مطالعه بر روی تحقیقات مختلف [۴، ۵، ۲۱ و ۲۲] و همچنین با الهام از دستورالعمل عمومی سطح‌بندی مراکز ثقل [۲۰]، ۵ معیار اصلی، ۲۵ معیار فرعی و ۱۲۵ شاخص تخصصی مطابق جدول ۲ ارائه گردید.

گام دوم: ارائه‌ی وزن اهمیت هر یک از معیارهای اصلی اولویت‌بندی

زیرساخت‌ها

همان‌طور که در فوق به آن اشاره شد، اشکالاتی به دسته‌بندی معیارهای موجود در جدول ۱ وارد است؛ ولی با توجه به اینکه این دسته‌بندی در قالب دستورالعملی در سازمان پدافند غیرعامل منتشر شده است، در این مقاله سعی شده است ماهیت معیارها به‌طور کامل عوض شود و برای تعیین وزن هر یک از معیارهای ارائه‌شده در جدول ۲، بر اساس امتیاز معیارهای اصلی جدول ۱ به صورت ذیل تعیین گردد:

- با توجه به اینکه گزینه‌ی «ماهیت بنیادی زیرساخت موردنظر» از تلفیق دو معیار «منحصر به فرد بودن» و «ارزش سرمایه‌ای» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۳۰ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.

- با توجه به اینکه گزینه‌ی «محیط پیرامونی زیرساخت موردنظر» از تلفیق دو معیار «گستره‌ی حوزه‌ی نفوذ» و «نیمی از ارزش معیار «عمق اثرگذاری در اداره‌ی کشور» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۲۵ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.

- با توجه به اینکه گزینه‌ی «ملاحظات پدافندی زیرساخت موردنظر» از تلفیق معیار «نقش آفرینی» و «نیمی از ارزش معیار «اهمیت اساسی» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۱۴ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.

- با توجه به اینکه گزینه‌ی «پیامدهای مترتب ناشی از تهدید» از تلفیق دو معیار «امکان جایگزینی» و «تبعات آسیب‌دیدن (پیامد)» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۱۵ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.

- با توجه به اینکه گزینه‌ی «نحوه‌ی وابستگی زیرساخت موردنظر» از تلفیق نیمی از ارزش دو معیار «عمق اثرگذاری در اداره‌ی کشور» و بخشی از معیار «اهمیت اساسی» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۱۶ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.

گام سوم: بی‌مقیاس‌سازی وزن اهمیت هر یک از معیارهای اصلی

هر یک از معیارهای اصلی دارای مقیاس اندازه‌گیری خاص خود هستند که این کار مقایسه‌ی مقادیر آن‌ها با یکدیگر را غیرممکن می‌سازد. لذا باید بر اساس تکنیک‌های بی‌مقیاس‌سازی، آن‌ها را مستقل از واحد اندازه‌گیری کرد تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد. تکنیک‌های مختلفی همانند روش نرم (اقلیدسی) [۲۳]، روش خطی [۲۴] و روش نرمالیزه [۲۵] به منظور بی‌مقیاس‌سازی و نرمال نمودن وزن‌ها وجود دارد که به منظور بی‌مقیاس‌سازی در این مقاله از روش نرمالیزه استفاده می‌گردد که نتایج بی‌مقیاس‌سازی وزن هر یک از معیارهای اصلی مطابق جدول ۳ است.

گام چهارم: تعیین معیارهای فرعی هر یک از معیارهای اصلی

پایایی یکی از ویژگی‌های فنی ابزار اندازه‌گیری (پرسش‌نامه) است. مفهوم یاد شده با این امر سروکار دارد که ابزار اندازه‌گیری در شرایط یکسان تا چه اندازه نتایج یکسان تولید می‌کند. به عبارت دیگر اگر ابزار اندازه‌گیری را در یک فاصله‌ی زمانی کوتاه چندین بار و به گروه واحدی از افراد اختصاص داد، باید نتایج حاصل، نزدیک هم گردد. برای محاسبه‌ی ضریب پایایی با قابلیت اعتماد، شیوه‌های مختلفی به کار برده می‌شوند که از آن جمله می‌توان به اجرای دوباره (روش بازآزمایی)، روش موازی (همتا)، روش تصنیف (دو نیمه‌کردن عبارات پرسش‌نامه و محاسبه‌ی همبستگی نمرات دو دسته)، روش کودر ریچاردسون و روش آلفای کرونباخ اشاره کرد [۲۶].

در این پژوهش برای اندازه‌گیری قابلیت اعتماد پرسش‌نامه از روش آلفای کرونباخ استفاده شده است. این روش برای محاسبه‌ی هماهنگی درونی پرسش‌نامه به کار می‌رود. برای محاسبه‌ی ضریب آلفای کرونباخ باید واریانس نمره‌های هر زیر مجموعه سؤال‌های پرسش‌نامه و واریانس کل را محاسبه کرد، سپس با استفاده از رابطه‌ی ۱ ضریب آلفا را محاسبه نمود [۲۶]:

$$\alpha = \left(\frac{n}{n-1} \right) * \left(1 - \frac{\sum si^2}{st^2} \right) \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$\alpha = \left(\frac{n}{n-1} \right) * \left(1 - \frac{\sum si^2}{st^2} \right) \quad \text{که در آن } n \text{ تعداد سؤال‌ها، } si^2$$

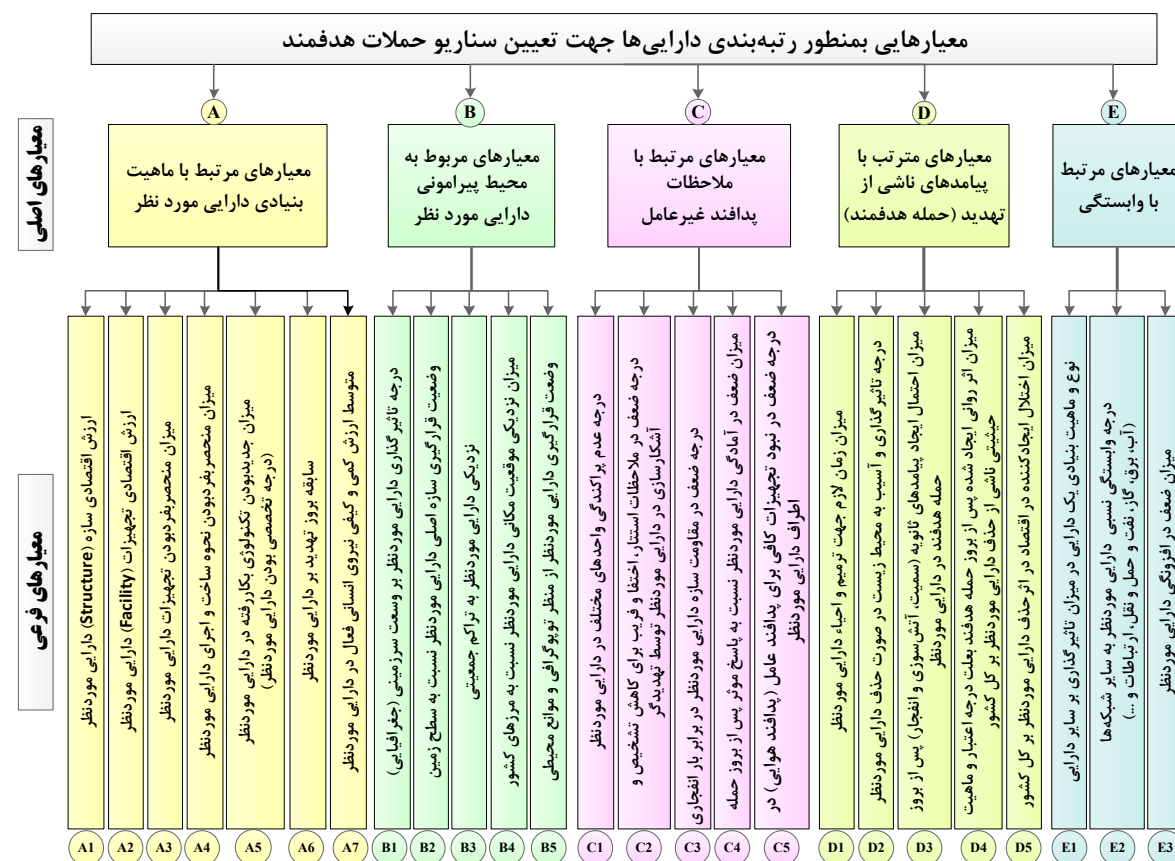
واریانس سوال st^2 ، i واریانس کل است. هرچه این ضریب به

مثبت یک نزدیک‌تر باشد قابلیت اعتماد پرسش‌نامه نیز بیشتر است. با استفاده از نرم‌افزار SPSS مقدار ضریب آلفای کرونباخ ۰/۹۳ برآورد گردید، که با توجه به آنکه از مقدار قابل قبول یعنی ۰/۷ بیشتر است، می‌توان نتیجه گرفت که پرسش‌نامه‌ی حاضر دارای پایایی قابل قبولی است.

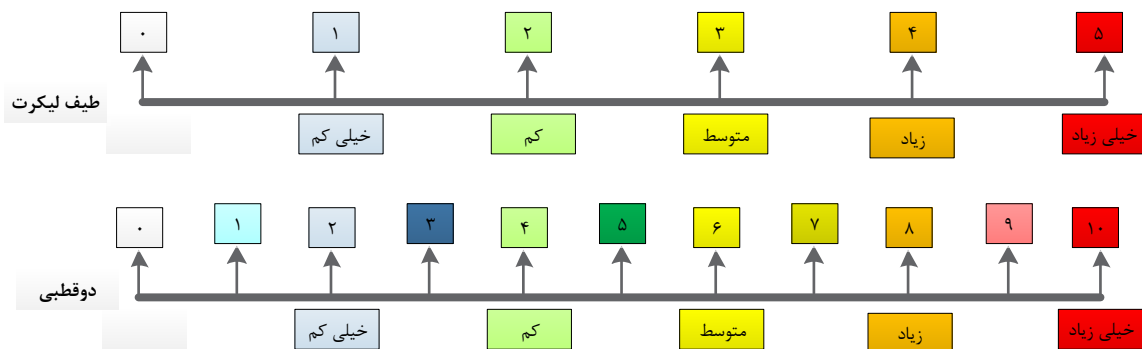
گام هفتم: بی‌مقیاس‌سازی وزن اهمیت هریک از معیارهای فرعی
در این مرحله بر اساس روش نرمالیزه، مقادیر وزن اهمیت معیارهای فرعی، بی‌مقیاس می‌شوند. نتایج بی‌مقیاس‌سازی پنج گروه معیار فرعی در جدول ۴ محاسبه شده است.

گام هشتم: تهیه‌ی شاخص‌های هریک از معیارهای فرعی
شاخص‌های اندازه‌گیری برای هر یک از معیارهای فرعی، مطابق تصاویر ۳ تا ۷ است. چنان‌که در تصویر ۳، شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «ماهیت بنیادی زیرساخت»، در تصویر ۴ شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «محیط پیرامونی زیرساخت»، در تصویر ۵ شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «ملاحظات پدافندی»، در تصویر ۶ شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی پیامدهای مترتب با حمله‌ی هدفمند و در تصویر ۷ شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی مرتبط با «نحوه‌ی وابستگی» قابل مشاهده است.

گام نهم: تجمیع امتیازهای تمامی پنج معیار اصلی و ۲۵ معیار فرعی



تصویر ۱: نمایش معیارهای اصلی و فرعی به منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها برای اعمال تهدید از طریق حملات هدفمند

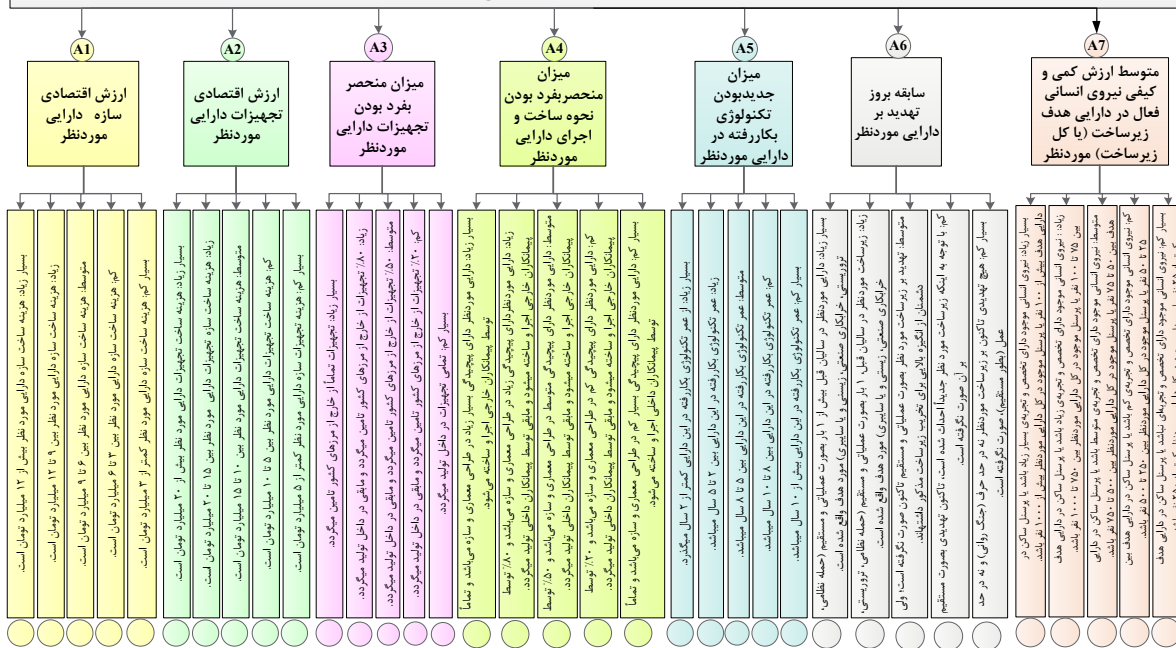


تصویر ۲: امتیازات طرح کلی دوروش طیف لیکرت و دوقطبی

جدول ۴: میانگین وزن نظرات خبرگان برای هر یک از معیارهای فرعی و تعیین وزن نرمال شده برای هر گروه از معیارهای فرعی

معیارهای فرعی گروه ۵ (براساس معیار اصلی پنجم)			معیارهای فرعی گروه ۴ (براساس معیار اصلی چهارم)			معیارهای فرعی گروه ۳ (براساس معیار اصلی سوم)			معیارهای فرعی گروه ۲ (براساس معیار اصلی دوم)			معیارهای فرعی گروه ۱ (براساس معیار اصلی اول)		
وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۵	شماره	وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۴	شماره	وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۳	شماره	وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۲	شماره	وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۱	شماره
۰.۲۸	۷.۱۸	۱	۰.۲۶	۹.۹	۱	۰.۲۵۵	۹.۲	۱	۰.۲۳۷	۹.۳۱	۱	۰.۱۲۹	۷.۵	۱
۰.۳۹	۹.۹۵	۲	۰.۱۶	۶.۲۵	۲	۰.۱۴۴	۵.۲	۲	۰.۲۰۷	۸.۱۲	۲	۰.۱۴۳	۸.۳	۲
۰.۳۲	۸.۱۷	۳	۰.۲۴	۹.۱۵	۳	۰.۲۳	۸.۳	۳	۰.۲۵۳	۹.۹۲	۳	۰.۱۷۰	۹.۸۵	۳
۱	۲۵.۳	مجموع	۰.۱۴	۵.۲۵	۴	۰.۱۷	۶.۱۵	۴	۰.۱۶۷	۶.۵۴	۴	۰.۱۶۱	۹.۳۲	۴
			۰.۲۱	۸.۱	۵	۰.۲۰۱	۷.۲۵	۵	۰.۱۳۶	۵.۳۵	۵	۰.۱۴۱	۸.۱۵	۵
			۱	۳۸.۶۵	مجموع	۱	۳۶.۱	مجموع	۱	۳۹.۲۴	مجموع	۰.۰۹۸	۵.۶۷	۶
												۰.۱۵۸	۹.۱۴	۷
												۱	۵۷.۹۳	مجموع

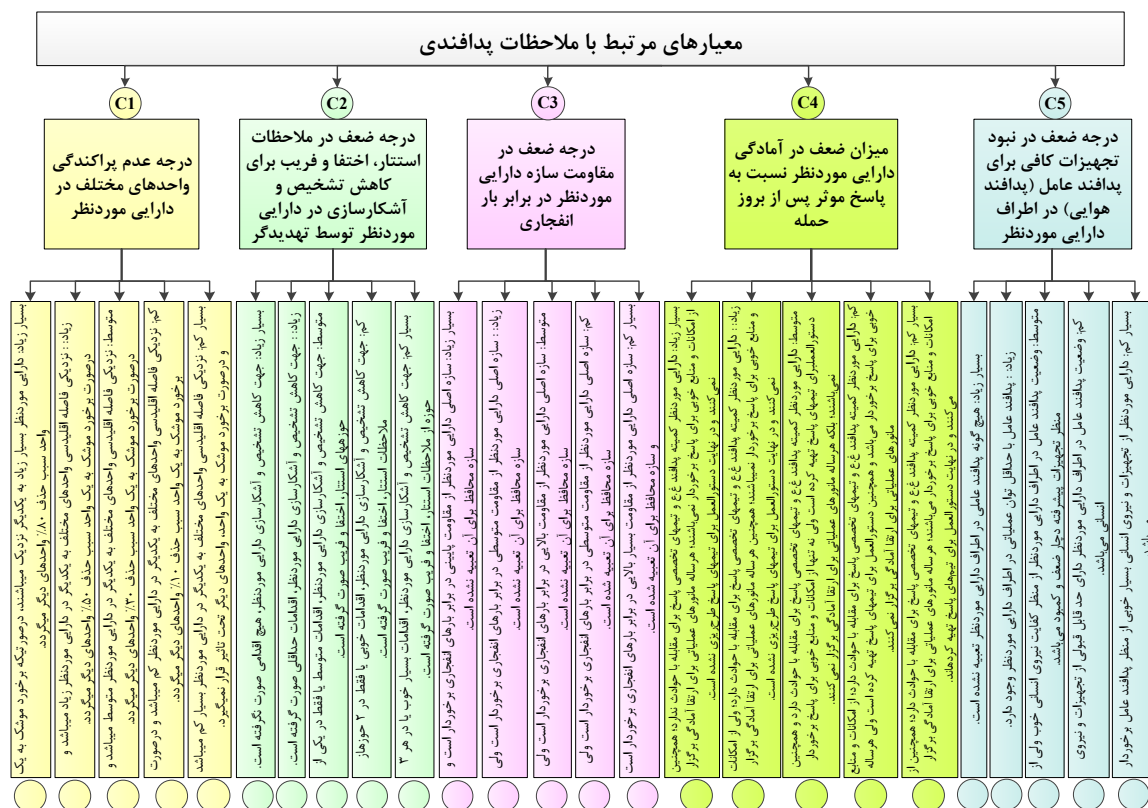
معیارهای مرتبط با ماهیت بنیادی دارای مورد نظر



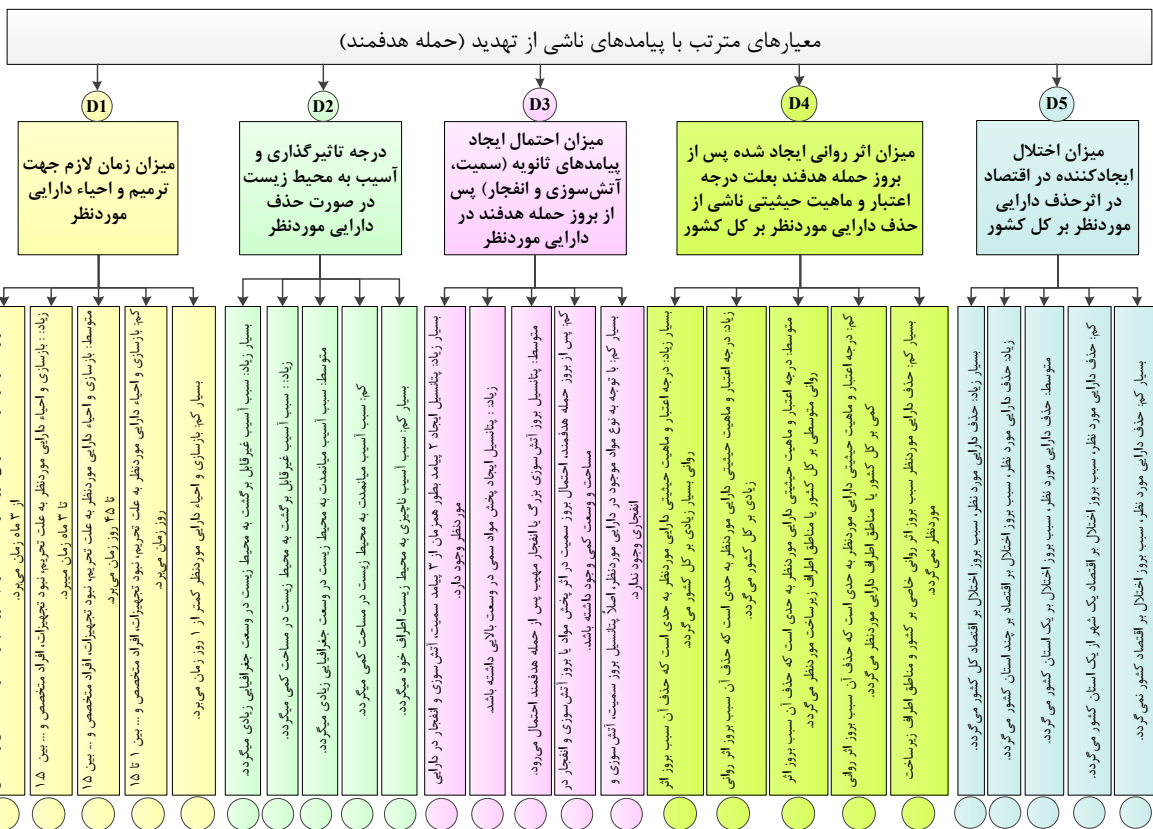
تصویر ۳: شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «ماهیت بنیادی زیرساخت» به منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها



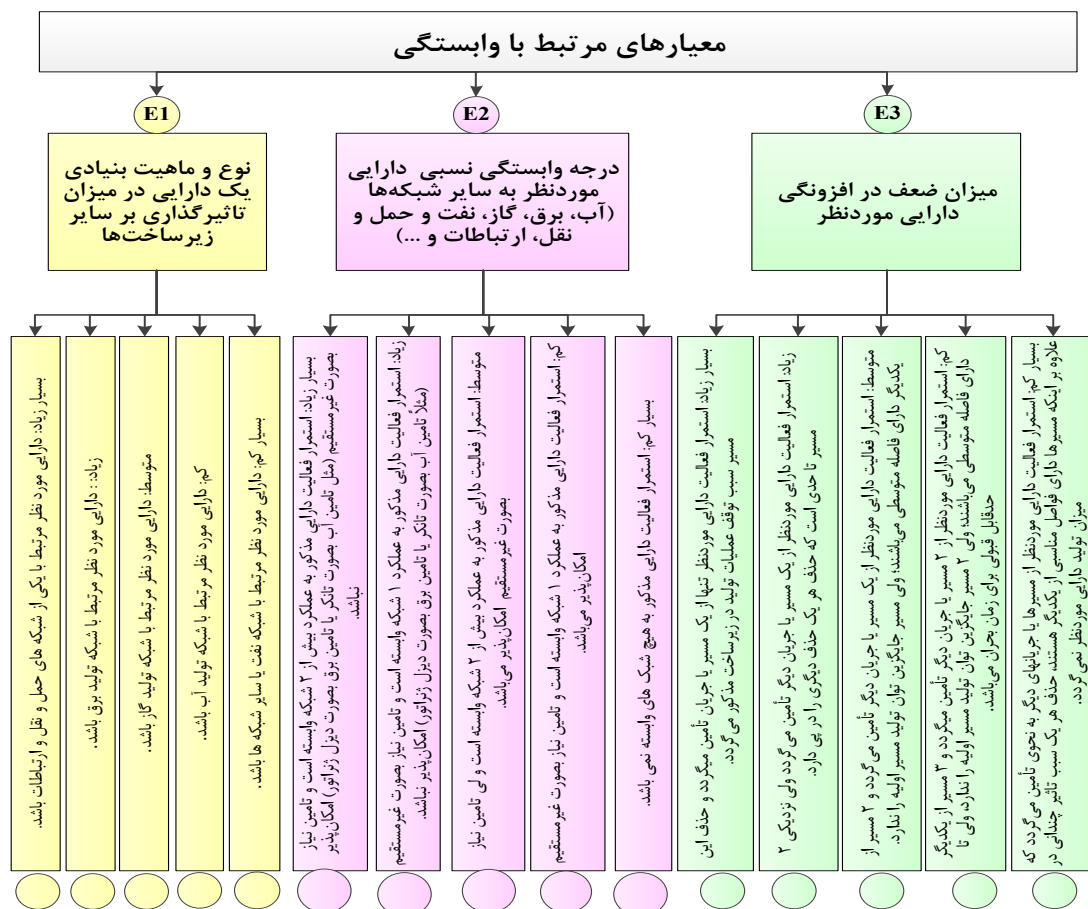
تصویر ۴: شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار «محیط پیرامونی زیرساخت» به منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها



تصویر ۵: شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار «ملاحظات پدافندی» به منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها



تصویر ۶: شاخص های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار «پیامدهای مترتب با حمله ی هدفمند»



تصویر ۷: شاخص های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «نحوه ی وابستگی» به منظور رتبه بندی زیرساخت ها

در این مرحله برای هر زیرساخت، ۲۵ معیار فرعی وجود داشت که بر اساس شاخص‌های آن هر یک از ۲۵ معیار فرعی یک امتیازی از ۰ تا ۱۰ گرفته است. این امتیازها برای هر معیار فرعی در وزن اهمیت معیار فرعی و وزن اهمیت معیار اصلی متناظر آن ضرب شده و از مجموع این ۲۵ معیار فرعی، امتیاز نهایی هر گزینه (زیرساخت) محاسبه می‌شود. بر این اساس رتبه‌بندی زیرساخت‌های حیاتی در اثر حملات هدفمند ارزیابی می‌گردد و زیرساختی که امتیاز بالاتری دریافت نماید، نتیجه می‌گردد که در بالاترین رتبه برای حمله‌ی هدفمند مستقیم توسط دشمن اصلی قرار دارد و سناریوی میزان خسارت آن بر این اساس تدوین می‌گردد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها

پس از تعیین امتیاز و اولویت جذابیت هر زیرساخت برای دشمنان، تجزیه و تحلیل‌های آماری بر روی داده‌های تحلیل با دو هدف زیر صورت گرفت:

۱. تعیین درجه شباهت پاسخ‌دهندگان به هر یک از معیارها؛

۲. تعیین معیارهای فرعی با بیشترین تأثیر در هر دسته از معیارهای اصلی.

تحلیل‌های آماری به‌طور کلی به دو بخش عمده‌ی آمار ناپارامتریک و پارامتریک تقسیم می‌گردد. در اولین مرحله باید نوع تحلیلی (ناپارامتریک یا پارامتریک) که مورد نیاز آمارگر است، مشخص گردد و به تبع آن از آزمون‌های آماری مناسب برای هر تحلیل استفاده شود.

برای تصمیم‌گیری درخصوص اینکه از کدام یک از آزمون‌های آماری پارامتریک یا ناپارامتریک می‌توان استفاده نمود، باید نوع توزیع داده‌ها را تعیین نمود. چنانچه توزیع داده‌ها نرمال باشد، در ادامه باید از آزمون‌های آماری پارامتریک استفاده نمود، در غیر اینصورت باید از آزمون‌های ناپارامتریک بهره برد [۲۶].

آزمون مناسب برای تست نرمال بودن متغیرها، تست کولموگروف - اسمیرنوف^۴ است. آزمون فرض آن عبارت است از [۲۷]:

۱. H_0 : توزیع داده‌ها مربوط به هریک از معیارهای فرعی نرمال است.

۲. H_1 : توزیع داده‌ها نرمال نیست.

در نتیجه چنانچه میزان P-Value بیش از ۵ درصد باشد، داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند، که با توجه به اینکه P-Value برای تمامی سؤالات پرسش‌نامه کمتر از ۰/۰۵ است، فرض صفر رد و توزیع داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. از این رو به منظور انجام تحلیل‌های آمار استنباطی، باید از آزمون غیر پارامتریک استفاده نمود.

آزمون کروسکال والیس

زمانی که فرض‌های بنیادی تحلیل واریانس مانند نرمال بودن توزیع داده‌ها و برابری واریانس گروه‌ها برقرار نباشد، از آزمون کروسکال والیس استفاده می‌شود. فرضیه‌ی صفر در این آزمون

این است که میان گروه‌های مورد بررسی از نظر جمع رتبه‌هایشان تفاوتی وجود ندارد [۲۸].

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، ابعاد کلیه‌ی مشاهدات را بر اساس شاخص ترکیبی و دسته‌بندی مشاهدات مشابه کاهش می‌دهد. روش فوق نه تنها یکی از ارزش‌ترین نتایج کاربرد جبر خطی است که در کلیه اشکال تحلیلی از علوم شبکه‌های عصبی تا نمودارهای کامپیوتری استفاده می‌شود، چرا که یک روش آسان و غیر پارامتریک برای استخراج اطلاعات مرتبط از یک مجموعه داده پیچیده است [۲۹]. برای تعیین مؤلفه‌ها و متغیرهای اصلی، باید گام‌های زیر طی شود:

- گام اول: تعیین شاخص KMO^۵ و آزمون بارتلت^۶

از آنجایی که روش PCA مستلزم وجود و قبول فرضیاتی درباره‌ی جامعه‌ی مورد مطالعه است، لازم است امکان استفاده از روش مذکور و نتایج به‌دست آمده از آن‌ها به وسیله‌ی عامل KMO یا آزمون بارتلت مشخص شود. شاخص KMO شاخصی از کفایت نمونه‌گیری است که کوچک بودن همبستگی بین متغیرها را بررسی می‌کند و آزمون بارتلت برای شناسایی ساختار به کار می‌رود. مقدار KMO بین صفر تا یک تغییر می‌کند. در صورتی که فاکتور تست مربوط به این روش کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تجزیه و تحلیل عوامل اصلی مناسب نخواهند بود و اگر مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد، باید با احتیاط بیشتر به تجزیه و تحلیل عوامل پرداخت. اما در صورتی که مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تجزیه و تحلیل مناسب خواهد بود. در خصوص آزمون بارتلت چنانچه P-Value کوچک‌تر از ۵ درصد باشد؛ تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار مناسب است. زیر فرض شناخته شده بودن ماتریس همبستگی رد می‌شود [۳۱].

- گام دوم: تعیین معیار استخراج تعداد عامل‌ها

معیار مقدار ویژه و معیار درصد واریانس و معیار تست بریدگی مهم‌ترین پارامترهای استخراج تعداد عوامل هستند که در این فرایند به کار گرفته می‌شوند [۳۰].

- اشتراک: میزان واریانس مشترک بین یک متغیر با دیگر متغیرهای به کار گرفته شده در تحلیل را نشان می‌دهد.

- مقدار ویژه: میزان واریانس تبیین‌شده به وسیله‌ی هر عامل را بیان می‌کند.

- معیار مقدار ویژه: هر عامل شامل یک یا چند متغیر است. مجذورات بارهای یک عامل نشان‌دهنده‌ی درصدی از واریانس ماتریس همبستگی است که به وسیله آن عامل تبیین می‌شود، این مقدار را مقدار ویژه می‌نامند. برای محاسبه آن کافی است ضریب همبستگی متغیرها را با یک عامل به توان برسانیم و با هم جمع کنیم تا مقدار ویژه آن عامل به دست آید. هر چه مقدار ویژه یک عامل بیشتر باشد، آن عامل واریانس بیشتری را تبیین می‌کند. بر این اساس تعداد

روش نسبت به بقیه‌ی روش‌ها نتایج بهتری را ایجاد می‌کند و به منزله‌ی چرخش استاندارد توصیه می‌گردد.

نتایج و بحث

نتایج اجرای مدل برای یک نمونه‌ی موردی

با توجه به گام‌های مطرح شده، این مدل برای زیرساخت‌های سه شبکه‌ی آب، برق و سوخت برای یک منطقه‌ی شهری فرضی پیاده‌سازی شد تا بتوان بهتر بر روی خروجی‌های موجود آن بحث و بررسی نمود. به منظور اجرای این مدل، از پنج معیار اصلی و ۲۵ معیار فرعی (تصویر ۱) و همچنین از ۱۲۵ شاخص ارائه شده در گام هفتم این مدل (تصاویر ۳ تا ۷) استفاده گردید و امتیازهای آن استخراج شد و بر اساس گام هشتم این مدل، امتیاز نهایی سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها برای هر یک از شبکه‌ها تعیین می‌گردد. مطابق نقشه‌ی پهنه‌بندی تصویر ۸، بیشترین امتیاز برای شبکه‌ی آب این شهر به ترتیب اولویت به تصفیه‌خانه‌ی آب شرقی شهر، یکی از مخازن آب، یکی از ایستگاه‌های پمپاژ و تصفیه‌خانه‌ی آب غربی شهر اختصاص دارد و سایر زیرساخت‌ها نیز در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

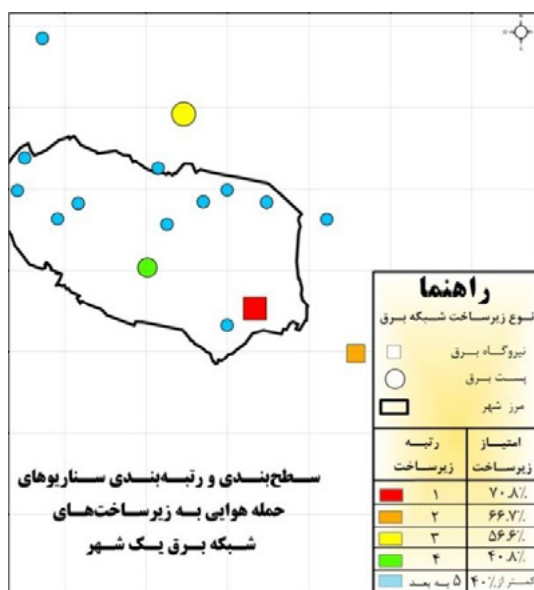
معیارهایی که در این چهار زیرساخت شبکه‌ی آب بیشترین تأثیر را داشتند عبارت‌اند از:

۱. ارزش اقتصادی سازه زیرساخت موردنظر؛
۲. درجه‌ی تأثیرگذاری زیرساخت موردنظر بر وسعت سرزمینی و جغرافیایی؛
۳. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛
۴. درجه‌ی عدم پراکندگی واحدهای مختلف در زیرساخت موردنظر؛
۵. درجه‌ی ضعف در ملاحظات آفا برای کاهش تشخیص و آشکارسازی در زیرساخت موردنظر توسط تهدیدگر؛

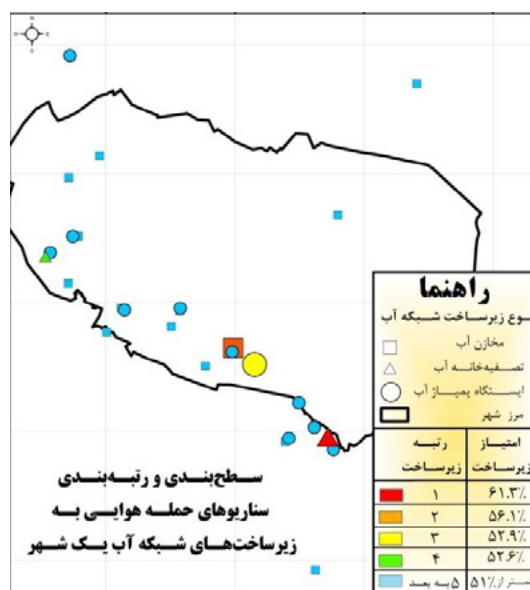
عامل‌ها با توجه به مقدار ویژه هر عامل مشخص می‌شود و عامل‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها بیشتر از یک باشد، به عنوان عامل‌های معنی‌دار در نظر گرفته می‌شود [۲۹].

- معیار تست بریدگی: این معیار عامل‌ها را بر مبنایی تعیین می‌کند که هنوز میزان واریانس خاص بر واریانس مشترک غلبه نکرده باشد، بنابراین تا زمانی که مقدار واریانس مشترک بیشتر از مقدار واریانس خاص باشد، عامل‌های معنی‌دار استخراج می‌شود [۳۰]. برای تعیین تعداد عامل‌ها بر اساس این معیار، نمودار مقدار ویژه در برابر تعداد عامل‌ها رسم می‌شود.
- گام سوم: معیار درصد واریانس تجمعی واریانس مشترک به نسبتی از واریانس گفته می‌شود که به وسیله‌ی عامل‌های مشترک تبیین می‌شود. در این حالت درصد واریانس تبیین شده مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد و عامل‌هایی استخراج می‌شوند که درصد واریانس بالایی را در بر داشته باشند. چنانچه مقدار واریانس کمتر از ۵۰ درصد باشد، باید متغیرهایی را که میزان اشتراک آنها کم است، حذف گردد [۳۱].
- گام چهارم: اجرای چرخش مناسب روی ماتریس ضرایب مؤلفه‌ها

چون در تشکیل هر مؤلفه از تمام متغیرهای اولیه استفاده می‌شود، تفسیر مؤلفه‌ها مشکل خواهد بود. به این دلیل روش‌هایی برای تفسیر ساده‌تر مؤلفه‌ها به وجود آمده است. این روش‌ها همان چرخش مؤلفه‌ها هستند که به دو نوع چرخش عمودی و مایل تقسیم می‌شوند. به دلیل اینکه در روش چرخش عمودی، استقلال بین مؤلفه‌ها حفظ می‌شود، این چرخش بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعات علمی بیشتر از چرخش واریماکس^۸ استفاده می‌شود که یکی از روش‌های چرخش عمودی است [۳۰]. این



تصویر ۹: سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های شبکه‌ی برق در اثر حملات هدفمند



تصویر ۸: سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های شبکه‌ی آب در اثر حملات هدفمند

۶. درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه در برابر بار انفجاری.

با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی تصویر ۹، بیشترین امتیاز برای شبکه‌ی برق این شهر به ترتیب اولویت به نیروگاه برق مرکزی شهر، نیروگاه برق شرقی شهر، پست برق شمالی شهر و یکی از پست‌های برق مرکزی شهر اختصاص داشت. سایر زیرساخت‌ها در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

معیارهایی که در این چهار زیرساخت شبکه‌ی برق بیشترین تأثیر را داشتند عبارت‌اند از:

۱. درجه‌ی تأثیرگذاری زیرساخت موردنظر بر وسعت سرزمینی

و جغرافیایی؛

۲. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛

۳. ارزش اقتصادی سازه‌ی زیرساخت موردنظر؛

۴. نوع و ماهیت بنیادی یک زیرساخت در میزان تأثیرگذاری بر سایر زیرساخت‌ها.

با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی تصویر ۱۰، بیشترین امتیاز برای شبکه‌ی سوخت این شهر به ترتیب اولویت به ایستگاه تقلیل گاز شمال غربی شهر، ایستگاه تقویت گاز شمال غربی شهر، مخزن سوخت نیروگاه برق مرکزی شهر و انبار نفت جنوب شرقی شهر اختصاص داشت. سایر زیرساخت‌ها در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

معیارهایی که در این چهار زیرساخت شبکه‌ی سوخت

بیشترین تأثیر را داشتند عبارت‌اند از:

۱. ارزش اقتصادی تجهیزات زیرساخت موردنظر؛

۲. نزدیکی زیرساخت مورد نظر به تراکم جمعیتی؛

۳. درجه‌ی عدم پراکندگی واحدهای مختلف؛

۴. درجه‌ی ضعف در ملاحظات آفا برای کاهش تشخیص و آشکارسازی در زیرساخت موردنظر توسط تهدیدگر؛

۵. درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه‌ی زیرساخت موردنظر در

برابر بار انفجاری؛

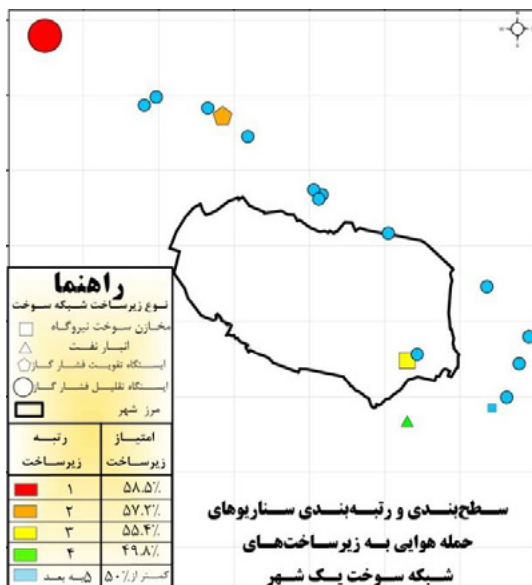
۶. درجه‌ی ضعف در نبود تجهیزات کافی برای پدافند عامل

(پدافند هوایی) در اطراف زیرساخت موردنظر؛

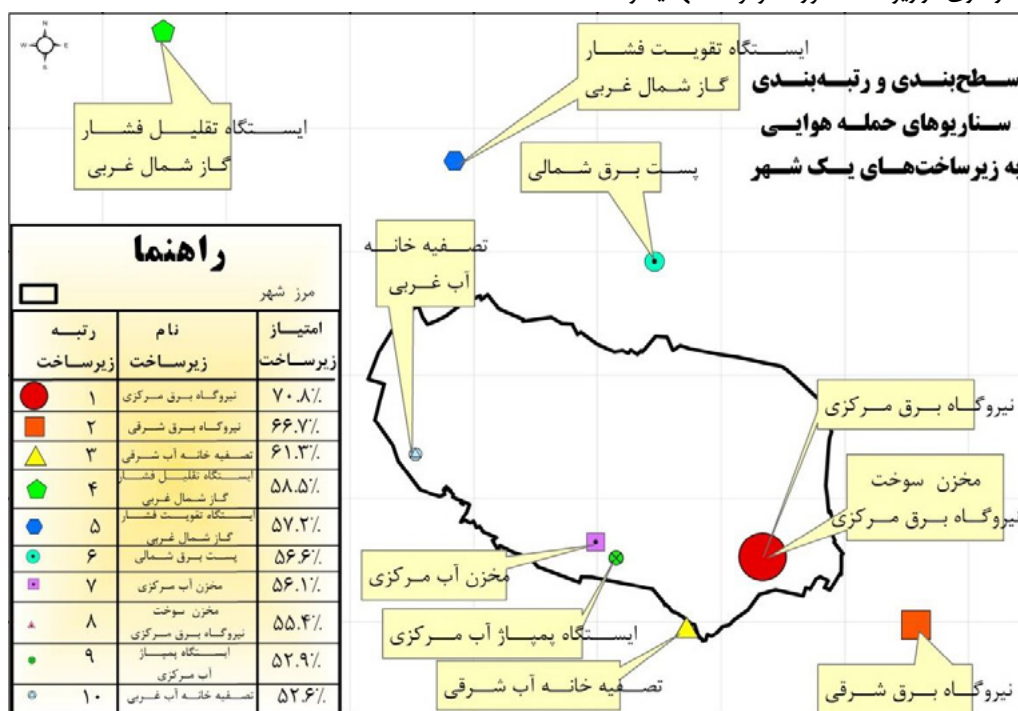
۷. میزان احتمال ایجاد پیامدهای ثانویه (سمیت، آتش‌سوزی

و انفجار) در زیرساخت موردنظر.

به‌طور کلی پس از تلفیق امتیازات سطح‌بندی و رتبه‌بندی تمامی شبکه‌ها، رتبه‌بندی زیرساخت‌ها به همراه امتیاز و نام آن‌ها در تصویر ۱۱ قابل مشاهده است. معیارهایی که در این ۱۰ زیرساخت



تصویر ۱۰: سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های شبکه‌ی سوخت در اثر حملات هدفمند



تصویر ۱۱: سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های شهر در اثر حملات هدفمند

منتخب منطقه‌ی فرضی، بیشترین تأثیر را برای بالابردن امتیاز رتبه زیرساخت‌ها دارا بودند، عبارت‌اند از:

۱. ارزش اقتصادی تجهیزات زیرساخت موردنظر؛
۲. درجه‌ی تأثیرگذاری بر وسعت سرزمینی و جغرافیایی؛
۳. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛
۴. درجه‌ی عدم پراکندگی واحدهای مختلف؛
۵. درجه‌ی ضعف در ملاحظات آفا برای کاهش تشخیص و آشکارسازی در زیرساخت موردنظر توسط تهدیدگر.

نتایج تحلیل‌های آماری

نتایج آزمون کروسکال والیس

برای تعیین اینکه بین نظر و رتبه‌های پاسخ‌دهندگان برای هر شاخص اختلافی وجود دارد یا ندارد، از آزمون کروسکال والیس استفاده می‌شود. در جدول ۵ میانگین و انحراف معیار و همچنین نتایج آزمون کروسکال والیس در رتبه‌بندی نظرات پاسخ‌گویان را نشان می‌دهد. در این جدول رتبه‌بندی ۲۵ معیار فرعی از بین پنج معیار اصلی سطح‌بندی زیرساخت‌های حیاتی انجام شده است.

نتایج آزمون نشان می‌دهد که پنج معیار فرعی مهم در رتبه‌بندی به ترتیب عبارتند از:

۱. درجه‌ی وابستگی نسبی زیرساخت موردنظر نسبت به سایر شبکه‌ها؛
۲. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛
۳. میزان زمان لازم برای ترمیم و احیای زیرساخت؛
۴. میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات زیرساخت موردنظر؛
۵. میزان منحصربه‌فرد بودن نحوه‌ی ساخت و اجرا.

گفتنی است براساس نظر پاسخ‌دهندگان در ۲۲ معیار از ۲۵ معیار، P-Value بیش از ۵ درصد برآورد شده است، از این‌رو می‌توان به تأیید فرض صفر و نبود تفاوت بین رتبه‌هایی که پاسخ‌دهندگان به شاخص‌ها داده‌اند، اشاره نمود. این مسئله شبیه بودن نظر پاسخ‌دهندگان را در این معیارها نشان می‌دهد، که معیار خوبی از توافق بین نظر پاسخ‌دهندگان است. سه شاخصی که بین نظر پاسخ‌دهندگان دارای تفاوت معناداری (به علت P-Value کمتر از ۵ درصد) است، عبارتند از:

جدول ۵: نتایج آزمون کروسکال والیس و رتبه‌بندی بین معیارها

معیارها	میانگین	انحراف معیار	رتبه بندی	P-کروسکال والیس
درجه‌ی وابستگی نسبی زیرساخت موردنظر به سایر شبکه‌ها	۹,۹۵	۱,۳۰۱	۱	۰,۶۲۷
نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی	۹,۹۲	۱,۰۴۲	۲	۰,۴۴۵
میزان زمان لازم برای ترمیم و احیای زیرساخت موردنظر	۹,۹	۰,۸۹۲	۳	۰,۲۶۵
میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات زیرساخت موردنظر	۹,۸۵	۰,۹۶۳	۴	۰,۳۷۷
میزان منحصربه‌فرد بودن نحوه‌ی ساخت و اجرای زیرساخت موردنظر	۹,۳۲	۱,۳۱۵	۵	۰,۷۴۲
درجه‌ی تأثیرگذاری زیرساخت موردنظر بر وسعت سرزمینی (جغرافیایی)	۹,۳۱	۱,۰۳۲	۶	۰,۴۲۷
درجه‌ی ناپراکندگی واحدهای مختلف در زیرساخت موردنظر	۹,۲	۰,۴۴۰	۷	۰,۳۲۷
میزان احتمال ایجاد پیامدهای ثانویه پس از بروز حمله هدفند در زیرساخت موردنظر	۹,۱۵	۰,۶۴۵	۸	۰,۲۴۵
متوسط ارزش کمی و کیفی نیروی انسانی فعال در زیرساخت موردنظر	۹,۱۴	۰,۵۳۴	۹	۰,۱۶۵
ارزش اقتصادی تجهیزات زیرساخت موردنظر	۸,۳	۰,۵۹۱	۱۰	۰,۴۲۳
درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه‌ی زیرساخت موردنظر در برابر بار انفجاری	۸,۳	۰,۷۸۲	۱۱	۰,۳۷*
میزان ضعف در آفرورنگی زیرساخت موردنظر	۸,۱۷	۰,۵۷۶	۱۲	۰,۱۱*
میزان جدید بودن تکنولوژی به‌کاررفته در زیرساخت موردنظر	۸,۱۵	۰,۹۲۵	۱۳	۰,۱۴۱
وضعیت قرارگیری سازه‌ی اصلی زیرساخت موردنظر نسبت به سطح زمین	۸,۱۲	۰,۷۸۰	۱۴	۰,۴۲۷
میزان اختلال ایجادکننده در اقتصاد در اثر حذف زیرساخت موردنظر بر کل کشور	۸,۱	۰,۸۶۳	۱۵	۰,۳۴۵
ارزش اقتصادی سازه‌ی زیرساخت موردنظر	۷,۵	۰,۶۳۸	۱۶	۰,۱۵۶
درجه‌ی ضعف در نبود تجهیزات کافی برای پدافند عامل در اطراف زیرساخت موردنظر	۷,۲۵	۰,۸۸۹	۱۷	۰,۳۸۳
نوع و ماهیت بنیادی یک زیرساخت در میزان تأثیرگذاری بر سایر زیرساخت‌ها	۷,۱۸	۰,۹۹۶	۱۸	۰,۷۴۲
میزان نزدیکی موقعیت مکانی زیرساخت موردنظر نسبت به مرزهای کشور	۶,۵۴	۰,۸۸۹	۱۹	۰,۴۳۱
درجه‌ی تأثیرگذاری و آسیب به محیط زیست در صورت حذف زیرساخت موردنظر	۶,۲۵	۱,۳۸۲	۲۰	۰,۵۶۵
میزان ضعف در آمادگی زیرساخت موردنظر نسبت به پاسخ مؤثر پس از بروز حمله	۶,۱۵	۱,۱۵۶	۲۱	۰,۳۱*
سابقه‌ی بروز تهدید بر زیرساخت موردنظر	۵,۶۷	۰,۸۵۰	۲۲	۰,۴۶۳
وضعیت قرارگیری زیرساخت موردنظر از منظر توپوگرافی و موانع محیطی	۵,۳۵	۰,۱۵۳	۲۳	۰,۵۷۸
میزان اثر روانی ایجاد شده پس از بروز حمله‌ی هدفمند	۵,۲۵	۰,۲۳۴	۲۴	۰,۳۳۱
درجه‌ی ضعف در ملاحظات استتار، اختفا و فریب برای کاهش تشخیص و آشکارسازی	۵,۲	۱,۰۸۶	۲۵	۰,۱۷۶

۱. درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه‌ی زیرساخت موردنظر در برابر بار انفجاری؛

۲. میزان ضعف در افزونگی زیرساخت موردنظر؛

۳. میزان ضعف در آمادگی زیرساخت موردنظر نسبت به پاسخ مؤثر پس از بروز حمله.

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

با توجه به اینکه در این پژوهش پنج معیار اصلی از عوامل اثرگذار در تعیین سطح‌بندی زیرساخت‌های حیاتی معرفی شده است، باید برای هر کدام از این معیارهای اصلی، تحلیل PCA به صورت جداگانه انجام گردد. این تحلیل‌ها برای تمامی پنج دسته معیار به صورت مجزا انجام شد، ولی با توجه به تعدد خروجی‌ها، برای معیار اصلی اول به عنوان نمونه تحلیل‌ها به صورت گام‌به‌گام نمایش داده می‌شود و برای سایر معیارها، تنها به ذکر نتایج بسنده می‌گردد.

اولین عامل مطابق تصویر ۱، معیار ماهیت بنیادی زیرساخت است. این عامل بر اساس تصویر ۱ شامل هفت مؤلفه است که در جدول ۶ نتایج آزمون بارتلت و KMO نشان داده شده است.

بر اساس جدول ۶، مقدار ضریب KMO برابر با ۰/۷۷۵ برآورد گردید. با توجه به اینکه این شاخص از ۰/۵ بالاتر است، کفایت نمونه‌ها برای متغیرها در PCA مناسب است. بررسی کردن شاخص KMO و آزمون بارتلت، حداقل شرایط لازم برای PCA است. از این رو ماتریس داده‌ها برای PCA حاوی اطلاعات معناداری است، زیرا مقدار P-Value برای آزمون بارتلت، کمتر از ۰/۰۵ است.

در جدول ۷ نتایج محاسبه‌ی مقادیر ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها قابل مشاهده است. به نحوی که مقادیر ویژه‌ی اولیه^۹ برای هر یک از مؤلفه‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین شده برآورد شده است. در این بخش، واریانس تبیین شده بر حسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی قابل مشاهده است. مقدار ویژه‌ی هر مؤلفه نسبتی از واریانس کل متغیرهاست که توسط آن عامل تبیین می‌شود. مقدار ویژه از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل قابل محاسبه است. از این رو مقادیر ویژه، اهمیت مؤلفه‌ها را در عامل «ماهیت بنیادی زیرساخت» نشان می‌دهد. پایین بودن این مقدار برای یک عامل به این معنی است که آن مؤلفه نقش اندکی در تبیین واریانس مؤلفه‌ها داشته است. همچنین در این جدول مؤلفه‌هایی

که مقادیر ویژه‌ی آن‌ها بزرگ‌تر از عدد یک باشد، به منزله‌ی مؤلفه‌های نهایی قابل مشاهده است.

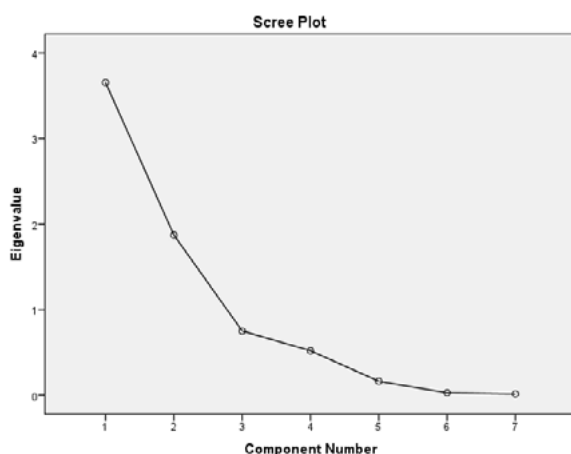
بر اساس جدول ۷، دو مؤلفه قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند. زیرا این دو عامل قادرند، ۸۹/۷٪ از واریانس کل مؤلفه‌های عامل «ماهیت بنیادی زیرساخت» را در سطح‌بندی زیرساخت‌های حیاتی پوشش نمایند، که این مقدار قابل ملاحظه است.

تغییرات مقادیر ویژه در ارتباط با مؤلفه‌ها در تصویر ۱۲ قابل مشاهده است. این نمودار برای تعیین تعداد بهینه‌ی مؤلفه‌ها به کار می‌رود. با توجه به این نمودار، مشاهده می‌شود که از مؤلفه‌ی دوم به بعد، تغییرات مقدار ویژه کم می‌شود، پس می‌توان دو مؤلفه را به منزله‌ی مؤلفه‌های مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، استخراج کرد.

جدول ۸ سهم متغیرها و شاخص‌ها را در عامل‌ها، قبل از چرخش نشان می‌دهد. این ضرایب از یک‌سو نشان‌دهنده‌ی

جدول ۶: نتایج آزمون بارتلت و KMO

KMO and Bartlett's test		
ضریب KMO		۰,۷۷۵
آزمون بارتلت	Approx. chi-square	۲۴۲۵,۱۹
	درجه‌ی آزادی	۲۱
	P-Value	۰,۰۰۰



تصویر ۱۲: نمودار اسکری گراف برای تعیین تعداد مؤلفه‌ها

جدول ۷: درصد واریانس و مقادیر ویژه‌ی مؤلفه‌های مختلف

مؤلفه	مقادیر ویژه‌ی اولیه			استخراج مؤلفه‌های ویژه‌ی نهایی		
	نهایی	درصد واریانس	واریانس تجمعی	نهایی	درصد واریانس	واریانس تجمعی
۱	۵۲,۲۳	۵۲,۲۳	۳,۶۶	۵۲,۲۳	۵۲,۲۳	۳,۶۶
۲	۸۹,۶۹	۳۷,۴۶	۰,۷۵	۸۹,۶۹	۳۷,۴۶	۰,۷۵
۳	۹۴,۳۱	۴,۶۲	۰,۷۵			
۴	۹۷,۱۱	۲,۸۰	۰,۵۲			
۵	۹۹,۴۱	۲,۳۰	۰,۱۶			
۶	۹۹,۸۰	۰,۳۹	۰,۰۳			
۷	۱۰۰,۰۰	۰,۲۰	۰,۰۱			

توانایی مؤلفه‌های تعیین شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه است و از سویی دیگر می‌تواند برای بررسی تناسب متغیرها برای PCA استفاده شود. همان‌طور که در جدول ۸ قابل مشاهده است، با توجه به اینکه می‌توان تمامی متغیرها (شاخص‌ها) را در دو مؤلفه جاگذاری کرد، دیگر نیازی به انجام چرخش نیست.

از این رو مطابق جدول ۸، با توجه به سهم متغیرها، معیارهای فرعی سوم، چهارم، پنجم و ششم را می‌توان در مؤلفه‌ی اول و معیارهای (متغیر) اول، دوم و سوم را در مؤلفه‌ی دوم قرار داد. با توجه به نتایج این جدول، معیارهای «میزان منحصر به فرد بودن تجهیزات» و «متوسط ارزش کمی و کیفی نیروی انسانی» با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، بیشترین معیار تأثیرگذار در عامل «ماهیت بنیادی زیرساخت» برای سطح بندی زیرساخت‌ها است.

جدول ۸: ماتریس مؤلفه‌ها قبل از چرخش

	مؤلفه‌ها	
	۱	۲
ارزش اقتصادی سازه	۰.۱۵۲	۰.۶۵۲
ارزش اقتصادی تجهیزات	۰.۱۰۱	۰.۷۷۶
میزان منحصر به فرد بودن تجهیزات	۰.۹۴۴	-۰.۰۴۲
میزان منحصر به فرد بودن نحوه‌ی ساخت و اجرا	۰.۸۶۰	-۰.۰۴۵۲
میزان جدید بودن تکنولوژی‌ها	۰.۷۴۸	۰.۲۱۱
سابقه‌ی بروز تهدید	۰.۵۷۳	۰.۲۱۴
متوسط ارزش کمی و کیفی نیروی انسانی	۰.۲۹۷	۰.۹۳۸

این آنالیزها برای سایر معیارهای اصلی نیز به همین صورت انجام گرفت، که به‌طور خلاصه نتایج آن به شرح ذیل است:

- پس از انجام آنالیز اجزای اصلی برای معیار «محیط پیرامونی»، حداقل شرایط لازم برای PCA (شاخص KMO و آزمون بارتلت) تأیید شد و معیارها در نهایت در دو مؤلفه‌ی اصلی دسته‌بندی شدند که دو معیار «نزدیکی به تراکم جمعیتی» و «درجه‌ی تأثیرگذاری بر وسعت سرزمین» حائز بیشترین تأثیر در این معیار شدند.
- پس از انجام آنالیز اجزای اصلی برای معیار «ملاحظات پدافندی»، حداقل شرایط لازم برای PCA (شاخص KMO و آزمون بارتلت) تأیید شد و معیارها در نهایت در دو مؤلفه‌ی اصلی دسته‌بندی شدند که دو معیار «درجه‌ی عدم پراکندگی واحدهای مختلف» و «درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه در برابر بار انفجاری» حائز بیشترین تأثیر در این معیار شدند.
- پس از انجام آنالیز اجزای اصلی برای معیار «پیامدهای ناشی از تهدید»، حداقل شرایط لازم برای PCA (شاخص KMO و آزمون بارتلت) تأیید شد و معیارها در نهایت در دو مؤلفه‌ی اصلی دسته‌بندی شدند که دو معیار «میزان زمان لازم برای ترمیم و احیا» و «میزان

احتمال ایجاد پیامدهای ثانویه» حائز بیشترین تأثیر در این معیار شدند.

- پس از انجام آنالیز اجزاء اصلی برای معیار «وابستگی»، حداقل شرایط لازم برای PCA (شاخص KMO و آزمون بارتلت) تأیید شد و معیارها در نهایت در یک مؤلفه‌ی اصلی دسته‌بندی شدند که معیار «درجه‌ی وابستگی نسبی زیرساخت موردنظر به سایر شبکه‌ها» حائز بیشترین تأثیر در این معیار شد.

نتیجه‌گیری

جنگ‌های دهه‌ی اخیر نشان داده‌اند که سامانه‌های تأمین، انتقال و توزیع انرژی و تأسیسات جنبی آن با توجه به تأثیر قاطعی که در تداوم زندگی مردم و نیروهای مدافع دارند، یکی از اهداف دشمن تلقی می‌گردند. از این رو یکی از اهداف اصلی پدافند غیرعامل بر محافظت از نیروی انسانی و زیرساخت‌های حیاتی کشور متمرکز است. از این رو در این مقاله مدلی به‌منظور اولویت‌بندی زیرساخت‌های حیاتی در اثر حملات هدفمند بر اساس تعدادی معیار اصلی و فرعی ارائه شده است. هر زیرساختی که رتبه‌ی بالاتری کسب کند در اولویت اول اعمال تهدید توسط دشمنان است و از جذابیت بالاتری برخوردار است. به‌منظور سطح‌بندی زیرساخت‌ها در اثر حملات هدفمند، سه فرض برای تسهیل در محاسبات صورت گرفت. ابتدا دشمن از مجموع دارایی‌های یک زیرساخت با ابزارهای موجود، مهم‌ترین دارایی یک زیرساخت را هدف قرار می‌دهد. ثانیاً از تسلیحات پیشرفته بدون ردیابی و با نقطه‌زنی بسیار بالا استفاده می‌کند. ثالثاً با توجه به دقت در هدف‌گیری، آسیب‌پذیری زیرساخت مورد هدف بسیار زیاد است. از این رو به‌منظور تعیین زیرساخت‌های با رتبه‌ی بالای جذابیت توسط دشمن، پنج معیار اصلی و ۲۵ معیار فرعی ارائه شد. گفتنی است به ازای هر معیار فرعی نیز پنج شاخص و سنجه ارائه شد و در مجموع ۱۲۵ شاخص طراحی گردید. سپس برای هر زیرساخت، براساس وزن اهمیت هر یک از معیارها و امتیازات کسب‌شده برای هر معیار فرعی، در نهایت امتیاز نهایی زیرساخت‌ها محاسبه گردید و به ترتیب اهمیت، مرتب و رتبه‌بندی گردید. انجام این مطالعه در قالب مدل ارائه‌شده، می‌تواند به‌منزله‌ی یک دستورالعمل برای اولویت‌بندی تمامی زیرساخت‌های هر یک از مناطق جغرافیایی کشور اجرایی شود و سپس زیرساخت‌هایی که از اولویت بیشتری برخوردار باشند، بودجه‌ی بیشتری به‌منظور تخصیص منابع برای اجرای ملاحظات پدافند غیرعامل، می‌توانند دریافت نمایند.

پس از معرفی و اجرای مدل، تحلیل‌های آماری بر روی داده‌ها صورت پذیرفت. در ابتدا به کمک تست کولموگوروف-اسمیرنوف بررسی ادعای نرمال بودن توزیع داده‌ها آنالیز شد، که نتایج نشان از نرمال نبودن داده‌ها و الزام برای استفاده از آزمون‌های آماری غیرپارامتریک داشت. در ادامه رتبه‌بندی ۲۵ معیار فرعی بر اساس میانگین امتیازهایی که پاسخ‌دهندگان به هر معیار دادند، صورت گرفت. همچنین به‌منظور تجزیه و تحلیل بر مقایسه‌ی رتبه‌ها از آزمون کروسکال والیس که معادل آزمون F مستقل در روش تحلیل

منابع

۱. وارپانس یک طرفه است، استفاده گردید. پنج معیار فرعی که از نظر پاسخ دهندگان دارای رتبه‌ی بالایی بودند، به ترتیب عبارتند از:
 ۱. درجه‌ی وابستگی نسبی زیرساخت موردنظر به سایر شبکه‌ها (آب، برق، گاز، نفت و حمل و نقل، ارتباطات و ...)
 ۲. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛
 ۳. میزان زمان لازم جهت ترمیم و احیای زیرساخت موردنظر؛
 ۴. میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات زیرساخت موردنظر؛
 ۵. میزان منحصربه‌فرد بودن نحوه‌ی ساخت و اجرای زیرساخت موردنظر.
 - در ادامه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی در این حوزه ارائه می‌شود:
 ۱. پیشنهاد می‌گردد مدل ارائه شده برای تمامی زیرساخت‌ها در مناطق مختلف کشور پیاده‌سازی شود و زیرساخت‌های با اولویت بالا در اولویت نخست اقدامات پدافند غیرعامل قرار گیرند.
 ۲. توصیه می‌شود معیارهایی برای اولویت‌بندی زیرساخت‌ها بر اثر سایر تهدیدات (به جز حملات هدفمند) ارائه گردد.
 ۳. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقاتی مجزا معیارهایی برای هر یک از سلاح‌های مبنای به صورت مجزا ارائه شود.
- پی‌نوشت**
1. Utility System
 2. Transportation
 ۳. معیار کارور، بر اساس ۶ شاخص حیاتی بودن، قابلیت دسترسی، قابلیت بازیابی، آسیب‌پذیری، قابلیت جاسوسی و افزونگی به ارزیابی اهمیت دارایی‌ها می‌پردازد.
 4. Kolmogorov-Smirnov test
 5. Principal Component Analysis
 6. Kaiser-Mayer-Olkin index
 7. Bartlett Test
 8. Varimax
 9. Initial eigenvalues
- منابع**
۱. موحدی‌نیا، جعفر (۱۳۸۳). *دفاع غیرعامل*. دانشکده فرماندهی و ستاد سپاه، چاپ اول.
 ۲. مدیریت بازرسی سازمان صنایع دفاع (۱۳۸۶). *کلیاتی پیرامون پدافند غیرعامل*. چاپ اول.
 ۳. جمشیدی، علی؛ علیدوستی، علی؛ گیوه‌چی، سعید؛ رجبی، روزبه (۱۳۹۱). ارائه‌ی الگوی برای ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی در صنعت نفت، مطالعه‌ی موردی: تأسیسات نفتی دریایی. *دوفصلنامه‌ی علمی پژوهشی مدیریت بحران دانشگاه صنعتی مالک اشتر*، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۱، ۶۱-۶۷.
 ۴. جلالی‌فراهانی، غلامرضا؛ شمسایی زفرقندی، فتح‌اله؛ غضنفری، مصطفی؛ قنبری‌نسب، علی (۱۳۹۲). تعیین و رتبه‌بندی تهدیدات انسان‌ساخت عمده در اجزای اصلی ایستگاه‌های مترو. *دوفصلنامه‌ی مدیریت بحران*.
 - شماره‌ی چهارم، پاییز و زمستان.
 ۵. مشهدی، حسن، امینی ورکی، سعید، (۱۳۹۴). تدوین و ارائه‌ی الگوی ارزیابی تهدیدات، آسیب‌پذیری و تحلیل خطرپذیری زیرساخت‌های حیاتی با تأکید بر پدافند غیرعامل. *دوفصلنامه‌ی مدیریت بحران*، شماره‌ی هفتم، بهار و تابستان ۱۳۹۴.
 ۶. سلیمانی، عاطفه؛ برزگر، اکرم؛ نورالهی، حانیه؛ عوض‌آبادیان، فرشید (۱۳۹۴). ارائه‌ی الگوی ارزیابی ریسک در مقیاس‌های فراشه‌ری با تلفیق رویکردهای آمایشی و زیرساختی. *اولین کنفرانس ملی مدیریت ریسک در زیرساخت‌ها*، ۵ تا ۶ خرداد.
 ۷. سهامی، حبیب‌ا...؛ قنادیان چالشتی، مسعود، (۱۳۹۴). روش‌های حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی در صنعت نفت و گاز و ارائه راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری مبتنی بر مدیریت ریسک. *اولین کنفرانس ملی مدیریت ریسک در زیرساخت‌ها*، ۵ تا ۶ خرداد.
 ۸. رنجبر، محمدحسین؛ پیرایش، ابوالفضل (۱۳۹۴). ارائه‌ی شاخصی برای ارزیابی آسیب‌پذیری سامانه‌ی قدرت در برابر تهدیدات تروریستی. *مجله‌ی علوم و فناوری‌های پدافند نوین*. سال ششم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴، ۲۸۹-۲۹۷.
 9. Assaf, D. (2018). Models of Critical Information Infrastructure Protection. *International Journal of Critical Infrastructure Protection* 2008, 1, 6-14.
 10. Hiete, M.; Merz, M. (2009). In an Indicator Framework to Assess the Vulnerability of Industrial Sectors against Indirect Disaster Losses. *International ISCRAM Conference*, Gothenburg, Sweden.
 11. DHS, (2011). *Presidential Policy Directive/PPD-8: National Preparedness*. Washington, D.C., 2011, available at <http://www.dhs.gov/presidential-policy-directive-8-national-preparedness>.
 12. White House, (2013). *Presidential Policy Directive - Critical Infrastructure Security and Resilience*. Presidential Policy Directive/PPD-21, Washington, D.C., 2013, available at <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/02/12/presidential-policy-directive-criticalinfrastructure-security-and-resil>.
 13. Petit, F.; Bassett, G. W.; Buehring, W. A.; Collins, M. J.; Dickinson, D. C.; Haffenden, R. A.; Huttenga, A. A.; Klett, M. S.; Phillips, J. A.; Veselka, S. N. (2013). Protective Measures Index and Vulnerability Index: Indicators of Critical Infrastructure Protection and Vulnerability. *Office of Argonne National Laboratory (ANL)*, United States, Tech. Rep ANL/DIS-13/04, 2013, available at <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1108161>.
 ۱۴. عبدالله خانی، علی (۱۳۸۵). *بررسی و نقد نظریه امنیتی ساختن*. فصلنامه‌ی مطالعات راهبردی، شماره‌ی ۳۳، تهران.
 ۱۵. جلالی، غلامرضا (۱۳۸۹). *روش و الگو برآورد تهدیدات در پدافند غیرعامل*. انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)، تهران.
 ۱۶. علمداری، شهرام (۱۳۸۷). *دستورالعمل برآورد تهدید و تدوین سناریو در دستگاه‌های کشور و استانی*. سازمان پدافند غیرعامل، تهران.
 17. ISO/IEC. (2002). *Guide 73 Risk Management- Vocabulary- Guidelines for Use in Standards*. International Organization for Standardization and International Electro Technical Commission.
 ۱۸. موحدی‌نیا، جعفر (۱۳۸۵). *مفاهیم نظری و عملی دفاع غیرعامل*. معاونت آموزش و نیروی انسانی ستاد مشترک سپاه، مرکز برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی، چاپ اول، تهران.

19. Coppola, D. P. (2006). *Introduction to International Disaster Management*. 3rd Edition, Butterworth Heine-mann, Burlington.

۲۰. سازمان پدافند غیرعامل کشور (۱۳۹۴). دستورالعمل عمومی سطح بندی مراکز ثقل. معاونت اطلاعات و عملیات، بهار ۱۳۹۴.

۲۱. پوریاری، مقصود؛ عباسی، حمید (۱۳۸۹). اولویت بندی زیرساخت ها در حوزه ی صنایع دریایی با نگاه پدافند غیرعامل. دوازدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، زیباکنار، انجمن مهندسی دریایی ایران، // <http://html.۲۱۷-NSMI۱۲-www.civilica.com/Paper-NSMI۱۲>

۲۲. عطایی، محمدحسن (۱۳۹۴). تعیین درجه اهمیت و اولویت زیر ساخت های استراتژیک از منظر دفاع غیر عامل با تأکید بر فرودگاه های غیر نظامی، نمونه ی موردی: فرودگاه بین المللی امام خمینی (ره). پایان نامه برای اخذ کارشناسی ارشد در رشته پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۲۳. محمد مرادی، اصغر؛ اخترکاو، مهدی (۱۳۸۸). روش شناسی مدل های تحلیل تصمیم گیری چند معیاره. مجله آرمان شهر، شماره ی ۲، بهار و تابستان ۱۳۸۸.

۲۴. اصغریور، محمد جواد، (۱۳۷۷). تصمیم گیری های چند معیاره. نشر دانشگاه تهران، چاپ اول.

25. Cimren, E.; Catay, E.; Budak, E. (2007). Development of a Machine Tool Selection System Using AHP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35, 363-376.

26. Kothari, C. R. (2004). *Research methodology: Methods and techniques*. Second Edition, Publication of New Age International, University of Rajasthan, Jaipur (India), 401.

27. Massey, F.J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46 (253), 68-78.

28. Vargha, A.; Delaney, H. D. (1998). The Kruskal-Wallis Test and Stochastic Homogeneity, *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 23 (2), 170-192.

29. Wold, S.; Esbensen, K.; Geladi, P. (1987). Principal component analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2 (1), 37-52.

30. Jolliffe, I. (2002). *Principal component analysis*. Publication of Wiley Online Library.

31. Parinet, B.; Lhote, A.; Legube, B. (2004). Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management—application to a tropical lake system. *Ecological Modelling*, 178 (3), 295-311

زمان بندی و توالی عملیات استوار در واحدهای موازی غیرمرتبط با زمان های غیرقطعی

مطالعه موردی: بیمارستان صحرایی

مجتبی نوری: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
عمران محمدی*: استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، e_mohammadi@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

عدم قطعیت ها در جهان پیچیده ی امروزی جزء جدایی ناپذیر مسائل روزمره هستند. با در نظر گرفتن این عدم قطعیت ها در مسائل واقعی، می توان به سطح قابل اعتمادتری از نتایج دست یافت. شرایط خاص حادثه خیز بودن کشورمان که سالیانه شاهد تعداد زیادی از این حوادث طبیعی و غیرطبیعی اعم از زلزله، سیل، تصادفات و تلفات انسانی هستیم، لزوم توجه خاص به ارائه ی خدمات درمانی اورژانسی به مصدومان و مجروحان در صحنه یا محل نزدیک به آن را در اولویت ویژه ای قرار می دهد. در این راستا ایجاد سامانه های بیمارستانی متحرک، نقش ارزنده ای در کاهش تلفات خواهند داشت. در این مقاله نگاهی نو به موضوع زمان بندی و برنامه ریزی توالی عملیات فعالیت های درمانی در بیمارستان های صحرایی با زمان های غیرقطعی شده است. مدل ارائه شده به تخصیص و تعیین توالی فعالیت های درمانی (کارها) در اتاق های عمل (ماشین ها) در یک بیمارستان صحرایی می پردازد. به منظور حل این مدل از الگوریتم تبرید شبیه سازی شده استفاده شده است و عملکرد بهترین الگوریتم فرا ابتکاری، با یکی از روش های طراحی آزمایش ها تحت عنوان روش سطح پاسخ، تضمین شده است. نتایج، تغییرات قابل توجهی را پس از اعمال عدم قطعیت در مدل نشان می دهد. میزان تأثیر عدم قطعیت در مدل به نظر تصمیم گیرنده بستگی دارد و میزان اعمال آن، میزان تغییرات در برنامه را نسبت به حالت قطعی تعیین می کند.

واژه های کلیدی: زمان بندی، توالی عملیات، عدم قطعیت، بهینه سازی استوار، بیمارستان صحرایی

Robust scheduling and sequencing in unrelated parallel units considering uncertain time

Case Study of Field hospital

Mojtaba Nouri¹, Emran Mohammadi^{2*}

Abstract

Abstract: Uncertainties in today's complex world are an integral part of common issues. Given these uncertainties in real issues, we can achieve a more reliable level of results. The special circumstances of our country's emergencies, which witness many of these natural and abnormal events, such as earthquakes, floods, accidents and human casualties every year, require special attention to the provision of emergency medical services to injured people at the scene or near the site in priority. Specifically, developing mobile hospital systems will have a significant role in reducing mortality rates. In this article, a new look at the issue of therapeutic activities scheduling and sequencing in field hospitals has been uncertain. The proposed model for the assign and sequence therapeutic activities (jobs) in the operating rooms (machines) of a field hospital. In order to solve this model, Simulated Annealing algorithm has been used and the performance of this meta-heuristic algorithm is guaranteed by a methods of designing experiments, called the Response surface method. The results show significant changes after applying uncertainty in the model. The degree of uncertainty impact in the model depends on the decision maker, and its degree of application determines the degree of variation in the program relative to the certain state.

Keywords: Scheduling, Sequencing, Uncertainty, Robust optimization, Field hospital.

¹ -Master's degree in Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, mojtaba_nouri@ind.iust.ac.ir

² -Assistant Professor, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology; Email: e_mohammadi@iust.ac.ir

مقدمه

زمان بندی و تعیین توالی، ابزارهای بسیار مهمی در افزایش بهره‌وری، استفاده‌ی بهینه از منابع، سودآوری خط تولید و حفظ موقعیت رقابتی در محیط‌های تولید با تغییرات سریع هستند. در واقع زمان بندی و تعیین توالی کارها دارای کاربرد گسترده‌ای هستند که از طراحی تعیین توالی فرایندها و جریان تولید بر روی ماشین‌آلات تولیدی گرفته تا مدل سازی صف در صنایع خدماتی را شامل می‌شوند. از طرفی می‌توان زمان بندی را نوعی تابع تصمیم‌گیری دانست که برنامه‌ی زمانی در آن تعیین می‌گردد، به عبارتی دیگر زمان بندی در اکثر سیستم‌های ساخت و تولید به منزله‌ی یک فرایند مهم تصمیم‌گیری عمل می‌کند. ماشین‌های موازی به منزله‌ی یکی از زیرمجموعه‌های اصلی در تکنیک زمان بندی، دارای نقش مهمی هستند و زمان بندی به‌طور پیوسته بر مبنای معیارهای عملکرد مختلف مورد نظر محققان بوده است [۱، ۲، ۳].

ماشین‌های موازی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: ماشین‌های موازی یکسان^۱، با سرعت‌های متفاوت^۲ و غیرمرتبط^۳. در مسائل مربوط به ماشین‌های موازی یکسان، ماشین‌ها دقیقاً یکسان‌اند، سرعت یکسانی در پردازش کارها دارند و هیچ تفاوتی بین آن‌ها وجود ندارد. ماشین‌های موازی با سرعت‌های متفاوت، ماشین‌های یکسانی هستند که سرعت‌های متفاوتی نسبت به هم دارند. ماشین‌های موازی غیرمرتبط، ماشین‌های یکسانی هستند که هر یک، برای پردازش هر کار، سرعت متفاوتی دارند و بین سرعت انجام کارها هیچ رابطه‌ای وجود ندارد [۱]. در این مقاله ماشین‌های موازی غیرمرتبط مورد بررسی قرار گرفته است.

در بین پژوهش‌های صورت گرفته از زمان بندی و تعیین توالی کارها بر روی ماشین‌های موازی غیرمرتبط، رودریگز و همکاران، به حداقل سازی مجموع وزنی زمان‌های خاتمه‌ی کارها در یک مدل ریاضی اقدام نمودند و از الگوریتم حریص تکرارشونده^۴ برای حل آن استفاده کردند [۴]. در مقاله‌ی دیگری رودریگز و همکاران از روش جستجوی انطباق تصادفی حریصانه^۵ به منظور کاهش مجموع وزنی زمان‌های خاتمه، استفاده نمودند [۵]. تران و همکاران مدل کمینه‌سازی زمان خاتمه را در حضور زمان‌های وابسته به توالی، با استفاده از روش شاخه و بررسی^۶ و جستجوی بزرگ محلی سازگار^۷ حل کردند [۶]. روزالس و همکاران، از جستجوی متغیر محلی^۸ و الگوریتم چند-شروع^۹ به حل این مدل پرداختند [۷]. رُچا و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با زمان‌های وابسته به توالی ارائه نمودند و با روش شاخه و کران و جستجوی انطباق تصادفی حریصانه به حل آن پرداختند [۸].

لین و سیهه، یک مدل ریاضی با هدف حداقل نمودن مجموع وزنی زمان‌های تأخیر با محدودیت‌های زمان آغاز کارها و زمان آماده‌سازی وابسته به توالی ارائه دادند و از ترکیب الگوریتم‌های جستجوی ممنوعه^{۱۰} و بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها^{۱۱} برای حل آن بهره بردند [۹]. اما لیاثو و همکاران، حداقل سازی بزرگ‌ترین زمان خاتمه در حضور محدودیت‌های زمان آغاز کارها و زمان آماده‌سازی وابسته به توالی را با استفاده از الگوریتم‌های ترکیبی بهینه‌سازی

کلونی مورچه‌ها، جستجوی ممنوعه و تبرید شبیه‌سازی شده^{۱۲} مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. بیتار و همکاران، یک مدل ریاضی با هدف کمینه‌سازی مجموع وزنی زمان‌های خاتمه با در نظر گرفتن محدودیت منابع کمکی^{۱۳} و محدودیت‌های واجد شرایط بودن^{۱۴} ارائه دادند که با الگوریتم میمیک^{۱۵} حل شد [۱۱].

با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مسائل زمان بندی، به دسته‌بندی دیگری از پژوهش‌های صورت گرفته می‌رسیم. آلکان و باسگیل، زمان پردازش کارها را عدد فازی مثلثی در نظر گرفتند و با الگوریتم ژنتیک مدل کمینه‌سازی حداکثر زمان خاتمه را حل نمودند [۱۲]. اما بالین، علاوه بر الگوریتم ژنتیک از شبیه‌سازی نیز استفاده نمود [۱۳]. لیاثو و سو، از ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها، بهینه‌سازی ازدحام ذرات^{۱۶} و شبیه‌سازی تبرید شده در محیط فازی استفاده نمودند [۱۴]. ترابی و همکاران، یک مدل ریاضی دو هدفه با پارامترهای فازی مثلثی ارائه دادند و از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام چندهدفه به منظور حل آن استفاده کردند [۱۵]. نادری پنی و همکاران، نیز یک مدل ریاضی دو هدفه با اعداد فازی دوزنقه‌ای ارائه دادند [۱۶].

در هیچ‌کدام از مقالات موجود در مرور ادبیات، عدم قطعیت مسائل زمان بندی به صورت بهینه‌سازی استوار در نظر گرفته نشده است. در این مقاله به علت بالا بودن سطح عدم قطعیت در بیمارستان‌های صحرایی، برای اولین بار نسبت به بهینه‌سازی استوار اقدام شده است. گفتنی است که در مورد بیمارستان‌های صحرایی کارهای محدودی انجام شده است [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲]. عمده کارهای صورت گرفته در مورد بیمارستان‌های صحرایی، به توضیحات و راهکارهای کیفی در مورد مدیریت و برنامه‌ریزی بیمارستان‌های صحرایی بسنده کرده‌اند [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲] و در مورد برنامه‌ریزی فعالیت‌های درمانی در اتاق‌های عمل این نوع از بیمارستان‌ها، پژوهشی انجام نشده است.

ادبیات مورد استفاده به منظور زمان بندی و توالی عملیات در حوزه‌های تولیدی، متفاوت با ادبیات واحدهای خدماتی نظیر مراکز بیمارستانی است. استفاده از لفظ «ماشین‌های موازی» در مرور ادبیات مبحث زمان بندی و توالی عملیات بسیار پرکاربرد است. علی‌رغم مقالات بسیار زیادی که در حوزه‌های تولیدی، منتشر شده است، تاکنون از زمان بندی و توالی عملیات در حوزه‌ی پزشکی مرتبط با مدیریت بیمارستان صحرایی استفاده نشده است. از این رو، اتاق‌های عمل در بیمارستان‌های صحرایی به منزله‌ی ماشین‌های موازی در نظر گرفته شده است و همچنین فعالیت‌های درمانی به منزله‌ی کارها، لحاظ شده است.

در این مقاله برنامه‌ریزی مسائل مربوط به اتاق‌های عمل موازی، با توجه به تابع هدف کمینه‌سازی حداکثر زمان خاتمه در حضور زمان آماده‌سازی وابسته به توالی عمل‌ها ارائه می‌شود. در مدل ریاضی ارائه شده، زمان پردازش فعالیت‌های درمانی با عدم قطعیت مواجه است و دارای عدم قطعیت از نوع استوار^{۱۷} است. با استفاده از مدل ارائه شده توسط برتسیماس، عدم قطعیت زمان

پردازش در مدل لحاظ می‌شود. با الگوریتم فرا ابتکاری تبرید شبیه‌سازی شده، مدل پیشنهادی حل می‌گردد. به منظور عملکرد بهتر الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده، یکی از روش‌های طراحی آزمایش‌ها تحت عنوان روش سطح پاسخ‌گویی به کار گرفته شده است.

مدل سازی ریاضی

در این بخش، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم تعریف می‌شوند. مدل مسئله $C_{\max} | R_m | s_{ijk}$ ارائه می‌گردد و زمان پردازش کارها بر روی ماشین‌ها به طور غیرقطعی لحاظ می‌شود و مدل بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم بر آن اعمال می‌شود.

مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها

در مسائل زمان‌بندی و توالی، مجموعه N تایی از کارها (فعالیت‌های درمانی) باید بر روی یک مجموعه M تایی از ماشین‌ها (اتاق‌های عمل)، با هدف حداقل‌سازی حداکثر زمان خاتمه برنامه‌ریزی شود. هر فعالیت درمانی دارای زمان پردازش p_{ij} مربوط به زمان مورد نیاز برای پردازش فعالیت درمانی Z در اتاق عمل i ام است. اتاق‌ها در این سیستم ارتباطی ندارند، به این معنی که فعالیت درمانی Z می‌تواند یک زمان پردازش بیشتر از فعالیت درمانی k در یک اتاق عمل داشته باشد، اما معکوس آن می‌تواند در یک اتاق عمل دیگر درست باشد. در این مسئله زمان آماده‌سازی وابسته به توالی با s_{ijk} تعریف می‌شود که زمان آماده‌سازی بین تکمیل فعالیت درمان Z و شروع فعالیت درمانی k است به شرط آنکه فعالیت درمانی Z پیش از فعالیت درمانی k در فعالیت درمانی i باشد. فعالیت درمانی که در ابتدای لیست برنامه‌ریزی هر اتاق عمل قرار بگیرد، زمان آماده‌سازی ندارد. هدف از این مسئله تعیین نحوه‌ی اختصاص دادن فعالیت درمانی به اتاق عمل است و سپس این فعالیت‌ها را در هر اتاق عمل به منظور به حداقل رساندن حداکثر زمان خاتمه‌ی عمل‌ها در هر اتاق، مرتب می‌کند [۲۴].

$C_{\max}$ حداکثر زمان خاتمه فعالیت‌های درمانی

C_j زمان خاتمه یا تکمیل فعالیت درمانی زام

M مجموعه اتاق‌های عمل

N مجموعه فعالیت‌های درمانی که باید برنامه‌ریزی شوند.

N_o مجموعه فعالیت‌های درمانی که باید برنامه‌ریزی شوند به علاوه یک گره ساختگی (که با صفر اندیس می‌گیرد).

V یک عدد بزرگ و مثبت.

متغیر باینری است، مقدار یک می‌پذیرد اگر فعالیت

x_{ijk} درمانی Z پس از فعالیت درمانی k انجام شود و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

مدل

در ادامه مدل‌سازی ریاضی مسئله‌ی زمان‌بندی ارائه شده است. دو متغیر تصمیم C_j و x_{ijk} تصمیمات مربوط به یک فعالیت درمانی را نشان می‌دهند. این متغیرهای تصمیم، اتاقی که یک

عملیات پزشکی در آن انجام می‌شود را تعیین می‌کند، توالی انجام عملیات بر یک اتاق عمل و زمان خاتمه هر فعالیت درمانی را مشخص می‌کنند.

رابطه‌ی ۱: $\text{minimize } C_{\max}$

$s.t.$

رابطه‌ی ۲: $\sum_{j \in N_o, j \neq k} \sum_{i \in M} x_{ijk} = 1 \quad k \in N$

رابطه‌ی ۳: $\sum_{k \in N_o, k \neq j} \sum_{i \in M} x_{ijk} = 1 \quad j \in N$

رابطه‌ی ۴: $\sum_{k \in N_o, k \neq j} x_{ijk} = \sum_{h \in N_o, h \neq j} x_{ihk} \quad j \in N, i \in M$

رابطه‌ی ۵: $C_k - C_j + V(1 - x_{ijk}) \geq s_{ijk} + p_{ik} \quad j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$

$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$

رابطه‌ی ۶: $\sum_{j \in N} x_{i0j} \leq 1 \quad i \in M$

رابطه‌ی ۷: $C_0 = 0$

رابطه‌ی ۸: $\sum_{j \in N_o, j \neq k} \sum_{i \in M} (s_{ijk} + p_{ik}) x_{ijk} \leq C_{\max} \quad i \in M$

رابطه‌ی ۹: $x_{ijk} \notin \{0, 1\} \quad j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$

محدودیت ۲ و همین‌طور محدودیت ۳، تضمین می‌کنند که هر فعالیت درمانی یک بار و دقیقاً در یک اتاق انجام شوند. محدودیت ۴ بیان می‌کند که یک عمل فقط در یک توالی می‌تواند حضور داشته باشد. محدودیت ۵ زمان تکمیل هر فعالیت درمانی را تعیین می‌کند به طوری که اگر فعالیت درمانی Z پیش از فعالیت درمانی k در اتاق عمل i انجام شود، زودترین زمانی که فعالیت درمانی k می‌تواند پایان یابد باید بزرگ‌تر از مجموع زمان خاتمه‌ی فعالیت‌های درمانی Z و زمان آماده‌سازی بین فعالیت Z و فعالیت k و زمان انجام فعالیت k باشد. اگر فعالیت k به طور مستقیم بعد از فعالیت Z در اتاق عمل i برنامه‌ریزی شده باشد، $1 - x_{ijk} = 0$ و محدودیت به $C_k - C_j \geq s_{ijk} + p_{ik}$ تبدیل می‌شود. اگر فعالیت k به طور مستقیم بعد از فعالیت Z در یک اتاق عمل برنامه‌ریزی نشده باشد، $1 - x_{ijk} = 0$ و علامت V بزرگ باعث می‌شود که محدودیت در نظر گرفته نشود. این محدودیت اطمینان حاصل خواهد کرد که یک توالی معتبر از فعالیت‌های درمانی در هر اتاق برنامه‌ریزی شود و هیچ یک از زمان‌های پردازش فعالیت‌های درمانی با یکدیگر همپوشانی نداشته باشند. محدودیت ۶ تضمین می‌کند که تنها یک فعالیت می‌تواند برای اولین بار در هر اتاق عمل برنامه‌ریزی شود. محدودیت ۷ زمان تکمیل فعالیت فرضی صفر را تعیین می‌کند، یک فعالیت کمکی که برای اجرای شروع برنامه در نظر گرفته می‌شود و مدت زمان آن صفر است. محدودیت ۸ برای هر یک از اتاق‌ها، حداکثر زمان خاتمه را محاسبه می‌کند و محدودیت

۹ متغیرهای تصمیم را به صورت باینری (صفر و یک) تعریف می‌کند.

گفتنی است که محدودیت ۸ به محاسبه C_{max} تخصیص یافته است، که هدف مقاله حداقل نمودن آن است. حداقل سازی C_{max} بیشتر برای بیمارستان‌های صحرایی کاربرد دارد که معمولاً فعالیت‌هایشان به صورت دوره‌ای و پروژه‌ای است. در خصوص بیمارستان‌های غیر صحرایی، که فعالیت‌هایشان به صورت مستمر ادامه دارد، توابع هدف خاتمه فعالیت‌ها (C_{max}) کارایی چندانی ندارد و از توابع هدف دیگری استفاده می‌گردد.

همچنین در محدودیت‌های ۵ تا ۸، با توجه به کمبود داده‌های مربوط به بیمارستان‌های صحرایی، عدم قطعیت پارامترهایی مانند زمان انجام فعالیت‌های درمانی، به صورت استوار در نظر گرفته شده است. اگرچه ممکن است در بیمارستان‌های غیر صحرایی نیز عدم قطعیت مطرح گردد لیکن، می‌توان با توجه به داده‌های گذشته، نسبت به استخراج تابع چگالی و یا تابع درجه‌ی عضویت اقدام نمود که این امر موجب استفاده از عدم قطعیت به صورت احتمالی و یا فازی می‌گردد. از این رو، بهینه‌سازی استوار که بیشترین عدم قطعیت را در مدل‌سازی‌ها لحاظ می‌کند برای بیمارستان‌های صحرایی مورد استفاده قرار گرفت.

عدم قطعیت در مدل

در این مقاله به طور گسترده‌ای بر ابزارهای بهینه‌سازی قوی توسعه یافته توسط برتسیماس و سیم [۲۵] برای مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی تکیه شده است. با توجه به عدم اطمینان در داده‌ها، مسئله‌ی زیر در نظر گرفته شده است:

$$\min c'x : Ax \leq b, l \leq x \leq u,$$

فرض می‌شود که عدم قطعیت در ماتریس A وجود دارد:

$$A = \left\{ A \in R^{m \times n} \mid a_{ij} \in [\bar{a}_{ij} - \hat{a}_{ij}, \bar{a}_{ij} + \hat{a}_{ij}] \forall i, j \right\}.$$

مسئله‌ی استوار به صورت مقابل فرموله می‌شود:

$$\min c'x \quad (*)$$

$$s.t.$$

$$Ax \leq b, \quad \forall A \in A$$

$$l \leq x \leq u$$

قضیه‌ی ۱ (برتسیماس و سیم): مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی غیرقطعی دارای همتای خطی و استوار زیر است:

$$\min c'x \quad (**)$$

$$s.t.$$

$$\sum_j \bar{a}_{ij} x_j + z_i \bar{A}_i + \sum_{j \in (i, J)} p_{ij} \leq b_i, \quad \forall i$$

$$z_i + p_{ij} \geq \hat{a}_{ij} y_j, \quad \forall (i, j) \in J$$

$$-y_j \leq x_j \leq y_j$$

$$l_j \leq x_j \leq u_j$$

$$p_{ij} \geq 0, z_i \geq 0, y_j \geq 0.$$

Γ ، پارامتری است که درجه‌ی محافظه‌کاری را کنترل می‌کند. بنابراین همتای استوار از همان کلاس به منزله‌ی مسئله‌ی اسمی است، یعنی یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی است. این یک ویژگی بسیار جذاب از این رویکرد است، زیرا مسائل برنامه‌ریزی خطی به آسانی با بسته‌های بهینه‌سازی استاندارد حل می‌شوند. علاوه بر این، اگر در مسئله‌ی اصلی (*)، برخی از متغیرها محدود به اعداد صحیح باشند، همتای استوار (**) خواص مشابه را حفظ می‌کند، یعنی همتای استوار یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح است [۲۵].

همان‌طور که گفته شد زمان پردازش از نوع غیرقطعی و استوار در نظر گرفته شده است و به صورت $\bar{p}_{ik} = [\bar{p}_{ik} - \hat{p}_{ik}, \bar{p}_{ik} + \hat{p}_{ik}]$ تعریف می‌شود. بر این اساس، متغیر تصمیم دیگری تحت عنوان q_{ik} تعریف می‌شود تا عدم قطعیت بر اساس مقدار آن در مدل لحاظ گردد. پارامتر p_{ik} در محدودیت‌های ۵ و ۸ وجود دارد، مدل برتسیماس و سیم بر روی این محدودیت‌ها تأثیر خواهد گذاشت. در محدودیت ۵ پارامتر p_{ik} در هیچ متغیری ضرب نشده است به همین دلیل، نمی‌توان از مدل برتسیماس و سیم برای رفع عدم قطعیت آن استفاده کرد، از این روی از یک متغیر کمکی موقت تحت عنوان y_{ik} استفاده می‌شود. محدودیت ۵ به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$C_k - C_j + V(1 - x_{ijk}) - \bar{p}_{ik} y_{ik} \geq s_{ijk} \quad \text{رابطه‌ی ۱۰:}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

از طرفی، مدل برتسیماس و سیم برای مدل‌هایی با محدودیت‌های $\leq$ معرفی شده است، ولیکن محدودیت ۱۰ از این ویژگی برخوردار نیست، به منظور ایجاد این ویژگی، محدودیت را در ۱- ضرب می‌کنیم:

رابطه‌ی ۱۱:

$$-C_k + C_j - V(1 - x_{ijk}) + \bar{p}_{ik} y_{ik} \leq -s_{ijk}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

با ایجاد تغییرات فوق، می‌توان از مدل برتسیماس و سیم استفاده کرد:

رابطه‌ی ۱۲:

$$-C_k + C_j - V(1 - x_{ijk}) + \bar{p}_{ik} y_{ik} + z'_{ijk} \Gamma'_{ijk} + q_{ik} \leq -s_{ijk}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

$$z'_{ijk} + q_{ijk} \geq \hat{p}_{ik} y_{ik} \quad \text{رابطه‌ی ۱۳:}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

بعد از تبدیل محدودیت ۵ که با استفاده از متغیر کمکی موقت y_{ik} صورت پذیرفت، حال با جاگذاری $y_{ik} = 1$ ، این متغیر را از مدل حذف می‌کنیم و دوباره در مقدار ۱- ضرب می‌کنیم:

الگوریتم تبرید شبیه سازی شده

الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، یک الگوریتم بهینه سازی فرا ابتکاری ساده و اثربخش در حل مسائل بهینه سازی است. منشأ الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، کارهای کریک پاتریک و کرنی و همکارانشان در سال های ۱۹۸۳ است. آن ها برای حل مسائل پیچیده ی بهینه سازی روشی مبتنی بر تکنیک تبرید تدریجی پیشنهاد نمودند. الگوریتم تبرید شبیه سازی شده برای حل یک مسئله ی بهینه سازی، ابتدا از یک جواب اولیه شروع می کند و سپس در یک حلقه ی تکرار به جواب های همسایه حرکت می کند. اگر جواب همسایه بهتر از جواب فعلی باشد، الگوریتم آن را به عنوان جواب فعلی قرار می دهد (به آن حرکت می کند)، در غیر این صورت، الگوریتم آن جواب را با احتمال $e^{-\Delta E/T}$ به عنوان جواب فعلی می پذیرد. در این رابطه ΔE تفاوت بین تابع هدف جواب فعلی و جواب همسایه است و T یک پارامتر به نام دما است. در هر دما چندین تکرار اجرا می شود و سپس دما به آرامی کاهش داده می شود. در گام های اولیه دما خیلی بالا قرار داده می شود تا احتمال بیشتری برای پذیرش جواب های بدتر وجود داشته باشد. با کاهش تدریجی دما، در گام های پایانی احتمال کمتری برای پذیرش جواب های بدتر وجود خواهد داشت و بنابراین الگوریتم به سمت یک جواب خوب همگرا می شود. در این الگوریتم، جواب های مسئله معادل اتم های جسمی است که می خواهیم تبرید کنیم و تابع هدف کمینه کردن میزان بی نظمی و تنش بین مولکول ها است. از این رو برای رسیدن به این هدف، باید دما را کاهش داد تا میزان تنش کاهش یابد. دما در هر مرحله ی این الگوریتم، آستانه ی مجاز بی نظمی را نشان می دهد. یکی دیگر از نکات اساسی در SA، استراتژی جستجوی همسایگی است. این امر می تواند با توجه به ماهیت مسئله، بسیار پیچیده باشد. چگونگی حرکت از نقطه ای به نقطه ی دیگر بستگی به ساختار عملگرهای طراحی شده دارد. دستیابی به نقاط کشف نشده فضای جواب و همچنین جستجوی دقیق همسایگی نقاط، منوط به طراحی عملگرهای کارا و مؤثر است. این کار در بسیاری از مسائل پیچیده ی بهینه سازی با متغیرهای تصمیم متنوع و محدودیت های متعدد، امری دشوار است، تا آنجایی که ممکن است بسیاری از رویکردهای فرا ابتکاری در عمل کارایی خود را از دست بدهند [۲۷].

روش طراحی سطح پاسخ^۸

روش طراحی آزمایش یک ابزار قوی برای افزایش کیفیت محصول و رفع علل ایجاد زیان های کیفی به ویژه در مراحل قبل از تولید محصول یا ارائه ی خدمت است [۲۸]. روش های طراحی آزمایش مختلفی وجود دارد که هر یک دارای محاسن و معایبی است. یکی از مسائلی که می توان از روش طراحی آزمایش ها استفاده کرد، مسئله ی تنظیم پارامترهای اولیه ی الگوریتم های فرا ابتکاری است. الگوریتم های فرا ابتکاری از جمله روش های بهینه سازی هستند که اکثراً از طبیعت الهام گرفته شده اند و با توجه به نیاز مسئله می توانند بسیار پر کاربرد و مؤثر باشند [۲۹]. روش طراحی سطوح پاسخ از تکنیک های ریاضی و آماری است که برای مدل کردن و آنالیز مسائل، مفید خواهد بود. این

رابطه ی ۱۴:

$$C_k - C_j + V(1 - x_{ijk}) - \bar{p}_{ik} - z'_{ijk} \Gamma'_{ijk} - q_{ik} \geq s_{ijk}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

رابطه ی ۱۵:

$$z'_{ijk} + q_{ijk} \geq \hat{p}_{ik}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

محدودیت های ۱۴ و ۱۵ جایگزین محدودیت ۵ می گردد. اما در مورد محدودیت ۸، به دلیل حضور متغیر تصمیم x_{ijk} بدون هیچ واسطه ای از مدل برتسیماس و سیم استفاده می شود و خواهیم داشت:

رابطه ی ۱۶:

$$\sum_{j \in N_o, j \neq k} \sum_{k \in N} s_{ijk} + \sum_{j \in N_o, j \neq k} \sum_{k \in N} \bar{p}_{ik} x_{ijk} + z''_i \Gamma'_i + \sum_{k \in N} q_{ik} \leq C_{\max}$$

$$i \in M$$

رابطه ی ۱۷:

$$z''_i + q_{ik} \geq \hat{p}_{ik} \left(\sum_{j \in N_o, j \neq k} x_{ijk} \right)$$

$$k \in N, i \in M$$

محدودیت های ۱۶ و ۱۷ نیز جایگزین محدودیت ۸ می شوند. علاوه بر این محدودیت ۱۸، متغیرهای تصمیم جدید را تعریف می کند.

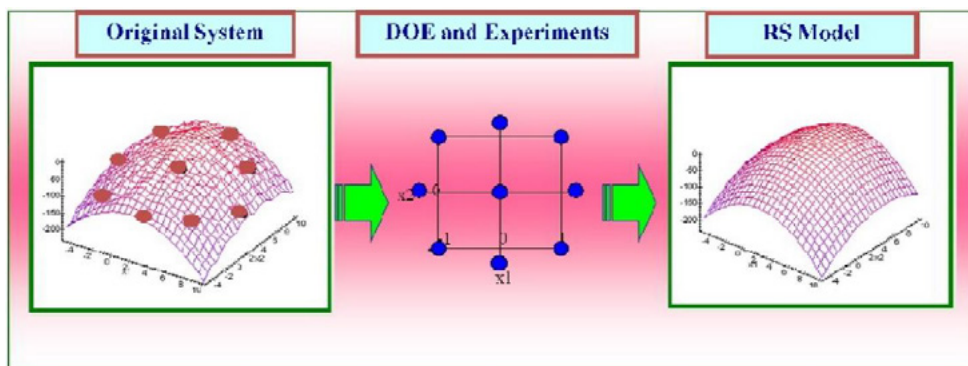
رابطه ی ۱۸:

$$q_{ik} \geq 0, z'_{ijk} \geq 0, z''_{ijk} \geq 0$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

رویکرد حل مسئله

برنامه ریزی ماشین های غیرمرتبط با زمان های آماده سازی وابسته به توالی که به دنبال حداقل سازی حداکثر زمان خاتمه ی ماشین ها است (یعنی $\sum_{j \in N} |s_{jk}| C_{\max}$) برای دو ماشین، NP-hard است [۷]. بنابراین برای بیش از دو ماشین نیز NP-hard خواهد بود. همانطور که قبلاً به آن اشاره شد، در اینجا ماشین های موازی، اتاق های عمل موازی هستند. از طرفی، عدم قطعیت به این پیچیدگی افزوده است. به منظور حل این مدل، از الگوریتم فرا ابتکاری تبرید شبیه سازی شده استفاده می شود. به طور کل عملکرد یک الگوریتم فرا ابتکاری تا حدود زیادی به تعیین پارامترهای آن الگوریتم، بستگی دارد اما ارائه ی مقادیر و سطوح عمومی برای پارامترهای یک الگوریتم فرا ابتکاری امکان پذیر نیست و باید برای هر مسئله به طور جداگانه محاسبه گردد [۲۶]. از این رو از روش طراحی آزمایشات سطوح پاسخ برای تعیین پارامترهای الگوریتم تبرید شبیه سازی شده استفاده می شود. در ادامه به دلیل تأثیرگذاری مقدار پارامتر Γ در تعیین پاسخ بهینه ی مدل، احتمال نقض محدودیت هایی که با عدم قطعیت روبه رو هستند، مورد بررسی قرار می گیرد تا علاوه بر تعیین پارامترهای الگوریتم، مقدار مناسب Γ نیز مشخص شود.



تصویر ۱: نحوه‌ی تخمین تابع توسط روش سطوح پاسخ [۳۱]

انجام داده و در صورتی که اختلاف معنی‌داری بین دو جواب داشت از مدل‌های مرتبه بالاتر یعنی second-order model استفاده کنیم [۳۲].
رابطه‌ی ۲۲:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1, j \neq i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار Design Expert، آزمایشات سطوح پاسخ ایجاد می‌شود. برای ایجاد مدل مرتبه دوم توصیه می‌شود از طراحی ترکیبی مرکزی^{۱۹} استفاده شود که می‌تواند مفید باشد [۳۰].

نیازمندی‌های این مدل عبارتند از 2^k نقطه‌ی فاکتوری یا نقطه‌ی مکعبی، $2k$ نقطه‌ی محوری، مشخص کردن مسافت بین نقطه‌ی محوری تا نقطه‌ی مرکزی یا مقدار α است. برای محاسبه مقدار α است. برای محاسبه‌ی مقدار α از معادله $\alpha = \sqrt{k}$ استفاده می‌کنیم که در اینجا k برابر با تعداد فاکتورها است. نکته‌ای که باید به آن دقت کنیم عدم استفاده از بلوک‌بندی است، زیرا زمانی از بلوک‌بندی استفاده می‌کنیم که آزمایشات تحت شرایط مختلف انجام شده باشند که در این مورد صدق نمی‌کند. پس از تنظیم پارامترها در روش سطوح پاسخ، لازم است تا پارامترها از مقیاس واقعی به مقیاس استاندارد تبدیل شوند. جدول ۱ برای تبدیل مقیاس واقعی به مقیاس استاندارد هر یک از پارامترها به کار برده می‌شود [۳۳]. در این جدول $X_{\min}$ حد پایین بازه و $X_{\max}$ حد بالای بازه پارامتر مورد نظر است.

جدول ۱: نحوه‌ی تبدیل مقیاس واقعی به مقیاس استاندارد

مقدار واقعی فاکتور	مقدار به مقیاس شده فاکتور
$X_{\min}$	$-\alpha$
$((\alpha - 1)X_{\max} + (\alpha + 1)X_{\min}) / 2\alpha$	-1
$(X_{\max} + X_{\min}) / 2$	0
$((\alpha - 1)X_{\min} + (\alpha + 1)X_{\max}) / 2\alpha$	$+1$
$X_{\max}$	$+\alpha$

موضوع در شرایطی است که پاسخ مورد نظر ما از چندین متغیر تأثیر می‌پذیرد و هدف ما بهینه‌سازی این پاسخ‌ها است. هدف روش سطوح پاسخ یافتن ارتباط بین متغیرها و پاسخ‌های آن‌ها است [۳۰].

در تصویر ۱ مثالی را ملاحظه می‌کنید که از دو متغیر در سطوح مختلف و یک پاسخ تشکیل شده است و معادله‌ی ۱۹ پاسخ‌های خود سیستم را نشان می‌دهد. حال، معادله‌ای را تخمین می‌زنیم که انتظار داریم پاسخ آن بدون در نظر گرفتن خطر و نویز (ε) معادله‌ی ۲۰ را حاصل نماید.

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \quad \text{رابطه‌ی ۱۹:}$$

$$E(y) = f(x_1, x_2) \quad \text{رابطه‌ی ۲۰:}$$

برای تخمین ابتدا از چند جمله‌ای‌های کم‌مرتبه یعنی first-order model استفاده می‌کنیم. در معادله‌ی ۲۱، k برابر تعداد متغیرهای مسئله است و ما به دنبال ضریب‌های این متغیرها هستیم.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad \text{رابطه‌ی ۲۱:}$$

ضرایب $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ به ترتیب نمایانگر مقدار ثابت، ضریب خطی پارامتر اول، ضریب خطی پارامتر دوم، ... و ضریب خطی پارامتر k ام است. این ضرایب از آنالیز رگرسیون به دست آمده‌اند و در صورتی که مثبت باشند، نشان‌دهنده‌ی اثر هم‌افزا و اگر منفی باشد، نشان‌دهنده‌ی اثر منفی آن مؤلفه است. به‌تراست برای پاسخ‌های این معادله و پاسخ‌های سیستم تست واریانس

از رابطه‌ی $RPD = \frac{|Z - Z_{opt}|}{Z_{opt}} \times 100$ به منظور محاسبه‌ی فاکتور استفاده می‌گردد که در آن Z ها مقادیر حاصل از هر بار اجرای مدل با مقادیر پارامترهای طراحی شده در هر آزمایش است. Z_{opt} بهترین مقدار بین نتایج آزمایش‌ها است. با افزودن مقادیر فاکتور RSM به نرم‌افزار، مقادیر مناسب برای پارامترهای الگوریتم فرا ابتکاری به دست می‌آید.

مطالعه‌ی موردی

هر ساله حوادث گوناگونی مثل زلزله، سیل، سونامی و غیره سبب بروز بحران‌های فراگیر در جهان می‌شوند. از طرفی سایه‌ی سنگین جنگ روز به روز بیشتر بر سر جوامع به‌ویژه در منطقه‌ی خاورمیانه سنگینی می‌کند. با بروز هر یک از بحران‌های فوق، آسیب‌های جسمی، روحی و روانی متعددی بر جمعیت منطقه وارد می‌شود که سبب هجوم جمعیت آسیب‌دیده به مراکز امدادی می‌گردد. شرایط خاص حادثه‌خیز بودن کشورمان که سالیانه شاهد تعداد زیادی حوادث طبیعی و غیرطبیعی اعم از زلزله، سیل، تصادفات و تلفات انسانی این حوادث هستیم، لزوم توجه خاص به ارائه‌ی خدمات درمانی اورژانسی به مصدومان و مجروحان جسمی حاد در صحنه یا محل نزدیک به آن را در اولویت ویژه‌ای قرار می‌دهد که در این راستا ایجاد سامانه‌های بیمارستانی متحرک نقش ارزنده‌ای در کاهش تلفات خواهند داشت [۳۱].

برای نمونه، زمین‌لرزه‌ی شدیدی ساعت ۲۱:۴۸ شامگاه یکشنبه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ با قدرت ۷/۳ درجه در مقیاس درونی زمین (ریشتر) در ژرفای ۳۳/۹ کیلومتری زمین استان‌های کرمانشاه، ایلام و کردستان و بخش‌های گسترده‌ای از غرب و شمال غرب کشور را لرزاند. این زمین‌لرزه که کانون آن جنوب حلبچه‌ی عراق نزدیک مرزهای استان کرمانشاه گزارش شده، زیان‌ها و آسیب‌های زیادی در استان‌های کرمانشاه و ایلام به بار آورده است. به گزارش ایرنا، طبق آخرین خبرهای منتشر شده، تعداد کشته‌های زلزله در کرمانشاه به بیش از ۴۳۲ نفر رسیده و آمار زخمی‌ها نیز به مرز ۹۳۹۷ نفر رسیده است [۳۴].

بر اساس مرور کیفی مقالات، بیمارستان‌های صحرایی در رابطه با بلايا و سوانح یا موارد اورژانس (جنگ، زلزله یا سیل) بسته به شرایط حاکم و در ارتباط با نیازها از واحدهای مراقبتی جامعی تشکیل شده است. جمعیتی که به وسیله‌ی این بیمارستان‌ها درمان می‌شود محدود به کسانی است که در مناطق آسیب‌دیده ساکن بوده‌اند. بیمارستان‌های صحرایی نمی‌توانند به تأسیسات بهداشتی دائمی تبدیل شوند زیرا هدف از استقرار آن‌ها رویارویی با شرایط اورژانس است و نه روبه‌رو شدن با خطرهای و امراض روزانه که درگیر جمعیتی است. این بیمارستان‌ها با حفظ روابط داخلی و خارجی نمی‌توانند از تمام عوامل تعیین‌کننده، همچون تعداد تخت، مدت بستری و غیره در بیمارستان‌های عادی با نظام‌های مختلف پیروی کنند. بیمارستان صحرایی به‌طور معمول باید دارای واحدهای امدادی، درمانی و تشخیصی و نیروهای درمانی متخصص باشند. پشتیبانی پزشکی، آماده‌سازی مجروحان و

مصدومان برای تخلیه، انتقال و اعزام سریع مجروحان، جراحی اضطراری در منطقه‌ی عملیات و اعمال مراقبت‌های ویژه پیش و پس از عمل جراحی از نقش‌های این بیمارستان‌ها در مواقع بحران‌هاست. برای کاهش آسیب‌های ناشی از بحران‌های طبیعی یا بحران‌های انسان ساخت باید آمادگی لازم ایجاد شود. برای آمادگی در مقابل این بحران‌ها باید سه جزء اساسی نیروی انسانی آموزش دیده و کارآمد، دارو و تجهیزات و سیستم پشتیبانی، زیرساخت‌ها و محل امدادرسانی مورد توجه باشد [۳۱].

در این مقاله به برنامه‌ریزی عمل‌های جراحی، پانسمان‌ها و موارد ضروری مراقبت‌های پزشکی در بیمارستان‌های صحرایی پرداخته می‌شود. واضح است که از یک طرف، به دلیل بحرانی بودن شرایط، که خود به‌صورت غیرقطعی و از پیش تعیین نشده به‌وقوع می‌پیوندد، برخی از پارامترها به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شوند مانند این که بحران اتفاق افتاده چه نوع حوادث جانی را رقم زده است و از طرف دیگر، مدت زمان درمانی هر یک از حوادث به شدت تحت تأثیر امکانات، تجهیزات و تیم پزشکی متخصص است. علاوه بر این، با توجه به اینکه هر یک از اتفاقات نیازمند به درمان پزشکی می‌تواند در بدترین و یا بهترین حالت خود قرار داشته باشد، زمان انجام فعالیت درمانی دارای زمان خاصی خواهد بود.

در این مورد مطالعاتی، سه اتاق عمل با تجهیزات مختلف با قابلیت درمانی در سه حوزه‌ی: ۱. جراحی‌ها و خونریزی‌ها، ۲. شکستگی‌ها و ۳. سوختگی‌ها، در رفتگی‌ها و سایر، در نظر گرفته شده است. فعالیت‌های درمانی اتفاق افتاده در هر حادثه‌ای ممکن است انواع مختلفی داشته باشد. برخی از این فعالیت‌ها ممکن است به تعداد بیشتری اتفاق بیفتند و تعدادی نیز ممکن است به ندرت اتفاق بیفتند ولیکن هدف این تحقیق، پوشش دادن به تمام اتفاق‌هایی است که وقوعشان دور از انتظار نیست. برای نمونه، به گزارش خبرنگار اعزامی ایرنا [۳۴]، «بامداد روز دوم زلزله‌ی کرمانشاه، مادر بارداری با وضع جسمانی نامناسب به بیمارستان صحرایی ارتش در سرپل ذهاب منتقل شد که در شرایط بحرانی این شهر، آماده‌ی به دنیا آمدن نوزاد خود بود» علاوه بر این به گزارش خبرنگار دفاعی خبرگزاری تسنیم [۳۵]، «در روز دوم حادثه دلخراش زلزله کرمانشاه اولین جراحی مغز توسط امیر شهنام بابلی رئیس اداره بهداشت و درمان نیروی زمینی ارتش در بیمارستان صحرایی سرپل ذهاب نذاجا انجام شد».

تعداد فعالیت‌هایی که در این تحقیق به‌منظور برنامه‌ریزی در سه اتاق عمل، در نظر گرفته شده است ۲۰ مورد است که در جدول ۲ آورده شده است. در واقع در این مورد مطالعاتی، ۲۰ کار باید بر روی ۳ ماشین موازی انجام بشوند که هر کار بر روی هر ماشین دارای زمان انجام خاص خود خواهد بود، بنابراین ماشین‌ها از نوع ماشین‌های موازی غیرمرتبط خواهند بود. مدت زمان تخصیص داده شده به هر مورد به‌صورت بازه‌ای است چرا که در هر مورد، تنوع عوارض به‌گونه‌ای است که زمان خاص خودش را می‌طلبد، بنابراین هر بازه شامل یک عدد در ابتدا و یک عدد در انتهای بازه است که کمترین زمان و بیشترین زمان ممکن برای درمان کامل

جدول ۲: فعالیت‌های درمانی و مدت زمان آن

ردیف	فعالیت درمانی	مدت زمان (دقیقه)
۱	جراحی قلب	۱۸۰-۳۶۰
۲	پانسمان سوختگی نوع دو	۴۵-۶۰
۳	پانسمان سوختگی نوع سه	۶۰-۹۰
۴	عمل سزارین	۴۵-۶۰
۵	خون‌ریزی شدید خارجی (ناشی از قطع عضو و یا هر نوع آسیب دیدگی دیگر)	۴۵-۶۵
۶	شکستگی مجسمه	۹۰-۱۲۰
۷	شکستگی دست / پا	۲۰-۳۰
۸	آسیب دیدگی چشم	۶۰-۱۲۰
۹	شکستگی دندان و خون‌ریزی	۶۰-۱۲۰
۱۰	جابه‌جایی مهره‌ها / شکستگی دنده‌ها	۶۰-۱۲۰
۱۱	شکستگی لگن	۹۰-۱۲۰
۱۲	شکستگی بینی	۱۵-۳۰
۱۳	پارگی تاندوم	۳۰-۹۰
۱۴	خون‌ریزی معده	۱۵۰-۲۴۰
۱۵	خون‌ریزی شش‌ها / ریه	۱۲۰-۲۴۰
۱۶	درمان عفونت (پانسمان، قطع عضو و غیره)	۱۵-۶۰
۱۷	خون‌ریزی گوش / حلق / بینی	۲۰-۶۰
۱۸	درفتنگی اعضا	۱۵-۱۲۰
۱۹	شکستگی فک و صورت	۹۰-۱۲۰
۲۰	جراحی مغز و اعصاب	۶۰-۲۴۰

جدول ۳: سطوح مختلف درمان

سطح	توضیح
«الف»	در این سطح، تجهیزات مربوط به درمان شخص حادثه دیده به‌طور کامل وجود دارد و درمان به‌صورت <u>خوب</u> انجام می‌شود.
«ب»	در این سطح، بخشی از تجهیزات مربوط به درمان شخص حادثه دیده به‌طور کامل وجود دارد و درمان به‌صورت <u>متوسط</u> انجام می‌شود و برای انجام درمان به‌صورت خوب، به <u>زمان بیشتری</u> نیاز است که <u>۳۰ درصد</u> بیشتر از مدت زمان درمان در اتاق با تجهیزات کامل است.
«ج»	در این سطح، تعداد کمی از تجهیزات مربوط به درمان شخص حادثه دیده به‌طور کامل وجود دارد و درمان به‌صورت <u>ضعیف</u> انجام می‌شود و برای انجام درمان به‌صورت خوب، به <u>زمان بسیار بیشتری</u> نیاز است که <u>۷۰ درصد</u> بیشتر از مدت زمان درمان در اتاق با تجهیزات کامل است.

که هر حادثه دیده، می‌تواند در هر یک از اتاق‌های عمل، درمان شود ولیکن مدت زمان آن در هر یک، دارای بازه‌ی خاصی خواهد بود که به دلیل در دسترس بودن تجهیزات مربوطه است. در واقع چنین فرض شده است که هر عمل در سه سطح انجام خواهد شد که تفاوت این سطوح به دسترسی به تجهیزات آن بستگی دارد.

و یا موقت عارضه (به‌منظور انتقال به بیمارستان مجهزتر) را نشان می‌دهد. زمان‌های جدول ۲ در مواقعی که فعالیت درمانی دقیقاً در اتاق با تجهیزات مخصوص به خود درمان شود، صدق می‌کند. به‌منظور تأثیر صحیح تجهیزات در برنامه‌ریزی، فرض شده است

جدول ۴: سطوح مختلف هر فعالیت درمانی و مدت زمان انجام آن بر حسب دقیقه

ردیف	فعالیت درمانی	اتاق عمل شماره ۱	سطح	اتاق عمل شماره ۲	سطح	اتاق عمل شماره ۳	سطح
		جراحی ها و خونریزی ها		شکستگی ها		سوختگی ها، در رفتگی ها و سایر موارد	
۱	جراحی قلب	۱۸۰-۳۶۰	الف	۲۳۴-۴۶۸	ب	۳۰۶-۶۱۲	ج
۲	پانسمان سوختگی نوع دو	۵۹-۷۸	ب	۷۷-۱۰۲	ج	۴۵-۶۰	الف
۳	پانسمان سوختگی نوع سه	۷۸-۱۱۷	ب	۱۰۲-۱۵۳	ج	۶۰-۹۰	الف
۴	عمل سزارین	۴۵-۶۰	الف	۵۲-۷۸	ب	۸۰-۱۰۲	ج
۵	خونریزی شدید خارجی (ناشی از قطع عضو و یا هر نوع آسیب دیدگی دیگر)	۴۵-۶۵	الف	۵۹-۸۵	ب	۷۷-۱۱۰	ج
۶	شکستگی جمجمه	۱۱۷-۱۵۶	ب	۹۰-۱۲۰	الف	۱۵۳-۲۰۴	ج
۷	شکستگی دست / پا	۳۰-۴۰	ب	۲۰-۳۰	الف	۵۰-۶۵	ج
۸	آسیب دیدگی چشم	۶۰-۱۲۰	الف	۷۸-۱۵۶	ب	۱۰۲-۲۰۴	ج
۹	شکستگی دندان و خونریزی	۷۸-۱۵۶	ب	۶۰-۱۲۰	الف	۱۰۲-۲۰۴	ج
۱۰	جابه جایی مهره ها / شکستگی دنده ها	۷۸-۱۵۶	ب	۶۰-۱۲۰	الف	۱۰۲-۲۰۴	ج
۱۱	شکستگی لگن	۱۱۷-۱۵۶	ب	۹۰-۱۲۰	الف	۱۵۳-۲۰۴	ج
۱۲	شکستگی بینی	۲۰-۴۰	ب	۱۵-۳۰	الف	۲۶-۵۱	ج
۱۳	پارگی تاندوم	۳۰-۹۰	الف	۶۵-۱۵۳	ج	۴۰-۱۱۷	ب
۱۴	خونریزی معده	۱۵۰-۲۴۰	الف	۲۵۵-۴۰۸	ج	۱۹۵-۳۱۲	ب
۱۵	خونریزی شش ها / ریه	۱۲۰-۲۴۰	الف	۲۰۴-۴۰۸	ج	۱۵۶-۳۱۲	ب
۱۶	درمان عفونت (پانسمان، قطع عضو و غیره)	۲۰-۷۸	ب	۲۶-۱۰۲	ج	۱۵-۶۰	الف
۱۷	خونریزی گوش / حلق / بینی	۲۰-۶۰	الف	۳۴-۱۰۲	ج	۲۶-۷۸	ب
۱۸	در رفتگی اعضا	۲۰-۱۵۶	ب	۳۴-۲۰۴	ج	۱۵-۱۲۰	الف
۱۹	شکستگی فک و صورت	۱۱۷-۱۵۶	ب	۹۰-۱۲۰	الف	۱۵۳-۲۰۴	ج
۲۰	جراحی مغزو اعصاب	۶۰-۲۴۰	الف	۷۸-۳۱۲	ب	۱۰۲-۴۰۸	ج

برنامه ریزی توالی عملیات در ماشین های موازی غیر مرتبط است، از مدل ارائه شده در بخش ۲ به منظور حل آن استفاده می شود.

اما در ابتدا از الگوریتم تبرید شبیه سازی شده برای حل این مسئله، از مدل بخش ۲ قبل از اعمال عدم قطعیت استفاده می شود. در اینجا لازم است تا با روش آزمایش سطح پاسخ، مقدار مناسب پارامترهای این الگوریتم فرا ابتکاری مشخص شود. دمای اولیه در [۳۰۰-۵۰]، ضریب کاهش دما در [۰/۸۵-۰/۹۹]، تعداد اجرای خارجی در [۴۰۰-۵۰] در نظر گرفته شده اند [۲۷]. علاوه بر این، تعداد اجرای داخلی در [۱۰۰-۱۰] در نظر گرفته شد. با توجه به اطلاعات جدول ۵ که شامل چهار پارامتر γ_1 : دمای اولیه، γ_2 : ضریب کاهش دما، γ_3 : تعداد اجرای خارجی و γ_4 : تعداد اجرای داخلی که بر اساس جدول ۱ طراحی شده است، می باشد و با استفاده از نرم افزار Expert Design 7.0.0، ۳۰ آزمایش به طور تصادفی ایجاد شد.

پس از محاسبه ی فاکتور RPD و قرار دادن آن در نرم افزار Expert Design 7.0.0، مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم تبرید شبیه سازی شده به دست می آید:

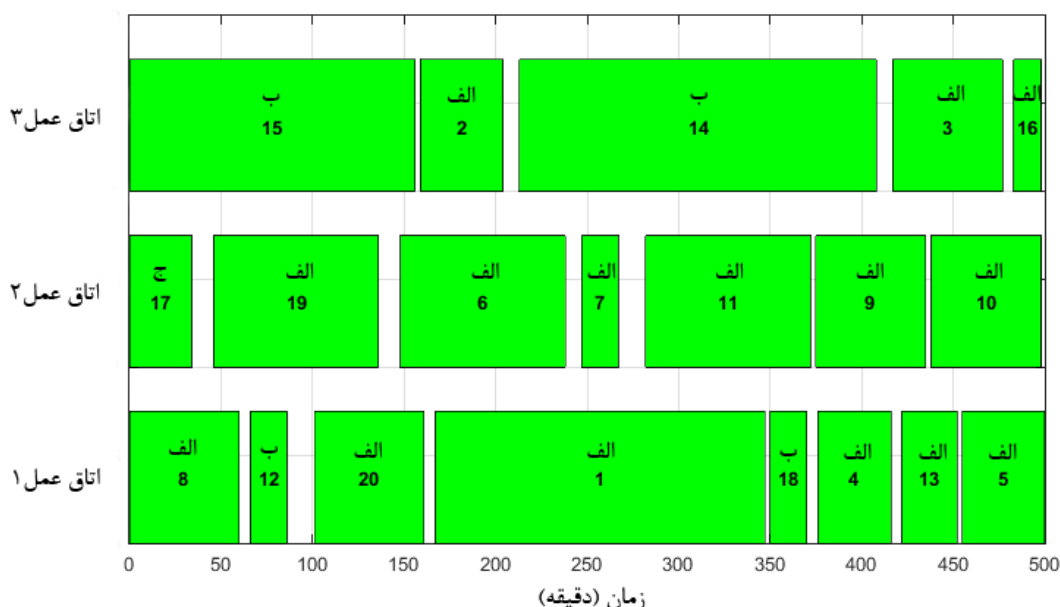
سطح «الف»، سطح «ب» و سطح «ج» که در جدول ۳ نشان داده شده است.

برای نمونه، شکستگی جمجمه در اتاق عمل شماره ۲ در مدت زمان ۹۰ تا ۱۲۰ دقیقه ای در سطح «الف» انجام می شود ولیکن در اتاق عمل شماره ۱ به دلیل در دسترس بودن بخشی از تجهیزات مرتبط به این نوع از عارضه، در مدت زمان ۱۱۷ تا ۱۵۶ دقیقه ای در سطح «ب» (۳۰ درصد بیشتر از حالت با تجهیزات کامل) و در اتاق عمل شماره ۳ در مدت زمان ۱۵۳ تا ۲۰۴ دقیقه ای در سطح «ج» (۷۰ درصد بیشتر از حالت با تجهیزات کامل) انجام می شود. این تفاوت برای هر فعالیت درمانی در جدول ۴ آورده شده است.

واضح است که در جدول ۴، سه اتاق عمل دارای زمان های بازه ای برای انجام هر یک از فعالیت های درمانی هستند. در واقع زمان انجام هر فعالیت دارای عدم قطعیت از نوع روباست (استوار) است. در این مسئله زمان آماده سازی هر یک از تجهیزات به منظور انجام هر فعالیت درمانی، وابسته به اینکه فعالیت قبلی آن چه بوده است یک عدد صحیح و قطعی با توزیع یکنواخت در بازه ۳ تا ۲۴ دقیقه است. از آنجایی که این مسئله دارای تشابهات بسیاری به

جدول ۵: پارامترهای ورودی الگوریتم به عنوان فاکتورهای آزمایش، به مقیاس استاندارد تبدیل شدند

y_1		y_2		y_3		y_4	
-۲	۵۰	-۲	۰/۸۵	-۲	۵۰	-۲	۱۰
-۱	۱۱۲/۵	-۱	۰/۸۸۵	-۱	۱۳۸	-۱	۳۳
۰	۱۷۵	۰	۰/۹۲	۰	۲۲۵	۰	۵۵
۱	۲۳۷/۵	۱	۰/۹۵۵	۱	۳۱۳	۱	۷۸
۲	۳۰۰	۲	۰/۹۹	۲	۴۰۰	۲	۱۰۰



تصویر ۲: برنامه ریزی فعالیت های درمانی در اتاق های عمل، صرف نظر از عدم قطعیت

گاماها بسیار دشوار است. در این تحقیق، به تعیین یک گاما به نمایندگی از همه ی گاماها پرداخته می شود.

به عنوان نمونه، مقدار گاما برابر با ۱۴ در نظر گرفته شده است. در این صورت مدت زمان اتمام درمان ۲۰ فعالیت به ۹۳۵ دقیقه و به عبارت دیگر ۱۵/۶ ساعت رسیده است. حال آن که در حالت قطعی این میزان، ۵۰۰ دقیقه و به عبارتی ۸/۳ ساعت بوده است. افزایش زمان که ناشی از عدم قطعیت است اگرچه مطابق میل تصمیم گیرنده نخواهد بود، ولیکن به برنامه جنبه ی عملی تری می بخشد چرا که تا حدودی عدم قطعیت در مدل لحاظ شده است و این موضوع کمک می کند تا عوامل تصادفی، تأثیر کمتری بر برنامه بگذارند. تصویر ۳، تصویری شماتیک (کلی) از تغییرات برنامه در اثر این عدم قطعیت را نسبت به قبل نشان می دهد.

در تصویر ۳، آن دسته از فعالیت های درمانی که با رنگ سبز نشان داده شده اند، اتاق عملشان تغییری نکرده، اما دسته ی دیگر که با رنگ قهوه ای مشخص شده اند، فعالیت های جابه جا شده هستند. علاوه بر جابه جایی برخی از فعالیت ها از یک اتاق عمل به اتاقی دیگر، ترتیب همه ی فعالیت ها تغییر یافته است. علاوه بر افزایش زمان نهایی خاتمه، سطح انجام فعالیت ها نیز دستخوش تغییرات ناخوشایندی خواهد بود. تعداد فعالیت هایی که در سطح «الف» انجام خواهند شد در حالت قطعی ۱۵ مورد بوده که

$$y_1 = 51/25$$

$$y_2 = 0/8507$$

$$y_3 = 54$$

$$y_4 = 85$$

با به کارگیری پارامترهای بالا در الگوریتم تبرید شبیه سازی شده و صرف نظر از عدم قطعیت مدل، $C_{max} = 500$ می شود و ترتیب انجام فعالیت های درمانی در هر اتاق عمل به صورتی که در تصویر ۲ آمده است، برنامه ریزی می گردد.

در برنامه ریزی صورت گرفته، ۱۵ فعالیت ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۱۹ و ۲۰ در سطح «الف» برنامه ریزی شده اند؛ ۴ فعالیت ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ در سطح «ب» برنامه ریزی شده اند و فقط فعالیت ۱۷ در سطح «ج» برنامه ریزی شده است.

تا به اینجا، برنامه ریزی فعالیت ها بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت و تنها در یک مدت زمان عمل (پردازش) مشخص، انجام شده است. حال آنکه بحث اصلی این تحقیق، بررسی حالت عدم قطعیت در مدت زمان عمل (پردازش) هر فعالیت درمانی است. به طور کل ۱۷۳ گاما در مدل غیرقطعی ارائه شده، وجود دارد که ۱۷۰ عدد از آن ها متعلق به محدودیت ۱۴ و ۳ عدد باقی مانده به محدودیت ۱۶ تعلق دارد. علاوه بر این، هر گاما می تواند مقادیر صفر تا ۶۰ را اختیار کند. حال آنکه تعیین مقادیر تک تک این

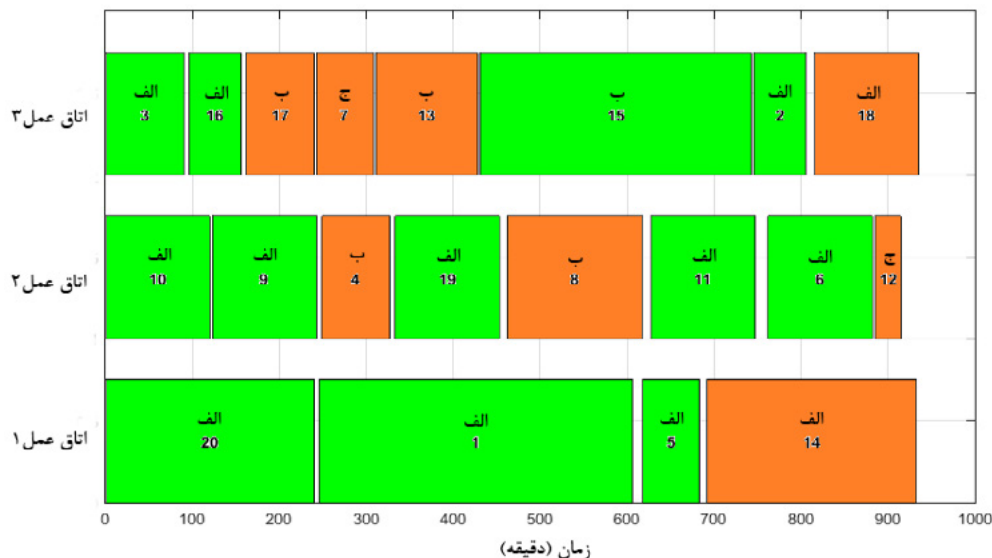
۱۰۶

شماره شانزدهم
پاییز و زمستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرارزش

زمان بندی و توالی عملیات استوار در واحدهای موزی
غیر مرتبط با زمان های غیر قطعی



تصویر ۳: برنامه ریزی فعالیت‌های درمانی در اتاق‌های عمل در حالت عدم قطعیت

سؤالات مربوط به تضمین احتمالی در مورد رضایت محدودیت، یا حد بالای احتمال نقض محدودیت است.

به‌طور کلی، در اعتبارسنجی، می‌توان از دو نوع متدولوژی متفاوت استفاده کرد. متدولوژی نوع اول، احتمال استفاده از اطلاعات مجموعه عدم اطمینان را قبل از حل مسئله می‌یابد و مرز حاصل از آن، یک مرز تئوری احتمالی محسوب می‌شود. روش دوم، این احتمال را به‌طور مستقیم، از حل مدل بهینه‌سازی هم‌تای استوار، به دست می‌آورد که همچنین می‌تواند به‌عنوان بررسی احتمال نقض محدودیت در نظر گرفته شود که محدوده نتیجه نامیده می‌شود. برای هر دو روش، مرزهای احتمالی مختلف را می‌توان با اطلاعاتی با سطوح مختلف عدم اطمینان استخراج کرد [۳۷]. در متدولوژی اول، از ارزیابی اعتبار احتمالی، برتسیماس و سیم در سال ۲۰۰۴، یک حد احتمالی برای "فاصله مثبت چندضلعی" ارائه دادند [۲۵]:

رابطه‌ی ۲۳:

$$Pr\left(\sum_{j \in J_i} \gamma_{ij} \eta_{ij} \geq \tilde{A}_i\right) \leq \exp\left(-\frac{\tilde{A}_i^2}{2|J_i|}\right) \quad i \in M$$

که در آن Γ_i ، تعداد پارامترهایی است که در محدودیت i ام با عدم قطعیت روبه‌رو می‌شوند که می‌تواند مقادیر صفر تا J_i را اختیار کند.

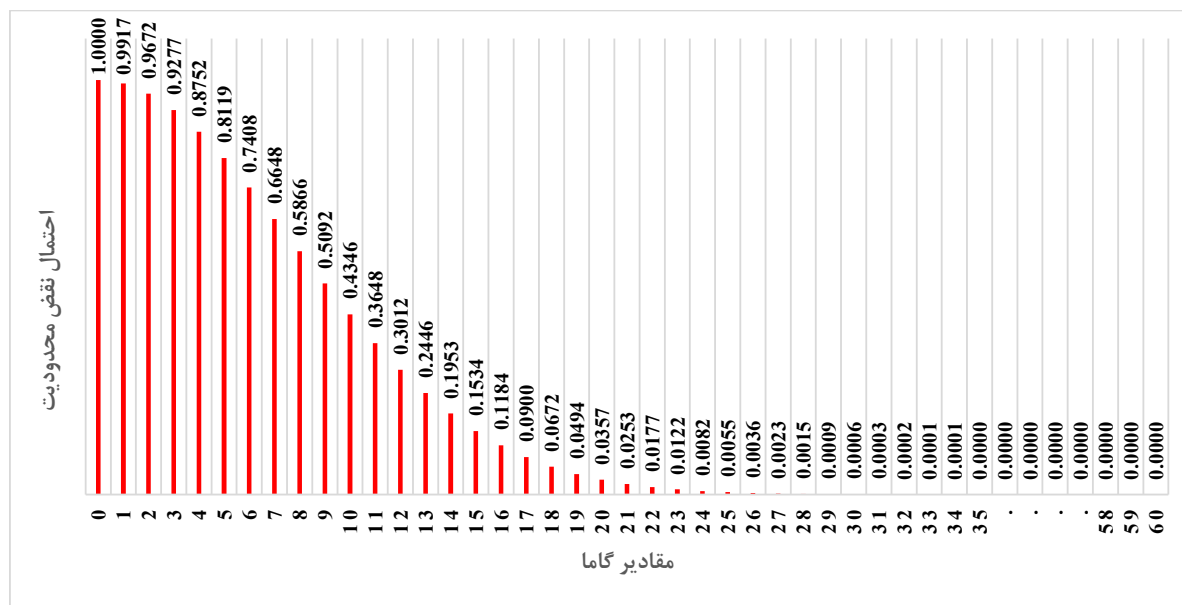
همان‌طور که در تصویر ۴ نشان داده شده است، با افزایش مقدار گاما، میزان احتمال نقض محدودیت کاهش می‌یابد که کاملاً منطقی است، زیرا با افزایش مقدار گاما، تعداد پارامترهایی که با عدم قطعیت روبه‌رو می‌شوند، افزایش می‌یابد و در واقع تعداد بیشتری از پارامترهای غیرقطعی در مدل حضور می‌یابند که این موضوع، موجب می‌شود تا میزان نقض محدودیتی که عدم قطعیت پارامترهای آن منظور شده است، کاهش یابد. اما در کنار این کاهش احتمال نقض محدودیت که افزایش اطمینان از نتایج

به ۱۳ مورد کاهش یافته است. ۵ مورد از فعالیت‌ها در سطح «ب» برنامه‌ریزی شده‌اند و ۲ مورد باقی‌مانده در سطح «ج» در برنامه قرار گرفته‌اند. این کاهش در سطح ارائه‌ی خدمات ریشه در تغییراتی است که عدم قطعیت بر مدل تحمیل کرده است.

اعتبارسنجی مدل

عدم قطعیت استوار در این مدل با استفاده از مفهوم «اعتبارسنجی احتمالی راه‌حل‌های بهینه‌سازی مدل‌های استوار» قابل بررسی است. مجموعه عدم قطعیت که تشکیل دهنده‌ی چهارچوب بهینه‌سازی استوار است، توسط تصمیم‌گیرنده تعریف می‌گردد. اگر مجموعه عدم اطمینان تمام فضای نامشخص را که حاوی تمام موارد ممکن از پارامترهای نامشخص است، پوشش دهد، پس مطمئن است که راه‌حل استوار (اگر وجود داشته باشد) برای هر نوع عدم قطعیت شدنی است (برای مثال، اعتبارسنجی احتمالاتی در مورد برقراری محدودیت، ۱ است). با این حال، در حقیقت، مجموعه عدم قطعیت لزوماً تعریف نمی‌شود تا کل فضای نامشخص را پوشش دهد، زیرا ممکن است تصمیم‌گیرنده به میزان معینی، اجازه‌ی نقض محدودیت را بدهد. برای مثال، غیرممکن است مجموعه‌ای محدود برای پوشش فضای غیرقطعی و نامحدود تعریف شود.

برای یک محدودیت داده شده، اگر یک راه‌حل عملی داشته باشیم و توزیع احتمالی پارامترهای نامشخص را بدانیم، درجه نقض محدودیت دقیقاً همان احتمالی است که محدودیت نقض می‌شود. در مواردی که عدم قطعیت مجموعه تمام فضای نامشخص را پوشش نمی‌دهد، سؤال زیر به‌طور طبیعی به وجود می‌آید: قبل از حل یک مسئله بهینه‌سازی استوار، چه اندازه‌ای از عدم قطعیت لازم است تا اطمینان حاصل شود که میزان نقض محدودیت از یک سطح معینی عبور نکند؟ پس از حل مسئله‌ی بهینه‌سازی استوار، میزان نقض محدودیت چیست؟ پاسخ به این



تصویر ۴: احتمال نقض محدودیت به ازای مقادیر گاما

جدول ۶: مقادیر گاما به ازای احتمال نقض محدودیت

احتمال نقض محدودیت (به طور تقریبی)	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰
گاما	۰	۳	۵	۷	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	≥ ۳۵

شده است. در مدل ریاضی ارائه شده، زمان پردازش فعالیت‌های درمانی با عدم قطعیت مواجه است و از نوع استوار است. با استفاده از مدل ارائه شده توسط برتسیماس و سیم، عدم قطعیت زمان انجام فعالیت‌های درمانی در مدل لحاظ می‌شود. اما پارامترهای قطعی نیز در مدل حضور دارند که زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی در این دسته از پارامترها قرار می‌گیرند. مورد مطالعاتی به کار گرفته شده مربوط به برنامه‌ریزی فعالیت‌های درمانی در اتاق‌های عمل یکی از بیمارستان‌های صحرایی است. به‌کارگیری مدل ارائه شده در یک مورد واقعی هم به جذابیت و هم به پیچیدگی آن افزوده است. به منظور حل مدل از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده استفاده شده است و عملکرد بهترین الگوریتم فرا ابتکاری، با یکی از روش‌های طراحی آزمایش‌ها تحت عنوان روش سطح پاسخ، تضمین شده است. نتایج، تغییرات قابل توجهی را پس از اعمال عدم قطعیت در مدل نشان می‌دهد. میزان تأثیر عدم قطعیت در مدل به نظر تصمیم‌گیرنده بستگی دارد و میزان اعمال آن، میزان تغییرات در برنامه را نسبت به حالت قطعی تعیین می‌کند. علاوه بر این، با افزایش پارامترهای غیرقطعی، سطح کیفیت انجام فعالیت‌های درمانی تغییر می‌کند و به‌طور کل بهتر از حالت قطعی نخواهد بود و از حالت ایدئال فاصله گرفته است ولیکن به واقعیت نزدیک‌تر است.

گفتنی است که اهمیت فعالیت‌های درمانی یکسان در نظر گرفته شده است، حال آنکه می‌توانست اولویت و یا اهمیتی در قالب وزن‌هایی به آن‌ها تخصیص داده شود و در مدل نیز لحاظ گردد. همچنین، استفاده از سایر عدم قطعیت‌ها در مدل مطالعاتی این مقاله، می‌تواند از جمله تحقیقات آتی در این زمینه باشد.

مدل را به همراه دارد و در تصویر ۵ نشان داده شده، مقدار تابع هدف و به تبع آن ترتیب انجام فعالیت‌های درمانی بدتر می‌شود. اگرچه با یکسان در نظر گرفتن مقدار همه‌ی گاماها، از این نوع از پیچیدگی مدل صرف نظر شده است ولیکن بررسی مقادیر صفر تا ۶۰ در گاما، هم در عمل بسیار زیاد بوده و هم نیازی به این همه محاسبات نیست. اما به دلیل پوشش تمام مقادیر گاما از تعدادی از مقادیر شاخص آن برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، استفاده می‌شود. بر این اساس، مقدار گامای متناظر با ۱۱ نقطه را در جدول ۶ در نظر گرفته و به حل مدل می‌پردازیم.

با جاگذاری مقادیر گاما در مدل اصلی، برنامه‌ریزی بهینه از فعالیت‌های درمانی در هر اتاق عمل به دست می‌آید. نتایج حاصل از آن که شامل مقدار C_{max} و برنامه‌ریزی ترتیب فعالیت‌های درمانی در هر اتاق عمل است، در جدول ۷ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار گاما که نشان‌دهنده‌ی سطح عدم قطعیت است، مقدار جواب بهینه بدتر شده است که این امر، نشان‌دهنده‌ی اعتبار مدل است. به عبارت دیگر مدیران بیمارستان‌های صحرایی می‌توانند با کاهش سطح محافظه‌کاری، راهکارهای بهتری را به دست آورند.

نتیجه‌گیری

عدم قطعیت‌ها در جهان پیچیده‌ی امروزی جزء جدایی‌ناپذیر مسائل روزمره هستند. با در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها در مسائل واقعی، می‌توان به سطح قابل اعتمادتری از نتایج دست یافت. در این مقاله نیز به یکی از مسائل پیچیده‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی توالی عملیات در محیطی آکنده از عدم قطعیت پرداخته

جدول ۷: مقدار C_{max} و برنامه‌ریزی ترتیب فعالیت‌های درمانی در هر اتاق عمل به ازای گام‌های مختلف

شماره برنامه	گاما	C_{max}	ترتیب فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده در هر اتاق عمل
۱	۰	۵۰۰	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۲	۳	۵۲۲	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۳	۵	۵۵۱	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۴	۷	۶۰۴	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۵	۸	۶۶۶	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۶	۹	۷۵۶	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۷	۱۰	۸۲۴	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۸	۱۲	۸۸۴	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۹	۱۴	۹۳۵	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۱۰	۱۶	۹۷۲	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۱۱	≥ 35 فرضاً عدد ۳۵	۹۹۰	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳

6. Branch and Check
7. Adaptive Large Neighborhood Search
8. Variable Neighborhood Search
9. Multi-Start Algorithm
10. Tabu Search
11. Ant Colony Optimization
12. Simulated Annealing
13. auxiliary resources
14. Eligibility constraints
15. Memetic algorithm

استفاده از سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری و ترجیحاً ابتکاری نیز پیشنهاد می‌شود.

پی‌نوشت

1. identical
2. proportional
3. unrelated
4. Iterated Greedy Algorithm
5. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

۱۰۹

شماره شانزدهم

پاییز و زمستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



زمان بندی و توانایی عملیات استوار در واحدهای موازی
غیرمرتبط با زمان‌های غیرقطعی

parallel machine scheduling problem with auxiliary resources in semiconductor manufacturing. *Journal of Scheduling*, 19(4), 367-376.

12. Alcan, P., & Başlıgil, H. (2012). A genetic algorithm application using fuzzy processing times in non-identical parallel machine scheduling problem. *Advances in Engineering Software*, 45(1), 272-280.
13. Balin, S. (2012). Non-identical parallel machine scheduling with fuzzy processing times using robust genetic algorithm and simulation. *Int J Innov Comput Inf Control*, 8(1), 727-745.
14. Liao, T. W., & Su, P. (2017). Parallel machine scheduling in fuzzy environment with hybrid ant colony optimization including a comparison of fuzzy number ranking methods in consideration of spread of fuzziness. *Applied Soft Computing*, 56, 65-81.
15. Torabi, S. A., Sahebjamnia, N., Mansouri, S. A., & Bajestani, M. A. (2013). A particle swarm optimization for a fuzzy multi-objective unrelated parallel machines scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 13(12), 4750-4762.
16. Naderi-Beni, M., Ghobadian, E., Ebrahimnejad, S., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). Fuzzy bi-objective formulation for a parallel machine scheduling problem with machine eligibility restrictions and sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Research*, 52(19), 5799-5822.
17. Breeze, J., Gibbons, A. J., Combes, J. G., & Monaghan, A. M. (2011). Oral and maxillofacial surgical contribution to 21 months of operating theatre activity in Kandahar Field Hospital: 1 February 2007-31 October 2008. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49(6), 464-468.

۱۸. ۲۰. منوچهری، شهرام؛ حسین زاده، سامان؛ رسولی، حمیدرضا (۱۳۹۶). تسهیلات و ساختار بیمارستان‌های صحرایی: مروری بر الزامات، دومانهامه هوزان ۲ (۳).

۱۹. آتش پنجه، حجت الله؛ دست داده، فرهاد؛ پرین، زهرا (۱۳۹۵). بررسی بیمارستان‌های صحرایی از منظر پدافند غیرعامل، کنفرانس پدافند غیرعامل و توسعه‌ی پایدار، تهران، وزارت کشور.

۲۰. افتخاری، عادل؛ میرزایی، سمانه (۱۳۹۵). مروری بر نقش و اهمیت بیمارستان‌های صحرایی در بلایا، اولین کنفرانس ملی تحول و نوآوری سازمانی با رویکرد اقتصاد مقاومتی، مشهد، دانشگاه علوم پزشکی مشهد.

۲۱. اردهالی، سیدحسین (۱۳۸۴). اصول راه‌اندازی بیمارستان صحرایی، دومین همایش علمی تحقیقی مدیریت امداد و نجات، تهران، مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی هلال ایران.

۲۲. پیوندی، پریوش؛ نصیری، احسان (۱۳۸۴). مطالعه و بررسی ساخت بیمارستان صحرایی (سیار) یکصد تختخوابی، دومین همایش علمی تحقیقی مدیریت امداد و نجات، تهران، مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی هلال ایران.

۲۳. ملا داودی، حسن؛ پایدار، محمد مهدی؛ صفایی، عبدالستار (۱۳۹۴). مکان‌یابی بیمارستان‌های صحرایی با رویکرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی،

16. Particle Swarm Optimization
17. Robust
18. Response surface method
19. Central Composite Design

منابع

1. Pinedo, M. (1995). Scheduling: theory, algorithms and applications. *Scheduling: Theory, algorithms and applications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
2. Conway, R. W., Maxwell, W. L., & Miller, L. W. (2003). *Theory of scheduling*. Courier Corporation.
3. Beker, K. R. (1974). *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wiley & Sons Inc. West Sussex, UK.
4. Rodriguez, F. J., Lozano, M., Blum, C., & García-Martínez, C. (2013). An iterated greedy algorithm for the large-scale unrelated parallel machines scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 40(7), 1829-1841.
5. Rodriguez, F. J., Blum, C., García-Martínez, C., & Lozano, M. (2012). GRASP with path-relinking for the non-identical parallel machine scheduling problem with minimising total weighted completion times. *Annals of Operations Research*, 201(1), 383-401.
6. Tran, T. T., Araujo, A., & Beck, J. C. (2016). Decomposition methods for the parallel machine scheduling problem with setups. *INFORMS Journal on Computing*, 28(1), 83-95.
7. Avalos-Rosales, O., Angel-Bello, F., & Alvarez, A. (2015). Efficient metaheuristic algorithm and re-formulations for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence and machine-dependent setup times. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(9-12), 1705-1718.
8. Rocha, P. L., Ravetti, M. G., Mateus, G. R., & Pardalos, P. M. (2008). Exact algorithms for a scheduling problem with unrelated parallel machines and sequence and machine-dependent setup times. *Computers & Operations Research*, 35(4), 1250-1264.
9. Lin, Y. K., & Hsieh, F. Y. (2014). Unrelated parallel machine scheduling with setup times and ready times. *International Journal of Production Research*, 52(4), 1200-1214.
10. Liao, T. W., Chang, P. C., Kuo, R. J., & Liao, C. J. (2014). A comparison of five hybrid metaheuristic algorithms for unrelated parallel-machine scheduling and inbound trucks sequencing in multi-door cross docking systems. *Applied Soft Computing*, 21, 180-193.
11. Bitar, A., Dauzère-Pérès, S., Yugma, C., & Roussel, R. (2016). A memetic algorithm to solve an unrelated

۱۱۰

شماره شانزدهم
پاییز و زمستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرار
بهرار

زمان‌بندی و توالی عملیات استوار در واحدهای موازی غیرمرتبط با زمان‌های غیرقطعی

کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین پژوهشی در مهندسی صنایع و
مهندسی مکانیک، تهران، موسسه آموزش عالی نیکان.

24. Avalos-Rosales, O., Alvarez, A. M., & Angel-Bello, F. (2013, June). A Reformulation for the Problem of Scheduling Unrelated Parallel Machines with Sequence and Machine Dependent Setup Times. In *ICAPS*.

25. Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations research*, 52(1), 35-53.

۲۶. فتاحی، پرویز (۱۳۹۰). *الگوریتم‌های فراابتکاری*. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

27. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *science*, 220(4598), 671-680.

۲۸. افتخاری، عادل؛ میرزایی، سمانه (۱۳۹۵). مروری بر نقش و اهمیت بیمارستان‌های صحرایی در بلایا، اولین کنفرانس ملی تحول و نوآوری سازمانی با رویکرد اقتصاد مقاومتی، مشهد، دانشگاه علوم پزشکی مشهد.

29. Marković, D., & Petrović, G. (2012). Assessing the performance of improved harmony search algorithm (IHSA) for the optimization of unconstrained functions using Taguchi experimental design. *Scientific research and essays*, 7(12), 1312-1318.

30. Montgomery, D. C. (2001). Design and analysis of experiments John Wiley. New York.

۳۱. ولانی، محمدرضا؛ بهنامیان، جواد (۱۳۹۲). مقایسه‌ی روش‌های طراحی آزمایش تاگوچی و سطوح پاسخ در تنظیم بهینه پارامترهای الگوریتم هارمونی سرچ، دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، دانشگاه تهران.

32. Jourdan, L., Dhaenens, C., & Talbi, E. G. (2006, October). Using datamining techniques to help metaheuristics: A short survey. In *International Workshop on Hybrid Metaheuristics* (pp. 57-69). Springer, Berlin, Heidelberg.

33. <http://www.powershow.com/>. Intelligent System Design Lab, Gwagiu institute of Science and technology.

34. <http://www.irna.ir/fa/News/82732715> .

35. <https://www.tasnimnews.com/fa/news/1396/08/23/1573768/%D8%A7%D9%88%D9%84%DB%8C%D9%86-%D8%B9%D9%85%D9%84-%D8%B1%D8%A7%D8%AD%DB%8C-%D9%85%D8%BA%D8%B2-%D8%AF%D8%B1%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%88%D8%B2%D9%84%D8%B2%D9%84%D9%87-%D8%B2%D8%AF%D9%87-%D8%B9%DA%A9%D8%B3>.

36. Li, Zukui, Qihua Tang, and Christodoulos A. (2012). Floudas. A comparative theoretical and computational study on robust counterpart optimization: II. Probabilistic guarantees on constraint satisfaction.

توسعه‌ی مدل شعاع پوشش متغیر برای مکان‌یابی مراکز توزیع در لجستیک امدادی تحت عدم قطعیت تقاضا

سید محمد مهدی بنی حسینی*: کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع - صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
وحید برادران: استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

با توجه به پیامدهای ناگوار حوادث غیرمترقبه که رخ داد آن‌ها عمدتاً اجتناب‌ناپذیر و غیرقابل پیش‌بینی است، برنامه‌ریزی و آمادگی قبل از وقوع حوادث برای کاهش پیامدهای آن‌ها و مدیریت بحران اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از جنبه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت بحران، احداث مراکز امداد به تعداد و مکان مناسب برای پاسخ‌گویی سریع به آسیب‌دیدگان احتمالی پس از وقوع حادثه است. در این مقاله مسئله‌ی مکان‌یابی مراکز امداد در لجستیک امدادی مشروط به اینکه زمان رسیدن به تمام نقاط حادثه از یک مقدار تعیین شده بیشتر نباشد، در قالب مسئله‌ی مکان‌یابی با مدل شعاع پوشش متغیر بررسی شده است. اینکه جمعیت نیازمند به امداد (تقاضا) تابع شدت حادثه است و به‌طور قطع قبل از وقوع مشخص نیست، در مدل ارائه شده به صورت عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه‌ی استوار (کمینه‌کردن هزینه‌های لجستیک و حداکثر کردن جمعیت تحت پوشش) مشروط به غیرقطعی بودن تقاضا در نقاط حادثه ارائه شده تا تعداد، مکان، میزان پوشش و ظرفیت انواع مراکز امدادی با سطوح خدمت‌دهی متفاوت را تعیین کند. برای اعتبارسنجی مدل، منطقه‌ی سه تهران بزرگ به منزله‌ی مطالعه‌ی موردی بررسی شده تا تعداد و مکان احداث مراکز امدادی به همراه ظرفیت و نوع خدمات آن‌ها در زمان حوادث احتمالی با شدت‌های متفاوت تعیین شود. نتایج حل مدل با داده‌های مطالعه‌ی موردی نشان‌دهنده‌ی نیاز به ۵ مرکز امداد با توزیع مناسب در این منطقه است که قادر به پوشش ۹۰ درصدی کلیه‌ی نقاط بالقوه‌ی حادثه است.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی تسهیلات امدادی، لجستیک امداد، حداکثر پوشش، شعاع پوشش متغیر، بهینه‌سازی استوار

Development of Variable Radius Covering Model for Locating Relief Facilities under Demand Uncertainty

Seyed Mohammad Mehdi Bani-Hosseini^{1*}, Vahid Baradaran²

Abstract:

Crisis Management includes planning and readiness to respond to the inevitable and unpredictable natural disasters. One of the aspects of crisis planning and management is the establishment of relief centers in suitable locations for responding promptly to potential victims after the disasters. In this paper, the problem locating relief centers in relief logistics is investigated in the framework of the problem of locating with the variable coverage radius model. It is assumed that the time to reach all points of the demands is not greater than a predetermined value. Since the population in need of relief (demand) is a function of the severity of the disaster and certainly is not determined before the occurrence, the proposed model is considered uncertain. In this paper, a robust two-objective mathematical planning model (minimizing logistics costs and maximizing the covered population) is developed with uncertain demand to determine the number, location, coverage, and capacity of different relief centers with different service levels. To evaluate the validity of the proposed model, one of the districts of Tehran was studied as a case study to determine the number and location of the relief centers, along with their capacity and type of service. The results in the case study show we need to construct five relief centers with appropriate distribution in the region which capable of to cover 90 percent of all potential demand points.

Keywords: Relief facilities, Relief logistic, maximum coverage, variable coverage radius, Robust Optimization.

1 - Msc. Industrial Engineering Department, Engineering Faculty, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran.

2 - Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Engineering Faculty, Hakimieh, Chamanara Avenue, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran.

۱۱۳

شماره شانزدهم

پاییز و زمستان

۱۳۹۸

دوفصلنامه

علمی و پژوهشی



مقدمه

سالانه بیش از ۵۰۰ فاجعه سیاره‌ی ما را تهدید می‌کند که به کشته شدن ۷۵۰۰۰ نفر و تأثیر بر روی ۱۰۰ میلیون نفر دیگر منجر می‌شود. طبق آمار و ارقام، گستره‌ی جغرافیایی ایران از نظر احتمال وقوع حوادث طبیعی مقام پنجم تا دهم کشورهای حادثه‌خیز دنیا را دارد [۱]. مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایا، پراکندگی تعداد بلایای طبیعی به تفکیک هر کشور طی سال‌های ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۵ را مطابق تصویر ۱ منتشر کرده است. همان‌طور که در این تصویر مشخص است، ایران از جمله کشورهایی است که تعداد حوادث در آن بالاست. به‌ویژه واقع شدن کشور ما بر روی کمربند زمین‌لرزه‌ی آلپ- هیمالیا باعث شده از نظر وقوع زمین‌لرزه، یکی از آسیب‌پذیرترین بخش‌های کره‌ی زمین باشد. طبق گزارشات ارائه شده، یکی از شش زمین‌لرزه‌ی بزرگ دنیا در ۳۰ سال گذشته زمین‌لرزه‌ی سال ۱۳۶۹ منجیل- رودبار بوده که بیش از ۴۰۰۰۰ تلفات به‌جا گذاشته است [۲]. با این شرایط توجه به موضوع مدیریت بحران و برنامه‌ریزی برای مقابله با حوادث احتمالی و کاهش پیامدهای ناشی آن ضروری است.

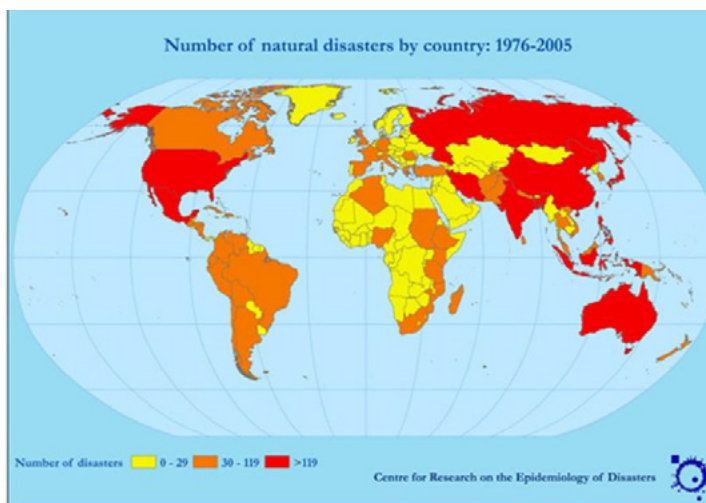
در کسب و کارهای اقتصادی هرگاه صحبت از تقاضا و تأمین آن در میان باشد، احداث مراکز توزیع اهمیت می‌یابد. این مراکز با هدف کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، کاهش موجودی‌های اطمینان و جلوگیری از کمبود ایجاد می‌شوند. اما اگر تأمین نیاز و برآورد تقاضای مردم یک شهر در شرایط اضطرار و رخداد بلایا در شهرها مثل سیل، زلزله، حملات تروریستی مطرح باشد، تأمین تقاضا در کمترین زمان ممکن نقش حیاتی پیدا می‌کند و عدم برآوردن تقاضا در زمان تعریف‌شده خسارات غیرقابل جبرانی ممکن است در پی داشته باشد. در این شرایط، وجود مراکز توزیع اهمیت ویژه‌ای می‌یابند. همچنین بلایا منجر به درخواست‌های گسترده‌ای می‌شوند که اغلب بیش از منابع است. فرایند برنامه‌ریزی، مدیریت و کنترل جریان منابع برای امدادسانی به مردم متأثر را لجستیک امداد می‌نامند. هدف لجستیک امداد

فراهم کردن کمک‌های بشردوستانه به شکل غذا، آب، دارو، پناهگاه و تأمین مناطق بحران‌زده است.

اینکه مراکز امدادی به تعداد مناسب و در مکان مناسب برای ارائه‌ی خدمت به بیشترین جمعیت حادثه‌دیدگان احداث شوند، یکی از مسائل برنامه‌ریزی و مدیریت بحران است. لذا مسئله‌ی اصلی در مدیریت بحران و لجستیک امداد مکان‌یابی مراکز امدادی است.

مکان‌یابی به معنای قرارگیری تسهیلات در یک فضای مفروض است. دانش مکان‌یابی به‌منزله‌ی زیرمجموعه‌ای از روش‌های بهینه‌سازی و قواعد مدل‌سازی و حل آن است که استفاده از آن‌ها به انتخاب صحیح موقعیت‌های مناسب برای ایجاد و توسعه‌ی تجهیزات، تأسیسات زیربنایی و مراکز خدماتی آینده می‌انجامد و یکی از فعالیت‌های اصلی برنامه‌ریزان استراتژیک به شمار می‌آید. مسائل مکان‌یابی و تخصیص جزء مسائل NP-hard محسوب می‌شوند [۳]. در این مسائل باید به‌طور هم‌زمان تعداد تسهیلات، مکان آن‌ها و نحوه‌ی تخصیص مشتریان به هر مرکز تعیین گردد. تعیین مکان‌های مناسب برای تسهیلات جدید (مراکز توزیع) برای ارائه‌ی خدمت به وجود مشتریان مشروط به کاهش هزینه‌های ارتباطی بین مشتریان و تسهیلات جدید، افزایش سرعت خدمت‌رسانی، تأمین بدون کمبود تقاضا و ... تقریباً موضوع اصلی مسئله‌ی مکان‌یابی است.

مسئله‌ی مکان‌یابی یکی از قدیمی‌ترین مسائل تحقیق در عملیات محسوب می‌شود که مطالعه در این حوزه از اوایل قرن بیستم توسط آلفرد وبر^۱ با مکان‌یابی یک انبار برای کمینه‌کردن مجموع فاصله بین انبار تا مشتری‌های مختلف آغاز شده و کاربردهای مختلفی برای آن گسترش یافته است. دسته‌بندی‌های مختلفی برای مسائل مکان‌یابی موجود است. روله و همکاران [۲] این مسائل را به دو گروه بخش خصوصی و دولتی تقسیم کردند. مسائل بخش خصوصی به دنبال بهینه‌کردن هدف مالی (افزایش سود یا کاهش هزینه) و مسائل بخش دولتی، اهدافی مانند دسترسی عموم به تسهیلات را دارند. جیا و همکاران [۴] مهم‌ترین



تصویر ۱: پراکندگی تعداد بلایای طبیعی به تفکیک سال بین سال‌های ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۵ [emdat.be]

معیارها برای طبقه‌بندی مسائل مکان‌یابی را شامل خصوصیات مکان‌شناسی^۲، روش حل، خصوصیات تسهیلات^۳، الگوی تقاضا^۴، نوع زنجیره تأمین^۵، افق زمانی^۶، پارامترهای ورودی^۷ و تابع هدف معرفی کردند.

مسائل حوزه‌ی مکان‌یابی از منظر تابع هدف و معیار در سه دسته‌ی اصلی میانه^۸، مرکز^۹ و پوشش^{۱۰} مطابق تصویر ۲ قرار می‌گیرند. مسائل میانه با هدف کمینه کردن مجموع فاصله‌ها در استقرار سرویس‌های عمومی مانند مدارس و بیمارستان و مراکز پلیس کاربرد دارند. مسائل مرکز به دنبال کمینه کردن حداکثر فاصله بین یک نقطه‌ی تقاضا تا نزدیک‌ترین تسهیل تا آن بوده و در مکان‌یابی سیستم‌های اضطراری، شبکه‌های کامپیوتر و کاربردهای نظامی استفاده می‌شود. دسته‌ی سوم مدل‌های حداکثر پوششی^{۱۱} (MC) که در آن‌ها تأمین تقاضای مشتریان به فاصله‌ی آن‌ها تا مرکز خدمت‌دهنده بستگی دارد، از اصلی‌ترین مدل‌های ریاضی جایابی تسهیلات بر روی شبکه محسوب می‌شوند. در مسئله‌ی پوشش در صورتی مشتری می‌تواند از هر یک از تسهیلات خدمات دریافت کند که فاصله بین مشتری و آن تسهیل کوچک‌تر یا مساوی یک عدد از پیش تعیین شده باشد. این مقدار بحرانی، فاصله‌ی پوشش با شعاع پوشش نامیده می‌شود. این مسائل از نظر پوشش یافتن تمام نقاط یا پوشش یافتن برخی از نقاط، شامل مدل پوشش مجموعه (SCP) و مدل حداکثر پوشش^{۱۲} (MCLP) هستند.

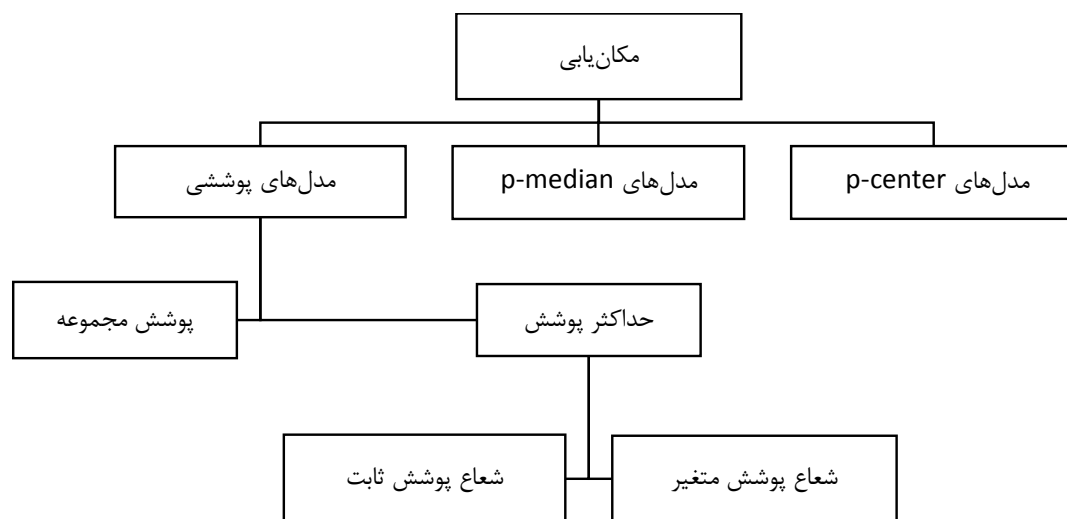
مدل پوشش مجموعه (SCP) که توسط تورگاز [۵] در سال ۱۹۷۱ مطرح شد به دنبال یافتن مکان حداقل تعداد تسهیلات برای پوشش تمام نقاط تقاضاست. از کاستی‌های این مدل می‌توان به بی‌توجهی به محدودیت بودجه‌ی در دسترس برای پاسخ‌گویی کل تقاضا و همچنین برخورد یکسان با تمام نقاط تقاضا بدون توجه به میزان تقاضای هر کدام، اشاره کرد. برای برخورد با چنین شرایطی چرچ و روله [۶] در سال ۱۹۷۴ مدل حداکثر پوشش (MCLP) را با کاربرد در شرایط اضطراری ارائه دادند. تابع هدف فوق به دنبال

حداکثرسازی جمعیتی است که در یک فاصله یا زمان منطقی توسط تعداد محدودی تجهیزات سرویس داده می‌شوند.

یکی از فرضیات اصلی مدل‌های پوشش، ثابت بودن شعاع پوشش است حال آنکه شعاع پوشش اغلب به طور مستقیم وابسته به ویژگی‌های فیزیکی تأسیسات است. برمن و همکاران [۷] فرض شعاع پوشش ثابت را آزاد نموده و مدل را توسعه دادند. هدف آن‌ها تعیین تعداد مکان و شعاع پوشش هر تسهیل برای پوشاندن نقاط تقاضا با حداقل هزینه بود. حکیمی [۸] اولین بار مدل پوشش را به منظور تعیین کمینه تعداد پلیس مورد نیاز برای پوشش دادن گره‌ها در شبکه‌ای از بزرگراه در سال ۱۹۶۵ مطرح نمود.

در سال ۲۰۰۲ برمن و کراس [۹] بر مدل حداکثر پوشش تعمیم‌یافته^{۱۳} (GMCLP) کار کردند. در این مسئله پوشش جزئی^{۱۴} مشتریان در شرایطی که سطح پوشش، تابع پله‌ای از فاصله تا نزدیک‌ترین تسهیل باشد مدل شده است. یک سال پس از آن برمن و همکاران [۱۰] در پژوهشی دیگر بر توسعه‌ی مدل GM-CLP با یک تابع نزولی پوشش تحقیق کردند. به دنبال مقابله با فرضیه‌ی پوشش صفر و یک، دو شعاع پوشش (r , R) در نظر گرفته شده است. تقاضای یک گره در صورتی که فاصله‌ی آن تا نزدیک‌ترین تسهیل، از شعاع کوچک‌تر تجاوز نکند به طور کامل پوشش داده می‌شود و در صورتی که این فاصله بزرگ‌تر از شعاع پوشش باشد تحت پوشش قرار نمی‌گیرد. برای فاصله میان این دو شعاع، سطح پوشش توسط یک تابع نزولی مشخص می‌شود. ازجمله کاربردهای این مدل بحث رضایت مشتری و فرستنده‌های امواج است.

درزنر و همکاران [۱۱] این مسئله را در حالت پیوسته بررسی کردند. آن‌ها در پژوهشی در سال ۲۰۱۰ [۱۲] فرض کردند فاصله‌های حداقل و حداکثر در مدل پوشش تدریجی (r , R) متغیر تصادفی هستند. این تغییر، مدل را به موقعیت‌های واقعی نزدیک‌تر می‌کند. برای مثال مشتریان واقع در یک نقطه ناهمگن بوده و مقادیر مختلفی از فواصل بحرانی را قبول می‌کنند. در این مقاله به کاربردهایی از مدل پوشش تدریجی احتمالی مانند بیشینه کردن



تصویر ۲: دسته‌بندی مدل‌های مکان‌یابی براساس تابع هدف و جایگاه مبحث شعاع پوشش متغیر [نگارندگان]

رضایت مشتری، مکان‌یابی رقابتی، فرستنده‌های رادیو و تلویزیون و پوشش‌دهی خدمات اورژانسی اشاره شده است. آن‌ها مدل را با استفاده از فن بهینه‌سازی کلی «مثلث بزرگ، مثلث کوچک»^{۱۵} حل نموده و تأکید کردند مدل پیچیده‌تر نشده و پیاده‌سازی آن ساده است.

برمن و همکاران [۱۳] در ادامه‌ی توسعه‌ی مدل پوشش تدریجی فرض کردند وزن تقاضاها متغیرهای تصادفی گسسته هستند. در این مدل احتمال اینکه مجموع وزنی تقاضای پوشش داده شده بزرگ‌تر از یک آستانه‌ی معین باشد، بیشینه می‌شود. علی‌رغم توسعه‌های صورت گرفته تحقق برخی از مفروضات اساسی مطرح‌شده، ممکن است واقع‌بینانه نباشد. برای مثال برمن و همکاران [۱۴] به سه فرضیه‌ی اصلی که تابع هدف مسائل پوششی به‌طور ضمنی در بر می‌گیرد، اشاره کردند:

۱. پوشش کامل یا بدون پوشش^{۱۶}: بر این اساس مشتری زمانی تحت پوشش است که درون شعاع پوشش حداقل یک تسهیل قرار گیرد و در غیر این صورت پوشش نمی‌یابد.
۲. پوشش منحصر به فرد^{۱۷}: طبق این فرض پوشش هر مشتری وابسته به نزدیک‌ترین تسهیل است و تسهیلات نزدیک بعدی اثری بر پوشش آن ندارند.
۳. شعاع پوشش ثابت^{۱۸}: شعاع تحت پوشش هر یک از تسهیلات پارامتری ثابت است.

در رابطه با فرضیات اول و دوم پوشش تدریجی^{۱۹} و پوشش مشارکتی^{۲۰} فرضیات را به فضای واقعی نزدیک‌تر نمودند. در رابطه با فرضیه‌ی سوم برمن و همکاران اظهار کردند که تعیین شعاع پوشش با در نظر گرفتن نقاط کاندید و تسهیلات واقعی‌تر است و مدلی ارائه دادند [۶] که در آن شعاع پوشش توسط تصمیم‌گیرنده کنترل می‌شود و هزینه‌ی پوشش‌دهی یک فاصله به‌صورت تابع یکنواخت افزایشی از مسافت است. آن‌ها هدف از مدل را پوشش همه‌ی تقاضا با حداقل هزینه قرار دادند و دو نسخه از مدل را تجزیه و تحلیل نمودند:

۱. نسخه‌ی مسطح^{۲۱} که تسهیلات در یک منطقه‌ی خاص از یک هواپیما واقع شده‌اند.
 ۲. نسخه‌ی گسسته که در آن فرض شده تقاضا از تعداد متناهی نقطه می‌رسند و مکان‌های تسهیلات هم محدود هستند.
- جبل عاملی و همکاران [۱۵] متغیر بودن شعاع را در یک سطح توزیع دو سطحی وارد کردند. توابع هدف این مدل کمینه کردن هزینه‌ی حمل‌ونقل و حداکثر ساختن تقاضای پوشش داده شده هستند، که با استفاده از کران‌دار کردن یکی از توابع هدف و تبدیل آن به محدودیت حل شده است. آن‌ها در مقاله‌ی دیگر [۱۶] با ترکیب ویژگی‌های مدل پوششی تدریجی با مدلی پوشش مشترک و مدل پوشش با شعاع متغیر مدل جدیدی به‌صورت MINLP^{۲۲} فرموله نموده‌اند. تابع هدف این مدل را بیشینه نمودن مجموع وزنی نقاط پوشش یافته قرار داده و از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل استفاده کردند.

در سال ۲۰۱۱ فاضل زرنندی و همکاران [۱۷] زمان‌های سفر فازی را به مدل برمن وارد کرده و مسئله را حل نمودند. بشیری و

فتوحی [۱۸] مسئله‌ی پوشش در فضای گسسته را در شرایطی که شعاع نامشخص است و بر اساس فاصله‌ی بین تسهیلات و نقاط کاندید محاسبه می‌شود، مطرح نمودند. منگ و شیا [۱۹] فاصله‌ی بحرانی (شعاع) را به صورت اتفاقی و وابسته به تمایل مشتری در نظر گرفته و نسخه‌ی جدیدی از مدل پوششی مجموعه را ارائه دادند.

ویسواناس و پیتا [۲۰] راه‌هایی برای به حداقل رساندن هزینه‌ی کل مسیریابی در طول مسیرهای انتخاب شده و بیشینه نمودن تقاضای پوشش داده شده پس از زمین‌لرزه، جستجو کردند. دکل و همکاران [۲۱] مسئله‌ی مکان‌یابی مراکز بهبودی در فجایع^{۲۳} (DRC) در فلوریدا را به کمک مدل کردن آن به شکل پوشش مجموعه به‌صورت دومرحله‌ای حل نمودند. هیل و موبرگ [۲۲] فرایند انتخاب محلی امن را ارائه کردند که می‌تواند شناسایی حداقل تعداد تأسیسات و مکان‌های ممکن برای ذخیره‌سازی، بهره‌وری عملیاتی را متعادل و هزینه‌ها را کاهش دهد. بالسیک و بیمون [۲۳] نوعی از مدل پوشش را ارائه دادند که تصمیمات مکان‌یابی و موجودی را با در نظر گرفتن محدودیت‌های بودجه و ظرفیت، یکپارچه می‌کند. برالدی [۲۴] مقاله‌ی خود را در زمینه‌ی فرموله نمودن و حل یک مدل احتمالی برای تعیین محل بهینه‌ی تسهیلات در سیستم‌های اضطراری متراکم تدوین کرد. مدل حداکثر پوشش ارائه شده توسط پین [۲۵] مسئله‌ی مکان‌یابی پناهگاه‌های اضطراری در زمان گردباد در کشور چین را در نظر گرفت. نولز و همکاران [۲۶] یک راه‌حل دوبخشی را برای حل مسئله‌ی تحویل آب آشامیدنی در موقعیت پس از حادثه معرفی کردند. مورالی و همکاران [۲۷] مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات به‌منظور تحویل دارو در پاسخ به حملات بیولوژیکی در یک شهر بزرگ را مطرح کردند.

لی و همکاران [۲۸] مدل‌های پوشش را برای مکان‌یابی تسهیلات اضطراری از دیدگاه مدل‌های ریاضی و تحقیق در عملیات مرور نمودند. آن‌ها در کنار مدل‌های معمول، پیشرفت‌های اخیر در این زمینه مانند مدل‌های پویای تخصیص، مدل‌های پوشش تدریجی و پوشش مشترک و ... را معرفی کردند. هکتور ترودیز و همکاران [۲۹] یک مدل ریاضی برای مسئله‌ی مکان‌یابی و توزیع ارائه دادند و آن را به کمک یک الگوریتم ژنتیک حل کردند. برزین پور و اسماعیلی [۳۰] یک مدل مکان‌یابی و توزیع چند هدفه به منظور توزیع کالا در مناطق آسیب‌دیده ارائه نمودند و یک مطالعه‌ی موردی بر روی شهر تهران انجام دادند. اسماعیلی و برزین پور [۳۱] در سال ۲۰۱۴ یک مدل چند هدفه‌ی مکان‌یابی و توزیع ارائه داده، سپس الگوریتم ژنتیکی برای حل آن طراحی کردند و مطالعه‌ی موردی برای شهر تهران انجام گرفت. گرانان و همکاران [۳۲] یک مدل شبکه‌ی جریان برای انتخاب تسهیلات توزیع موقت و مکان‌یابی منابع برای برنامه‌ریزی اضطراری ارائه دادند. یه و کیم [۳۳] به این سؤال پاسخ دادند که تسهیلات درمانی نسبت به دیگر تسهیلات در چه ناحیه‌ای قرار داشته باشند که تعداد کل تسهیلات جدید برای کاهش هزینه‌ی پوشش داده

جدول ۱: رابطه‌ی سرمایه‌گذاری در تسهیل با سرعت سرویس دهی و ظرفیت آن [نگارندگان]

ظرفیت (تعداد بسته‌ی امدادی)	سرعت (کیلومتر بر ساعت)	میزان سرمایه‌گذاری (ریال)
Cap ₁	Speed ₁	F ₁
Cap ₂	Speed ₂	F ₂
...	...	...
Cap _k	Speed _k	F _k

می‌شوند. برای هر یک از نقاط نیازمند به امداد می‌توان تعدادی متقاضی (جمعیت حادثه‌دیده) متناسب با جمعیت منطقه در نظر گرفت. اما در شرایط عدم قطعیت به دلیل رخداد حوادث مختلف با احتمال و شدت‌های مختلف، مقدار تقاضا در هر نقطه نیز متفاوت و بستگی به احتمال رخداد نوع حادثه دارد. برای مثال ممکن است در شهر سه نوع زلزله با مقیاس‌های مختلف لرزش (ریشتر) اما با احتمال‌های مختلف رخ دهد. در صورت رخداد هر نوع حادثه، میزان تقاضا به امداد نیز متفاوت و تابع نوع حادثه خواهد بود. مجموعه‌ی حوادث ممکن را مجموعه سناریو با احتمال رخداد‌های مختلف تعریف می‌کنند. فرض می‌شود در هر نقطه‌ی کاندید، امکان احداث یک مرکز امداد با امکانات مختلف و ظرفیت‌های مختلف است. هزینه‌ی احداث هر مرکز تابع سرعت خدمت‌رسانی و ظرفیت مرکز مطابق جدول ۱ است. برای مثال برای احداث مرکز نوع اول با سرعت رسیدن از مرکز امداد تا نقطه‌ی حادثه برابر Speed₁ و ظرفیت Cap₁ نیاز به سرمایه‌ای معادل F₁ واحد پولی است.

مسئله‌ی مقاله عبارت است از تعیین تعداد مراکز امداد مورد نیاز به تفکیک نوع مرکز، محل استقرار آن‌ها در نقاط کاندید، تعیین ظرفیت هر مرکز و ناحیه‌ی تحت پوشش آن در شرایطی که شدت حادثه و جمعیت مورد نیاز به امداد در نقاط تقاضا غیرقطعی و احتمالی است. به عبارت دیگر در این مسئله باید به این سؤالات پاسخ داده شود: اول: در یک نقطه‌ی کاندید آیا باید مرکز امدادی احداث شود یا خیر؟ دوم: نوع مرکز امداد (با سرعت امدادی و ظرفیت مشخص) در یک نقطه‌ی کاندید منتخب چه باشد؟ سوم: ظرفیت هر مرکز امداد چند بسته‌ی امدادی باید باشد؟ و چهارم: هر مرکز احداثی چه مناطقی را باید تحت پوشش قرار دهد؟ پاسخ به تمامی این سؤالات مشروط به کمینه کردن کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، حمل و نقل و نگهداری کالاهاست و اینکه در صورت وقوع حادثه زمان رسیدن به نقطه‌ی حادثه کمتر از زمان تعیین شده باشد (این محدودیت همان موضوع شعاع پوشش متغیر مسئله است که با احداث مراکز مختلف با سرعت‌های خدمت‌رسانی مختلف، زمان رسیدن به نقطه‌ی حادثه از زمان تعیین شده کمتر است). سایر مفروضات زیر مسئله عبارتند از:

- برنامه‌ریزی تک دوره‌ای و قبل از وقوع بحران است.
- استفاده از آمار بلایای رخ داده در گذشته، احتمال وقوع هر سناریو و میزان تقاضای پیش‌آمده‌ی هر نقطه‌ی تقاضا با توجه به وقوع هر سناریو از قبل معلوم است.
- هر نقطه‌ی آسیب با تقاضا می‌تواند فقط توسط یک مرکز سرویس دهی شود و هر مرکز امداد به چندین نقطه‌ی تقاضا امدادسانی می‌کند.

شده بدین منظور آن‌ها از روش بهینه‌سازی فضایی با استفاده از سیستم اطلاعاتی جغرافیایی بهره گرفتند.

در مورد نتایج ادبیات و پیشینه‌ی تحقیق می‌توان اشاره کرد که مدل‌های مکان‌یابی با شعاع پوشش برای مسائل مکان‌یابی مراکز امداد در لجستیک امداد که موضوع آن‌ها برآوردن تقاضای عموم، رعایت عدالت و برآوردن تقاضا در زمان تعریف شده است، مناسب است. هر چند مسئله‌ی پوشش با شعاع متغیر اولین بار در سال ۲۰۰۹ مطرح شده است، اما توسعه‌های کمتری نسبت به مسائل مشابه بر آن در سال‌های اخیر شده است. در مدل ارائه شده توسط برمن اگرچه شعاع را متغیر فرض کرده و آن را تابعی از هزینه می‌بیند اما در فرض جایگزین، نمایش این وابستگی به صورت یک تابع پوسته‌ی غیر نزولی در برخی شرایط غیرمنطقی می‌نماید، زیرا که همیشه به ازای هر واحد افزایش سرمایه‌گذاری توان سیستم افزایش نمی‌یابد و معمولاً یک روند پلکانی وجود دارد. مهم‌تر از همه اینکه تقاضا (نقاط حادثه) در شهر قطعی نیست و عدم قطعیتی برای تقاضا وجود دارد که باید در مسئله‌ی مکان‌یابی در نظر گرفته شود.

با شناخت شکاف‌های موجود در ادبیات، شرایط حاکم بر مسئله، و بررسی مدل‌های پایه (مدل برمن [۷] با رویکرد شعاع پوشش متغیر و مدل حداکثر پوشش بالسیک و بیمون [۲۳] با رویکرد لجستیک امداد) یک مدل مکان‌یابی حداکثر پوشش با در نظر گرفتن تسهیلات امداد با شعاع پوشش متفاوت و وابسته به سرمایه‌گذاری صورت گرفته ارائه شده است. لذا هدف در این مقاله، ارائه‌ی یک مدل ریاضی دو هدفه بر مبنای مدل پایه‌ی مکان‌یابی با شعاع پوشش متغیر در شرایطی که تقاضا قطعی نیست و عدم قطعیتی در تقاضا وجود دارد. عمده‌ی تحقیقات در این حوزه، ظرفیت تسهیلات را یکسان و با اندازه‌ی ثابت در نظر گرفتند، اما در این تحقیق، برای ظرفیت مراکز توزیع با توجه به نوع آن یک حد بالا در نظر گرفته می‌شود که منتج به انتخاب بهترین ظرفیت می‌شود. تعریف دقیق‌تر مسئله در بخش بعدی ارائه شده است.

روش تحقیق و ابزارها

مسئله‌ی مکان‌یابی مراکز امداد در لجستیک امداد عبارت است از مجموعه‌ای نقطه در شهر که امکان احداث مرکز امداد در آن تحت عنوان نقاط کاندید وجود دارد. شهر یا ناحیه‌ی شهری بر اساس منطقه‌ی جغرافیایی و تراکم جمعیت در آن به مجموعه‌ای نقاط تقاضا با مختصات مشخص تقسیم می‌شود. برای مثال مختصات یک مرکز تجاری مهم و یا نقطه‌ی وسط یک محله از جمله نقاط تقاضا به امداد در شرایط بحران محسوب

- هر نقطه‌ی تقاضا می‌تواند به‌طور کامل یا جزئی پوشش یابد.
- یک نوع کالای امدادی در نظر گرفته شده است. بسته‌ی امدادی شامل تمام مایحتاج اولیه‌ی حادثه‌دیدگان است.
- امکان برآورده نشدن کالا در هر سناریو وجود دارد و غیرقابل جبران است.
- انعطاف‌پذیری مدل در تعیین ظرفیت مراکز توزیع.

تعریف متغیرها و پارامترهای مدل

نمادهای مورد استفاده برای مدل‌سازی مسئله به همراه پارامترهای مدل در جدول ۲ معرفی شده‌اند. متغیرهای تصمیم مسئله نیز در جدول ۳ معرفی شده‌اند.

مدل ریاضی مسئله در حالت قطعی

مدل ریاضی مسئله در حالت قطعی (زمانی که تقاضا تصادفی و غیرقطعی نباشد) به صورت زیر توسعه داده شده است.

$$Z_2 = \min \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} f_k Y_{jk} +$$

$$\left(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_k C_{jk} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i g_k d_{ij} X_{ijk} \right)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{jk} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad \text{رابطه ی ۳:}$$

$$Z_{ijk} \leq \alpha_{ijk} Y_{jk} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad \text{رابطه ی ۴:}$$

$$\sum_j \sum_k Z_{ijk} = 1 \quad \forall i \in I \quad \text{رابطه ی ۵:}$$

$$X_{ijk} \leq Z_{ijk} \quad \forall i \in I, j \in J, \forall k \in K \quad \text{رابطه ی ۶:}$$

$$\sum_{i \in I} D_i X_{ijk} = C_{jk} \quad \forall j \in J, k \in K \quad \text{رابطه ی ۷:}$$

$$Z_1 = \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i X_{ijk} \quad \text{رابطه ی ۱:}$$

جدول ۲: نمادها و پارامترهای مدل [نگارندگان]

نماد	تعریف نمادها
I	مجموعه مکان‌های (نقاط) بحرانی در ناحیه یا شهر مورد مطالعه ($i=1, \dots, I$)
J	مجموعه مکان‌های بالقوه احداث مرکز امداد ($j=1, \dots, J$)
K	مجموعه انواع مراکز توزیع امدادی ($k=1, \dots, K$)
Ω	مجموعه سناریوهای تقاضا ($s=1, \dots, S$)
نماد	تعریف پارامترها
D_i	تقاضای ایجاد شده در نقطه‌ی بحرانی i
d_{ij}	فاصله نقطه بحرانی i از نقطه‌ی کاندید j
t	حداکثر زمان مجاز پاسخگویی به تقاضا در یک نقطه نیازمند به امداد
f_k	هزینه‌ی ثابت استقرار مرکز امداد نوع k
b_k	هزینه‌ی ایجاد ظرفیت، تامین و نگهداری برای هر بسته امداد در مرکز امداد نوع k
g_k	هزینه حمل و نقل در واحد مسافت برای هر بسته در مرکز امداد نوع k
u_k	حداکثر ظرفیت تسهیل نوع k
$Speed_k$	سرعت انتقال بسته امدادی از مراکز امدادی نوع k
α_{ijk}	ضریب پوشش: اگر برقراری ارتباط بین نقطه کاندید پیشنهادی j و ناحیه تقاضای i منطقی باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است. $\alpha_{ijk} = 1$ اگر $(d_{ij} / speed_k) \leq t$ و در غیر این صورت صفر است.

جدول ۳: تعریف نماد متغیرهای تصمیم مدل [نگارندگان]

نماد	تعریف متغیرها
Y_{jk}	اگر مرکز امدادی از نوع k در نقطه کاندید j ساخته شود برابر با ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است. این متغیر علاوه بر مکان تسهیل، نوع آن و در نتیجه شعاع پوشش مربوطه را مشخص می‌کند.
Z_{ijk}	اگر مرکز امدادی نوع k در نقطه j به منطقه بحرانی i خدمت‌رسانی کند برابر با ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
X_{ijk}	درصدی از تقاضای منطقه بحرانی i که توسط مرکز امداد نوع k در نقطه‌ی j احداث شده، پوشش داده می‌شود.
C_{jk}	ظرفیت مرکز امداد نوع k که در نقطه‌ی j ساخته شده است.

قطعی و اغتشاشات داده‌های مربوط به پارامترها استفاده می‌شود. مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را در نظر بگیرید که در آن دو دسته محدودیت وجود دارد: یکی با پارامترهای قطعی (محدودیت‌های ساختاری^{۲۵} مدل، $Ax = b$) و دیگری با پارامترهای غیرقطعی (محدودیت‌های کنترلی^{۲۶} مدل، $Bx + Cy = e$). بردار x مجموعه متغیرهای تصمیم مسئله تعریف می‌شوند که ضرایب آن‌ها در محدودیت‌ها قطعی اند و بردار y مجموعه متغیرهای تصمیم با ضرایب غیرقطعی تحت عنوان متغیرهای کنترل^{۲۷} تعریف می‌شود.

$$\text{Min } \xi = c^T x + d^T y \quad \text{رابطه ی ۱۳}$$

s.t.

$$Ax = b$$

$$Bx + Cy = e$$

$$x, y \geq 0; x \in R^{n_1}, y \in R^{n_2}$$

به منظور لحاظ کردن عدم قطعیت پارامترها (ضرایب) متغیرهای کنترلی در مدل ۱۳، مجموعه‌ای سناریو $\Omega = \{1, 2, \dots, S\}$ تعریف می‌شود. به ازای یک سناریو مانند S مجموعه مقادیر قطعی متناسب به ضرایب متغیرهای کنترلی $\{d_s, B_s, C_s, e_s\}$ تعیین می‌شود که این مجموعه دارای احتمال رخداد مشخص P_s است به طوری که $\sum_{s \in \Omega} P_s = 1$. یافتن یک جواب برای مدل ۱۳ که به ازای تمام سناریوها هم موجه و بهینه باشد، دور از انتظار است [۳۴]. در این صورت مدل بهینه‌سازی استوار به دنبال یافتن راه حل استوار^{۲۸} است که برای تمام مقادیر سناریوها نزدیک بهینه باشد و جواب با احتمال بالا موجه نیز باشد [۳۵] و یا به عبارت دیگر جوابی که تحت همه‌ی سناریوها نزدیک بهینه باقی بماند [۳۶]. مجموعه $\{y_1, y_2, \dots, y_s\}$ از متغیرهای کنترلی به ازای سناریوهای $s \in \Omega$ تعریف می‌شود و مجموعه $\{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s\}$ مجموعه‌ای از بردار خطاهاست که مقدار ناوجهی^{۲۹} در محدودیت‌های کنترل تحت سناریوها را اندازه می‌گیرد $(\delta_s = e_s - (B_s x + C_s y_s))$. مالوی و همکاران [۳۴] مدل ریاضی زیر را برای یافتن راه حل استوار مبتنی بر سناریو پیشنهاد دادند.

$$\text{Min } \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s) + \omega \rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s) \quad \text{رابطه ی ۱۴}$$

s.t.

$$Ax = b$$

$$B_s x + C_s y_s + \delta_s = e_s \quad \forall s \in \Omega$$

$$x, y_s \geq 0; x \in R^{n_1}, y \in R^{n_2} \quad \forall s \in \Omega$$

در تابع هدف مدل فوق، دو بخش قرار گرفته که یکی بیانگر مقدار بهینگی و دیگری مقدار انحراف از موجه بودن جواب بهینه استوار است. در واقع تابع هدف ۱۴ به دنبال یافتن جوابی است تا تبادل^{۳۰} بین بهینگی و موجه بودن برقرار نماید. ضریب ω مقدار تبادل بین بهینگی و موجه بودن است.

در تابع هدف $\xi = c^T x + d^T y$ یک متغیر تصادفی است. زیرا به ازای هر سناریو $s \in \Omega$ متغیر ξ_s مقدار $\xi_s = c^T x + d_s^T y_s$ را با احتمال P_s می‌گیرد. یک رویکرد در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی احتمالی قرار

$$C_{jk} \leq u_k Y_{jk} \quad \forall j \in J, k \in K \quad \text{رابطه ی ۸}$$

$$Y_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, k \in K \quad \text{رابطه ی ۹}$$

$$\text{رابطه ی ۱۰}$$

$$Z_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

$$C_{jk} \geq 0 \quad \forall j \in J, k \in K \quad \text{رابطه ی ۱۱}$$

$$\text{رابطه ی ۱۲}$$

$$X_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

تابع هدف اول (۱) بیانگر بیشینه‌سازی جمعیت پوشش داده شده یا بیشینه کردن تقاضای تمام نقاط بحرانی است زمانی که تقاضا قطعی باشد. تابع هدف دوم (۲) بیانگر کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های مربوط به استقرار مراکز توزیع امداد، ایجاد ظرفیت، تأمین، نگهداری کالا و حمل و نقل از مراکز توزیع امداد به نقاط تقاضا است. قابل توجه است که حداقل کردن زمان حمل و نقل خود باعث تسریع خدمت‌دهی می‌شود. همچنین در صورت حذف هزینه‌ی متغیر (ایجاد ظرفیت، تأمین، نگهداری) از این تابع هدف، هر تسهیل حداکثر ظرفیت مربوط به نوع خود را خواهد داشت.

محدودیت ۳ از استقرار بیش از یک مرکز نوع خاص در یک نقطه‌ی کاندید جلوگیری می‌نماید. با این محدودیت امکان احداث چندین مرکز امداد اما نوع خدمات متفاوت در یک نقطه‌ی کاندید وجود دارد. محدودیت ۴ تضمین می‌کند زمانی مرکز j می‌تواند به نقطه‌ی i تخصیص یابد که اولاً استقرار یافته باشد و ثانیاً بتواند آن نقطه را پوشش دهد. محدودیت ۵ الزام می‌نماید به هر نقطه‌ی تقاضا حداقل یک مرکز امداد اختصاص یابد.

محدودیت ۶ میزان برآورد تقاضا توسط مرکز امداد تخصیص یافته را نشان می‌دهد. این تعریف به علت محدودیت ظرفیت تسهیل است، بدین معنا که اگرچه تسهیل z به نقطه‌ی تقاضای i اختصاص یافته اما ممکن است ظرفیت آن کمتر از تقاضای آن منطقه باشد و نتواند تمامی تقاضای ایجاد شده را پاسخ گوید. ظرفیت مراکز در محدودیت ۷ تعیین می‌شوند به طوری که از حد بالای تعریف شده در محدودیت ۸ تجاوز نکنند. محدودیت‌های ۹ تا ۱۲ متغیرهای باینری و غیر منفی بودن متغیرها را نشان می‌دهد.

مدل ریاضی مسئله در شرایط عدم قطعیت

رویکرد دیگری که در سال‌های اخیر برای مقابله با عدم قطعیت داده‌ها و یا وجود اغتشاشات^{۳۴} در داده‌های ورودی به مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی توسعه داده شده، بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو است. در این روش که توسط مالوی و همکاران [۳۴] اولین بار مطرح شد، پارامترهای مدل به صورت مجموعه‌ای مقادیر با احتمال مشخص تحت عنوان سناریو برای بیان عدم

دادن میانگین (امید ریاضی) و واریانس تابع هدف (ξ) در تابع هدف مدل جدید است. لذا می‌توان تابع ۱۵ را به عنوان مقدار بهیگی جواب استوار در مدل ۱۴ قرار داد.

رابطه‌ی ۱۴:

$$\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s) = \sum_{s \in \Omega} p_s \xi_s + \lambda \sum_{s \in \Omega} p_s (\xi_s - \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \xi_{s'})^2$$

در رابطه‌ی ۱۵، $\sum_{s \in \Omega} p_s \xi_s$ معرف امید ریاضی تابع هدف مدل ۱۳، متغیر تصادفی ξ_s و $\sum_{s \in \Omega} p_s (\xi_s - \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \xi_{s'})^2$ بیانگر واریانس متغیر تصادفی ξ_s است. ضریب ثابت λ نیز تبادل بین میانگین و واریانس تابع هدف ξ_s را بیان می‌کند.

عبارت $\rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)$ معیاری برای اندازه‌گیری جریمه انحراف از موجه بودن است که به منظور جریمه کردن نقض و تخطی از محدودیت‌های کنترل با توجه به برخی از سناریوها مدنظر قرار می‌گیرد. مقدار آن را می‌توان واریانس مقدارهای انحراف از موجه بودن زمانی که مثبت و منفی بودن انحراف مهم باشد به صورت $\sum_{s \in \Omega} p_s \delta_s^2$ تعریف کرد و یا از میانگین قدرمطلق انحرافات $\sum_{s \in \Omega} p_s |\delta_s|$ استفاده کرد. اما زمانی که تنها انحرافات مثبت مهم باشد، استفاده از رابطه‌ی $\sum_{s \in \Omega} p_s \max\{0, \delta_s\}$ و یا $\sum_{s \in \Omega} p_s \delta_s$ توصیه می‌شود [۳۴، ۳۵]. اگر در رابطه‌ی ۱۴ مقدار ω صفر انتخاب شود، مدل تنها تابع هدف ۱۵ را بهینه خواهد کرد و ممکن است جواب حاصله موجه نباشد. در صورت انتخاب مقادیر بزرگ‌تر، انحراف از بهیگی ممکن است بیشتر شود [۳۶].

با توجه به غیرخطی بودن رابطه‌ی ۱۵، یو و لی [۳۷] از تابع قدرمطلق به جای توان دو استفاده کردند و روابط ۱۶ را برای خطی کردن آن ارائه دادند. یعنی مجموعه روابط ۱۶ به جای رابطه‌ی ۱۵ در مدل قرار می‌گیرد.

رابطه‌ی ۱۶:

$$\begin{aligned} \text{Min } \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s) &= \sum_{s \in \Omega} p_s \xi_s + \lambda \sum_{s \in \Omega} p_s \left[(\xi_s - \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \xi_{s'}) + 2\theta_s \right] \\ \text{s.t. } \quad \xi_s - \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \xi_{s'} + \theta_s &\geq 0 \quad \forall s \in \Omega \\ \theta_s &\geq 0 \quad \forall s \in \Omega \end{aligned}$$

از آنجا که تقاضا به امداد به طور دقیق و قطعی پس از حادثه در هر منطقه مشخص نیست و برای آنکه مسئله‌ی مکان‌یابی

مراکز امداد نتایج واقعی‌تری داشته باشد و امکان ارائه خدمات بهتر با سرعت بیشتر به حادثه‌دیدگان احتمالی وجود داشته باشد، می‌توان مسئله را با مدل‌های عدم قطعیت و بهینه‌سازی استوار مدل کرد. لذا مدل ریاضی مسئله مکان‌یابی با شعاع پوشش متغیر در حالت قطعی با مدل‌سازی بهینه‌سازی استوار زمانی که تقاضا در هر منطقه قطعی نیست مدل شده است.

در مدل پیشنهادی بهینه‌سازی استوار فرض می‌شود پارامترهای تقاضا در هر نقطه (D_i) دارای ماهیت غیرقطعی هستند. مطابق رویکرد حل مسائل برنامه‌ریزی استوار مبتنی بر سناریو، برای تعریف عدم قطعیت پارامترهای مدل، مجموعه‌ای سناریو $s \in \Omega = \{1, 2, \dots, S\}$ تعریف می‌شود که هر سناریو s احتمال رخداد p_s دارد. به ازای هر سناریو، پارامتر D_i^s تعریف می‌شود که به آن‌ها مقادیر قطعی با احتمال مشخص اختصاص می‌یابد. همان‌طور که پیشتر اشاره شد، متغیرهای تصمیم مربوط به این پارامترها در مدل ریاضی قطعی، متغیرهای کنترلی مدل هستند. بنابراین پارامترها و متغیرهای کنترلی مدل پیشنهادی نیز به صورت جدول زیر خواهد بود.

مدل مکان‌یابی مراکز توزیع و تخصیص منابع برای لجستیک امدادی با شعاع پوشش متغیر در شرایط عدم قطعیت تقاضا بر اساس مدل مالوی [۳۴] به شرح زیر است.

با توجه به اینکه تابع هدف ۱ به صورت ماکزیمم است، با تغییر متغیر مناسب به مینییم تبدیل شده است تا بتوان با توجه به رابطه‌ی ۱۷ با روش مالوی آن را به کار بست. با توجه به اینکه X_{ijk}^s مقداری بین صفر و یک دارد، لذا با جایگذاری مقدار $1 - X_{ijk}^s$ به جای آن در تابع هدف اول، جهت تابع هدف از ماکزیمم به مینییم تغییر می‌یابد. همچنین تابع هدف ۱ با توجه به احتمالی بودن تقاضا تبدیل به متوسط تابع هدف به فرم ۱۷ شده است.

رابطه‌ی ۱۷:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{s \in \Omega} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} p_s D_i^s (1 - X_{ijk}^s)$$

حال با جای‌گذاری تابع هدف ۱۷ با روابط ۱۶ و اضافه کردن محدودیت‌های مربوطه، تابع هدف ۱ در شرایط عدم قطعیت مطابق ۱۸ و محدودیت ۲۰ خواهد بود. البته این بخش تنها بخش اول تابع هدف ۱۴ است. بخش دوم رابطه‌ی ۱۸ مربوط به

جدول ۴: تعریف نماد متغیرهای کنترلی مدل بهینه‌سازی استوار [نگارندگان]

نماد	تعریف متغیرها و پارامترها
p_s	احتمال رخداد سناریوی s (پارامتر مدل)
D_i^s	تقاضا به کالاهای امدادی در ناحیه i اگر سناریوی s رخ دهد (پارامتر مدل)
X_{ijk}^s	درصدی از تقاضای منطقه بحرانی i که توسط مرکز امداد نوع k در نقطه j پوشش داده می‌شود تحت سناریو s .
Z_{ijk}^s	اگر مرکز امدادی نوع k در نقطه j به منطقه بحرانی i اختصاص یابد تحت سناریو s برابر با ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
C_{jk}^s	ظرفیت مرکز امداد نوع k که در نقطه j ساخته شود اگر سناریو s اجرا شود.
Y_{jk}^s	تحت سناریو s ، اگر مرکز امدادی از نوع k در نقطه j کاندید ساخته شود برابر با ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.

اندازه‌گیری مجموعه متغیرهای انحراف از موجه بودن است که شامل جمع متغیرهای کنترلی محدودیت‌های کوچک‌تر مساوی و قدرمطلق محدودیت‌های مساوی است. همان‌طور که قبلاً در روش مالوی اشاره شد، بهینه‌سازی استوار به دنبال کمینه کردن میانگین و واریانس تابع هدف (بخش اول تابع ۱۸) و مجموع انحراف از موجه بودن محدودیت‌ها (بخش دوم تابع هدف ۱۸) است.

رابطه‌ی ۱۸:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & \left(\sum_{s \in \Omega} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} p_s D_i^s (1 - X_{ijk}^s) + \right. \\ & \left. \lambda_1 \cdot \sum_{s \in \Omega} p_s \times \left[\left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i^s (1 - X_{ijk}^s) - \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \cdot \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i^{s'} (1 - X_{ijk}^{s'}) \right) + 2\theta_{1s} \right] \right) + \\ & \omega_1 \left(\sum_{s \in \Omega} p_s \cdot \left(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (\delta_{jk}^{1s} + \delta_{jk}^{6s} + |\delta_{jk}^{5s}|) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (\delta_{ijk}^{2s} + \delta_{ijk}^{4s}) + \sum_{i \in I} |\delta_i^{3s}| \right) \right) \end{aligned}$$

به‌طور مشابه تابع هدف دوم یعنی رابطه‌ی ۲، با توجه به عدم قطعیت تقاضا به صورت تابع ۱۹ و محدودیت ۲۱ تبدیل خواهد شد. تابع هدف ۱۹ نیز شامل دو بخش کمینه کردن میانگین و واریانس تابع هدف ۲ زمانی که تقاضا غیر قطعی باشد و کمینه کردن مجموع انحراف از موجه بودن محدودیت‌ها است. پارامترهای $\lambda_1, \lambda_2, \omega_1$ و ω_2 همان ضرایب اهمیت و تبادل بین واریانس انحراف از میانگین توابع هدف و انحراف از موجه بودن است که مقادیر آن‌ها بر اساس سیاست تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود.

رابطه‌ی ۱۹:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_2 = & \left(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} f_k Y_{jk} + \right. \\ & \sum_{s \in \Omega} p_s \cdot \left(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_k C_{jk}^s + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i^s g_k d_{ij} X_{ijk}^s \right) \\ & + \lambda_2 \cdot \sum_{s \in \Omega} p_s \cdot \left(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_k C_{jk}^s + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i^s d_{ij} X_{ijk}^s g_k \right. \\ & \left. - \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \cdot \left(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_k C_{jk}^{s'} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i^{s'} g_k d_{ij} X_{ijk}^{s'} + 2\theta_{2s} \right) \right) + \\ & \left. \omega_2 \left(\sum_{s \in \Omega} p_s \cdot \left(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (\delta_{jk}^{1s} + \delta_{jk}^{6s} + |\delta_{jk}^{5s}|) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (\delta_{ijk}^{2s} + \delta_{ijk}^{4s}) + \sum_{i \in I} |\delta_i^{3s}| \right) \right) \right) \end{aligned}$$

رابطه‌ی ۲۰:

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i^s (1 - X_{ijk}^s) - \\ & \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \cdot \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i^{s'} (1 - X_{ijk}^{s'}) + \theta_{1s} \geq 0 \quad \forall s \in \Omega \end{aligned}$$

رابطه‌ی ۲۱:

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_k C_{jk}^s + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i^s g_k d_{ij} X_{ijk}^s \\ & - \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \cdot \left(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_k C_{jk}^{s'} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_i^{s'} g_k d_{ij} X_{ijk}^{s'} + \theta_{2s} \right) \geq 0 \quad s \in \Omega \end{aligned}$$

سایر محدودیت‌های مدل با توجه به عدم قطعیت تقاضا به صورت زیر خواهند بود. هر یک از این محدودیت‌ها مربوط به یکی

از محدودیت‌های مدل اولیه (حالت قطعی) است که متغیر کمکی مربوط به آن‌ها برای تبدیل شدن به تساوی به آن‌ها اضافه شده است.

$$\sum_{k \in K} Y_{jk}^s + \delta_{jk}^{1s} = 1 \quad \forall j \in J, s \in \Omega \quad \text{رابطه‌ی ۲۲:}$$

رابطه‌ی ۲۳:

$$Z_{ijk}^s + \delta_{ijk}^{2s} = \alpha_{ijk} Y_{jk}^s \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, s \in \Omega$$

رابطه‌ی ۲۴:

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} Z_{ijk}^s + \delta_i^{3s} = 1 \quad \forall i \in I, s \in \Omega$$

رابطه‌ی ۲۵:

$$X_{ijk}^s + \delta_{ijk}^{4s} = Z_{ijk}^s \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, s \in \Omega$$

رابطه‌ی ۲۶:

$$\sum_{i \in I} D_i^s X_{ijk}^s + \delta_{jk}^{5s} = C_{jk}^s \quad \forall j \in J, \forall k \in K, s \in S$$

رابطه‌ی ۲۷:

$$C_{jk}^s + \delta_{jk}^{6s} = u_k Y_{jk}^s \quad \forall j \in J, k \in K, s \in \Omega$$

رابطه‌ی ۲۸:

$$Y_{jk}^s \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, k \in K, s \in \Omega$$

رابطه‌ی ۲۹:

$$Z_{ijk}^s \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, s \in \Omega$$

رابطه‌ی ۳۰:

$$C_{jk}^s \geq 0 \quad \forall j \in J, k \in K, s \in \Omega$$

رابطه‌ی ۳۱:

$$X_{ijk}^s \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, s \in \Omega$$

رابطه‌ی ۳۲:

$$\theta_{1s} \geq 0; \theta_{2s} \geq 0 \quad \forall s \in \Omega$$

رابطه‌ی ۳۳:

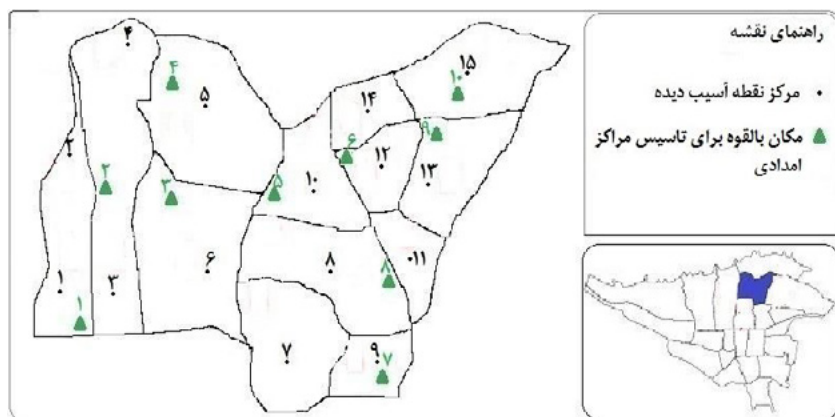
$$\delta_{ijk}^{ts} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, s \in \Omega, t \in \{1, \dots, 6\}$$

تئوری و محاسبات

سیل یکی از رویدادهای طبیعی است که هر ساله موجب بروز تلفات انسانی، دامی و خسارات به ساختمان‌ها، تأسیسات، باغات، کشتزارها و منابع طبیعی می‌شود. شهر 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 سال ۱۳۷۴ بر اثر ۳۲ رویداد سیل، ۲۷۴۱ نفر کشته و هزاران نفر آواره شده‌اند. منطقه‌ی ۳ کلان‌شهر تهران به‌منزله‌ی مطالعه موردی انتخاب شده است، چرا که این منطقه در معرض تهدید سه حوزه‌ی کوهستانی دربند، گلاب دره و سعدآباد و دو زیر حوزه‌ی مقصود بیک و غیاث وند قرار دارد. همچنین شیب

جدول ۵: اسامی محلات به همراه شماره‌ی نقاط آسیب‌دیده در هر محله مربوط به منطقه‌ی ۳ تهران [نگارندگان]

اسامی محلات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
	ونک (۱)	ونک (۲)	آرارات (۱)	آرارات (۲)	امانیه	کاووسیه	اراضی عباس آباد
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
داوودیه	سیدخندان	حسن آباد	قبا	قلهک	دروس	درب دوم	رستم آباد و اختیاریه



تصویر ۳: منطقه‌ی مورد مطالعه [نگارندگان]

۱. در این منطقه ۱۵ مکان پرجمعیت به منزله‌ی نقطه‌ی آسیب (1, ..., 15) در نظر گرفته شده است که در جدول ۵ و تصویر ۳ نشان داده شده‌اند.
۲. ۱۰ مکان بالقوه برای تأسیس مراکز امدادی (1, ..., 10) در مکان‌هایی که احتمال خرابی ناشی از سیل کم است در نظر گرفته شده است. مکان‌های کاندید بر روی تصویر ۳ نشان داده شده‌اند.
۳. برای محاسبه‌ی میزان مسافت‌ها بین دو نقطه‌ی مبدأ و مقصد (منظور از مبدأ هر یک از نقاط کاندید برای احداث مرکز امداد و مقصد هر یک از ۱۵ نقطه کانون تقاضا است)، کوتاه‌ترین مسافت با توجه به مسیرهای اصلی (بزرگراه‌ها و شریان‌های اصلی) یعنی d_{ij} ها به دست آمده است. گفتنی است که برای محاسبه‌ی

قابل محسوس این منطقه که از شمال به جنوب است موجب افزایش خسارت احتمالی در پایین دست منطقه می‌شود. منطقه‌ی ۳، از مناطق شمالی کلان‌شهر تهران است که دارای ۶ ناحیه و ۱۳ محله است و وسعتی معادل ۲۰۸/۳۱ کیلومتر مربع دارد که بر اساس آمار سال ۱۳۹۰ جمعیت آن معادل ۲۹۳۱۸۱ نفر است. نقشه‌ی این منطقه با جزئیات مطابق با جدول ۵ و تصویر ۳ است. به منظور اعتباردهی مطالعه‌ی موردی و همچنین برنامه‌ریزی دقیق در منطقه‌ی سه تهران، به طور عمده از پژوهش‌های صفاری و همکاران [۳۸] و قهرودی و همکاران [۳۹] استفاده شده است. به نظر خیرگان سه سناریو بارش شدید، بارش متوسط و بارش کم ($\Omega = \{1, 2, S = 3\}$) با احتمالات ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۲ (P_s) برای میزان تقاضا به امداد در نظر گرفته شده است. در این مطالعه‌ی موردی مفروضات به طور کامل به شرح زیر است:

جدول ۶: مسافت بین نقاط تقاضا و کاندید برای احداث مراکز امدادی بر حسب کیلومتر [نگارندگان]

نقاط کاندید امداد	نقاط تقاضا														
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۲۰۵۶	۳۰۵	۲۰۲۷	۵۰۵۷	۴۰۴۸	۲۰۹۵	۴۰۷۵	۶۰۵۷	۵۰۹۳	۷۰۸	۸۰۴	۸۰۲	۹۰۴۴	۸۰۳۵	۹۰۷۱
۲	۱۰۸۷	۰۰۹۶	۱۰۱۲	۳۰۴۴	۳۰۷۹	۴۰۲۹	۴۰۸۱	۶۰۵۷	۷۰۶۹	۷۰۵۵	۸۰۴۱	۷۰۹۵	۹۰۳۲	۷۰۷	۸۰۹۷
۳	۳۰۱۳	۲۰۴۵	۲۰۳۶	۵۰۲	۱۰۹۴	۳۰۱۷	۳۰۵۹	۵۰۳۲	۶۰۹۴	۵۰۴۷	۶۰۳۱	۶۰۲۱	۷۰۵۳	۵۰۹۵	۷۰۳۷
۴	۷۰۰۷	۶۰۳۷	۶۰۱۴	۳۰۹۲	۶۰۰۱	۵۰۶	۴۰۸۴	۶۰۵۶	۸۰۸	۴۰۴۵	۶۰۴۱	۵۰۱۹	۶۰۵۳	۴۰۹۵	۶۰۲
۵	۷۰۲۸	۶۰۶۳	۶۰۱۲	۷۰۹۸	۶۰۱۵	۵۰۶۳	۳۰۹۷	۱۰۹۲	۴۰۵۷	۱۰۳۹	۳۰۱	۲۰۶	۴۰۶	۲۰۴	۴۰۴۲
۶	۷۰۶۳	۶۰۷۱	۶۰۵۶	۷۰۵۸	۶۰۴۹	۵۰۱۸	۴۰۲۲	۲۰۶۶	۴۰۱۱	۰۰۷۳	۲۰۳۸	۱۰۱۹	۳۰۲۶	۱۰۳۸	۴
۷	۷۰۸۳	۷۰۸۶	۶۰۷۷	۱۰۰۱	۷۰۷۸	۶۰۱۴	۴۰۵	۵۰۴۶	۱۰۲۳	۵۰۵۵	۳۰۵۳	۴۰۷۸	۴۰۶۳	۵۰۷۶	۶
۸	۷۰۴۷	۷۰۱۷	۵۰۹۸	۹۰۴۳	۶۰۶۷	۴۰۹	۴۰۱۳	۳۰۵۵	۱۰۹	۳۰۳	۱۰۷۸	۲۰۵۵	۲۰۹	۳۰۲۸	۴۰۴۸
۹	۸۰۵۶	۷۰۸۷	۷۰۶	۸۰۵۸	۸۰۲۷	۷۰۱	۶۰۱	۴۰۴۴	۴۰۸۴	۲۰۵۷	۳۰۶	۲۰۵۷	۱۰۱	۱۰۷۴	۱۰۹۳
۱۰	۸۰۷۷	۷۰۸۶	۷۰۸۲	۸۰۸۹	۸۰۵۳	۷۰۶	۶۰۴۶	۴۰۸۳	۵۰۹۲	۳۰۰۷	۳۰۹۵	۲۰۹۶	۲۰۵۳	۲۰۲۵	۰۰۶۷

جدول ۷: تقاضای نقاط مختلف به تفکیک [نگارندگان]

نقطه آسیب	$(D_i^{s=1}, D_i^{s=2}, D_i^{s=3})$	نقطه‌ی آسیب	$(D_i^{s=1}, D_i^{s=2}, D_i^{s=3})$	نقطه‌ی آسیب	$(D_i^{s=1}, D_i^{s=2}, D_i^{s=3})$
۱	(۴۲۸۰, ۶۴۲۰, ۸۵۶۰)	۶	(۸۴۱۴, ۱۲۶۲۲, ۱۶۸۲۹)	۱۱	(۵۲۳۱, ۷۸۴۷, ۱۰۴۶۳)
۲	(۴۲۸۰, ۶۴۲۰, ۸۵۶۰)	۷	(۲۶۸۸, ۴۰۳۲, ۵۳۷۶)	۱۲	(۳۸۸۸, ۵۸۳۲, ۷۷۷۶)
۳	(۴۹۸۲, ۷۴۷۳, ۹۹۶۴)	۸	(۱۶۸۱۹, ۲۵۲۲۹, ۳۳۶۳۹)	۱۳	(۹۰۲۹, ۱۱۲۸۷, ۱۵۸۰۱)
۴	(۴۹۸۲, ۷۴۷۳, ۹۹۶۴)	۹	(۱۱۴۵۰, ۱۷۱۷۶, ۲۲۹۰۱)	۱۴	(۵۳۵۶, ۸۰۳۵, ۱۰۷۱۳)
۵	(۱۰۵۴۵, ۱۵۸۱۷, ۱۸۴۵۴)	۱۰	(۵۸۲۴, ۸۸۳۷, ۱۱۶۴۹)	۱۵	(۱۳۵۳۸, ۲۰۳۰۷, ۲۷۰۷۶)

این مسافت‌ها از سامانه‌ی مسیریاب تهران (سایت مسیریاب تهران) استفاده شده است. مسافت بین نقاط تقاضا (کانون حادثه) و نقاط کاندید برای احداث مراکز امداد در جدول ۶ نشان داده شده است.

۴. میزان پارامتر تقاضا برای امداد در هر یک از ۱۵ نقطه‌ی تقاضا به تفکیک سناریوهای مختلف (D_i^s) در جدول ۷ با توجه به جمعیت ساکن در منطقه و احتمال آسیب به آن‌ها در هر سناریو ارائه شده است. برای این منظور میزان آسیب‌پذیری هر نقطه در جمعیت ساکن منطقه ضرب شده است.

۵. دو نوع مرکز امدادی در نظر گرفته شده است $(k=1, K=2)$ که اولین مرکز دارای خدمات فوری امدادی (سرعت بیشتر) و دومین مرکز دارای خدمات معمولی امدادی (سرعت متوسط) است.

۶. با توجه به نظر خبرگان و کارشناسان هزینه‌ی تأسیس هر مرکز امدادی (f_k) نوع یک، ۳ میلیارد ریال و نوع دو، ۲ میلیارد ریال در نظر گرفته شده است.

۷. هزینه‌ی ایجاد ظرفیت و نگهداری اقلام برای مراکز امدادی (b_k) نوع اول و دوم به ترتیب ۲۰ و ۱۵ میلیارد ریال و هزینه‌ی حمل و نقل برای هر بسته امدادی از مراکز

نوع اول و دوم به ازای هر کیلومتر (g_k) به ترتیب ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

۸. بر اساس سرعت خدمت‌دهی هر یک از دو نوع مراکز امدادی که می‌توان در یک نقطه‌ی کاندید احداث کرد و فاصله‌ی آن تا نقطه‌ی حادثه، مقادیر ضریب پوشش (α_{ijk}) به صورت جدول ۸ محاسبه شده است. ردیف اول شامل (j, k) به ترتیب نام نقطه‌ی کاندید (۱ تا ۱۰) و نوع مرکز امداد (۱ یا ۲) است و ستون اول بیانگر کلیه‌ی ۱۵ نقطه‌ی حادثه (i) است. مقدار صفر درج شده در اولین سطر این جدول $(\alpha_{111} = 0)$ نشان‌دهنده‌ی آن است که اگر در نقطه‌ی کاندید ۱، مرکز نوع یک احداث شود، با توجه به سرعت رسیدن به محل حادثه و فاصله‌ی آن، زمان رسیدن از حد تعریف شده بیشتر است.

به این ترتیب کلیه‌ی پارامترهای مدل ریاضی ارائه شده برای مکان‌یابی مراکز امداد با عدم قطعیت بر اساس واقعیت‌های منطقه‌ی ۳ تهران تعیین شده است. مدل بهینه‌سازی استوار مربوطه با پارامترهای این مطالعه‌ی موردی بازنویسی شده است. با توجه به اینکه در این مسئله دو تابع هدف وجود دارد، مسئله یک مدل ریاضی دو هدفه با توابع هدف غیرخطی (به دلیل وجود

جدول ۸: ضریب پوشش مناطق [نگارندگان]

	(۱,۱)	(۱,۲)	(۲,۱)	(۲,۲)	(۳,۱)	(۳,۲)	(۴,۱)	(۴,۲)	(۵,۲)	(۶,۱)	(۶,۲)	(۷,۱)	(۷,۲)	(۸,۱)	(۸,۲)	(۹,۱)	(۹,۲)	(۱۰,۱)	(۱۰,۲)
۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱
۲	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰
۳	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰
۴	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰
۵	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰
۶	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۷	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰
۸	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
۹	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰
۱۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰
۱۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱
۱۲	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱
۱۴	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱
۱۵	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱

جدول ۹: نتایج محاسباتی برای حالت محدودیت بودجه در دسترس [نگارندگان]

مقدار بودجه در دسترس	مقدار پوشش	تعداد مراکز امدادی تأسیس شده	نقاط انتخابی جهت تأسیس مراکز امدادی نوع ۱	نقاط انتخابی جهت تأسیس مراکز امدادی نوع ۲
۱۰۰ درصد	٪۸۱	۷	۸۵ و ۴ و ۱	۹ و ۷ و ۶
۹۵ درصد	٪۷۵	۷	۸۵ و ۳ و ۱	۱۰ و ۷ و ۶
۹۰ درصد	٪۵۹	۶	۸ و ۴ و ۱	۱۰ و ۷ و ۳
۸۵ درصد	٪۵۴	۵	۱۰ و ۶ و ۴	۷ و ۳
۸۰ درصد	٪۴۸	۴	۱۰ و ۸	۷ و ۳

جدول ۱۰: نتایج محاسباتی برای حالت محدودیت پوشش [نگارندگان]

مقدار پوشش	مقدار بودجه در دسترس (۱۰ ^۸ ٪)	تعداد مراکز امدادی تأسیس شده	نقاط انتخابی جهت تأسیس مراکز امدادی نوع ۱	نقاط انتخابی جهت تأسیس مراکز امدادی نوع ۲
۱۰۰ درصد	۰/۲۳۳۱۴۷	۷	۸ و ۶ و ۴	۱۰ و ۹ و ۳ و ۱
۹۵ درصد	۰/۱۴۴۸۵۱	۶	۶ و ۴	۱۰ و ۹ و ۳
۹۰ درصد	۰/۱۱۲۴۵۱	۵	۶ و ۴	۱۰ و ۸ و ۳
۸۵ درصد	۰/۰۷۴۵۱۲	۵	۸ و ۶	۱۰ و ۵ و ۳
۸۰ درصد	۰/۰۵۱۴۷۲	۴	۸ و ۶	۵ و ۳

تابع هدف دوم که بیانگر بودجه و هزینه‌های مربوطه است در محدودیت‌های مدل ۳۴ قرار گرفته است. مسئله‌ی تک هدفی مذکور با مفروضاتی که شرح داده شد، با استفاده از حل‌کننده CPLEX 24.1 در نرم‌افزار GAMS حل و نتایج در قالب جداول زیر ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول ۹ نشان داده شده، با افزایش مقدار بودجه‌ی در دسترس (مقدار سمت راست تابع هدف دوم که در مدل ۳۴ به‌منزله‌ی محدودیت ارائه شده) به دلیل افزایش تعداد مراکز امدادی شاهد افزایش مقدار پوشش به وجود آمده هستیم. از طرفی با افزایش تعداد مراکز امدادی مشاهده می‌شود که مدل نقطه‌ای را برای مرکز نوع ۱ و نوع ۲ انتخاب می‌کند که این امر برای خدمت‌رسانی بهتر است. لذا مشاهده می‌شود که تابع هدف اول و تابع هدف دوم دارای تضاد هستند. این تضاد در اهداف و دستیابی به نتیجه‌ی انتظاری می‌تواند بیانگر درستی مدل پیشنهادی باشد.

در رویکرد دیگری، تابع هدف هزینه به‌منزله‌ی تابع هدف اصلی در مدل ۳۴ قرار داده شده و تابع هدف میزان پوشش مناطق در محدودیت‌ها قرار گرفته است. جدول ۱۰ نتایج اجرای مدل را با داده‌های مطالعه‌ی موردی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است هرچقدر تصمیم‌گیرندگان بخواهند پوشش منطقه‌ی آسیب‌دیده را بیشتر کنند، نیاز به تأسیس بیشتر مراکز امدادی دارند و در پی این تأسیس بیشتر، هزینه‌های سیستم لجستیک نیز بیشتر می‌گردد.

با توجه به نظر خبرگان و کارشناسان حالت ۹۰ درصد پوشش در جدول ۱۰ به‌منزله‌ی راه‌حل مطلوب از میان راه‌حل‌های پیشنهادی جداول ۹ و ۱۰ انتخاب شده است. همان‌طور که در جدول ۱۰ نیز نشان داده شده، برای این راه‌حل نیاز به پنج مرکز که دوتای آن از

دو تابع قدرمطلق) و محدودیت‌های خطی است. برای خطی‌سازی توابع هدف (حذف توابع قدرمطلق) از رویکرد استفاده شده در رابطه‌ی ۱۶ استفاده شده است. روش‌های حل این نوع مسائل به دو دسته روش‌های دقیق و فراابتکاری تقسیم می‌شوند. از آنجا که ابعاد مسئله زیاد نیست و روش‌های دقیق می‌توانند آن را حل کنند، از روش محدودیت اپسیلون برای حل مدل مذکور استفاده شده است.

برای حل مدل چند هدفه با توابع هدف $f_i(X)$ به کمک روش محدودیت اپسیلون (ϵ -constraint)، مطابق رابطه‌ی ۳۴ یکی از توابع هدف به انتخاب تصمیم‌گیرنده به عنوان تابع هدف مسئله تک هدفه قرار می‌گیرد. سایر توابع هدف به عنوان محدودیت‌ها در مسئله تک هدفه قرار خواهند گرفت. به این ترتیب مسئله چند هدفه به یک مسئله تک هدفه تبدیل می‌شود که با روش‌های مرسوم قابل حل است.

رابطه‌ی ۳۴: $Optimize (Min or Max) f_i(X)$

subject to:

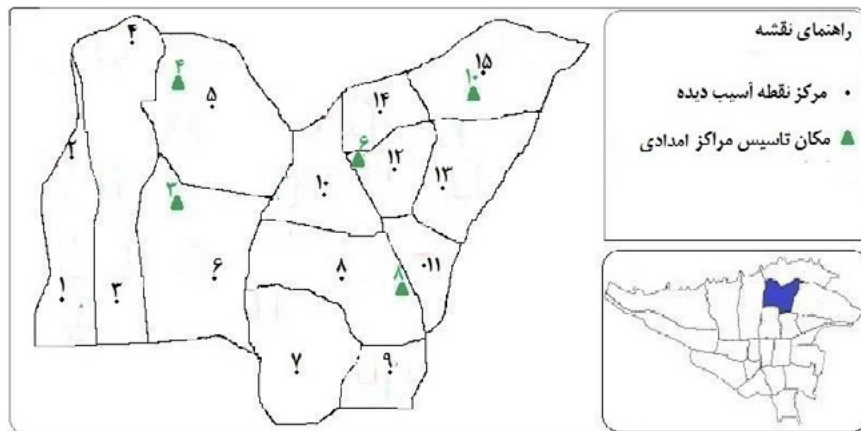
$$f_j(x) \geq \epsilon_j \quad j = 1, 2, \dots, p \text{ and } j \neq i$$

$$X \in S$$

با انتخاب هریک از توابع هدف مسئله‌ی چند هدفه به‌منزله‌ی تابع هدف مدل ۳۴ و تغییر مقادیر سمت راست (RHS) محدودیت‌های توابع هدف (ϵ_j) راه‌حل‌های کارآمد مسئله^۳ به دست می‌آید.

بحث و نتایج

به دلیل اهمیت تابع هدف اول (میزان بیشتر پوشش) این تابع در مدل ۳۴ به‌منزله‌ی تابع هدف اصلی انتخاب شده و



تصویر ۴: مکان های تأسیس مراکز امدادی [نگارندگان]

جدول ۱۱: تخصیص نقاط آسیب دیده به مراکز امدادی [نگارندگان]

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

اول یعنی خدمت رسانی در کمترین زمان ممکن به حادثه دیدگان نسبت به هزینه ها در اولویت بالاتری است اما توجه به هزینه ها در کنار آن در مدل ریاضی ارائه شده مهم است. برای اینکه دنیای واقعی دارای شرایط عدم قطعیت است، مدل به صورت برنامه ریزی تصادفی-استوار ارائه شده است. عدم قطعیت مربوط به تقاضا به امداد در هر یک از نقاط و نواحی شهری است. یقیناً قبل از حوادث نمی توان میزان جمعیت مورد نیاز به امداد را تعیین کرد، زیرا تقاضا تابع شدت حادثه و جمعیت منطقه است. لذا تعدادی سناریو شامل انواع حوادث با جمعیت تقاضا برای امداد به همراه احتمال رخ داد آن ها تعریف شده است. در کنار لحاظ کردن عدم قطعیت تقاضا، این قابلیت در مدل ریاضی فراهم شده تا مراکز امدادی متنوعی با سرعت های متفاوت خدمت دهی احداث شود و حداکثر زمان رسیدن به کانون تقاضا در هر نقطه تقاضا از مقدار معلومی بیشتر نباشد. مدل پیشنهادی قادر به تعیین همزمان تعداد، مکان احداث، نوع مرکز امداد و ظرفیت آن ها به همراه میزان پوشش دهی هر مرکز (تعیین مراکز تحت پوشش یک مرکز امدادی) است. برای حل دو هدفه ی مدل از روش تابع هدف کران دار یا روش اپسیلون محدودیت استفاده شده و قابلیت اجرای آن بر روی یک مثال عددی آزمون شده است. همچنین برای سنجش میزان کارایی مدل و اعتبار سنجی آن، مطالعه ی موردی در منطقه ی سه تهران که سابقه ی بحران سیل را دارد، پیاده سازی گردید و نتایج نشان داد که توابع هدف دارای تضاد می باشند به این مفهوم که هرچقدر تصمیم گیرندگان بخواهند پوشش خدماتی بیشتری به منطقه آسیب دیده بدهند نیاز است تا هزینه ی بیشتری متحمل شوند.

نوع ۱ (با هزینه ی تأسیس و سرعت خدمت رسانی کمتر) و سه مرکز نوع دو (با هزینه و سرعت خدمت رسانی بالاتر) است. تصویر زیر مکان های تأسیس مراکز امدادی در این حالت را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می گردد، در این حالت مدل مراکز را طوری احداث کرده است که هم پوشش مناسبی به منطقه بدهند و هم هزینه های سیستم را مدنظر خود داشته باشند. می توان گفت اهمیت تابع هدف اول و دوم در این حالت به یک اندازه است. همچنین از دیگر خروجی های این مدل پاسخ به این سؤال است که هر کدام از مناطق به کدام مراکز امدادی تخصیص یابند. در جدول ۱۱ تخصیص هر نقطه ی پانزده گانه به پنج مرکز امدادی با اعداد یک نشان داده شده است. مثلاً نقطه ی آسیب دیده ی ۱ به مرکز امدادی شماره ی ۳ تخصیص پیدا می کند. شایسته است که با توجه به جدول ۱۰ مرکز امدادی شماره ی ۳ از نوع دوم یعنی معمولی باشد.

نتیجه گیری

در این مقاله یک مدل برنامه ریزی ریاضی دو هدفه برای حل یکی از مسائل مدیریت بحران ارائه شده است تا مکان و ویژگی های مراکز امدادی مورد نیاز برای ارائه ی خدمت به مناطق تحت پوشش در شرایط بحران را تعیین کند. تابع هدف اول مدل ریاضی ارائه شده حداکثر کردن پوشش مناطق آسیب دیده و تابع هدف دوم حداقل کردن هزینه های لجستیک امداد شامل هزینه های احداث مراکز، نگهداری بسته های امدادی و هزینه های انتقال از مراکز امداد به مناطق حادثه دیده است. هر چند تابع هدف

5. Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. and Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19(6): pp. 1363-1373.
6. Church, R. and Velle, C.R. (1974). The Maximal Covering Location Problem. *Papers in Regional Science*, 32(1): pp.101-118.
7. Berman, O., Drezner, Z., Krass, D., Wesolowsky, G.O. (2009), The variable radius covering problem. *European Journal of Operational Research*, 196(2): p.516-525.
8. Hakimi, S.I. (1965). Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operation Research*, 13: pp. 447-462.
9. Berman, O. and Krass D. (2002). The generalized maximal covering location problem. *Operations Research*, 29(6): pp. 563-581.
10. Berman, O. and Krass, D., and Drezner, Z. (2003). The gradual covering decay location problem on a network. *European Journal of Operational Research*, 151(3): pp.474-480
11. Drezner, T. and Wesolowsky G.O. (2004). The gradual covering problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 51(6): pp.841-855
12. Drezner, T. and Goldstein, Z. (2010). A stochastic gradual cover location problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 57(4): pp. 367-372.
13. Berman, O. and Krass, D. and Wang, J. (2011). The probabilistic gradual covering location problem on a network with discrete random demand weights. *Operation Research*, 38(11): pp. 1493-1500.
14. Berman, O., Drezner Z. and Krass D. (2011). Generalized coverage: New developments in covering location models. *Operation Research*, 37(10): pp. 1675-1687.
15. Jabalameli, M.S., Tabrizi, B.B., and Javadi, M.M. (2010). Capacitated Facility Location Problem with Variable Coverage Coverage Radius in Distribution System. *International Journal of Industrial Engineering*, 21(4): pp. 231-237.
16. Jabalameli, M.S., Tabrizi, B.B., and Javadi, M.M. (2011). A Simulated Annealing method to solve a generalized maximal covering location problem. *International Journal of Industrial Engineering*. 2(2): pp. 439-448.
17. Fazel Zarandi, M.H., Davari, S. and Haddad Siasakht, S.A. (2011). The large scale maximal covering location problem. *Scientia Iranica*, 18(6): pp.1564-1570
18. Bashiri, M. and Fotuhi, F. (2009). A cost-based set-covering location allocation problem with unknown covering radius. *IEEM 2009, IEEE International Conference on In Industrial Engineering and Engineering Management*.
19. Meng, S. and Shia B.C. (2012). Set covering location models with stochastic critical distances. *Operational*

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، نقاط تقاضا به صورت پیوسته به جای نقاط گسسته در نظر گرفته شود و رفتار تصادفی پارامترهای مدل نیز وارد مدل ریاضی شود.

پی‌نوشت

1. Alfred Weber
2. Topological characteristics
3. Features of facilities
4. Demand patterns
5. Supply chain type
6. Time horizon
7. Input parameters
8. Median problems
9. Center problems
10. covering
11. Maximal covering
12. Maximal Covering Location Problem
13. Generalized Maximal Cover Location Problem
14. Partial coverage
15. Big Triangle Small Triangle
16. All or nothing coverage
17. Individual coverage
18. Fixed coverage radius
19. The gradual cover model
20. The cooperative cover model
21. planar
22. Mixed integer non-linear programming
23. Disaster Recovery Centers
24. Noisy Data
25. Structural Constraints
26. Control Constraints
27. Control Variables
28. Robust Solution
29. Infeasibility
30. Tradeoff
31. Optimal Pareto front

منابع

۱. توکلی مقدم، رضا؛ صمیمی، یاسر، اسماعیلی، حمید؛ عظیم‌زاد، نیما (۱۳۸۴). بررسی و مقایسه‌ی عملکرد روش‌های ابتکاری برای حل مدل مکان‌یابی Maximal Covering. *چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع*.
2. Rvella, C., Marks, D. and Leibman, J.C. (1970). An analysis of private and public sector location models, *Management Science*, 16(11): pp. 692-707.
3. Apta, A. (2009). Humanitarian logistics: A new field of research and action. *Foundations and Trends in Technology, Information and Operation Management*, 3(1): pp. 1-100.
4. Jia, H., Ordenez, F. and Dessouky M. (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE Transactions*, 39(1): pp. 41-55.

۱۲۶

شماره شانزدهم
پاییز و زمستان
۱۳۹۸
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



توسعه‌ی مدل شعاع پوشش متغیر برای مکان‌یابی مراکز توزیع
در لجستیک امدادی تحت عدم قطعیت تقاضا

9(8): pp. 1511-1531.

33. Ye, H. and Kim, H. (2016). Locating healthcare facilities using a network-based covering location problem. *GeoJournal*, 81(6): pp. 875-890.
34. Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J. and Zenios S.A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operation Research*, 43(2): pp. 264-281.
35. Leung, S., Tsang, S., Ng, W.L. and Wu, Y (2007). A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment, *European Journal of Operational Research*, 181: pp. 224-238.
۳۶. یحیی‌زاده اندواری، یلدا؛ الفت، لعیا؛ امیری، مقصود (۱۳۹۵). رویکرد بهینه‌سازی استوار در انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش، مطالعات مدیریت صنعتی، سال چهاردهم، شماره ۴۰، ص. ۵۲-۲۵.
37. Yu, C.S and Li, H.L. (2000). A robust optimization model for stochastic logstistic problems, *Internatioanl Journal of Production Economics*, 64: pp. 385-397.
۳۸. صفاری، امیر؛ ساسان‌پور، فرزانه؛ موسی‌وند، جعفر (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران، نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۷، شماره ۲۰، ص. ۱۵۰-۱۲۹.
۳۹. قهرودی تالی، منیژه؛ ثروتی، محمدرضا؛ صرافی، مظفر؛ پورموسوی، موسی؛ درفش، خه بات. (۱۳۹۱). ارزیابی آسیب پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران، فصلنامه‌ی علمی/مداد و نجات، دوره ۴، شماره‌ی ۳، ۷۹-۹۲.
- Research Society, Oline.
20. Viswanath K. and Peeta S. (2003). Multicommodity maximal covering network design problem for planning critical route for earthquake response, Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, 1857(01): pp. 1-10.
21. Dekle, J., Lavieri, M.S., Martin, E., Emir-Farinas, H. and Francis, R. (2005). A Florida country locates disaster recovery centers, *Interfaces*, 35(2): pp. 133-139.
22. Hale, T. and Moberg C.R. (2005). Improving supply chain disaster preparedness: A decision process for secure site location, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Managemnet*, 35(3): pp. 195-207.
23. Bleik, B. and Beamon B.M (2008), Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, 11(2): pp. 101-121.
24. Beraldi, P. and Bruni M.E. (2009). A probabilistic model allpied to emergency service vehicle location. *European Journal of Operational Research*, 196(1): pp. 323-331.
25. Pan, A. (2010). The applications of maximal covering model in Typhoon Emergency shelter Location problem, *IEEE International Conference on in Industrial Engineering and Engineering Management*.
26. Nolz, P.C., Samet, F. and Doerner K.F. (2011), Risk approaches for delivering disaster relief supplies. *OR spectrum*, 33(3): pp. 543-569.
27. Murali, P., Ordonez, F. and Dessouky M.M. (2012). Facility location under demand uncertainty: Response to a large-scale bio-terror attack, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1): pp.78-87.
28. Li, X., Zhao, Z., Zhu, X. and Wyatt, T. (2011), Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. *Mathematical Methods of Operations Research*, 74(3): pp. 281-310.
29. Toro-diaz, H., Mayorga, M. E., Chanta, S., McLay, L.A., (2013). Joint location and dispatching decisions for Emergency Medical Services. *Computers & Industrial Engineering* 64: pp. 917-928.
30. Barzinpour, F. and Esmaili, V., (2013). A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI 10.1007/s00170-013-5379-x
31. Esmaili, V., Barzinpour, F., (2014). Integrated decision making model for urban disaster management: A multi-objective genetic algorithm approach. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 5(11): pp.55-70.
32. Grannan, B.C., Bastian, N.D., and McLay L.A. (2015). A maximum expected covering problem for locating and dispatching two classes of military medical evacuation air assets. *Optimization Letters*,

