پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴
ص ۵۵-۶۷

پیش‌بینی فضاهای آسیب‌پذیر شهر مشهد هنگام وقوع زلزله

یونس غلامی- استادیار گروه جغرافیا و اکوتوریسم دانشگاه کاشان
سلمان حیاتی * ـ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لامرد، لامرد، ایران
محمد قنبری ـ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران
آسیه اسماعیلی ـباشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بجنورد، بجنورد، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۷/۲۲ تأیید مقاله: ۱۳۹۴/۲/۱۶

چکیده

ایران جزو ده کشور دارای مخاطرات طبیعی و ششمین کشور زلزله‌خیز دنیا است. زلزله به دلایل متعدد از جمله نوع مکان‌گزینی، توسعهٔ فیزیکی نامناسب و رعایت نکردن استانداردهای لازم مسبب بیشترین تلفات انسانی در کشور ماست. شهر مشهد نیز نه‌تنها از این قاعده مستثنا نیست، بلکه با توجه به تراکم سازه‌ای، جمعیت متراکم، رعایت نکردن استانداردها، توسعهٔ فیزیکی نامناسب و... با خطر جدی‌تری روبروست. هدف این پژوهش که با روش توصیفی - تحلیلی و ۱۰ معیار با استفاده از مدل فازی در GIS انجام گرفته، پیش‌بینی فضاهای آسیب‌پذیر شهر مشهد در هنگام وقوع زلزلهٔ احتمالی است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که ۵۱ درصد از کل سطح شهر، ۶۳ درصد از محدودهٔ بافت فرسوده، ۵۵ درصد از محدودهٔ با تراکم بیش از ۱۲۰ نفر، ۸۱ درصد از کاربری مسکونی و از دههٔ ۱۳۶۰ به بعد بیش از دو سوم وسعت شهر مشهد در پهنهٔ آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. همچنین از سه منطقهٔ پرجمعیت شهر مشهد یعنی مناطق ۲، ۳ و ۹، دو منطقهٔ ۹ و ۲ در سطح بالای خطر زلزله و فقط منطقهٔ ۳ در سطح پایین خطر زلزله قرار دارند. لذا مناطق ۹ و ۲ شهر مشهد از مناطقی‌اند که باید خطرات ناشی از زلزله در آنها به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد، زیرا این مناطق از یک طرف وسعت و جمعیت فراوان دارند و از طرف دیگر، سطح نسبی خطر زلزله در آنها بالا است.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری شهری، روش منطق فازی، زمین‌لرزه، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شهر مشهد.

نویسندهٔ مسئول: ۰۹۳۰۵۵۶۰۱۶۳
* E- mail: S.Hayati66@gmail.com

مقدمه

در طول قرن بیستم حدود ۱۱۰۰ زلزلهٔ 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 (Nichols, 2005: 137) 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 پایهٔ 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 (آبسالان و کنگی، ۱۳۹۳: ۱) که باعث گردیده در ۲۵ سال گذشته، ۶ درصد از تلفات جانی کشور ناشی از زلزله باشد (خاکپور و دیگران، ۱۳۹۲: ۲۳).

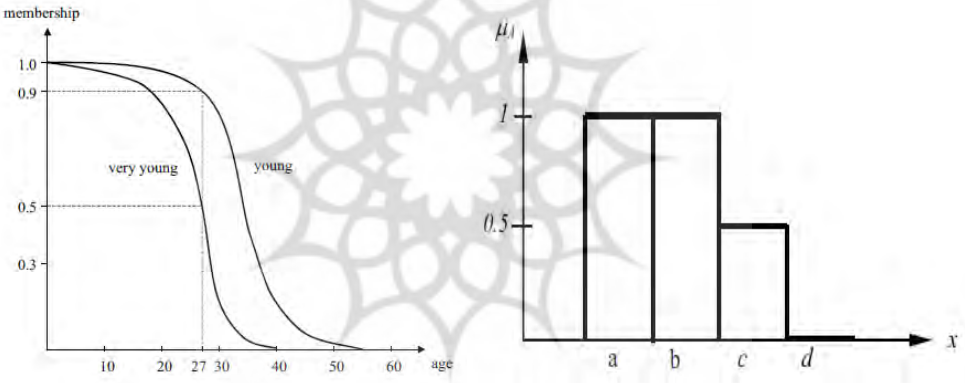
پهنه‌بندی نقشه‌های زمین‌لرزه‌خیزی در ایران نشان می‌دهد بیش از دو سوم وسعت کشور در محور زمین‌لرزه‌خیز پرخطری قرار گرفته که بیشتر شهرهای پرجمعیت نیز در راستای آن استقرار یافته‌اند؛ یعنی مناطقی که بیشتر تحت تأثیر فعالیت گسل‌اند و شدت عمق کانون زمین‌لرزه در آنها نیز کم‌عمق و سطحی است (شایان و دیگران، ۱۳۹۲: ۲۱) تا جایی که ۹۰ درصد شهرهای کشور در برابر یک زلزلهٔ ۵/۵ ریشتری آسیب‌پذیر گشته‌اند (پورمحمدی و مصیب‌زاده، ۱۳۸۷: ۱۱۸). با در نظر گرفتن طول گسل‌های فعال کشور و منطقهٔ خطر آنها (۲۰ کیلومتر اطراف گسل‌ها)، ۳۵ درصد از مساحت ایران با خطر جدی زمین‌لرزه مواجه است (نگارش، ۱۳۸۴: ۴۰).

شهر مشهد به عنوان دومین شهر ایران در ناحیه‌ای بین کوه‌های چین‌خورده – رانده‌شدهٔ کپه داغ از سمت شمال و شمال شرق و کوه‌های چین‌خورده – رانده‌شدهٔ بینالود از سمت جنوب غرب قرار گرفته است. بررسی زمین‌لرزه‌های منطقه حکایت از فعالیت‌های شدید در قرن‌های گذشته، به‌ویژه در قرن هجدهم میلادی و برقراری آرامش نسبی بعد از آن دارد (بربریان و قرشی، ۱۳۶۸). وجود گسل‌های توانمند و فعال در دو طرف دشت و در فاصلهٔ اندک از شهر مشهد نشان‌دهندهٔ پتانسیل زیاد خطر زمین‌لرزه در این منطقه است. به‌طوری که شهر مشهد از شرق و جنوب شرقی با یک گسل به طول حدود ۱۰۰ کیلومتری تقریباً ۲۰ کیلومتر و از جنوب و جنوب غربی با گسلی به طول حدود ۹۰ کیلومتر کمتر از ۲ کیلومتر فاصله دارد. در سال ۱۳۸۵، در مجموعهٔ شهری مشهد ۲۷۵ ریزلرزه و زمین‌لرزه اتفاق افتاده است که از این تعداد ۳ زلزله بالای ۴/۵ ریشتر بوده است و مهم‌ترین آنها زمین‌لرزهٔ مشهد با قدرت ۶/۶ در مقیاس ریشتر بوده است (اکبری مطلق و دیگران، ۱۳۹۱: ۱۵). وجود چنین مسئله‌ای و همچنین وجود بافت‌های خودرو و قدیمی در دل مناطق مختلف شهر که پایداری اندکی در برابر مخاطرات طبیعی از مشخصه‌های اصلی این‌گونه بافت‌های شهری است، موجب تشدید آسیب‌پذیری بافت‌های شهری مناطق مختلف شهر شده است (خاکپور و همکاران، ۱۳۹۰: ۴). روند روبه‌رشد و فزایندهٔ شهرنشینی و جمعیت شهری به عنوان عاملی برای خسارات زیاد به هنگام بروز بلایای طبیعی و به‌ویژه زلزله است. گسترش شبکه‌های ارتباطی و زیرساخت‌های شهری از یک طرف و بدون برنامه بودن رشد و توسعهٔ شهر از سوی دیگر زمینهٔ ایجاد خسارات زیاد در زمان وقوع زلزله را فراهم می‌آورد (عبدالهی، ۱۳۸۲: ۱۱)، (قائد رحمتی و حیدری‌نژاد، ۱۳۸۸: ۲۳). این در حالی است که طی دورهٔ زمانی ۱۳۹۰–۱۲۷۰، جمعیت در شهر مشهد ۶۰ برابر (از ۴۵ هزار نفر به ۲۷۰۰ هزار نفر) و مساحت آن ۴۰ برابر (از ۷۵۰ هکتار به ۳۰۰۰۰ هکتار) شده و در آن ۲۲۴۵ هکتار بافت فرسوده وجود دارد. با توجه

به اینکه این شهر قطب گردشگری مذهبی کشور محسوب می‌شود و هر ساله بیش از ۲۰ میلیون زائر و گردشگر به آن وارد می‌شوند که باعث تراکم بیشتر جمعیتی در این شهر می‌گردند، در صورت احتمال وقوع زلزله خسارات زیاد و غیرقابل جبرانی بر جا خواهد ماند و ریسک سرمایهٔ انسانی و مالی زیادی در میان خواهد بود و در صورت بحران، این شرایط می‌تواند فاجعهٔ انسانی را دامن بزند.

روش‌شناسی

نظریهٔ فازی اولین بار در سال ۱۹۶۵ از سوی پروفسور عسگرزاده استاد دانشگاه برکلی آمریکا مطرح شد و سپس مورد توجه بسیاری از دانشمندان از جمله زیمرمن در سال ۱۹۹۱ قرار گرفت و پس از آن به‌صورت یک نظریهٔ کاربردی برای علوم گوناگون مطرح شد (شاهی فردوس و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۸–۹۷). در منطق فازی مقادیر بر اساس الگوریتم‌های مختلف به عددی بین صفر و یک تبدیل می‌شود که معرف میزان عضویت فازی[1] است (Kainz, 2006: 2)، شکل زیر که یک مدل بسیار ساده‌شده از تابع فازی است، میزان عضویت را در سیستم‌های قطعی و فازی به‌خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۱. تابع عضویت در سیستم‌های قطعی (راست) و در سیستم‌های فازی (چپ)

(Lee, 2005: 9)

توابع عضویت که دربرگیرندهٔ همهٔ اطلاعات مرتبط با مجموعه‌های فازی‌اند، توسط نوع تابع و متغیرهای مرتبط با آن تعریف می‌شوند (فرزامیان و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۹). در نرم‌افزار ARC GIS برای فازی‌سازی داده‌ها توابع گاوسی، بزرگ، خطی، MS بزرگ، MS کوچک، نزدیک و کوچک وجود دارد. نهایتاً پس از فازی‌سازی لایه‌ها باید آنها را روی‌هم‌گذاری کرد. در این مرحله از عملگرهای مختلفی می‌توان استفاده کرد که بسته به نوع مسئله می‌تواند بهترین بازتاب از اهداف را ارائه دهد (Raines et al., 2010: 245). در زیر انواع عملگرهای مناسب برای استفاده در برخی شرایط خاص آمده است.

1. Fuzzy Membership

۱. عملگر OR: این عملگر اجتماع مجموعه‌ها است. بدین صورت که حداکثر درجهٔ عضویت اعضا را استخراج می‌کند و دقت زیادی در تحلیل‌های فضایی ندارد (Chang, 2008: 141).

۲. عملگر AND: این عملگر اشتراک مجموعه‌هاست و حداقل درجهٔ عضویت اعضا را استخراج می‌کند. در این عملگر به دلیل لحاظ شدن حداقل ارزش عضویت هر عامل در هر نقطه، نتیجه همواره کم و غیرقابل‌اعتماد است (Dixon, 2005: 330).

۳. عملگر PRODUCT (ضرب فازی): زمانی که میزان اهمیت ترکیب داده‌ها از تک‌تک داده‌ها کمتر است، از عملگر PRODUCT استفاده می‌شود. در این عملگر در نقشهٔ خروجی اعداد کوچک‌تر می‌شوند و به سمت صفر میل می‌کنند. به همین دلیل این عملگر حساسیت بالایی در تحلیل‌های فضایی اعمال می‌کند (Chang, 2008: 141).

۴. عملگر SUM (جمع فازی): زمانی که میزان اهمیت ترکیب داده‌ها از تک‌تک داده‌ها بیشتر است، از این عملگر استفاده می‌شود. در این عملگر در نقشهٔ خروجی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند و تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل این عملگر حساسیت پایینی در تحلیل‌های فضایی دارد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۳۰؛ Lodwick, 2008: 85).

۵. عملگر GAMMA: برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی پایین عملگر جمع فازی، عملگر گامای فازی معرفی شده است که حد فاصل ضرب و جمع فازی است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۳-۷۲؛ نظم‌فر و همکاران، ۱۳۹۲: ۵).

شایان ذکر است در تحقیق حاضر برای روی‌هم‌گذاری فازی لایه‌ها از عملگر گامای فازی استفاده شده است. از تابع فازی کوچک نیز برای فازی‌سازی معیارهای پژوهش استفاده گردید. زمانی از تابع فازی کوچک استفاده می‌شود که مقادیر کوچک‌تر ورودی احتمال بیشتری برای عضویت از یک مجموعه داشته باشند. این تابع به‌صورت زیر تعریف می‌شود (ESRI, 2014):

$$\mu(x) = \frac{1}{1+\left(\frac{X}{f\ 2)}\right).^{f\ 1}}$$

معیارها

شناسایی و انتخاب عواملی که در تحلیل میزان آسیب‌پذیری ناشی از وقوع زلزله تأثیرگذارند، از مهم‌ترین مراحل مطالعه است. لذا در این پژوهش معیارهای زیر در نظر گرفته شده است:

تعداد طبقات ساختمانی	شبکهٔ اصلی توزیع برق	کاربری زمین	دسترسی به معابر
مراحل توسعهٔ شهر	تراکم جمعیت	فاصله از گسل	شبکهٔ اصلی توزیع گاز
پهنه‌بندی زلزله ۲۸۰۰	بافت فرسوده		

زمین‌لرزه‌ها و گسل‌های مهم پیرامون شهر مشهد

ارزیابی مقدماتی کاتالوگ‌های لرزه‌ای حکایت از آن دارد که اغلب زمین‌لرزه‌های محدودهٔ شهر مشهد در عمق ۱۰ تا ۱۸ کیلومتری رخ می‌دهد؛ اما قرارگیری این شهر روی دشتی پوشیده از نهشته‌های آبرفتی کواترنری باعث گردیده که در اغلب موارد زمین‌لرزه‌های با بزرگی کمتر از Mn = 3/5 در محدودهٔ شهر غیرقابل احساس باشد (آبسالان و کنگی، ۱۳۹۳: ۲).

امروزه بررسی و شناخت گسل‌های فعال می‌تواند پایه‌ای برای ارائهٔ تحلیل‌های منطبق با واقعیت باشد. بر اساس مطالعات انجام‌گرفته، می‌توان گفت گسل‌های دارای آخرین نشان جنبایی در هولوسن به منزلهٔ گسل‌های جنبا و در پلئیستوسن در حکم گسل‌های دارای توان جنبایی‌اند. بنا بر این تعریف، گسل‌های دارای توان جنبایی قادر به ایجاد جابه‌جایی‌های عهد حاضرند، اما احتمال فعالیت آنها در زمان حاضر کمتر از گسل‌های جنبا است (آزادی و دیگران، ۱۳۸۸: ۲۳). در زیر مشخصات گسل‌های جنبا و با توان جنبایی در پیرامون شهر مشهد ارائه شده است. مهم‌ترین گسل‌های فعال در این تقسیم‌بندی، گسل‌های طوس، کشف رود و شاندیز- سنگ بست اند که همگی در مجاورت شهر مشهد قرار دارند.

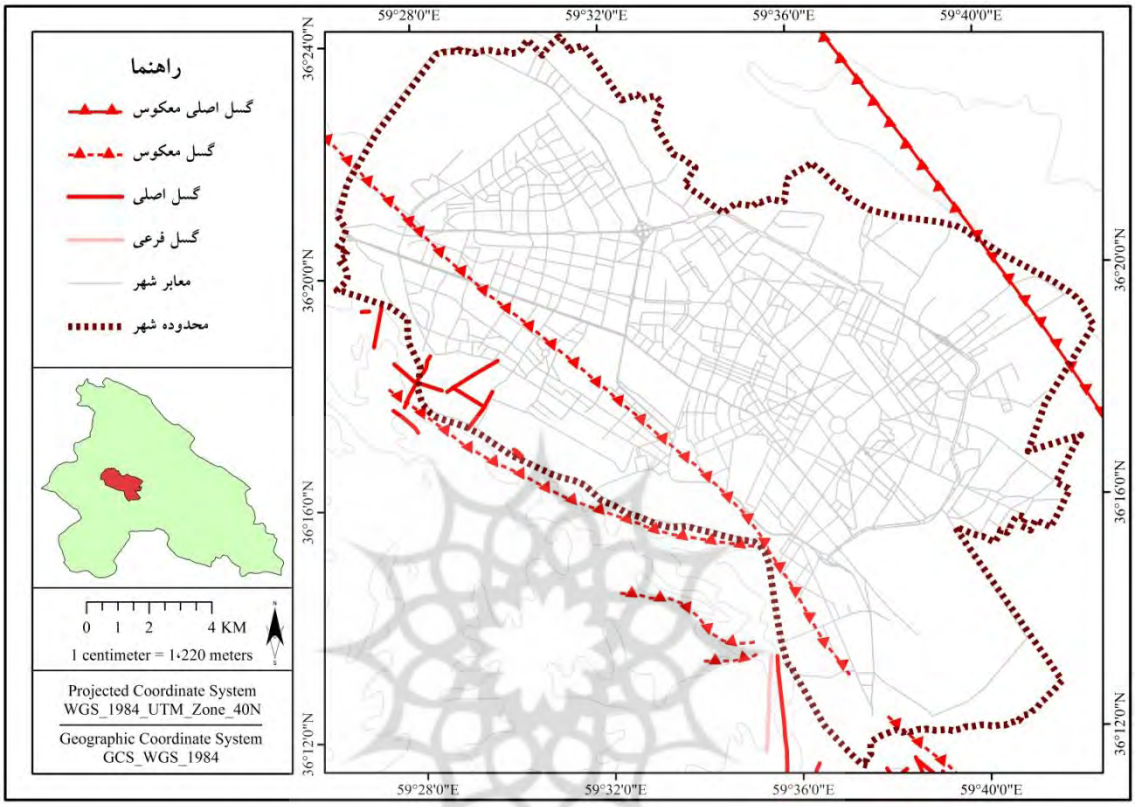
جدول ۱. مشخصات گسل‌های جنبا و با توان جنبایی در پیرامون شهر مشهد

نام گسل	طول (KM)	بزرگی	شتاب افقی
جنوب مشهد	بیش از ۱۰۰	۷/۳	۰/۶۷
کشف رود	۶۲	۶/۸	۰/۱۳
شاندیز/ سنگ بست	۸۵	۷/۲	۰/۴۳
بینالود	۱۰۰	۷/۴	۰/۲۱
شمال نیشابور	۸۰	۷/۴	۰/۰۷
نیشابور	۵۰	۷/۴	۰/۰۱۷
طوس	۶۰	۶/۸	۰/۵۲
فریمان	بیش از ۱۰۰	۷/۲	۰/۶۵

(مآخذ: مهندسان مشاور فرنهاد، ۱۳۸۷: ۱۷)، (آزادی و دیگران، ۱۳۸۸: ۲۱)

بربریان و همکاران (۱۳۷۸) در برگهٔ (۴-۱) نقشهٔ لرزه‌خیزی تاریخی و گسل‌های منطقهٔ مشهد- نیشابور، چهار زمین‌لرزهٔ تاریخی ۱۵۹۸ میلادی، ۱۶۷۳/۸/۳۰ میلادی، ۱۶۸۷/۴/۱۰ میلادی و ۱۸۸۳/۱۲/۲۶ میلادی را که در حوالی مشهد رخ داده‌اند در ارتباط با گسل طوس که از مناطق مسکونی شمال شرق شهر مشهد می‌گذرد، قرار داده‌اند. در حالی که در متن گزارش با توجه به بررسی اسناد تاریخی و خرابی‌های ایجادشده در شهر مشهد و احساس شدن آن در نیشابور نتیجه گرفته‌اند که مسبب دو زمین‌لرزهٔ تاریخی ۱۶۷۳/۸/۳۰ و ۱۸۸۳/۱۲/۲۶ میلادی گسل کشف رود یا گسل شاندیز- سنگ بست بوده است (آزادی و دیگران، ۱۳۸۸: ۲۵). شکل ۲ گسل‌هایی را که در محدودهٔ قانونی و حریم شهر مشهد

قرار دارند نشان می‌دهد که در آن ۹ گسل در محدودهٔ قانونی و ۱۲ گسل در فاصلهٔ اندکی از محدودهٔ قانونی و در حریم این شهر قرار دارند.



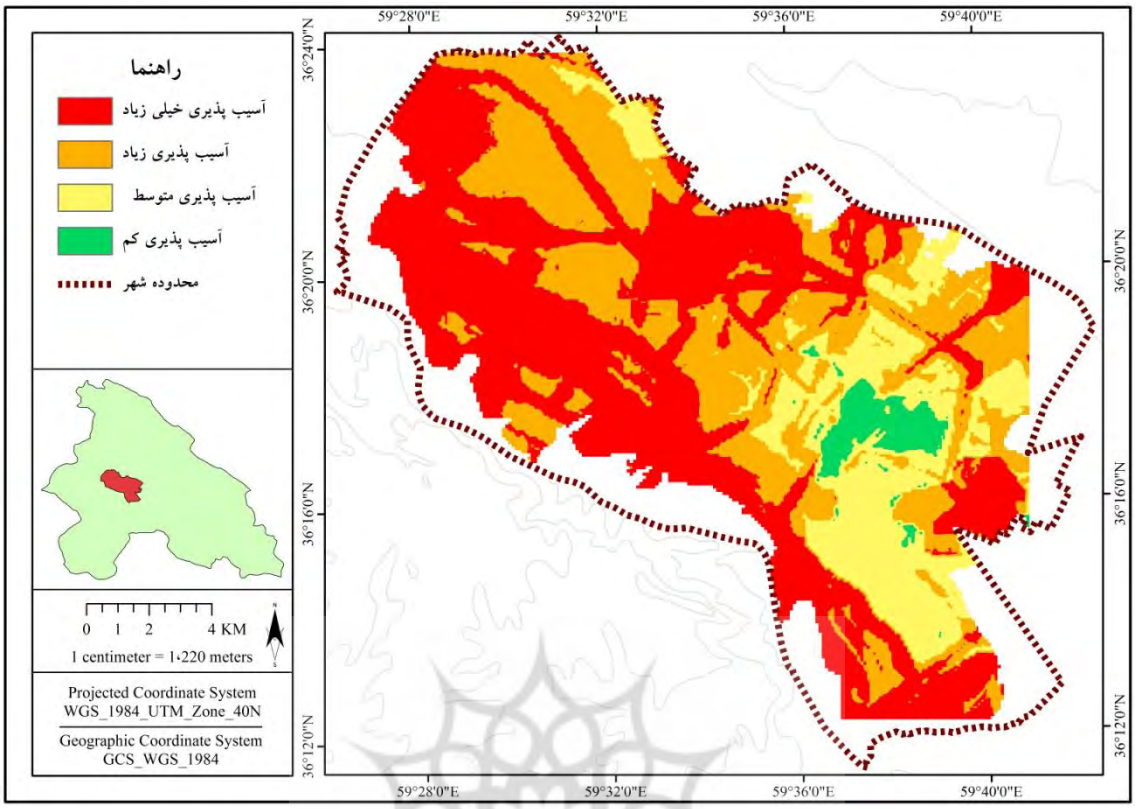
شکل ۲. گسل‌های شهر مشهد

مأخذ: مهندسان مشاور فرنهاد، ۱۳۸۷: ۴۷

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

بحث و بررسی

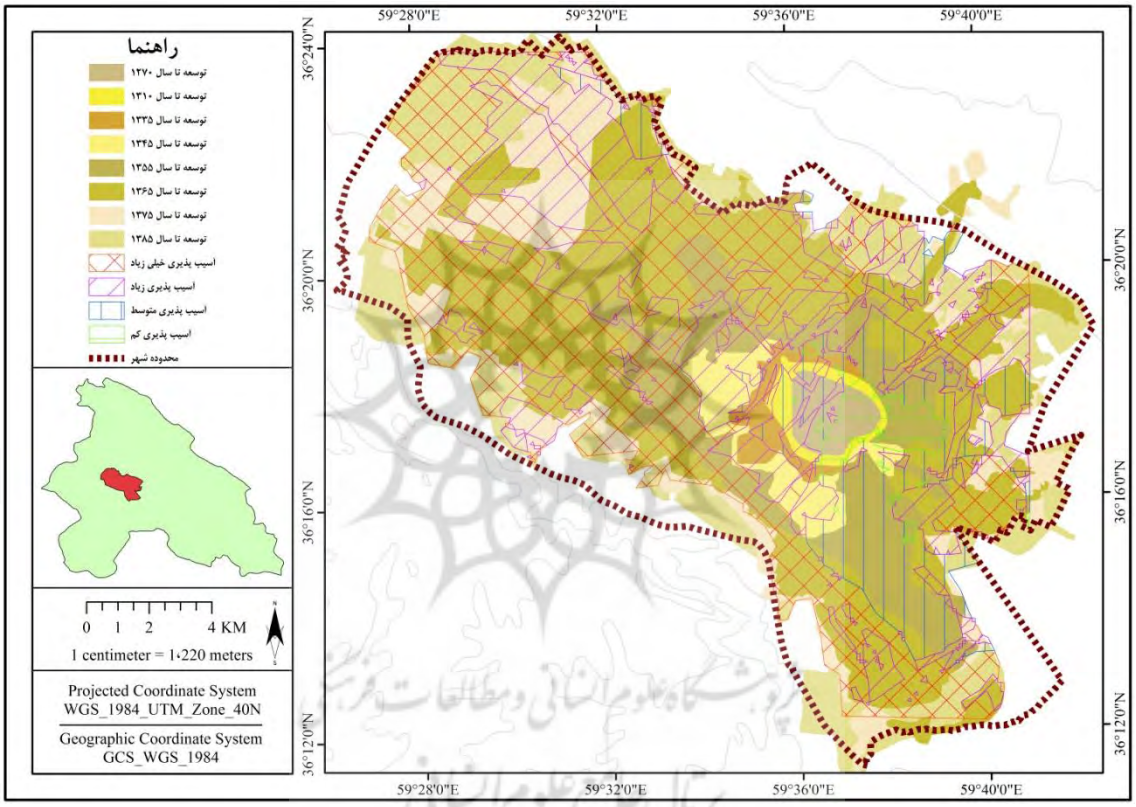
شکل ۳ که با استفاده از تابع فازی کوچک و عملگر گاما در نرم‌افزار ARC GIS تهیه شده است، پهنه‌های با میزان آسیب‌پذیری مختلف را در شهر مشهد نشان می‌دهد. یافته‌های پژوهش بیانگر آن است که ۱۵۲۵۲ هکتار معادل ۵۱ درصد از کل سطح شهر مشهد با جمعیت ساکن یک میلیون و ۴۵۰ هزار نفر در پهنهٔ با خطر نسبی خیلی زیاد قرار گرفته است که شامل حاشیهٔ ارتفاعات جنوبی و قسمت شمالی شهر بوده و تا نوار شمال غربی کشیده شده است. ۸۲۳۴ هکتار معادل ۲۷ درصد با جمعیت ساکن ۷۵۰ هزار نفر در پهنهٔ با خطر نسبی زیاد واقع شده است. ۵۷۷۱ هکتار معادل ۱۹ درصد با جمعیت ساکن ۳۸۰ هزار نفر در پهنهٔ با خطر نسبی متوسط و ۷۴۳ هکتار معادل ۳ درصد با جمعیت ساکن ۱۷۰ هزار نفر در پهنهٔ با خطر نسبی کم واقع شده است.



شکل ۳. پیش‌بینی فضاهای آسیب‌پذیر شهر مشهد هنگام وقوع زلزله

روند روبه‌رشد و فزایندهٔ شهرنشینی و جمعیت شهری به عنوان عاملی برای خسارت زیاد به هنگام بروز بلایای طبیعی است (قائد رحمتی و قانعی بافقی، ۱۳۹۱: ۱۸۸). گسترش شبکهٔ ارتباطی و زیرساخت‌های شهری و شهرها اگر به‌صورت بی‌قاعده، بدون داشتن طرح و برنامه و عدم رعایت ضوابط و مقررات شهرسازی و مقاوم‌سازی سازه‌ها باشد، باعث افزایش آسیب‌پذیری شهرها می‌گردد. این امر زمانی که جهت گسترش شهرها در محدودهٔ گسل‌ها باشد، تقویت می‌شود (Nateghi, 2000: 205؛ زنگی‌آبادی و تبریزی، ۱۳۸۵: ۱۲۸). این در حالی است که بر اساس اعلام مسئولان شهرداری مشهد، در صورت بروز زلزلهٔ احتمالی بیش از ۴ ریشتر، ۶۵ درصد ابنیهٔ موجود در شهر آسیب خواهند دید. لذا برای انجام تحلیل‌های بهتر و نشان دادن میزان آسیب‌پذیری شهر مشهد، شعاع ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ کیلومتری از گسل‌های اطراف شهر مشهد ترسیم شده است. نتایج نشان می‌دهد، بیش از یک سوم وسعت شهر مشهد در محدودهٔ شعاع مستقیم گسلش قرار دارد؛ به‌طوری که این شهر تا سال ۱۳۳۵ در محدودهٔ شعاع مستقیم گسلش قرار نداشته و با گسترش شهر طی ادوار مختلف و بالأخص از دههٔ ۱۳۶۰ به بعد، قسمت وسیعی از این شهر در محدودهٔ شعاع خطر زلزله احتمالی قرار گرفته است. به‌طوری‌که از همین دهه به بعد بیش از دو سوم شهر در پهنهٔ با خطر زیاد و خیلی زیاد گسترش یافته است (شکل ۴). این در حالی است که بر اساس جمعیت سال ۱۳۹۰ شهر مشهد، ۲۰۰ هزار نفر در فاصلهٔ ۵۰۰ متری از گسل‌ها، ۴۰۰ هزار نفر در فاصلهٔ ۱ کیلومتری، ۷۰۰ هزار نفر در فاصلهٔ ۱/۵ کیلومتری و بیش از ۱ میلیون نفر در فاصلهٔ ۲ کیلومتری از گسل‌ها ساکن‌اند. موضوع گسترش شهر بدون توجه به خطرهای زلزله جنبه‌های گوناگونی دارد. این امر اولاً باعث شده

است بسیاری از ساختمان‌ها و تأسیسات فعلی شهر در محدودهٔ گسترش گسل‌های بـزرگ و کوچـک قـرار گیـرد کـه در صورت گسیختگی آبرفت به سطح زمین، مشکلات بسیار جدی برای سازه‌ها و تأسیسات بـه وجـود مـی‌آورد. ثانیـاً چـون توسعهٔ شهر بدون توجه به نقشهٔ ریز پهنه‌بندی خطرهای زلزله صورت گرفته و با توجه به این‌که بیشینهٔ شـتاب در برخـی بخش‌های شهر بیشتر بوده، دورهٔ زمانی غالب خاک نیز در بخش‌های گوناگون متفاوت است و می‌تـوان احتمـال داد کـه بافت ساختمان‌ها و تراکم آنها متناسب با سطح شتاب و دورهٔ زمانی غالب خاک نباشد. ایـن موضـوع خودبـه‌خـود باعـث افزایش آسیب‌پذیری آنها می‌گردد.



شکل ۴. مراحل توسعه و پیش‌بینی فضاهای آسیب‌پذیر مشهد هنگام وقوع زلزله

مأخذ: حیاتی، ۱۳۹۱: ۱۳۷، محاسبات نگارندگان

در شهر مشهد ۸۰۰ هکتار از محدودهٔ ۲۲۴۵ هکتاری بافت فرسوده در شعاع ۲ کیلومتری گسـل‌هـای محـدوده قـرار گرفته است که در این میان ۷۴۰ هکتار از این محدوده نیز در پهنهٔ با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد قـرار دارد. محاسـبات نشان می‌دهد بیش از ۲۴۰ هزار نفر در این محدوده‌ها ساکن‌اند که در صورت بروز زلزله در معرض آسیب حتمی خواهنـد بود. نتایج نشان می‌دهد که از کل ۲۲۴۵ هکتار بافت فرسوده شهر مشهد، ۷۲ درصد آن در محدودهٔ خطر متوسط به بـالا قرار دارد و ۶۳ درصد از این میزان در پهنهٔ خطر بالا و خیلی بالا قرار دارد. همچنین باید بیان داشت که بیش از دو پنجم محدودهٔ با تراکم بیش از ۱۲۰ نفر در هکتار در محدودهٔ شعاع ۲ کیلومتری گسل‌ها قرار گرفتـه و ۸۷ درصـد محـدودهٔ بـا

تراکم بیش از ۱۲۰ نفر در پهنهٔ با خطر نسبی متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد و این در حالی است که قریب به ۵۵ درصد از محدودهٔ با تراکم بیش از ۱۲۰ نفر در پهنهٔ با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

تجربیات به اثبات رسانده که آنچه موجب خسارات اصلی جانی و مالی در هنگام بروز زلزله است، وقوع پس‌لرزه‌ها و آسیب دیدن تأسیسات شهری است که می‌تواند خسارات جانی و مالی ناشی از وقوع زلزله را به‌شدت افزایش دهد (حبیبی و دیگران، ۱۳۸۸: ۲۹). از جملهٔ این تأسیسات خطوط انتقال گاز و برق در شهر است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که ۹۱ درصد از شبکهٔ اصلی توزیع گاز در شهر مشهد در پهنهٔ با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته و ۴۷ درصد طول این خطوط در محدودهٔ شعاع تا ۲ کیلومتری گسل‌های اطراف مشهد قرار دارد. همچنین ۸۹ درصد از طول شبکهٔ اصلی انتقال برق داخل محدودهٔ قانونی شهر مشهد در پهنهٔ خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته و ۷۳ درصد از طول این شبکه در محدودهٔ شعاع خطر تا ۲ کیلومتری گسل‌های مشهد قرار دارد که در صورت بروز زلزلهٔ احتمالی در شهر، آسیب جدی به این شبکه‌ها وارد خواهد شد. در نتیجه این آسیب‌پذیری خسارات مالی و جانی جبران‌ناپذیری به‌وجود خواهد آمد.

تحلیل آسیب‌پذیری نوع کاربری‌ها در شهر مشهد نیز نشان می‌دهد ۸۱ درصد از کاربری مسکونی و ۸۶ درصد از کاربری‌های تجاری – اداری – اقامتی این شهر در محدودهٔ خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. تحلیل فضایی میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های مرتفع (۴ طبقه و بیشتر) در شهر مشهد نیز نشان می‌دهد که ۹۴ درصد این ساختمان‌ها که بیشتر در معرض آسیب‌پذیری در هنگام وقوع زلزله‌اند، در پهنهٔ متوسط به بالا قرار دارند که از میان این ۹۴ درصد، ۷۶ درصد این نوع ساختمان‌ها در محدودهٔ خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. همچنین شایان ذکر است، ۷۷ درصد ساختمان‌های ۳ طبقه و کمتر در شهر مشهد در پهنهٔ خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند.

در نقشهٔ ترسیم‌شده برای ارزیابی خطر زلزله در شهر مشهد، الگوی یکسانی در وضعیت لرزه‌خیزی در این شهر دیده نمی‌شود. به‌طور کلی مناطق غربی این شهر در بالاترین سطح خطر زلزله قرار دارند و مناطق مرکزی و شرقی در پایین‌ترین جایگاه از نظر سطح نسبی خطر زلزله قرار می‌گیرند. بر مبنای نقشه‌های ترسیمی بیشترین خطر زلزله در منطقهٔ ۹ وجود دارد و پس از آن به‌ترتیب مناطق ۲، ۱۲، ۱۱ و ۱۰ قرار دارند. همچنین منطقهٔ ثامن کم‌ترین سطح خطر زلزله را دارد و مناطق ۵، ۳ و ۴ نیز نسبتاً سطح خطر پایینی دارند.

نگاه به وضعیت جمعیتی و وسعت مناطق شهر مشهد همراه با نقشه‌های رسم‌شده در این تحقیق، می‌تواند در ارزیابی وضعیت سطح خطرات ناشی از زلزله در آن بسیار راهگشا باشد. به همین منظور در جدول ۲، پس از محاسبهٔ درصد جمعیت هر منطقه بر مبنای نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن شهر مشهد در سال ۱۳۹۰ و تخصیص رتبهٔ جمعیتی به هر منطقه و محاسبهٔ مقدار میانگین خطرپذیری هر منطقه در روش فازی در هر کدام از مناطق، یک رتبه به عنوان رتبهٔ خطر برای هر یک از مناطق تحت محاسبه در نظر گرفته شده است که می‌تواند نشانگر سطح خطر نسبی آن منطقه از نظر آسیب‌پذیری باشد.

جدول ۲. رتبهٔ مناطق شهر مشهد از نظر جمعیت، مساحت و سطح خطر و آسیب‌پذیری زلزله

منطقه	درصد جمعیت	رتبهٔ جمعیت	درصد مساحت	رتبهٔ مساحت	رتبهٔ خطر
منطقهٔ ۱	۳/۳۶	۹	۵/۱۸	۹	۶
منطقهٔ ۲	۱۷/۵۶	۱	۱۱/۲۳	۳	۲
منطقهٔ ۳	۱۱/۶۴	۲	۸/۹۹	۴	۱۱
منطقهٔ ۴	۸/۸۵	۶	۴/۶۴	۱۲	۱۰
منطقهٔ ۵	۶/۱۰	۱۰	۴/۸۶	۱۱	۱۲
منطقهٔ ۶	۹/۱۸	۵	۵/۰۷	۱۰	۹
منطقهٔ ۷	۷/۴۸	۷	۱۶/۹۱	۱	۸
منطقهٔ ۸	۳/۳۹	۱۱	۵/۵۷	۷	۷
منطقهٔ ۹	۱۰/۸۵	۳	۱۵/۳۵	۲	۱
منطقهٔ ۱۰	۹/۵۶	۴	۷/۹۸	۵	۵
منطقهٔ ۱۱	۶/۹۴	۸	۵/۴۵	۸	۴
منطقهٔ ۱۲	۱/۴۳	۱۲	۷/۴۷	۶	۳
منطقهٔ ثامن	۰/۶۱	۱۳	۱/۲۳	۱۳	۱۳

بر اساس این جدول مشخص می‌گردد که از سه منطقهٔ پرجمعیت شهر مشهد یعنی مناطق ۲، ۳ و ۹، دو منطقهٔ ۹ و ۲ در سطح بالای خطر زلزله و فقط منطقهٔ ۳ در سطح پایین خطر زلزله قرار دارند؛ اما منطقهٔ ۹ که از نظر جمعیتی سومین منطقهٔ پرجمعیت شهر مشهد است، از نظر سطح خطر زلزله هم جایگاه بالایی دارد و در رتبهٔ اول قرار می‌گیرد. نکتهٔ شایان توجه این است که کم‌جمعیت‌ترین منطقهٔ شهر مشهد، یعنی منطقهٔ ثامن، پایین‌ترین سطح نسبی خطر زلزله را دارد.

از دیدگاه وسعت مناطق هم دو منطقهٔ گستردهٔ ۷ و ۹ سطح نسبی بالایی از خطر زلزله دارند. به‌طور کلی و با توجه به نتایج این بخش، به نظر می‌رسد که منطقهٔ ۹ شهر مشهد یکی از مناطقی است که باید بحث خطرهای ناشی از زلزله در آن به‌طور جد مورد توجه قرار گیرد، زیرا این منطقه از یک طرف دارای وسعت و جمعیت فراوانی است و از طرف دیگر، سطح نسبی خطر زلزله در این منطقه به‌صورت شایان توجهی بالا است. همچنین منطقهٔ ۷ نیز با توجه به گستردگی آن نیازمند توجهات ویژه‌ای از جنبهٔ خطر زلزله است. در این میان بدیهی است که بیشترین میزان توجه به خطرات زلزله باید نصیب بافت فرسوده و قدیمی شهر مشهد گردد که هم در دل مناطق مرکزی و هم در حواشی این شهر جای گرفته است و بر اساس نتایج تحقیق حاضر، سطح خطر زلزله در آنها به‌صورت نسبی بالا است.

در پایان توصیه می‌گردد که در صورت نیاز به گسترش شهر مشهد، به موقعیت گسل‌های احاطه‌کنندهٔ این شهر توجه گردد و حتی‌الامکان این گسترش از طرف غرب، خصوصاً در ادامهٔ منطقهٔ ۹ صورت نپذیرد. لذا محور توسعهٔ پیشنهادی برای شهر مشهد به منظور جلوگیری از گسترش آن در پهنه‌های با سطح نسبی خطر زلزلهٔ بالا، محوری به سمت شمال شرقی پیشنهاد می‌شود. همچنین لازم به ذکر است همهٔ نتایج و توصیه‌های مطرح‌شده در تحقیق حاضر، صرفاً بر مبنای

مطالعات مرتبط با خطر زلزله از دید شاخص‌های مورد استفاده است و بدیهی است که برنامه‌ریزی و توسعهٔ کلان‌شهر عظیمی همچون مشهد، نیاز به مجموعهٔ گسترده‌ای از مطالعات و تحقیقات از جنبه‌ها و تخصص‌های گوناگون دارد.

نتیجه‌گیری

کشور ایران جزو ۱۰ کشور بلاخیز دنیا شناخته شده و پرتلفات‌ترین بلای طبیعی آن زلزله و پس از آن سیل است. در شهرها، شهرداری مهم‌ترین نهاد مسئول در کاهش آثار زلزله و مسئول بررسی ابعاد پیشگیری ناشی از صدمات زلزله است؛ اما در کنار آن ادارات راه و شهرسازی، برق، آب، گاز، جمعیت هلال احمر، آتش‌نشانی، سازمان نظام مهندسی، آموزش و پرورش و... در فرایند کاهش آثار و ابعاد پیشگیرانه نقش مؤثری دارند. از این رو، کاهش خطرهای انسانی و اقتصادی ناشی از زمین‌لرزه، اهتمام جدی همهٔ دستگاه‌های ذی‌ربط و همچنین مشارکت فعال مردمی را طلب می‌کند و این دو قبل از هر چیز نیازمند اطلاع‌رسانی، فرهنگ‌سازی و ظرفیت‌سازی است.

با توجه به مباحث مطرح‌شده و بررسی میزان آسیب‌پذیری شهر مشهد در هنگام وقوع زلزله باید اذعان داشت که مدیریت بحران در این محدوده با دو نظریهٔ مکتب رفتاری و مکتب ساختاری مطابقت دارد. چرا که از سویی طبق نظریات مکتب رفتاری، در شهر مشهد رفتارهای غیراصولی افراد همچون ساخت‌وسازهای غیراستاندارد، استفاده از مصالح نامرغوب، برپایی یک شبهٔ مسکن (حدود یک سوم جمعیت شهر مشهد را نواحی حاشیه‌نشینی تشکیل می‌دهند که خانه‌های خود را خارج از ضوابط و مقررات و عمدتاً شبانه و به دور از چشم مسئولان بنا کرده‌اند)، پی‌بندی نامناسب، ساخت‌وساز در حاشیهٔ کانال‌ها و مسیل‌های شهر و... را شاهدیم که در افزایش آسیب مؤثر خواهد بود. از سوی دیگر، طبق مکتب ساختاری، مشکلات مدیریتی و نبود مدیریت واحد یا یکپارچه در زمینهٔ مدیریت بحران نیز در این زمینه نقش دارد که سبب می‌شود در صورت بروز زلزله، شدت فجایع بیشتر گردد.

به‌طور کلی، در راستای کاهش خسارات ناشی از وقوع زلزله در مناطق شهری می‌توان به‌صورت خرد ابتدا با اجرای طرح‌های عملی با توجه به میزان خطرپذیری هر مکان و در نظر گرفتن مراحل مدیریت بحران اقدام کرد و سپس با تلفیق طرح‌های خرد و کلان به برنامه‌ریزی و مدیریت بحران جامع در شهرها اقدام کرد. با برنامه‌ریزی صحیح و مدیریت بحران می‌توان از خسارات و تلفات ناشی از بلایای طبیعی به‌ویژه زلزله به میزان شایان توجهی کاست. رشد ناهماهنگ و غیراصولی شهر مشهد، به‌ویژه در چند دههٔ اخیر، ساخت‌وساز در حریم گسل‌ها و مناطق مستعد ناپایداری زمین‌شناختی، نبود توانمندی‌های عملیاتی کافی برای مدیریت بحران، وجود بافت‌های آسیب‌پذیر و بسیاری موارد دیگر نشان می‌دهند که در صورت وقوع زلزله‌ای شدید در مشهد، تلفات و صدمات جبران ناپذیری به این شهر وارد خواهد گردید. در نهایت برای کاهش میزان آسیب‌پذیری شهر مشهد هنگام بروز زلزلهٔ احتمالی پیشنهادهای زیر ارائه گردیده است:

۱. تهیهٔ بانک اطلاعاتی گسل‌های نزدیک یا مؤثر در ایجاد خطر؛
۲. مدیریت خطرات ثانویه مانند آتش‌سوزی، نشت گاز، آب‌گرفتگی و...؛
۳. مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود تا حد ممکن؛
۴. جلوگیری از احداث سازه‌ها، بدون به‌کار بردن ضوابط و استانداردهای زلزله؛
۵. همکاری و تعامل همهٔ سازمان‌های ذی‌ربط

منابع

آبسالان، علی؛ کنگی، عباس؛ (۱۳۹۳). گزارش تحقیقاتی مجموعه دستاوردهای تحقیقاتی- کاربردی سامانهٔ مدیریت بحران زلزلهٔ شهر هوشمند مشهد، سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری مشهد، شمارهٔ نشر ۱۰۱.

اکبری مطلق، مصطفی؛ عباس‌زاده، غلامرضا؛ امینیان، امیر احمد؛ (۱۳۹۱). آسیب‌پذیری مجموعهٔ شهری مشهد و مدیریت بحران آن در مقابل زلزله با تأکید بر تجارب جهانی، فصلنامهٔ آمایش و توسعهٔ پایدار، شمارهٔ ۳، صص ۲۳-۷.

آزادی، اصغر؛ دولویی، غلام جوان؛ حافظی مقدس، ناصر؛ حسامی آذر، خالد؛ (۱۳۸۸). ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوتکتونیکی و ژئوفیزیکی گسل طوس در شمال شهر مشهد، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، شمارهٔ ۴، صص ۳۴-۱۷.

بربریان، مانوئل؛ فرشی، علی‌اصغر؛ (۱۳۶۸). گزارش بررسی‌های لرزه زمین ساختی، خطر زمین‌لرزه- گسلش و مهندسی طرح نیروگاه حرارتی نیشابور، تهران: وزارت نیرو، شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر).

پورمحمدی، محمدرضا؛ مصیب‌زاده، علی؛ (۱۳۸۷). آسیب‌پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محله‌ای در امدادرسانی آنها، فصلنامهٔ جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۱۲، صص ۱۴۴-۱۱۷.

حافظی مقدس، ناصر؛ آزادی، اصغر؛ مقتدر، محمد؛ (۱۳۸۵). گزارش مطالعات ژئوفیزیک و زمین‌شناسی ریزپهنه‌بندی شهر مشهد، مشهد، سازمان زمین‌شناسی مشهد، چکیدهٔ مطالعات.

حبیبی، کیومرث؛ شیعه، اسماعیل؛ ترابی، کمال؛ (۱۳۸۸). نقش برنامه‌ریزی کالبدی در کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر خطرات زلزله، فصلنامهٔ آرمانشهر، شمارهٔ ۳، صص ۳۱-۲۳.

حسینی، هاشم؛ کرم، امیر؛ صفاری، امیر؛ قنواتی، عزت‌الله؛ بهشتی جاوید، ابراهیم؛ (۱۳۹۰). ارزیابی و مکان‌یابی جهات توسعهٔ فیزیکی شهر با استفاده از مدل منطق فازی مطالعهٔ موردی: شهر دیواندره، نشریهٔ تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شمارهٔ ۲۳، صص ۸۳-۶۳.

حیاتی، سلمان؛ (۱۳۹۱). تحلیل شاخص‌های رشد هوشمند شهری در مشهد، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری به راهنمایی دکتر محمدرحیم رهنما، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد.

خاکپور، براتعلی؛ حیاتی، سلمان؛ کاظمی بی‌نیاز، مهدی؛ ربانی ابوالفضلی، غزاله؛ (۱۳۹۲). مقایسهٔ تطبیقی - تحلیلی میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و فازی (نمونهٔ موردی: شهر لامرد)، فصلنامهٔ آمایش محیط، شمارهٔ ۲۲، صص ۳۸-۲۱.

خاکپور، براتعلی؛ زمردیان، محمدجعفر؛ صادقی، سلیمان؛ مقدمی، احمد؛ (۱۳۹۰). تحلیل میزان آسیب‌پذیری فیزیکی - کالبدی منطقهٔ ۹ شهر مشهد از دیدگاه زلزله خیری، مجلهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ ۱۶، صص ۳۴-۱.

زنگی‌آبادی، علی؛ تبریزی، نازنین؛ (۱۳۸۵). زلزلهٔ تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری مناطق شهری، فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۵۶، صص ۱۳۰-۱۱۵.

شاهی فردوس، محمد؛ بیچرانلو، محمدحسن؛ پورمیرزایی، راشد؛ (۱۳۹۳). تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ژئوالکتریک با استفاده از روش فازی به منظور انتخاب بهترین نقطهٔ حفاری: بررسی موردی منطقهٔ همیج، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، شمارهٔ ۱، صص ۱۰۵-۹۵.

شایان، سیاوش؛ زارع، غلامرضا؛ حق‌پناه، یعقوب؛ (۱۳۹۲). زلزله‌خیزی ایران و مقاوم‌سازی مدارس، مجلهٔ رشد آموزش جغرافیا، شمارهٔ ۳، صص ۲۵-۱۹.

شهرداری مشهد، (۱۳۹۲). آمارنامهٔ شهر مشهد، معاونت توسعه و پژوهش شهرداری مشهد.

عبدالهی، مجید؛ (۱۳۸۲). مدیریت بحران در نواحی شهری، تهران: انتشارات سازمان شهرداری‌های کشور، چاپ دوم.

فرزامیان، محمد؛ ابوالقاسم کامکار روحانی؛ ضیایی، منصور؛ فرجی سبکبار، حسنعلی؛ سیف پناهی، کیومرث؛ (۱۳۹۰). به‌کارگیری روش منطق فازی در تلفیق داده های اندیس سرب و روی محدودهٔ اکتشافی چیچکو (خاور تکاب) به منظور تعیین نقاط پتانسیل‌دار در محیط GIS، مجلهٔ علوم زمین، شمارهٔ ۸۲، صص ۳۰-۱۷.

قائد رحمتی، صفر؛ قانعی بافقی، روح‌الله؛ (۱۳۹۱). تحلیل تأثیر گسترش فضایی شهر تهران در افزایش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله (دورهٔ زمانی: گسترش فیزیکی ۲۰۰ سال اخیر)، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، شمارهٔ ۱۰۵، صص ۱۹۰-۱۶۹.

قائد رحمتی، صفر؛ حیدری نژاد، نسیم؛ (۱۳۸۸). گسترش فیزیکی شهرها و ضرورت تعیین حریم امن شهری نمونه شهر اصفهان، فصلنامهٔ جغرافیا و مطالعات محیطی، شمارهٔ ۱، صص ۲۴-۱۴.

مهندسان مشاور فرنهاد، (۱۳۸۸). طرح توسعه و عمران (جامع) کلانشهر مشهد مقدس؛ مطالعات پایه کیفیت محیط شهری ایمنی و امنیت، شهرداری مشهد، نهاد مطالعات و برنامه‌ریزی توسعه و عمران مشهد، ویرایش اول.

----------؛ (۱۳۸۸). طرح توسعه و عمران (جامع) کلانشهر مشهد مقدس؛ مطالعات پایهٔ محیط طبیعی، شهرداری مشهد، نهاد مطالعات و برنامه‌ریزی توسعه و عمران مشهد، ویرایش اول.

نظم‌فر، حسین؛ بهشتی جاوید، ابراهیم؛ فتحی، محمدحسین؛ (۱۳۹۲). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری با مدل منطق فازی، مطالعهٔ موردی حوزهٔ رودخانهٔ قوری چای، تهران، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی.

نگارش، حسین؛ (۱۳۸۴). زلزله، شهرها و گسل‌ها، فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۵۲، صص ۵۱-۳۴.

یمانی، مجتبی؛ داورزنی، زهرا؛ دادرسی، ابوالقاسم؛ (۱۳۹۱). ارزیابی مدل منطق فازی در مقایسه با دیگر مدل‌های مفهومی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک مورد حوضهٔ داورزن، فصلنامهٔ جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، شمارهٔ ۵، صص ۱۳۴-۱۲۱.

Chang, N, B.,2008, Combing GIS with Fuzzy multicriteria decision making for landfill siting in a fast-geowing urban region, Jornal of Environmental Management,,87, 139-153.

Dixon, B., 2005, Groundwater vulnerability mapping: A GIS and Fuzzy rule based integrated tool, Applied Geography, 25, 327-347.

Kainz, W., 2006, Fuzzy Logic and GIS. Vienna, Austria, Department of Geography and Regional Research University of Vienna.

Lee, K, H., 2005, First Course on Fuzzy Theory and Applications, Berlin Heidelberg NewYork: Springer.

Lodwick, W., 2008, Fuzzy Surfaces in GIS and Geographical Analysis, Theory, Analytical Methods, Algorithms and Applications, Boca Raton London New York: CRC Press.

Nateghi, A,F., 2000, Disaster mitigation strategies in Tehran,Iran,Disaster Preventation and Management.

Nichols, J, M., 2005, A major urban earthquake: planning for Armageddon, Landscape and Urban Planning, 73, 132-146.

Raines, L., &Sawatzky, L.,& Bonham, G, F., 2010, Incorporating expert knowledge: new fuzzy logic tools in ArcGis, Geo-spatial Information Science, 12, 243-250.

www.esri.com, 2014.