

طراحی و کاربرد مدل‌های فضایی ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری

محمدحسین شریف‌زادگان

استادیار دانشگاه شهید بهشتی

حمید فتحی

کلیدواژگان:

چکیده

می‌گذارد. با استفاده از نتایج حاصل از اجرای این مدل و بررسی میزان آسیب‌پذیری هر ناحیه شهری نسبت به سایر نواحی، اولویت‌بندی نواحی برای اجرای برنامه‌های پیشگیری و کاهش خطرپذیری مشخص می‌شود. همچنین این نتایج، اهمیت توجه به سنج‌ها و شاخص‌های برنامه‌ریزی در امر کاهش آسیب‌پذیری را خاطرنشان می‌کند. افزون بر این، برنامه‌ریزان با توجه به نتایج و تحلیل‌های حاصل از بررسی شاخص‌های برنامه‌ریزی و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای و انسانی، می‌توانند به تخمین کمی خطر زلزله بپردازند و اولویت‌بندی برنامه‌های مقابله با سوانح و تخصیص منابع را تعیین کنند.

مقدمه

در گزارش دفتر برنامه‌ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۲م، ایران در میان دیگر کشورهای جهان، رتبه نخست را از نظر تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر در سال و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری ناشی از وقوع زلزله و تعداد تلفات این سانحه به خود اختصاص داده است. طبق این گزارش، در ایران زلزله وجه

آنچه زلزله را تبدیل به یک بلای طبیعی می‌کند عدم آمادگی کامل بشر در محیط‌های سکونتگاهی است و به این خاطر است که در کشورهای توسعه‌یافته، مدیریت خطرپذیری زلزله بر مبنای برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای شکل گرفته است. از سویی دیگر، شاخص‌های متعدد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و مدیریت خطرپذیری زلزله بر استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های گوناگون در زمینه‌های برنامه‌های شهری تأکید می‌کند. در این خصوص و با توجه به توانایی مدل‌های ارزیابی سلسله‌مراتبی شاخص‌ها و ترکیب آنها با سیستم اطلاعات مکانی، امکان ایجاد یک مدل یکپارچه تلفیقی پشتیبانی تصمیم‌گیری فراهم می‌آید.

مقاله حاضر چگونگی استفاده ترکیبی از دو تکنیک دلفی و مدل تحلیلی سلسله‌مراتبی و یک سیستم اطلاعات مکانی را در یک مدل یکپارچه تلفیقی ارائه می‌دهد و شیوه ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و سازه‌ای و انسانی را در یک سکونتگاه انسانی به ارزیابی و اجرا

پرسش‌های تحقیق

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و تجزیه و تحلیل آن چگونه و بر پایه چه شاخص‌هایی امکان‌پذیر است؟
تأثیر شاخص‌های برنامه‌ریزی شهری در ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی چگونه است و با استفاده از چه روشی می‌توان آنها را مشخص کرد؟

غالب در سوانح گوناگون طبیعی است. سیستم‌های پیچیده و غیرخطی، مانند سکونتگاه‌های انسانی، به‌واسطه استفاده از عناصر و فعالیت‌های گوناگون و نیز روش‌های ارزیابی چندمعیاری، قابلیت مدل شدن دارند. برآورد ریسک و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای یک شهر نیز از این امر مستثنا نیست. این عمل نیاز به استفاده از رهیافتی چندبخشی دارد، زیرا ریسک نه‌تنها در آسیب‌های فیزیکی و تعداد و نوع افراد در معرض خطر، بلکه در عوامل اجتماعی و سازمانی نیز وجود دارد و از این‌رو تجزیه و تحلیل خطر تنها به بررسی نوع خطر محدود نمی‌شود. به بیان دیگر، ریسک ترکیبی از خطر و آسیب‌پذیری است و از آنجا که آسیب‌پذیری ممکن است صورت‌های گوناگونی همچون آسیب‌پذیری جانی، مالی، عملکردی، اجتماعی، اقتصادی یا ترکیبی از تمامی این موارد به خود بگیرد، تخمین و برآورد ریسک نیاز به رهیافتی جامع‌نگر دارد و لازم است تا در آن از تخصص‌های گوناگون از جمله برنامه‌ریزی استفاده شود. برقراری این ارتباط به‌مثابه ابزاری در کاهش آسیب‌پذیری شهرها و تهیه برنامه‌ها و سیاست‌های تقلیل خسارت عمل می‌کند. در چنین حالتی و براساس رهیافتی عقل‌گرا و از طریق استفاده از شاخص‌های گوناگون در مقیاس‌های خرد و کلان است که این امکان فراهم می‌آید تا متغیرهای پیچیده، چندبعدی و شاخص‌هایی به صورت کمی و کیفی با یکدیگر ترکیب شود و نتیجه‌ای منطقی حاصل آید. این چنین روند ارزیابی و برآورد از طریق شناسایی شاخص‌هایی که بر یک سیستم تأثیر می‌گذارند، براساس ساختاری سلسله‌مراتبی و از طریق استفاده از روابط ارزیابی آسیب‌پذیری و تعیین ضریب اهمیت هر شاخص نسبت به دیگر شاخص‌ها عمل می‌کند.

طرح مسئله و ضرورت پژوهش

اهمیت توجه به معضل بلایای طبیعی تا حدی است که مجمع عمومی سازمان ملل متحد در دسامبر ۱۹۸۷م. دهه ۱۹۹۰ را دهه بین‌المللی کاهش آثار بلایای طبیعی اعلام کرد. در خلال سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ تعداد ۱۵۸ هزار و ۵۵۱ نفر در سراسر جهان جان خود را بر اثر وقوع زمین‌لرزه از دست دادند و به طور متوسط هر ساله نزدیک به ۱۳۰ میلیون نفر در جهان، در معرض خطرات ناشی از وقوع زمین‌لرزه قرار دارند. در این بین، ایران با ۴۷ هزار و ۲۶۷ نفر کشته، بالاترین رتبه را دارد و البته این آمار بدون در نظر گرفتن تعداد

از اهداف این پژوهش برقراری ارتباط منطقی این سه مقوله و انتخاب شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری است.

ب) اجرای مدل ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر با تأکید ویژه بر شهر تهران: این مدل با در نظر گرفتن روابط آسیب‌پذیری، تلفیق تکنیک دلفی^۳ و مدل ارزیابی سلسله‌مراتبی^۴، مدل‌های ارزیابی متفاوت و تشخیص وضعیت هر شاخص با میزان آسیب‌پذیری آنها به دست می‌آید. نمونه موردی ما در اینجا منطقه ۱۴ شهر تهران است و مدل تحلیلی سیستم اطلاعات مکانی با توجه به آن ایجاد و اجرا می‌شود.

ج) ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای و تحلیل خطر زلزله نمونه مورد مطالعه: ارزیابی و تحلیل خطر زلزله از طریق اجرای مدل تحلیلی و مقایسه نتایج به دست آمده انجام می‌شود.

چارچوب نظری

چارچوب نظری شامل موضوع پژوهش و نحوه نگرش برای تحلیل و بررسی آن است. این چارچوب نظری در حکم شالوده و زیربنایی برای تدوین فرضیاتی به کار می‌رود که به اعتبار آنها می‌توان پاسخی منسجم به پرسش‌های مورد نظر داد. چارچوب نظری این پژوهش براساس متون موضوع پژوهش، مدل‌های چندمعیاری تصمیم‌گیری، سیستم‌های اطلاعات مکانی و روابط آسیب‌پذیری شکل گرفته است. تعاریف و روابط آسیب‌پذیری به کاررفته در این پژوهش به شرح زیر است.

۱. مروری بر تعاریف و مفاهیم پایه

ریسک ممکن است به صورت ترکیبی از خطر و آسیب‌پذیری تعریف شود. در تعریف جامع‌تر، ریسک ترکیبی از خطر زمین‌لرزه، تمامی خطرات ثانویه ناشی از وقوع زلزله (مانند زمین‌لغزش، آتش‌سوزی و...) و آسیب‌پذیری تمامی سیستم‌ها از جمله سیستم‌های اجتماعی و اقتصادی، زیرساخت‌ها و تسهیلات عمومی، ساختمان‌ها و انسان‌هاست.^۵

حدود ۴۰ هزار نفر کشته در زلزله بم در دسامبر ۲۰۰۳ است.^۱ از طریق مقایسه تعداد افراد در معرض خطر و تعداد افراد کشته شده بر اثر وقوع سانحه زلزله در هر کشور می‌توان آسیب‌پذیری نسبی کشورها را در برابر این سانحه مشخص کرد.^۲ بدین ترتیب، اهمیت موضوع از تعامل میان دو جریان درونی و بیرونی شکل می‌گیرد. از سویی، جریان درونی نیازمند بررسی جامع و تدارک برنامه کامل مدیریت ریسک زلزله است تا مشخص شود مدیریت ریسک زلزله در مقیاس شهری چگونه تعریف می‌شود و مهم‌تر از آن چگونه تحقق می‌یابد. از سوی دیگر، جریان بیرونی در زمینه مدیریت ریسک زلزله شکل گرفته است که به طور روزافزون گسترش می‌یابد. مروری کوتاه بر مقاله‌ها و کتبی که در این زمینه منتشر می‌شود، برگزاری سمینارها و کنفرانس‌ها و همچنین جست‌وجو در شبکه جهانی اینترنت نشان‌دهنده حجم عظیمی از تولیدات فکری و اقدامات عملی در این زمینه است. با پیشرفت روزافزون تحقیقات و مطالعات این سؤال پیش می‌آید که اساساً بر پایه چه قوانینی و با تأکید بر کدام شاخص‌ها می‌توان مدیریت خطرپذیری زلزله در شهر را در ارتباط با مسائل گوناگون آن نظام‌مند کرد. بر همین اساس، پرسش‌های مقاله حاضر را می‌توان به شکل زیر مطرح می‌کرد:

- ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و تجزیه و تحلیل آن چگونه و بر پایه چه شاخص‌هایی امکان‌پذیر است؟
- تأثیر شاخص‌های برنامه‌ریزی شهری در ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی چگونه است و با استفاده از چه روشی می‌توان آنها را مشخص کرد؟

اهداف

الف) شناسایی و انتخاب شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای: ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از شاخص‌هایی صورت می‌گیرد که از تلفیق سه مقوله برنامه‌ریزی، مدیریت ریسک زلزله و آسیب‌پذیری شناسایی و انتخاب می‌شوند. یکی

۱. این آمار مربوط به ۲۰۰۲ است و کشته‌شدگان زلزله بم در آن لحاظ نشده است.

2. International Disaster Database and UNDP 2002
3. Delphi
4. Analytical Hierarchy Process.

برای بررسی پدیده‌های مرکب از عوامل، شاخص‌ها، متغیرها، گوناگونی روابط متقابل و همبستگی‌ها، ایجاد یک دیدگاه سیستمی ضروری است. منظور از سیستم مجموعه‌ای از پدیده‌هاست که نظام‌مندند و به صورت سلسله‌مراتبی با یکدیگر رابطه برقرار می‌کنند.

5. International Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management, 2002, UN-DH

– آسیب‌پذیری به شرایطی اطلاق می‌شود که به‌واسطهٔ عوامل فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی تعیین و قابلیت تأثیرپذیری جوامع را در برابر صدمات ناشی از وقوع خطرات بالا برد.^۶

– خطر به‌مثابه احتمال وقوع اتفاقی با شدت معین و در طول زمان خاص شناخته می‌شود.

$$\text{ریسک} = \text{خطر} \times \text{آسیب‌پذیری} \quad (\text{فرمول ۱})$$

– مدیریت فرایند به‌کارگیری مؤثر و کارآمد منابع مادی و انسانی در برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، بسیج منابع و امکانات، هدایت و کنترل است که برای دستیابی به اهداف سازمانی و براساس نظام ارزشی پذیرفته‌شده صورت می‌گیرد.^۷

– زلزله عبارت است از مجموعهٔ لرزش‌هایی که در پوستهٔ زمین رخ می‌دهد تا انرژی آزادشدهٔ زمین را تخلیه کند. لرزش‌های مزبور ممکن است به همراه انفجارات آتش‌فشانی رخ دهد (حدود ۷ درصد زلزله‌ها)، یا با جابه‌جایی پوستهٔ زمین در طول خطوط گسل همراه باشد (حدود ۹۰ درصد زلزله‌ها)، یا اینکه از نوع سقوطی باشد که بیشتر در مناطق آهکی و گچی و سنگ‌های قابل انحلال رخ می‌دهد (حدود ۳ درصد زلزله‌ها).^۸

۲. روابط آسیب‌پذیری

الف) آسیب‌پذیری سازه‌ای

میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای از طریق ایجاد روابط بین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ای و میزان آسیب‌پذیری هر یک از آنها محاسبه می‌شود (فرمول ۲).

$$V_{ph} = \sum_{i=1}^n W_i \delta_i \quad (\text{فرمول ۲})$$

در این رابطه:

V_{ph} : میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای هر پلاک ساختمانی

W_i : وزن هر شاخص

δ_i : میزان آسیب‌پذیری هر شاخص سازه‌ای
 n : تعداد شاخص‌ها.

ب) آسیب‌پذیری انسانی هر پلاک ساختمانی

میزان آسیب‌پذیری انسانی (کشته و زخمی) نسبتی از ساختمان‌های آسیب‌دیده و وضعیت برنامه‌ریزی و طراحی شهری آن مکان است. «فرمول ۳» چگونگی ارزیابی میزان آسیب‌پذیری انسانی ناشی از تلفیق دو دسته شاخص‌های سازه‌ای و برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. با استفاده از این رابطه می‌توان میزان آسیب‌پذیری انسانی هر پلاک ساختمانی را محاسبه کرد.

$$V_{HT} = \phi \times V_{ph} + \varphi \times V_{HU} \quad (\text{فرمول ۳})$$

در این رابطه:

V_{HT} : میزان نهایی آسیب‌پذیری انسانی هر پلاک ساختمانی

V_{ph} : میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای ناشی از تأثیر شاخص‌های سازه‌ای در هر پلاک ساختمانی

V_{HU} : میزان آسیب‌پذیری انسانی ناشی از تأثیر شاخص‌های شهرسازی در هر پلاک ساختمانی

ϕ و φ : ضرایب اهمیت شاخص‌های شهرسازی و سازه‌ای نسبت

به یکدیگر

مقدار V_{HU} از «فرمول ۴» به دست می‌آید.

$$V_{HU} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m W_k W_i (g_{ij}) \quad (\text{فرمول ۴})$$

که در آن:

W_k : ضریب اهمیت شاخص K

W_i : ضریب اهمیت زیرشاخص i

g_{ij} : امتیاز گزینهٔ j در ارتباط با شاخص یا زیرشاخص i.

۶ این روش برگرفته از روش کوبرن و همکاران (Coburn et al. 1992) است که در مطالعات مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ (جایکا) در سال ۱۳۷۹ نیز مورد استفاده قرار گرفته است.
 ۷ علی رضائیان، اصول مدیریت، ص ۶
 ۸ علی محمد جعفری، آمادگی در برابر زلزله، ۷.

مدل تحلیلی ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌های

در این مدل از ترکیب تکنیک دلفی و مدل ارزیابی سلسله‌مراتبی استفاده می‌شود تا ضرایب اهمیت نسبی بین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری تعیین و سپس از روابط و مدل‌های آسیب‌پذیری متفاوت و سیستم اطلاعات مکانی^۹ بهره گرفته شود تا عمل ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای انجام گیرد. بدین ترتیب این مدل مدل فضایی تصمیم‌گیری به حساب می‌آید.

شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری

۱. شاخص‌های سازه‌ای

شکل سازه

شکل سازه گویای شکل ساختمان در پلان و ارتفاع است. ساختمان‌ها را از لحاظ شکل می‌توان به دو گروه منظم و نامنظم و متقارن و نامتقارن تقسیم کرد که هر دسته میزان آسیب‌پذیری مشخصی در برابر وقوع زلزله‌هایی با شدت‌های گوناگون از خود نشان می‌دهد.

نوع مصالح به کاررفته در سازه

ویرایش سوم آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله سازه‌ها را از نظر نوع مصالح به کاررفته در آنها به چهار دسته تقسیم می‌کند. میزان آسیب‌پذیری هر دسته در برابر وقوع زلزله‌های با شدت‌های مختلف با استفاده از مدل‌ها و الگوریتم‌های آسیب‌پذیری به دست می‌آید. این دسته‌بندی شامل ساختمان بادوام با اسکلت فلزی، بتنی، سنگ و آهن و آجر و آهن؛ ساختمان نیمه‌بادوام با آجر و چوب، سنگ و چوب، بلوک سیمانی، تمام آجر و سنگ و آجر؛ ساختمان کم‌دوام به صورت تمام چوب، خشت و چوب و خشت و گل؛ و ساختمان بی‌دوام به صورت چادر، حصیر و مشابه آن است.

ج) برآورد تلفات انسانی در دو حالت بدون امداد رسانی و امداد رسانی کامل

به منظور برآورد تلفات انسانی ناشی از فروریزی ساختمان، دو دسته اطلاعات شامل تعداد ساکنان ساختمان‌های مستعد فروریزی و نسبت تعداد تلفات به تعداد کل ساکنان آن دسته از ساختمان‌ها مورد نیاز است. بخشی از تلفات انسانی نیز ناشی از نرسیدن امداد به‌موقع و مناسب در دوره نجات و امداد است. موفقیت امداد رسانی اضطراری، عمدتاً به زمان پس از وقوع زلزله بستگی دارد. نسبت امداد رسانی طی ۷۲ ساعت پس از وقوع خسارات عملاً به صفر می‌رسد. یعنی اگر طی ۷۲ ساعت به افراد آسیب‌دیده محبوس در ساختمان‌ها، امداد نرسد، اکثر آنها خواهند مرد. بنابراین، امداد رسانی یکی از عوامل اصلی و تعیین‌کننده در نسبت تلفات در افرادی است که بر اثر فروریختن ساختمان‌ها بلافاصله نمرده‌اند. «فرمول ۵» روش برآورد تلفات انسانی را نشان می‌دهد.^۹

(فرمول ۵)

$$K_S = D5 \times M1 \times M2 \times M3 \times (M4d + (1 - M4d) \times M5)$$

در این رابطه:

K_S : تلفات انسانی

D^5 : تعداد ساختمان‌های مستعد فروریزی

M^1 : تعداد افراد در هر ساختمان

M^2 : وضعیت ساختمان از نظر تعداد افراد ساکن در هنگام وقوع زلزله

M^3 : تعداد ساکنان محبوس در ساختمان‌های فروریخته

M^4d : نسبت تلفات بلافاصله پس از فروریختن ساختمان‌ها

M^5 : تلفات پس از فروریختن (نسبت مجروحانی که پس از فروریختن و قبل از امداد رسانی می‌میرند).

۹. در این جا از مدل حوزه‌بندی انسداد راه‌ها در مدل تحلیلی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای استفاده می‌شود. 10. GIS 11. SDSS

سیستم سازه‌ای

منظور از سیستم سازه‌ای، نوع سیستم ساختمان در طبقات است. بر طبق آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ساختمان‌ها بر حسب سیستم سازه‌ای در یکی از گروه‌های سازه با سیستم دیوارهای باربر، با سیستم قاب ساختمانی ساده، سیستم قاب خمشی، سازه با سیستم دوگانه یا ترکیبی و سایر سیستم‌های سازه‌ای (هرگونه سیستم سازه‌ای متفاوت با سیستم‌های معرفی‌شده در موارد بالا) قرار می‌گیرد. بر این اساس می‌توان رفتار لرزه‌ای و میزان آسیب‌پذیری هر سازه را نسبت به این شاخص و بسته به شدت‌های متفاوت زلزله تعیین کرد.

عمر سازه

عمر مفید ساختمان به طور نسبی در ایران ۳۰ سال برآورد شده است. بدین صورت، هر چه عمر ساختمان بیشتر باشد، میزان آسیب‌پذیری نیز بیشتر خواهد بود. همچنین نسبت به تدوین دوره‌های گوناگون آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله در ایران، میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای به نحوی است که می‌توان یک تابع پله‌ای-خطی برای این امر در نظر گرفت، زیرا در هر دوره و در ویرایش‌های گوناگون آیین‌نامه، کیفیت ساخت و اجرا و استفاده از مصالح ساختمانی تغییر می‌کند.

ضریب تشدید ارتعاش لرزه‌ای سازه

هر سازه در برابر زلزله دچار جابه‌جایی و ارتعاش می‌شود و لرزه متفاوتی از خود نشان می‌دهد که میزان این ارتعاش، بسته به مشخصات خاکِ زمینی که سازه در آن ساخته شده، مشخصات ساختمان و ارتفاع آن از تراز پایه متفاوت است. تعداد طبقات و ارتفاع سازه نسبت مستقیم با شدت لرزه دارد، به طوری که با افزایش تعداد طبقات ضریب تشدید لرزه‌ای نیز افزایش می‌یابد.

کیفیت ساخت و اجرای سازه

نظام ساخت‌وساز از تعامل گروه‌های متعددی شکل می‌گیرد که هر یک مسئولیت‌های مرتبط با بخشی از اقدامات ساخت و اجرای سازه را دارند. ساختمان به‌مثابه محصول نهایی این فرایند و متأثر از مجموعه پیچیده‌ای از مقررات، خدمات، مصالح، محصولات و تجهیزات است که در این میان، کیفیت ساخت و اجرای آن به عوامل متعددی چون نوع مصالح، اهمیت سازه، تعداد طبقات سازه، سال ساخت، نظام ساخت‌وساز، کنترل کیفیت و تضمین کیفیت، وضعیت صنعت بیمه در این بخش، سطح سواد و میزان آگاهی عمومی جامعه، سطح درآمد، میزان ثروت کشور و به طور کلی به میزان توسعه‌یافتگی آن کشور وابسته است.^{۱۲}

۲. شاخص‌های برنامه‌ریزی

تراکم جمعیت

تراکم جمعیت به معنی جمعیت در واحد سطح است و معمولاً به واحد نفر در هکتار بیان می‌شود. تراکم جمعیت را می‌توان در هر قلمروی نظیر تراکم جمعیتی کشور، تراکم جمعیتی شهری، تراکم جمعیت در محله اندازه‌گیری کرد، اما به طور معمول این شاخص را در قلمرو شهر یا مناطق درون شهری و به نام تراکم ناخالص مسکونی به کار می‌برند.^{۱۳}

شبکه‌های ارتباطی

شبکه‌های ارتباطی نقش بسیار مهمی در امر نجات و امداد بعد از وقوع زلزله و میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای و انسانی به عهده دارند. با طراحی شبکه ارتباطی کارآمد می‌توان صدمات زلزله را تا حد زیادی کاهش داد. شبکه ارتباطی کارآمد، شبکه‌ای است که عرض بیشتری دارد، سطح آن نسبت به سطوح ساخته‌شده شهری بیشتر است و پل‌های کمتری دارد، با شبکه‌های خارج

۱۲. درصد تلفات انسانی محاسبه‌شده در پروژه جایکا برای منطقه ۱۴ در حالت بدون امداد رسانی شب برابر ۳/۶ و در حالت امداد رسانی کامل شب برابر ۶/۴ است (جایکا ۱۳۷۹).
 ۱۳. محمدمهدی عزیزی، تراکم در شهرسازی- اصول و معیارهای تعیین تراکم شهری، ص ۲۲.

نظر گرفتن میزان آسیب‌پذیری آن از زلزله و درجه تأثیرگذاری کاربری‌ها بر یکدیگر تهیه شده است.

بررسی میزان سازگاری زمین با کاربری آن

هنگام وقوع زلزله، هر نوع کاربری براساس زمینی که در آن واقع شده است آسیب‌پذیری لرزه‌ای متفاوتی را تجربه خواهد کرد. میزان سازگاری هر کاربری با مکانی که در آن واقع شده است براساس مدل ماتریس مطلوبیت و با توجه به میزان خطر ناشی از وضعیت زمین‌شناسی و زلزله‌ای آن مکان قابل ارزیابی است. این مدل، مکان مورد مطالعه را برحسب خصوصیات زمین‌شناسی و زمین‌لرزه‌ای به چهار نوع سایت: سایت بی‌خطر (احتمال نشستِ خاک: خیلی کم)؛ سایت کم‌خطر (احتمال نشستِ خاک: کم)؛ سایت خطرناک (احتمال نشستِ خاک: زیاد، داشتن پتانسیل متوسط روان‌گرایی و واقع شدن سایت در فاصله ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری از گسل‌ها)؛ و سایت پُرخطر (احتمال نشستِ خاک: بسیار زیاد، و آثار جابه‌جایی زمین ناشی از جنبش گسل‌ها تا فاصله کمتر از ۳۰۰ متر از خط گسل اصلی و داشتن پتانسیل زمین‌لغزش و پتانسیل بالای روان‌گرایی) تقسیم می‌کند. شاخص‌های استفاده‌شده در این مدل شامل احتمال نشستِ زمین، روان‌گرایی، زمین‌لغزش و فاصله از گسل‌های فعال است.

تأسیسات زیربنایی

آسیب دیدن تأسیسات زیربنایی شهر نظیر شبکه‌های آب، برق، گاز و مخابرات ممکن است تلفات ناشی از وقوع زلزله را به شدت افزایش دهد. در این مورد دو نوع آسیب شامل آسیب‌های ناشی از دسترسی نداشتن به شریان‌های حیاتی در دوره امداد فوری و آسیب‌های ناشی از رویداد سوانح ثانویه مانند آتش‌سوزی، شوک الکتریکی، انفجار و... وجود دارد. بدین دلایل، جانمایی صحیح این دسته از تأسیسات شهری نسبت به مکان‌های با خطر نسبی

از شهر در ارتباط و معابر آن مستقیم و پیچ‌وخم آنها کمتر است، ارتباط کاربری‌های حساس را به طور مستقیم برقرار می‌کند و امکان دسترسی سواره به آن هرچه بیشتر فراهم است، شبکه ارتباطی با نوع بافت نیز در ارتباط است. ریزدانه، میان‌دانه یا درشت‌دانه بودن بافت شهری، بر کارآمدی شبکه ارتباطی تأثیر می‌گذارد. هرچه این دانه‌بندی بافت شهری درشت‌تر باشد، درصد گره‌های ترافیکی و تعداد بن‌بست‌ها کمتر، کارآمدی شبکه ارتباطی بیشتر و میزان آسیب‌پذیری کمتر خواهد بود. مدل‌های متعددی برای بررسی میزان پایداری شبکه‌های ارتباطی در قبل و بعد از زلزله تهیه شده که بر اساس تعریف سناریوهای گوناگون زلزله، تخمین میزان تولید و جذب سفر ناشی از وقوع زلزله، توزیع سفرها و بررسی وضعیت شبکه‌های ارتباطی عمل می‌کنند. از آن جمله می‌توان به مدل حوزه‌بندی انسداد راه‌ها اشاره کرد.

همجواری کاربری‌ها

همجواری بین کاربری‌ها به معنی نحوه کنار هم قرار گرفتن هر کاربری با کاربری دیگر، و بررسی همجواری بین آنها با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری، بررسی نحوه قرارگیری کاربری‌های گوناگون و سازگاری و ناسازگاری بین آنهاست. زیرا هر کاربری کارایی و میزان آسیب مشخصی در برابر وقوع زلزله دارد و در صورتی که اصول همجواری‌ها رعایت نشود و کاربری‌های ناسازگار در کنار یکدیگر قرار داده شود، میزان این آسیب‌پذیری تشدید خواهد شد. به منظور بررسی وضعیت همجواری بین کاربری‌ها و تعیین سازگاری و ناسازگاری استقرار آنها نسبت به یکدیگر می‌توان از ماتریس سازگاری و ناسازگاری هر کاربری با کاربری دیگر استفاده کرد. با این ماتریس می‌توان، با توجه به روابط عملکردی بین کاربری‌ها، میزان آسیب‌پذیری آن‌ها را نسبت به وقوع زلزله تعیین کرد. در حقیقت این ماتریس براساس حوزه نفوذ هر کاربری و در

شناسنامه پلاک‌های ساختمانی	
۱. شماره پلاک	۷. نوع مصالح به کاررفته
۲. سطح اشغال و سطح فضای خالی پلاک ساختمانی	۸. نوع کاربری
۳. تعداد طبقات	۹. شکل سازه در پلان
۴. سیستم سازه‌ای ساختمان	۱۰. ضریب تشدید ارتعاش
۵. عمر سازه	۱۱. تعداد افراد ساکن در پلاک ساختمانی
۶. کیفیت ساخت و اجرا	۱۲. درصد تراکم ساختمانی هر پلاک

میدانی و برای تمامی پلاک‌های مسکونی واقع در هر یک از دو محدوده، داده‌اطلاعات مورد نیاز مرتبط با شاخص‌های انتخاب‌شده، جمع‌آوری و در محیط GIS طبقه‌بندی شد. اطلاعات جمع‌آوری‌شده برای هر پلاک ساختمانی در جدول «ت ۱» آمده است.

۱. معرفی سناریو فرضی زلزله

معرفی سناریو پیشنهادی اولین گام در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در هر گستره مطالعاتی است. این سناریو براساس وضعیت زمین‌ساختی و ژئوتکنیکی و خصوصیات طبیعی-کالبدی و اجتماعی-اقتصادی مکان مورد مطالعه، عواملی از قبیل نوع خطر، عوامل در معرض خطر، ساعت وقوع زلزله و ... به شرح زیر مشخص می‌شود:

- نوع خطر: خطر زمین‌لرزه و روان‌گرایی و نشست خاک خطرات اولیه، و تخریب ساختمان‌ها و تلفات انسانی ناشی از تخریب آنها و وضعیت شهرسازی محدوده مورد مطالعه خطرات ثانویه معرفی می‌شود. در این پژوهش عمل ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای صرفاً تا اتمام دوره نجات و امداد فوری را شامل می‌شود.

- محل وقوع خطر: محل وقوع خطر زلزله در منطقه ۱۴ شهر تهران و در دو محدوده مورد مطالعه تعریف شده است.

- گسل فعال (چشمه لرزه‌زا): به دلیل قرارگیری منطقه ۱۴ در قسمت شرقی تهران و نزدیک بودن این منطقه به گسل فعال جنوب و شمال ری، فرض بر این است که بر اثر رخداد زلزله فقط این گسل فعال خواهد شد و از این رو، تنها از این گسل برای مدل سناریوی پیشنهادی استفاده می‌شود.

- ساعت وقوع زلزله: زلزله فرضی در هنگام شب و بین ساعات ۲۲ الی ۷ صبح رخ می‌دهد.

- وضعیت اقلیم و آب‌وهوا: وضعیت اقلیم و آب‌وهوایی دو محدوده از وضعیت عمومی محدوده مجموعه شهری تهران

بالا، نوع فناوری به کاررفته در ساخت آنها و نحوه کارکرد و شیوه کنترل مناسب هر یک از این شبکه‌ها در میزان کاهش یا افزایش میزان آسیب‌پذیری مؤثر است. از طریق بررسی این دسته از موارد می‌توان میزان آسیب‌پذیری انسانی ناشی از نداشتن کارایی مناسب آنها را ارزیابی کرد.

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای دو محدوده انتخابی درون منطقه ۱۴ تهران

منطقه ۱۴ شهر تهران در قسمت شرقی و جنوب شرقی تهران قرار دارد. این منطقه به دو ناحیه اجتماعی تقسیم می‌شود. محدوده یک اجتماعی در شمال و قدیمی‌ترین قسمت این منطقه است و محدوده دو اجتماعی در جنوب منطقه و جدیدترین قسمت از نظر زمان ساخت ساختمان‌هاست. این دو ناحیه اجتماعی دو بافت کاملاً متضاد دارد به شکلی که ناحیه یک اجتماعی بافتی ارگانیک و ناحیه دو اجتماعی بافتی شطرنجی و ازپیش‌اندیشیده دارد. به دلیل وسعت منطقه ۱۴ و محدودیت‌های زمانی برای مطالعات تکمیلی و مشاهدات میدانی، از درون هر یک از دو ناحیه اجتماعی دو محدوده انتخاب و عمل ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای این دو محدوده انجام می‌شود. از این پس محدوده انتخاب‌شده از ناحیه یک را محدوده یک و محدوده انتخاب‌شده از ناحیه دو را محدوده دو می‌نامیم. به منظور ایجاد پایگاه داده‌اطلاعات، از طریق نمونه‌گیری آماری و مطالعات

ت ۲. (راست) جدول شاخص‌های سازه‌ای و ضرایب اهمیت‌شان
ت ۳. (چپ) ماتریس مقایسهٔ دودویی شاخص‌ها

ماتریس مقایسه دودویی شاخص‌های سازه‌ای	در این ماتریس:
$\begin{matrix} & A & B & C & D & E & F \\ A & 1 & 2 & 1/2 & 4 & 5 & 3 \\ B & 1/2 & 1 & 1/3 & 3 & 4 & 2 \\ C & 2 & 3 & 1 & 5 & 6 & 4 \\ D & 1/4 & 1/3 & 1/5 & 1 & 2 & 1/2 \\ E & 1/5 & 1/4 & 1/6 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ F & 1/3 & 1/2 & 1/4 & 2 & 2 & 1 \end{matrix}$	A: شکل سازه B: نوع مصالح به کار رفته در سازه C: سیستم سازه‌ای D: عمر سازه E: ضریب تشدید ارتعاش F: کیفیت ساخت و اجرا

شاخص‌های سازه‌ای	ضرایب اهمیت نهایی هر شاخص
شکل سازه	۰/۲۵۲
نوع مصالح به کار رفته در سازه	۰/۱۶۰
سیستم سازه‌ای	۰/۳۸۲
عمر سازه	۰/۰۶۴
ضریب شدید ارتعاش لرزه‌ای سازه	۰/۰۴۵
کیفیت ساخت و اجرای سازه	۰/۰۹۷

- روان‌گرایی: شرایط خاک دو محدودهٔ مورد مطالعه به طور عمده شامل خاک رس آبرفتی است. این نهشتهٔ رسی به‌سختی مستحکم و سطح آب زیرزمینی در این محدوده در عمق بیش از ۲۰ متر از سطح زمین است. با توجه به این شرایط، استعداد روان‌گرایی در این محدوده بسیار پایین است.

- مقدار تناوب اصلی خاک: مقدار پرپود خاک منطقهٔ ۱۴ با استفاده از نقشهٔ توزیع پرپود دینامیکی آبرفت‌های تهران و برابر ۰/۳ ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

۲. ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری سازه‌ای

میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای هر پلاک ساختمانی بر اساس ضرایب اهمیت شاخص‌های سازه‌ای و میزان آسیب‌پذیری هر یک از آنها و بر اساس «فرمول ۲» آسیب‌پذیری به دست می‌آید. شاخص‌های سازه‌ای به کار گرفته‌شده و ضرایب اهمیت نهایی در جدول «ت ۲» نشان داده شده است.

ت ۴. (وسط) جدول چگونگی ارزش‌گذاری وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌ای (مأخذ: سازمان مدیریت بحران شهر تهران، ۱۳۸۴)

ضابطه	وضعیت	شرایط
$V_{ph} \leq 0.25$	آسیب کم	قابلیت و ارزش مقاوم‌سازی دارد
$0.25 < V_{ph} < 0.5$	آسیب متوسط - امکان تعمیر	قابلیت و ارزش مقاوم‌سازی دارد
$0.5 \leq V_{ph} < 0.75$	آسیب زیاد - بازسازی الزامی	قابلیت و ارزش مقاوم‌سازی ندارد
$V_{ph} \geq 0.75$	آسیب بسیار زیاد - احتمال ریزش ساختمان	قابلیت و ارزش مقاوم‌سازی دارد

تبعیت می‌کند که این وضعیت خود به تبعیت از آب‌وهوای کوهپایه‌ای به صورت نیمه‌گرم تا نیمه‌خشک کوهپایه‌ای و با شرایط پایدار تا تقریباً پایدار آب‌وهوایی است. از این رو فرض می‌شود که زلزلهٔ احتمالی در شرایط مناسب و آب‌وهوایی رخ خواهد داد.

- شدت زلزله: شدت زلزله با توجه به گسل انتخاب‌شده (گسل جنوب و شمال ری) مشخص می‌شود. بر اساس مطالعات جایکا در صورت فعال شدن این گسل، منطقهٔ ۱۴ با شدت زلزله‌ای بین ۷ و ۸ ریشتر روبه‌رو خواهد شد. بنابراین شدت زلزلهٔ احتمالی برابر ۸ ریشتر فرض می‌شود. این نوع جنبش سراسر دو محدودهٔ مطالعهٔ آزمایشی را پوشش می‌دهد.

- مدت زلزله: مدت زلزله پارامتر کلیدی تعریف سناریوست، زیرا به‌شدت بر تعداد تلفات و مقدار خرابی‌ها تأثیر می‌گذارد. در سناریو فرضی این پژوهش مدت زلزله احتمالی ۳۰ ثانیه فرض می‌شود.

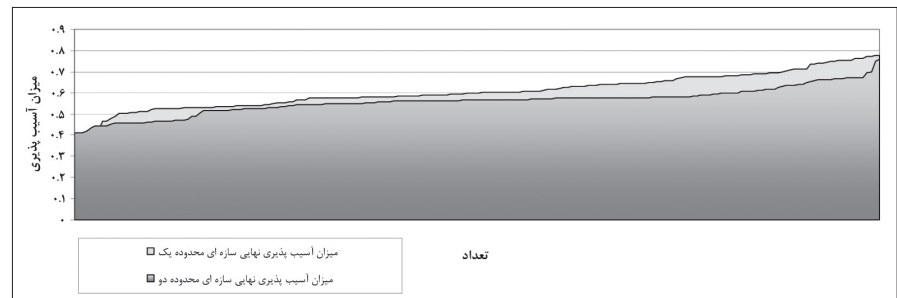
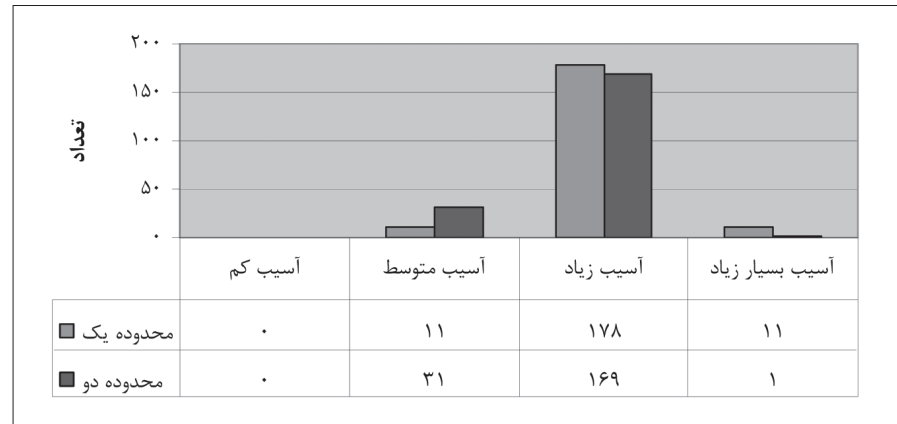
- بیشینهٔ شتاب زمین: بیشینهٔ شتاب زمین برای منطقهٔ ۱۴ برابر ۳۰۰ گال (g/۴۰۰) فرض می‌شود.

- شیب زمین: منطقهٔ ۱۴ در قسمت شرق و با جهت جنوب شرقی شهر تهران قرار گرفته و از این رو در دسته‌بندی توپوگرافی جزو واحد دشت‌های آبرفتی با شیب ملایم قرار می‌گیرد. بر این اساس شیب زمین در دو محدوده یکسان و بین صفر تا ۱۵ درجه در نظر گرفته می‌شود.

ت ۵. (پایین) نمودار مقایسه وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌های ساختمان‌های مسکونی دو محدوده

ت ۶. (پایین صفحه) نمودار مقایسه وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌های ساختمان‌های مسکونی دو محدوده

میزان آسیب‌پذیری بین صفر و یک در نوسان است؛ بنابراین، اگر در نتیجه محاسبه میزان آسیب‌پذیری بیش از ۱ محاسبه شده باشد، همان عدد ۱ در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از جدول «ت ۴» می‌توان وضعیت آسیب‌پذیری سازه را نسبت به عدد آسیب‌پذیری آن تعیین کرد. وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌های ساختمان‌های مسکونی دو محدوده مورد مطالعه در نمودار «ت ۵» با یکدیگر مقایسه شده است. از میان تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی تنها یک پلاک در پهنه آسیب بسیار زیاد سازه‌های قرار دارد و در این بین، ۵/۸۴ درصد ساختمان‌ها در خطر نسبی زیاد آسیب‌پذیری سازه‌های و ۵/۱۵ درصد در خطر نسبی متوسط آسیب‌پذیری قرار دارند. در مقابل و در محدوده یک، از بین تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی انتخاب‌شده، ۵/۵ درصد ساختمان‌ها در پهنه آسیب بسیار زیاد سازه‌های، ۸۹ درصد در



پهنه آسیب با آسیب‌پذیری زیاد و ۵/۵ درصد مابقی در پهنه آسیب متوسط قرار دارند. همچنین در هیچ‌یک از دو محدوده، ساختمان با آسیب کم سازه‌های وجود ندارد.

چگونگی ارزش‌گذاری وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌های در جدول ۳ آمده است. بر این اساس، از تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی مورد بررسی، درصد ساختمان‌های با احتمال فروریزش در محدوده دوم برابر ۴۷ درصد و در محدوده یک برابر ۸۳ درصد است. با تعمیم نتایج حاصل از دو محدوده به کل منطقه ۱۴، میانگین درصد آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی در کل منطقه برابر ۶۵ درصد است. نتایج مدل شمال و جنوب ری در پروژه جایکا ۱۳۷۹)، میانگین میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی منطقه ۱۴ شهر تهران را برابر ۵۷/۶ درصد نشان می‌دهد که این امر همخوانی نتایج حاصل از مدل تحلیلی پژوهش حاضر را با نتایج حاصل از مدل پروژه جایکا نشان می‌دهد. نکته دیگر آن است که از طریق شناخت و بررسی وضعیت سازه‌های دو محدوده مشخصاً دیده می‌شود که محدوده دوم از وضعیت سازه‌های مناسب‌تری نسبت به محدوده اول برخوردار است. نتایج حاصل از ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌های سازه‌های دو محدوده نیز بر این امر تأکید دارد. به طور نسبی، ۵۳ درصد سازه‌های محدوده دوم در خطر آسیب متوسط قرار دارند و امکان تعمیر آنها پس از وقوع زلزله وجود دارد و این در حالی است که تنها ۳۴ درصد ساختمان‌های محدوده اول در چنین وضعیتی قرار دارند. شکل «ت ۶» و نقشه‌های «ت ۷» و «ت ۸»، وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی دو محدوده و تفاوت آنها را با یکدیگر نشان می‌دهد.

۳. ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی

میزان آسیب‌پذیری انسانی به دو عامل اولیه و ثانویه شدت تخریب سازه‌های و وضعیت برنامه‌ریزی شهری صورت گرفته در گستره مورد بررسی وابسته است. در اینجا، به منظور برآورد

و ضرایب اهمیت نهایی آنها، که براساس ترکیب دو تکنیک دلفی و مدل AHP به دست آمده، در جدول «ت ۹» نشان داده شده است.

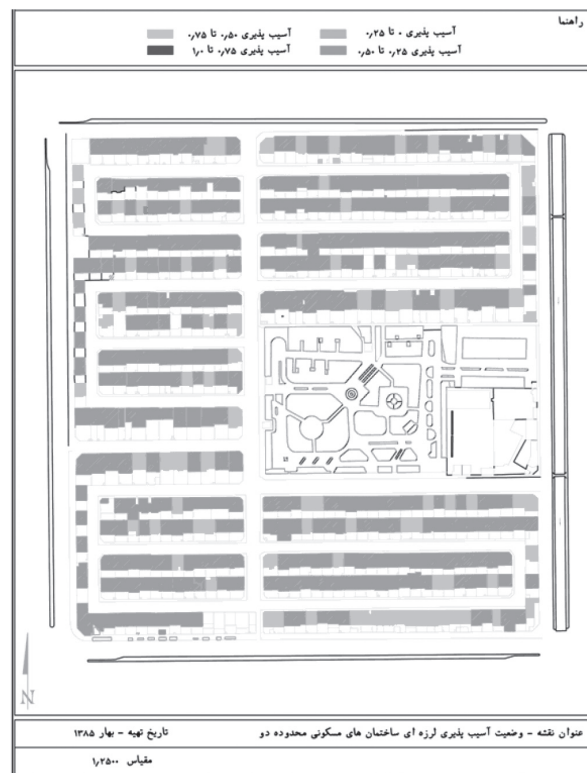
برآورد تلفات انسانی در دو حالت بدون امداد رسانی و امداد رسانی کامل

به منظور برآورد تلفات انسانی ناشی از فروریزی ساختمان دو دسته اطلاعات شامل تعداد ساکنان ساختمان‌های با احتمال فروریزی و نسبت تعداد تلفات به تعداد کل ساکنان آن دسته از ساختمان‌ها مورد نیاز است. این نسبت از عوامل گوناگونی تأثیر می‌پذیرد که ویژگی‌های ساختگاه، تأثیر به‌سزایی بر آن دارد. برای مثال، در صورت فروریزی سازه‌های بنایی، بر حسب نوع مصالح تشکیل‌دهنده تیر برآوردهای گوناگونی انجام می‌شود.

میزان آسیب‌پذیری انسانی از دو روش استفاده می‌شود. در روش اول و با استفاده از تلفیق دو دسته شاخص‌های شهرسازی و سازه‌ای، میزان آسیب‌پذیری انسانی (کشته و زخمی) هر پلاک ساختمانی محاسبه می‌شود و آن‌گاه با روش دوم و با استفاده از تعداد ساکنان ساختمان‌های با احتمال فروریزی و نسبت تعداد تلفات به تعداد کل ساکنان آن دسته از ساختمان‌ها و از طریق تعریف دو سناریو: سناریو بدون امداد رسانی و سناریو امداد رسانی کامل، درصد کشته‌های ناشی از وقوع زلزله در هر محدوده به دست می‌آید.

ارزیابی میزان آسیب‌پذیری انسانی پلاک‌های ساختمانی

میزان آسیب‌پذیری انسانی هر پلاک ساختمانی بر اساس فرمول ۳ آسیب‌پذیری به دست می‌آید. شاخص‌های به کار گرفته‌شده



ت ۷ و ۸، نقشه مقایسه وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌های ساختمان‌های مسکونی دو محدوده

ت ۹. (راست) جدول شاخص‌های برنامه‌ریزی و ضرایب اهمیت‌شان ت ۱۰. (چپ) ماتریس مقایسهٔ دودویی شاخص‌های برنامه‌ریزی

شاخص‌های برنامه‌ریزی	ضریب اهمیت نهایی هر شاخص
تراکم جمعیت	۰/۴۱۷
شبکه‌های ارتباطی	۰/۰۹۷
همجواری بین کاربری‌ها	۰/۰۶۱
تأسیسات زیربنایی	۰/۱۶
میزان سازگاری زمین با کاربری واقع در آن	۱/۰۲۵۶

ماتریس مقایسه دودویی شاخص‌های برنامه‌ریزی در این ماتریس:

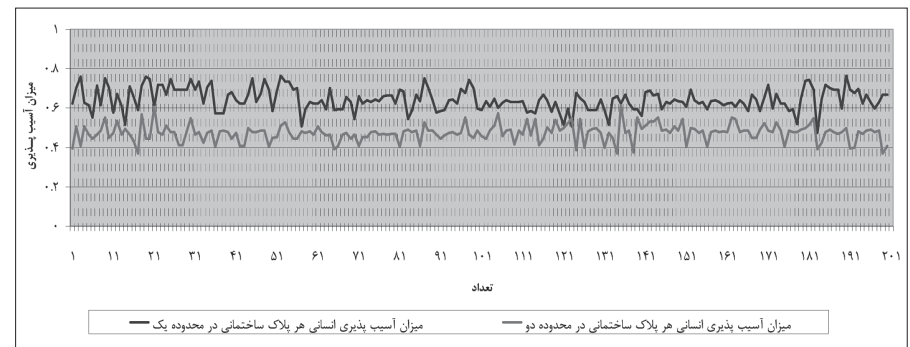
G: تراکم جمعیت
H: شبکه‌های ارتباطی
I: همجواری بین کاربری‌ها
J: تأسیسات زیربنایی
K: میزان سازگاری هر کاربری با زمین واقع در آن

	G	H	I	J	K
G	1	4	5	3	2
H	1/4	1	2	1/2	1/3
I	1/5	1/2	1	1/3	1/4
J	1/3	2	3	1	1/2
K	1/2	3	4	2	1

برابر ۱۸۳۹/۶ نفر است. براساس «فرمول ۴» و مقادیر تعیین شده برای هر محدوده، تلفات انسانی دو محدوده برآورد می‌شود. جدول «ت ۱۲» درصد و تعداد تلفات برآوردشدهٔ دو محدوده را در حالت بدون امداد رسانی و امداد رسانی کامل نشان می‌دهد. ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی صورت‌گرفته نشان می‌دهد میزان آسیب‌پذیری انسانی (کشته و زخمی) محدودهٔ اول بسیار بیشتر از محدودهٔ دوم است و این امر ناشی از بالاتر بودن میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای و نیز وضعیت نامناسب معابر و فضاهای پر و خالی محدودهٔ یک است. شبکهٔ معابر در این محدوده به طور عمده شامل خیابان‌های فرعی و گذرهای باریک با عرض کمتر از ۶ متر است که در هنگام بروز زلزله مشکل‌زا خواهد بود. این معابر در هنگام بروز سانحهٔ زلزله برای عملیات نجات و امداد رسانی قابل استفاده نیست، زیرا بر اثر فروریزی ساختمان‌ها مسدود می‌شود. همچنین مشخصاً دیده می‌شود که نامناسب بودن عوامل شهری گوناگون همچون وضعیت معابر و تقسیم‌بندی‌های فضایی بر افزایش میزان آسیب‌پذیری انسانی بسیار مؤثر است. نمودارهای «ت ۱۳» و «ت ۱۴» مقادیر آسیب‌پذیری انسانی محدودهٔ یک و دو را در دو صورت استفاده صرف از شاخص‌های سازه‌ای و در صورت استفادهٔ تلفیقی از شاخص‌های سازه‌ای و برنامه‌ریزی با یکدیگر مقایسه می‌کند. ملاحظه می‌شود که فاصلهٔ دو منحنی رسم‌شده در محدودهٔ اول بسیار بیشتر از محدودهٔ دوم است. محدودهٔ اول به علت داشتن بن‌بست‌های فراوان و نداشتن برنامه‌ریزی شبکهٔ معابر و

بنابراین، مطلوب است تا سوابق خسارت زلزله‌های گذشته در منطقه در نظر گرفته شود و توابع خسارت به طور کامل و با توجه به ویژگی‌های محلی و سازه‌های ساختمانی تدوین شود. بخشی از تلفات انسانی نیز ناشی از نبود امداد رسانی به‌موقع و مناسب در دورهٔ نجات و امداد است. موفقیت امداد رسانی اضطراری، عمدتاً به زمان پس از وقوع زلزله بستگی دارد. نسبت امداد رسانی طی ۷۲ ساعت پس از وقوع خسارت عملاً به صفر می‌رسد. یعنی اگر طی ۷۲ ساعت به افراد آسیب‌دیدهٔ محبوس در ساختمان‌ها امداد نرسد، اکثر آنها خواهند مرد. بنابراین، امداد رسانی یکی از عوامل اصلی و تعیین‌کننده در نسبت تلفات افرادی است که بر اثر فروریختن ساختمان‌ها بلافاصله نمی‌میرند. بدین ترتیب تعداد ساختمان‌های با احتمال فروریزش در محدودهٔ نبرد (محدودهٔ دو) برابر ۹۴ پلاک از ۲۰۰ پلاک و در محدودهٔ سرآسیاب (محدودهٔ یک) برابر ۱۶۶ پلاک از ۲۰۰ پلاک است. همچنین کل جمعیت موجود در محدودهٔ دو برابر ۲۳۶۰/۴ نفر و در محدودهٔ یک

ت ۱۱. نمودار مقایسهٔ وضعیت آسیب‌پذیری انسانی دو محدوده به تفکیک پلاک ساختمانی



محدوده یک	جمعیت کل	بدون امداد رسانی در شب		امداد رسانی کامل در شب	
		درصد کشته‌ها	کشته‌ها (نفر)	درصد کشته‌ها	کشته‌ها (نفر)
محدوده دو	۲۳۶/۴	۴/۳	۱۰۱/۴	۳/۰۴	۷۱/۷۵
محدوده یک	۱۸۳۹/۶	۵/۹۲	۱۰۸/۹	۴/۱۸	۷۶/۸

ت ۱۲. جدول درصد و تعداد تلفات انسانی برآورد شده در دو محدوده

آسیب‌های آن اعم از سازه‌ای و شهری مشخص می‌شود. بدین ترتیب این امر به مدیران و برنامه‌ریزان شهری نشان داده می‌شود که در خلال اجرای مراحل گوناگون مدیریت ریسک زلزله، لزوم توجه و برنامه‌ریزی به کدام گستره بیشتر و سریع‌تر از بقیه و اولویت‌بندی تخصیص منابع و امکانات چگونه است. - در مدت زمان کوتاه وقوع زلزله، به علت ناپایداری عناصر و فضاهای متفاوت و آماده نبودن مردم، آسیب‌ها به اشکال گوناگون رخ می‌دهد که در یک جمع‌بندی کلی می‌توان این آسیب‌ها را به سه دسته آسیب‌های فضایی-کالبدی، آسیب‌های جانی-مالی-عملکردی و آسیب‌های اجتماعی-اقتصادی تقسیم کرد که هر یک از این دسته آسیب‌ها به یک یا چند جزء سیستم‌های سکونتگاهی شامل انسان، کالا، انرژی و اطلاعات مربوط می‌شود و بر این اساس تنوع و پیچیدگی‌های متفاوتی دارد. بنابراین، برای ارزیابی آسیب‌پذیری هر دسته به شاخص‌ها و مدل‌های مختص آن دسته نیاز است. اما به طور کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که آسیب‌های فضایی-کالبدی نسبت به دیگر آسیب‌ها پیچیدگی و تنوع کمتری دارد و ارزیابی آسیب‌پذیری آنها ساده‌تر است.

- در امر ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی، استفاده صرف از شاخص‌های سازه‌ای کافی نیست و به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر، استفاده از شاخص‌هایی همچون تراکم جمعیت، نوع بافت منطقه مورد بررسی، وضعیت شبکه معابر و ارتباط آن با فضاهای باز و بسته ضروری است.

متناسب نبودن نسبت فضاهای پر و خالی آن وضعیت شهری نامناسبی دارد. این امر باعث می‌شود میزان آسیب‌پذیری انسانی ناشی از وقوع زلزله در آن بالا برود و تعداد بیشتری از افراد در معرض آسیب‌های ناشی از وقوع این سانحه قرار داشته باشند. مقایسه تعداد کشته و زخمی‌های دو محدوده، تأثیر به‌سزای وضعیت شهری را در امر آسیب‌پذیری انسانی نشان می‌دهد. تفاوت تعداد کشته‌های دو محدوده برابر ۵/۰۵ نفر است در صورتی که تفاوت تعداد زخمی‌ها در دو محدوده برابر ۶۴/۴ نفر است. مشخص است که تعداد زخمی‌ها، بیشتر تحت تأثیر وضعیت امداد رسانی قرار دارد و در محدوده‌ای که وضعیت شهری و به تبع آن وضعیت امداد رسانی مناسب‌تر باشد، تعداد زخمی‌ها نیز کمتر خواهد بود. در نمودار ۶ تعداد کشته‌ها و زخمی‌های دو محدوده با یکدیگر مقایسه شده است.

نتیجه‌گیری

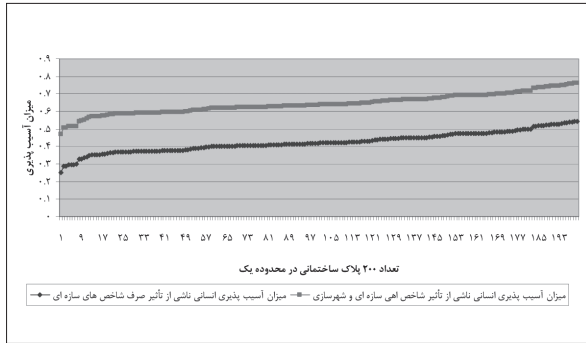
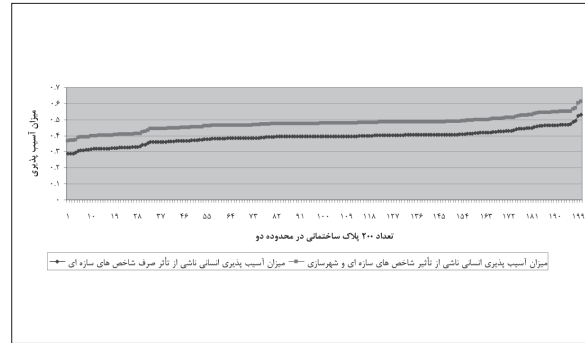
نتایج این پژوهش را می‌توان در دو دسته کلان و خرد دسته‌بندی کرد. نتایج کلان بیان‌کننده یافته‌های کلی و مواردی فراتر از نمونه مورد مطالعه و نتایج خرد بیشتر در ارتباط مستقیم با نمونه مورد مطالعه و جزئی‌تر است.

نتایج کلان

- شاخص‌ها و سناریوهای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، با توجه به تغییر ویژگی‌های مکان مورد مطالعه، زمان اجرای کار، منابع در دسترس و اهداف عملیاتی مد نظر متفاوت است.

- با استفاده از مدل‌ها و نقشه‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای و انسانی بررسی فضایی گستره مورد بررسی امکان‌پذیر می‌شود. از طریق مقایسه بین این نقشه‌ها و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای هر محدوده نسبت به دیگر نواحی، راهبردهای اجرایی کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای هر محدوده به دست می‌آید؛ زیرا در این روش علاوه بر تعیین میزان کل آسیب‌پذیری هر گستره، نوع

ت ۱۳. (راست) نمودار آسیب پذیری انسانی محدوده دو در دو حالت با و بدون شاخص های برنامه ریزی ت ۱۴. (چپ) نمودار آسیب پذیری انسانی محدوده یک در دو حالت با و بدون شاخص های برنامه ریزی

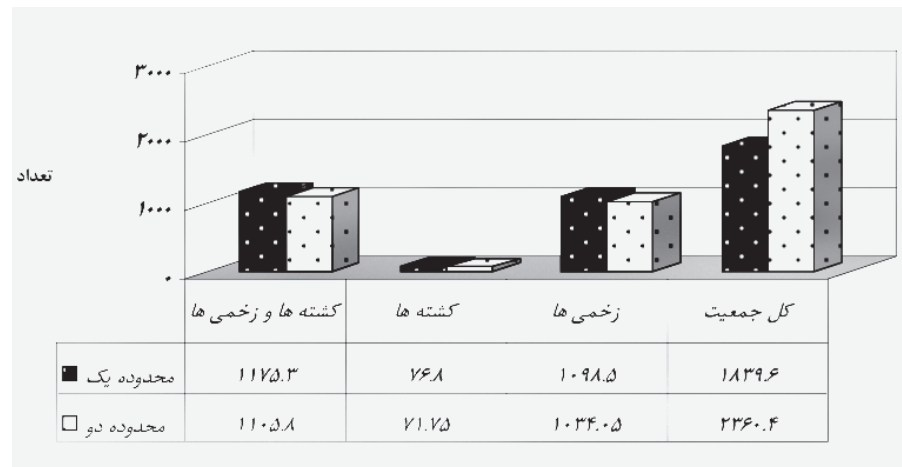


الگوهای شهری گوناگون در برابر زلزله، عکس العمل های متفاوتی از خود نشان می دهند و میزان آسیب پذیری لرزه ای آن ها نیز متفاوت است.

نتایج خرد

پیش فرض مقاوم بودن بافت از پیش اندیشیده شده نسبت به بافت ارگانیک و پایین تر بودن میزان آسیب پذیری لرزه ای آن قابل تعمیم به دیگر مناطق نیست و در این بین وجود شاخص های دیگر همچون نوع اقلیم و آب و هوا، وضعیت زمین ساختی، شدت و ساعت وقوع زلزله در میزان آسیب پذیری لرزه ای مؤثر است.

ت ۱۵. (چپ) نمودار و جدول مقایسه تعداد کشته و زخمی ها در دو محدوده



بر اساس مدل حوزه بندی انسداد راه ها، وضعیت شبکه معابر در محدوده دوم نمونه مطالعه شده مناسب است. از این رو ضروری ترین برنامه کاهش آسیب پذیری در این محدوده تقویت سازه های ضعیف مسکونی است. از تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی بررسی شده در این محدوده، تعداد ۱۰۶ پلاک قابلیت مقاوم سازی دارند. در مقابل، در محدوده اول از تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی مطالعه شده فقط ۳۴ پلاک قابلیت مقاوم سازی دارند و از این رو ضروری ترین برنامه کاهش آسیب پذیری در این محدوده، توجه و اصلاح شاخص های شهری از جمله وضعیت شبکه معابر، بافت شهری و نحوه چیدمان فضاهای باز و بسته داخل محدوده است.

کتاب نامه

احمدی، حسن. نقش شهرسازی در کاهش آسیب پذیری شهر، انتشارات دهخدا، ۱۳۸۰.
 بحرینی، سیدحسین و دیگران. نقش فرم، الگو و اندازه سکونتگاه ها در کاهش خطرات ناشی از وقوع زلزله جلد اول، مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ۱۳۷۲.
 جایکا (مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ)، پروژه پهنه بندی لرزه ای تهران، آژانس همکاری های بین المللی ژاپن و با همکاری مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران (جایکا)، ۱۳۷۹.
 جعفری، علی محمد. آمادگی در برابر زلزله، سازمان پژوهش و برنامه ریزی

Colombia, 2003.

Davidson R. "An Urban Earthquake Disaster Risk Index", *Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, California* 1997.

Fernandez, Jeannette, Bendimerad, Fouad, Shirley Mattingly, Jim Buika. *Comparative analysis of disaster risk management practices in seven megacities*, ISDR's publications, 2006.

Hosseini M., A. Khaki, and A. Shariat. *Functionality assessment of Urban Transportation Systems for rescue and relief activities in the Aftermath of Earthquake in large populated cities, USA*, 2002.

Hosseini M. *Integrated Disaster Risk Management System for Industries Subjected to Natural Hazards, Proceedings of the Int'l Conference on Integrated Risk Management*, IIASA, Istanbul, Turkey, 2006.

IADB, Universidad Nacional de Colombia. *IDEA. Indicators of Disaster Risk and Risk Management*, Manizales, Colombia. 2005.

Jacobs, Brian. "Urban Vulnerability: Public Management in a Changing World", *Journal of contingencies and Crisis Management*, Vol. 13, no.2, 2005.

McEntire, David A. "Triggering Agents, Vulnerability and Disaster reduction: towards a holistic paradigm", *Disaster Prevention and management*, Vol. 10, no.3, MCB university press, 2001.

Menoni, s. and Petrini, V. and Zonno, G. *Seismic Risk Evaluation Integrated use of Geographical Information System and Artificial Intelligence technique - SERGISAI*, Instituto di Ricerca sul Rischio Sismico, Milano, Italy, 2005.

Nakabashi, Istook. "Urban planning based on disaster risk assessment", *disaster management in metropolitan area for 21st century*, Nagaya, Japan, 1993.

Paton, Douglas and Johnson, David. "Disasters and communities: Vulnerability, Resilience and Preparedness", *Disaster Prevention and management*, Vol. 10, no.4, MCB university press, 2001.

Scira Menoni and Floriana Pergalani. "An attempt to link risk assessment with land use planning", *Disaster Prevention and management*, Vol. 5, no.2, MCB university

آموزشی تهران، ۱۳۷۷.

حسینی، مازیار. چالش‌ها و راهبردهای مدیریت بحران در شهر تهران، سازمان مدیریت بحران شهر تهران، ۱۳۸۲.

حمیدی، ملیحه. «نقش برنامه‌ریزی و طراحی شهری در کاهش خطرات و مدیریت بحران»، مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله جلد دوم، تهران، ۱۳۷۶.

رضائیان، علی. اصول مدیریت، انتشارات سمت، ۱۳۷۲.

عادلی، حجت‌الله. چه طور می‌توان تلفات و خسارات ناشی از زلزله را در شهرها کاهش داد؟ انتشارات دهخدا، ۱۳۷۵.

عبداللهی، مجید. مدیریت بحران در نواحی شهری، انتشارات سازمان شهرداری‌های کشور، ۱۳۸۲.

عزیزی، محمدمهدی. تراکم در شهرسازی - اصول و معیارهای تعیین تراکم شهری، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۲.

علیدوستی، سیروس. الگوی برنامه‌ریزی مقابله با بحران ناشی از وقوع زلزله در شهرها، مرکز مقابله با سوانح طبیعی، ۱۳۷۲.

قدسی پور، سید حسن. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی *AHP*، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۴.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۸۴ - ۲۸۰۰، ویرایش سوم، ۱۳۸۳.

ناطق‌اللهی، فریبرز و احمد ابراهیمی. معیارهای ارزیابی و نحوه تعیین آسیب‌پذیری سازه‌های بتن مسلح، پژوهشکده بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۹.

ناطق‌اللهی، فریبرز. مدیریت بحران زمین‌لرزه در برابر شهرها با رویکرد به برنامه مدیریت بحران زمین‌لرزه شهر تهران، پژوهشکده بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۹.

_____ . مدیریت بحران زمین‌لرزه در ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۸.

_____ . اقدامات بلندمدت و عوامل مهم و اساسی جهت دست‌یابی به سیستم جامع مدیریت بحران زمین‌لرزه در تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۷.

وبس، یدالله. نگرشی بر مطالعات شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری در مناطق زلزله‌خیز، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۵.

Alex H.Barbat. *Indicators for Disaster Risk Management*,

press, 1996.

Timmerman, P. *Vulnerability. Resilience and the Collapse of Society*, Institute of Environmental Studies, University of Toronto, Toronto, 1981.

UNDRO. *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, United Nations Disasters Ref. Coordinates, 1979.