Archive of SID

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

آنچـه زلزلـه را تبدیل به یـک بلای طبیعی می کنـد عدم آمادگی کامل بشـر در محیط های سـکونتگاهی است و به این خاطر است که در کشـورهای توسـعه‌یافته، مدیریت خطرپذیری زلزله برمبنای برنامه‌ریـزی شـهری و منطقه‌ای شـکل گرفته اسـت. از سـویی دیگر، شـاخص‌های متعدد ارزیابی آسـیب‌پذیری لرزه‌ای و مدیریت خطرپذیری زلزله بر اسـتفاده از مدل‌هـا و تکنیک‌های گوناگون در زمینه های برنامه های شـهری تأکید می‌کند. در این خصوص و با توجه به توانایی مدل‌های ارزیابی سلسله‌مراتبی شاخص‌ها و ترکیب آنها با سیسـتم اطلاعـات مکانی، امکان ایجاد یـک مدل یکپارچهٔ تلفیقی پشتیبانی تصمیم‌گیری فراهم می‌آید.

مقالـه حاضر چگونگی اسـتفادهٔ ترکیبـی از دو تکنیک دلفی و مدل تحلیلی سلسله‌مراتبی و یک سیستم اطلاعات مکانی را در یک مدل یکپارچهٔ تلفیقی ارائه می‌ذهذ و شـیوهٔ ارزیابی آسـیب‌پذیری لرزه‌ای و سـازه‌ای و انسـانی را در یک سکونتگاه انسـانی به ارزیابی و اجرا می‌گذارد. با استفاده از نتایج حاصل از اجرای این مدل و بررسی میزان آسیب‌پذیری هر ناحیهٔ شهری نسبت به سایر نواحی، اولویت‌بندی نواحی برای اجرای برنامه‌های پیشگیری و کاهش خطرپذیری مشخص می‌شود. همچنین این نتایج، اهمیت توجه به سـنجه‌ها و شـاخص‌های برنامه‌ریزی در امر کاهش آسیب‌پذیری را خاطرنشان می‌کنـد. افـزون بر ایـن، برنامه‌ریزان با توجه بـه نتایج و تحلیل‌هـای حاصل از بررسـی شاخص‌های برنامه‌ریزی و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای و انسانی، می‌توانند به تخمیـن کمّی خطر زلزله بپردازند و اولویت‌بندی برنامه‌های مقابله با سـوانح و تخصیص منابع را تعیین کنند.

مقدمه

در گزارش دفتر برنامه‌ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۲م، ایران در میان دیگر کشورهای جهان، رتبهٔ نخست را از نظر تعداد زلزله‌های با شـدت بالای ۵/۵ ریشـتر در سـال و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینهٔ آسـیب‌پذیری ناشـی از وقوع زلزله و تعداد تلفات این سـانحه به خود اختصاص داده اسـت. طبق این گـزارش، در ایران زلزله وجه

www.SID.ir

Archive of SID

پرسش‌های تحقیق

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و تجزیه و تحلیل آن چگونه و بر پایهٔ 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، به‌واسطهٔ 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 افرادِ 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 تهیهٔ 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، چندبُعدی 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. دههٔ ۱۹۹۰ را دههٔ بین‌المللی کاهش آثار بلایای طبیعی اعلام کرد. در خلال سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ تعداد ۱۵۸هزار و ۵۵۱ نفر در سراسر جهان جان خود را براثر 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 ۴۷هزار و۲۶۷ نفر کشته، بالاترین رتبه را دارد و البته این آمار بدون در نظر گرفتن تعداد

www.SID.ir

Archive of SID

حدود ۴۰ هزار نفر کشته در زلزلهٔ بم در دسامبر ۲۰۰۳ است.[۱] از طریق مقایسهٔ تعداد افراد در معرض خطر و تعداد افراد کشته‌شده بر اثر وقوع سانحهٔ 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 برنامهٔ 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 زمینهٔ 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 شبکهٔ جهانی اینترنت نشان‌دهندهٔ 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 پایهٔ 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 مقالهٔ حاضر را می‌توان به شکل زیر مطرح می‌کرد:

- ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و تجزیه و تحلیل آن چگونه و بر پایهٔ 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 مقولهٔ برنامه‌ریزی، مدیریت ریسک زلزله و آسیب‌پذیری شناسایی و انتخاب می‌شوند. یکی 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. نمونهٔ موردی ما در اینجا منطقهٔ 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 نمونهٔ مورد مطالعه: ارزیابی و تحلیل خطر زلزله از طریق اجرای مدل تحلیلی و مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده انجام می‌شود.

چارچوب نظری

چارچوب نظری شامل موضوع پژوهش و نحوهٔ 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 موردنظر 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 به‌کاررفته 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 ثانویهٔ ناشی از وقوع زلزله (مانند زمین‌لغزش، آتش‌سوزی و...) و آسیب‌پذیری تمامی سیستم‌ها از جمله سیستم‌های اجتماعی و اقتصادی، زیرساختارها و تسهیلات عمومی، ساختمان‌ها و انسان‌هاست.[۵]

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

2. International Disaster Database and UNDP 2002

3. Delphi

4. Analitical 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

www.SID.ir

Archive of SID

ـ آسیب‌پذیری به شـرایطی اطلاق می‌شود که به‌واسطهٔ عوامل فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیسـت‌محیطی تعیین و قابلیت تأثیرپذیـری جوامع را در برابر صدمات ناشـی از وقوع خطرات بالا برد.[۶]

ـ خطر به‌مثابـه احتمال وقوع اتفاقی با شـدت معین و در طول زمان خاص شناخته می‌شود.

ریسک = خطر × آسیب‌پذیری (فرمول ۱)

ـ مدیریت فرایند به‌کارگیری مؤثر و کارامد منابع مادی و انسانی در برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، بسیج منابع و امکانات، هدایت و کنترل اسـت که برای دست‌یابی به اهداف سازمانی و براساس نظام ارزشی پذیرفته‌شده صورت می‌گیرد.[۷]

ـ زلزله عبارت اسـت از مجموعهٔ لرزش‌هایی که در پوستهٔ زمین رخ می‌دهد تا انرژی آزادشـدهٔ زمین را تخلیه کند. لرزش‌های مزبور ممکن اسـت بـه همراه انفجارات آتش‌فشـانی رخ دهد (حدود ۷درصد زلزله‌ها)، یا با جابه‌جایی پوسـتهٔ زمین در طول خطوط گسـل همراه باشـد (حدود ۹۰درصد زلزله‌ها)، یا اینکه از نوع سـقوطی باشـد که بیشـتر در مناطق آهکی و گچی و سنگ‌های قابل انحلال رخ می‌دهد (حدود ۳درصد زلزله‌ها)[۸].

۲. روابط آسیب‌پذیری

الف) آسیب‌پذیری سازه‌ای

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

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

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 آسـیب‌دیده و وضعیت برنامه‌ریزی و طراحی شـهری آن مکان اسـت. «فرمول ۳» چگونگی ارزیابی میزان آسیب‌پذیری انسانی ناشـی از تلفیق دو دسته شاخص‌های سـازه‌ای و برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. با استفاده از این رابطه می‌توان میزان آسیب‌پذیری انسانی هر پلاک ساختمانی را محاسبه کرد.

$$V_{H_T} = \phi \times V_{ph} + \varphi \times V_{H_U} \qquad \text{(فرمول ۳)}$$

در این رابطه:

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

V_{ph}: میزان آسـیب‌پذیری سـازه‌ای ناشـی از تأثیر شاخص‌های سازه‌ای در هر پلاک ساختمانی

V_{HU}: میزان آسـیب‌پذیری انسـانی ناشـی 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.

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

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) اسـت که در مطالعات مرکز مطالعات زلزله و زیسـت محیطی تهران بزرگ (جایـکا) در سـال ۱۳۷۹ نیـز مورد استفاده قرار گرفته است.

۷. علـی رضائیان، *اصـول مدیریت*، ص ۶.

۸. علی‌محمـد جعفـری. *آمادگی در برابر زلزله*، ۷.

www.SID.ir

Archive of SID

ج) برآورد تلفات انسانی در دو حالت بدون امدادرسانی و امدادرسانی 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 دورهٔ نجات و امداد است. موفقیت امدادرسانی اضطراری، عمدتاً به زمان پس از وقوع زلزله بستگی دارد. نسبت امدادرسانی طی ۷۲ ساعت پس از وقوع خسارات عملاً به صفر می‌رسد. یعنی اگر طی ۷۲ ساعت به افراد آسیب‌دیدهٔ محبوس در ساختمان‌ها، امداد نرسد، اکثر آنها خواهند مرد. بنابراین، امدادرسانی 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:

Ks: 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 امدادرسانی می‌میرند).

مدل تحلیلی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

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[۱۰] 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 به‌کاررفته در سازه

ویرایش سوم آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله سازه‌ها را از نظر نوع مصالح به‌کاررفته 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.

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

10. GIS

11. SDSS

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم سازه‌ای

منظور از سیستم سازه‌ای، نوع سیستم ساختمان در طبقات است. بر طبق آیین‌نامهٔ 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 آیین‌نامهٔ 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 لرزهٔ 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 طوری‌که 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 مجموعهٔ 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 شبکهٔ ارتباطی کارآمد می‌توان صدمات زلزله را تا حد زیادی کاهش داد. شبکهٔ ارتباطی کارآمد، شبکه‌ای است که عرض بیشتری دارد، سطح آن نسبت به سطوح ساخته‌شدهٔ شهری بیشتر است و پل‌های کمتری دارد، با شبکه‌های خارج

۱۲. درصد تلفات انسانی محاسبه‌شده در پروژهٔ جایکا برای منطقهٔ ۱۴ در حالت بدون امدادرسانی شب برابر ۳/۶ و در حالت امدادرسانی کامل شب برابر ۶/۴ است (جایکا ۱۳۷۹).

۱۳. محمدمهدی عزیزی، *تراکم در شهرسازی- اصول و معیارهای تعیین تراکم شهری*، ص ۲۲.

www.SID.ir

Archive of SID

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، شبکهٔ ارتباطی با نوع بافت نیز در ارتباط است. ریزدانه، میان‌دانه یا درشت‌دانه بودن بافت شهری، بر کارآمدی شبکهٔ ارتباطی تأثیر می‌گذارد. هرچه این دانه‌بندی بافت شهری درشت‌تر باشد، درصد گره‌های ترافیکی و تعداد بن‌بست‌ها کمتر، کارآمدی شبکهٔ 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 نحوهٔ کنار هم قرار گرفتن هر کاربری با کاربری دیگر، و بررسی همجواری بین آنها با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری، بررسی نحوهٔ قرارگیری کاربری‌های گوناگون و سازگاری و ناسازگاری بین آنهاست. زیرا هر کاربری کارایی و میزان آسیب مشخصی در برابر وقوع زلزله دارد و در صورتی‌که اصول همجواری ها 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 حوزهٔ نفوذ هر کاربری و در نظر گرفتن میزان آسیب‌پذیری آن از زلزله و درجهٔ 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 فاصلهٔ ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری از گسل‌ها)؛ و سایت پُرخطر (احتمال نشستِ خاک: بسیار زیاد، و آثار جابه‌جایی زمین ناشی از جنبش گسل ها تا فاصلهٔ کمتر از ۳۰۰ متر از خط گسل اصلی و داشتن پتانسیل زمین لغزش 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 به‌شدت افزایش دهد. در این مورد دو نوع آسیب شامل آسیب‌های ناشی از دسترسی نداشتن به شریان‌های حیاتی در دورهٔ 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

www.SID.ir

Archive of SID

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

ت ۱. اطلاعات پلاک‌های ساختمانی موجود در پایگاه داده‌ها

بالا، نوع فناوری به‌کاررفته در ساخت آنها و نحوهٔ کارکرد و شیوهٔ 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 محدودهٔ انتخابی درون منطقهٔ ۱۴ تهران

منطقهٔ ۱۴ شهر تهران در قسمت شرقی و جنوب شرقی تهران قرار دارد. این منطقه به دو ناحیهٔ اجتماعی تقسیم می‌شود. محدودهٔ یک اجتماعی در شمال و قدیمی‌ترین قسمت این منطقه است و محدودهٔ دو اجتماعی در جنوب منطقه و جدیدترین قسمت از نظر زمان ساخت ساختمان‌هاست. این دو ناحیهٔ اجتماعی دو بافت کاملاً متضاد دارد به شکلی که ناحیهٔ یک اجتماعی بافتی ارگانیک و ناحیهٔ دو اجتماعی بافتی شطرنجی و ازپیش‌اندیشیده دارد. به دلیل وسعت منطقهٔ ۱۴ و محدودیت‌های زمانی برای مطالعات تکمیلی و مشاهدات میدانی، از درون هر یک از دو ناحیهٔ اجتماعی دو محدوده انتخاب و عمل ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای این دو محدوده انجام می‌شود. از این پس محدودهٔ انتخاب‌شده از ناحیهٔ یک را محدودهٔ یک و محدودهٔ انتخاب‌شده از ناحیهٔ دو را محدودهٔ دو می‌نامیم. به منظور ایجاد پایگاه داده‌اطلاعات، از طریق نمونه‌گیری آماری و مطالعات 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 گسترهٔ مطالعاتی است. این سناریو براساس وضعیت زمین ساختی و ژئوتکنیکی و خصوصیات طبیعی‌ـکالبدی و اجتماعی‌ـاقتصادی 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 محدودهٔ مورد مطالعه خطرات ثانویه معرفی می‌شود. در این پژوهش عمل ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای صرفاً تا اتمام دورهٔ نجات و امداد فوری را شامل می‌شود.
- محل وقوع خطر: محل وقوع خطر زلزله در منطقهٔ ۱۴ شهر تهران و در دو محدودهٔ مورد مطالعه تعریف شده است.
- گسل فعال (چشمهٔ لرزه‌زا): به دلیل قرارگیری منطقهٔ ۱۴ در قسمت شرقی تهران و نزدیک بودن این منطقه به گسل فعال جنوب و شمال ری، فرض بر این است که براثر رخداد زلزله فقط این گسل فعال خواهد شد و از این‌رو، تنها از این گسل برای مدل سناریوی پیشنهادی استفاده می‌شود.
- ساعت وقوع زلزله: زلزلهٔ 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 محدودهٔ مجموعهٔ شهری تهران

www.SID.ir

Archive of SID

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

ماتریس مقایسه دودویی شاخص های سازه ای

	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

در این ماتریس:
A : شکل سازه
B : نوع مصالح به کار رفته در سازه
C : سیستم سازه ای
D : عمر سازه
E : ضریب تشدید ارتعاش
F : کیفیت ساخت و اجرا

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

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 این‌رو فرض می‌شود که زلزلهٔ احتمالی در شرایط مناسب و آب‌وهوایی رخ خواهد داد.

ـ 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.

ـ 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.

ـ بیشینهٔ شتاب زمین: بیشینهٔ شتاب زمین برای منطقهٔ ۱۴ برابر ۳۰۰ گال (۰/۴۰ g) فرض می‌شود.

ـ شیب زمین: منطقهٔ ۱۴ در قسمت شرق و با جهت جنوب شرقی شهر تهران قرار گرفته و از این‌رو 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.

ـ 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.

ـ مقدار تناوب اصلی خاک: مقدار پریود خاک منطقهٔ ۱۴ با استفاده از نقشهٔ توزیع پریود دینامیکی آبرفت‌های تهران و برابر ۰/۳ثانیه 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)

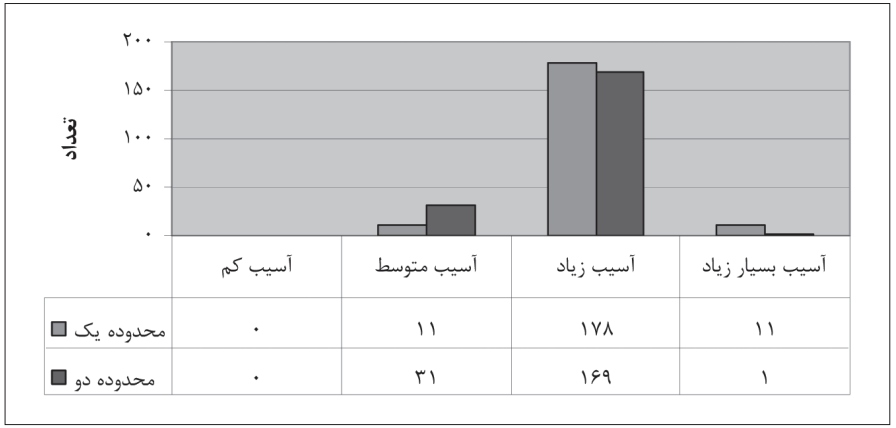
ضابطه	وضعیت	شرایط
$V_{ph} \leq$ ۰/۲۵	آسیب کم	قابلیت و ارزش مقاوم‌سازی دارد
۰/۲۵ $\leq V_{ph} <$ ۰/۵	آسیب متوسط ـ امکان تعمیر	قابلیت و ارزش مقاوم‌سازی دارد
۰/۵ $\leq V_{ph} <$ ۰/۷۵	آسیب زیاد ـ بازسازی الزامی	قابلیت و ارزش مقاوم‌سازی ندارد
$V_{ph} \geq$ ۰/۷۵	آسیب بسیار زیاد ـ احتمال ریزش ساختمان	قابلیت و ارزش مقاوم‌سازی دارد

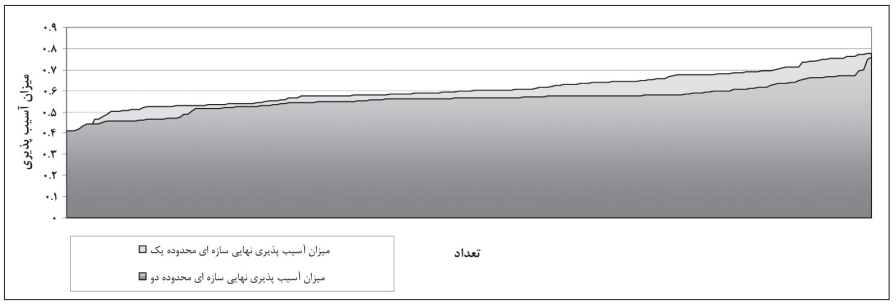
www.SID.ir

Archive of SID

میـزان آسـیب‌پذیری بین صفر و یک در نوسـان اسـت؛ بنابرایـن، اگر در نتیجهٔ محاسـبه میزان آسـیب‌پذیری بیش از ۱ محاسـبه شده باشـد، 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 سازه‌ای سـاختمان‌های مسـکونی دو محدودهٔ مورد مطالعه در نمودار « ت ۵» با یکدیگر مقایسـه شـده اسـت. از میان تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی تنها یک پلاک در پهنهٔ آسیب بسیار زیاد سـازه‌ای قـرار دارد و در این بین، ۸۴/۵ درصد سـاختمان‌ها در خطر نسـبی زیاد آسیب‌پذیری سـازه‌ای و ۱۵/۵ درصد در خطر نسـبی متوسط آسـیب‌پذیری قرار دارند. در مقابل و در محدودهٔ یک، از بین تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی انتخاب‌شده، ۵/۵ درصد سـاختمان‌ها در پهنهٔ با آسیب بسیار زیاد سازه‌ای، ۸۹ درصد در پهنهٔ با آسـیب‌پذیری زیاد و ۵/۵ درصد مابقی در پهنهٔ با آسیب متوسط قرار دارند. همچنین در هیچ‌یک از دو محدوده، ساختمان با آسیب کم سازه‌ای وجود ندارد.

ت ۵. (پایین) نمـودار مقایسـهٔ وضعیت آسـیب‌پذیری سـازه‌ای سـاختمان‌های مسـکونی دو محدوده
ت ۶ (پایین صفحه) نمـودار مقایسـهٔ وضعیـت آسـیب‌پذیری سازه‌ای سـاختمان‌های مسکونی دو محدوده





چگونگی ارزش‌گذاری وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌ای در جدول ۳ آمده است. بر این اساس، از تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی مورد بررسـی، درصد سـاختمان‌های با احتمال فروریزش در محدودهٔ دوم برابر ۴۷ درصد و در محدوده یک برابر ۸۳ درصد اسـت. با تعمیـم نتایج حاصل از دو محدوده بـه کل منطقهٔ ۱۴، میانگین درصد آسـیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی در کل منطقه برابر ۶۵ درصد اسـت. نتایج مدل شمال و جنوب ری در پروژهٔ جایکا (۱۳۷۹)، میانگین میزان آسـیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی منطقهٔ ۱۴ شـهر تهران را برابر ۵۷/۶ درصد نشـان می‌دهد که این امر همخوانی نتایـج حاصل از مدل تحلیلی پژوهش حاضر را با نتایج حاصل از مدل پروژهٔ جایکا نشان می‌دهد. نکتهٔ دیگر آن اسـت که از طریق شـناخت و بررسـی وضعیت سازه‌ای دو محدوده مشـخصاً دیده می‌شـود که محـدودهٔ دوم از وضعیت سازه‌ای مناسب‌تری نسبت به محدودهٔ اول برخوردار است. نتایج حاصل از ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ای دو محدوده نیز بر این امر تأکید دارد. به طور نسبی، ۵۳ درصد سازه‌های محدودهٔ دوم در خطر آسیب متوسط قرار دارند و امکان تعمیر آنها پس از وقوع زلزله وجود دارد و این در حالتی اسـت که تنها ۳۴ درصد سـاختمان‌های محدودهٔ اول در چنین وضعیتی قرار دارند. شکل «ت ۶» و نقشـه‌های «ت ۷» و « ت ۸»، وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسـکونی دو محدوده و تفاوت آنها را با یکدیگر نشان می‌دهد.

۳. ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی

میزان آسـیب‌پذیری انسـانی به دو عامل اولیه و ثانویهٔ شـدت تخریب سـازه‌ای و وضعیت برنامه‌ریزی شهری صورت‌گرفته در گسـترهٔ مورد بررسـی وابسته اسـت. در اینجا، به منظور برآورد

www.SID.ir

Archive of SID

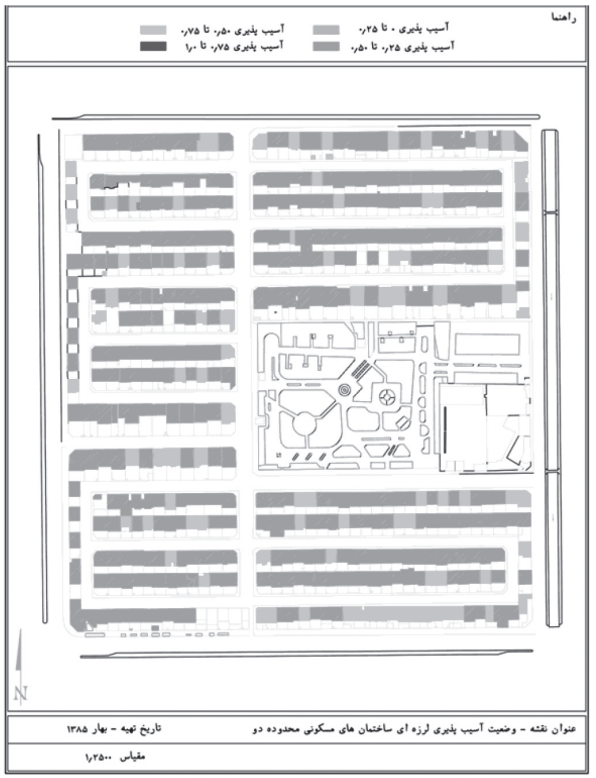
میزان آسیب‌پذیری انسانی از دو روش استفاده می‌شود. در روش اول و با اســتفاده از تلفیق دو دسته شــاخص‌های شهرسازی و ســازه‌ای، میزان آسیب‌پذیری انسانی (کشته و زخمی) هر پلاک ســاختمانی محاسبه می‌شود و آن‌گاه با روش دوم و با استفاده از تعداد ساکنان ســاختمان‌های با احتمال فروریزی و نسبت تعداد تلفات به تعداد کل ســاکنان آن دسته از ساختمان‌ها و از طریق تعریف دو سناریو: سناریو بدون امدادرسانی و سناریو امدادرسانی کامل، درصد کشــته‌های 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 آســیب‌پذیری به دست می‌آید. شاخص‌های به کار گرفته‌شده و ضرایــب اهمیت نهایی آنها، که براســاس 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 امدادرسانی و امدادرسانی کامل

به منظور برآورد تلفات انســانی ناشــی از فروریزی ساختمان دو دســته اطلاعات شامل تعداد ساکنان ســاختمان‌های با احتمالِ فروررریزی و نسبت تعداد تلفات به تعداد کل ساکنان آن دسته از ساختمان‌ها مورد نیاز است. این نسبت از عوامل گوناگونی تأثیر می‌پذیرد که ویژگی‌های ســاختگاه، تأثیر به‌ســزایی بر آن دارد. برای مثال، در صورت فروریزی ســازه‌های بنایی، بر حسب نوع مصالح تشــکیل‌دهندهٔ تیر برآوردهای گوناگونی انجام می‌شود.



ت ۷ و ۸. نقشــهٔ مقایسهٔ وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌ای ساختمان‌های مسکونی دو محدوده

www.SID.ir

Archive of SID

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	/۰۲۵۶

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

ماتریس مقایسه دودویی شاخص های برنامه ریزی

	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

در این ماتریس:
G: تراکم جمعیت
H: شبکه های ارتباطی
I: همجواری بین کاربری ها
J: تأسیسات زیربنایی
K: میزان سازگاری هر کاربری با زمین واقع در آن

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 امدادرسانی به‌موقع و مناسب در دورهٔ نجات و امداد است. موفقیت امدادرسانی اضطراری، عمدتاً به زمان پس از وقوع زلزله بستگی دارد. نسبت امدادرسانی طی ۷۲ ساعت پس از وقوع خسارات عملاً به صفر می‌رسد. یعنی اگر طی ۷۲ ساعت به افراد آسیب‌دیدهٔ محبوس در ساختمان‌ها امداد نرسد، اکثر آنها خواهند مرد. بنابراین، امدادرسانی یکی از عوامل اصلی و تعیین‌کننده در نسبت تلفات افرادی است که براثر 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 برابر ۱۸۳۹/۶ نفر است. براساس «فرمول۴» و مقادیر تعیین‌شده برای هر محدوده، تلفات انسانی دو محدوده برآورد می‌شود. جدول «ت ۱۲» درصد و تعداد تلفات برآوردشدهٔ دو محدوده را در حالت بدون امدادرسانی و امدادرسانی 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 امدادرسانی قابل استفاده نیست، زیرا براثر 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

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

www.SID.ir

Archive of SID

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.

مقایسهٔ 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 امدادرسانی قرار دارد و در محدوده‌ای که وضعیت شهری و به تبع آن وضعیت امدادرسانی 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 دستهٔ کلان و خرد دسته‌بندی کرد. نتایج کلان بیان‌کنندهٔ یافته‌های کلی و مواردی فراتر از نمونهٔ مورد مطالعه و نتایج خرد بیشتر در ارتباط مستقیم با نمونهٔ 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 سازه‌ای و انسانی بررسی فضایی گسترهٔ 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

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

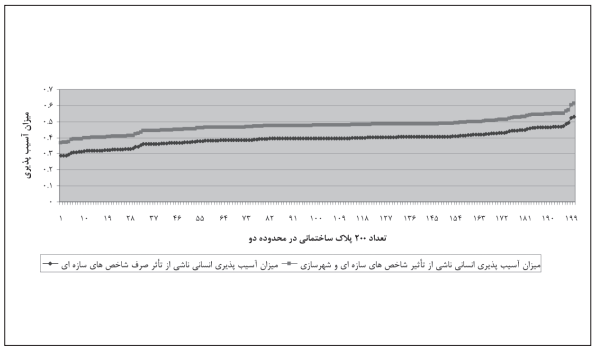
ت ۱۲. جدول درصد و تعداد تلفات انسانی برآوردشده در دو محدوده

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.

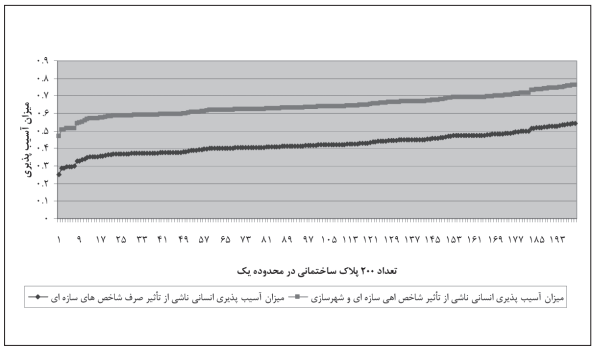
- در مدت زمان کوتاه وقوع زلزله، به علت ناپایداری عناصر و فضاهای متفاوت و آماده نبودن مردم، آسیب‌ها به اشکال گوناگون رخ می‌دهد که در یک جمع‌بندی کلی می‌توان این آسیب‌ها را به سه دسته آسیب‌های فضایی-کالبدی، آسیب‌های جانی-مالی-عملکردی و آسیب‌های اجتماعی-اقتصادی تقسیم کرد که هر یک از این دسته آسیب‌ها به 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، استفادهٔ صرف از شاخص‌های سازه‌ای کافی نیست و به منظور دست‌یابی به نتایج دقیق‌تر، استفاده از شاخص‌هایی همچون تراکم جمعیت، نوع بافت منطقهٔ مورد بررسی، وضعیت شبکهٔ معابر و ارتباط آن با فضاهای باز و بسته ضروری است.

www.SID.ir

Archive of SID



ت ۱۳. (راست) نمودار آسیب‌پذیری انسانی محدودهٔ دو در دو حالت با و بدون شاخص‌های برنامه‌ریزی
ت ۱۴. (چپ) نمودار آسیب‌پذیری انسانی محدودهٔ یک در دو حالت با و بدون شاخص‌های برنامه‌ریزی



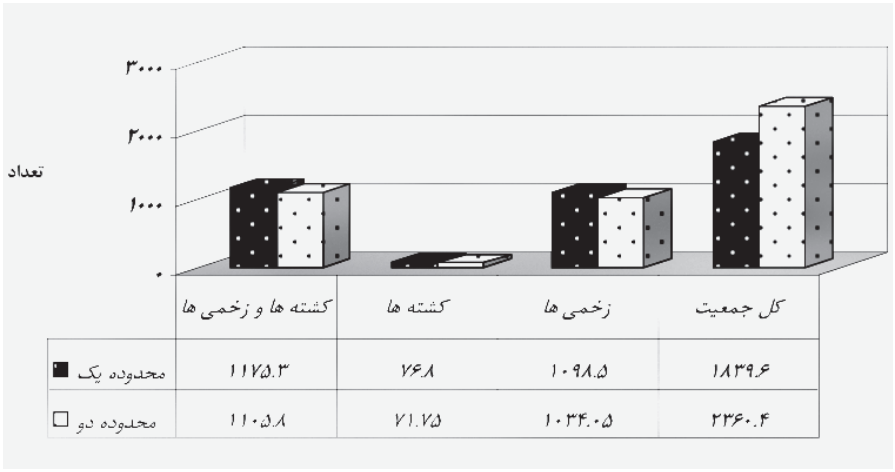
ـ الگوهای شـهری گوناگون در برابر زلزلـه، عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشـان می‌دهند و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن‌ها نیز متفاوت است.

نتایج خرد

ـ پیش‌فرض مقاوم بودن بافت از پیش اندیشیده‌شـده نسبت به بافت ارگانیک و پایین‌تر بودن میزان آسـیب‌پذیری لرزه‌ای آن قابل تعمیم به دیگر مناطق نیست و در این بین وجود شاخص‌های دیگر همچون نـوع اقلیم و آب‌وهوا، وضعیت زمین سـاختی، شدت و ساعت وقوع زلزله در میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای مؤثر است.

ـ بر اساس مدل حوزه‌بندی انسـداد راه‌ها، وضعیت شبکهٔ معابر در محدودهٔ دوم نمونهٔ مطالعه شـده مناسـب اسـت. از این‌رو ضروری‌تریـن برنامهٔ کاهـش آسـیب‌پذیری در این محدوده تقویت سازه‌های ضعیف مسـکونی است. از تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی بررسی‌شده در این محدوده، تعداد ۱۰۶ پلاک قابلیت مقاوم‌سازی دارند. در مقابل، در محدودهٔ اول از تعداد ۲۰۰ پلاک ساختمانی مطالعه‌شده فقط ۳۴ پلاک قابلیت مقاوم‌سازی دارند و از ایـن‌رو ضروری‌ترین برنامهٔ کاهش آسـیب‌پذیری در این محدوده، توجه و اصلاح شاخص‌های شهری از جمله وضعیت شبکهٔ معابر، بافت شهری و نحوهٔ چیدمان فضاهای باز و بستهٔ داخل محدوده است.

ت ۱۵. (چـپ) نمـودار و جـدول مقایسهٔ تعداد کشته و زخمی‌ها در دو محدوده



	کشته ها و زخمی ها	کشته ها	زخمی ها	کل جمعیت
محدوده یک	۱۱۷۵.۳	۷۶.۸	۱۰۹۸.۵	۱۸۳۹.۶
محدوده دو	۱۱۰۵.۸	۷۱.۷۵	۱۰۳۴.۰۵	۲۳۶۰.۴

کتاب‌نامه

احمدی، حسـن. *نقش شهرسازی در کاهش آسـیب‌پذیری شهر*، انتشارات دهخدا، ۱۳۸۰.

بحرینی، سیدحسـین و دیگران. نقـش فرم، *الگو و اندازهٔ سـکونتگاه‌ها در کاهش خطرات ناشی از وقوع زلزله جلد اول*، مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ۱۳۷۲.

جایـکا (مرکـز مطالعـات زلزلـه و زیسـت‌محیطی تهـران بـزرگ)، *پـروژهٔ پهنه‌بنـدی لـرزه‌ای تهـران*، آژانـس همکاری‌هـای بین‌المللـی ژاپـن و بـا همکاری مرکـز مطالعـات زلزله و زیست‌محیطی تهران (جایکا)، ۱۳۷۹.

جعفری، علی‌محمد. *آمادگی در برابر زلزله*، سـازمان پژوهش و برنامه‌ریزی

www.SID.ir

Archive of SID

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»، *مجموعه‌مقالات 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.

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

عزیزی، محمدمهدی. *تراکم در شهرسازی ــ 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، ویراش سوم ، ۱۳۸۳.

ناطقی الهی، *فریبرز و احمد ابراهیمی. معیارهای ارزیابی و نحوهٔ تعیین آسیب‌پذیری سازه‌های بتن مسلح*، پژوهشکدهٔ بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۹.

ناطقی الهی، فریبرز. *مدیریت بحران زمین‌لرزه در برابر شهرها با رویکرد به برنامهٔ مدیریت بحران زمین‌لرزهٔ شهر تهران*، پژوهشکدهٔ 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.

ویسه، 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 Managemen*t, 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 disster 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", J*ournal 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

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir