پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۶۸ ، تابستان ۱۳۸۸
صص ۲۰-۱

ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر نمونه مورد مطالعه: منطقه ۱۰ شهرداری تهران

حسین حاتمی‌نژاد* ـ استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
حمید فتحی ـ کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه شهید بهشتی
فرشید عشق‌آبادی ـ دانشجوی دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
پذیرش مقاله: ۱۳۸۶/۱۰/۲۲ تأیید نهایی: ۱۳۸۷/۴/۱۲

چکیده

هدف اصلی این نوشتار، شناسایی و تدوین روابط بین برنامه‌ریزی شهری و مدیریت ریسک زلزله به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر است. برای دستیابی به این هدف، از روش تحلیلی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بهره گرفته شده و منطقه ۱۰ شهرداری تهران به عنوان نمونه موردی، بررسی شده است. نوشتار حاضر نشان می‌دهد که الگوهای مختلف شهری در برابر زلزله، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای‌شان متفاوت است. همچنین به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی، استفادهٔ صرف از شاخص‌های سازه‌ای کافی نیست و برای 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 می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: زلزله، ارزیابی آسیب‌پذیری محیطی، مدیریت ریسک، برنامه‌ریزی شهری.

مقدمه

انسان در طول تاریخ همواره با زلزله به‌عنوان سانحه‌ای طبیعی مواجه بوده و زیان‌های اجتماعی و اقتصادی فراوانی را بر اثر آن متحمل شده است. آنچه زلزله را به سانحه تبدیل می‌کند، عدم آگاهی انسان و ناتوانی در مواجه و برخورد با آن است. این مسئله عموماً با گسترده‌ترین دخالت‌های نسنجیدهٔ انسانی در محیط‌های طبیعی، ازجمله ساخت‌وسازهای بی‌رویه در حریم گسل‌ها، فقدان و یا بی‌توجهی به ضوابط و استانداردهای ساخت‌وساز تشدید می‌شود. این موارد و بسیاری دیگر از عوامل، موجب شده است که تهدید سوانح حاصل از وقوع پدیده‌های طبیعی ـ به‌ویژه زلزله ـ شدت یابد و بر اثر وقوع آن، بحران‌های زیادی در جوامع انسانی ایجاد شود. لذا مدیریت صحیح سوانح به‌منظور کاهش هرچه بیشتر

نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱۴۹۳۷۸
* E-mail: Hatam1335@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

تأثیرات سوء این موارد بر جامعه ضروری است و بدین منظور دانشی تحت عنوان مدیریت ریسک سوانح[1] به وجود آمده است. مدیریت ریسک سوانح، روندی نظام‌یافته در استفاده از تصمیمات اداری و سازمانی، مهارت‌های حرفه‌ای و ظرفیتی به‌منظور اتخاذ سیاست‌ها و راهبردها و تخصیص منابع به جامعه برای کاهش تأثیرات مخاطرات طبیعی و سوانح محیطی و مصنوعی وابسته به آنهاست. بر این اساس، توجه صرف به شاخص‌های سازه‌ای در کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای کافی نیست، بلکه از طریق ایجاد رابطهٔ دوسویه میان برنامه‌ریزی شهری و مدیریت ریسک زلزله، می‌توان ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و برآورد ریسک کامل‌تر و دقیق‌تری انجام داد و به تدوین راهبردها و برنامه‌های مقابله با زلزله پرداخت؛ چرا که شهر پدیده‌ای اجتماعی، انسانی، فرهنگی، اقتصادی و کالبدی است. وجه کالبدی تنها یکی از وجوه شهر است و ساختمان‌ها تنها بخشی از عناصر کالبدی محسوب می‌شوند، به همین دلیل ایمن‌سازی شهر در برابر زلزله را هم نمی‌توان صرفاً در مقاوم‌سازی و ساختن بناهای مقاوم در برابر زلزله جست‌وجو کرد. نوشتار حاضر در نظر دارد تا با شناسایی و تدوین روابط بین برنامه‌ریزی شهری و مدیریت ریسک زلزله، در جهت کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر گامی بردارد؛ برای این منظور به چندین موضوع خرد شامل شناسایی و انتخاب شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، مدل‌سازی برای تعیین نواحی پرخطر و تولید نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زلزله و تولید راهبردهای مرتبط با مدیریت ریسک زلزله در جهت کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از وقوع زلزله می‌پردازد.

چارچوب مفهومی

چارچوب نظری شامل موضوع و نحوه نگرش برای تحلیل و بررسی آن است. این چارچوب به‌عنوان شالوده و زیربنایی به‌کار می‌رود که به اعتبار آن می‌توان پاسخی منسجم به پرسش‌های موردنظر داد. چارچوب نظری این پژوهش براساس نوشتارهای برنامه‌ریزی مقابله با سوانح (در اینجا زلزله)، روابط آسیب‌پذیری، مدل‌های چندمعیاری تصمیم‌گیری و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی شکل گرفته است.

برنامه‌ریزی مقابله با سوانح به‌عنوان یکی از انواع برنامه‌ریزی شهری شناخته می‌شود و فرایندی است جامع برای ایجاد آمادگی و پاسخگویی در رویارویی با سوانح، که در دو مقطع زمانی پیش از وقوع سانحه و پس از وقوع سانحه اجرا می‌شود. برنامه‌ریزی قبل از وقوع سانحه، مجموعه اقداماتی است که یا از وقوع سانحه جلوگیری می‌کند و یا عوارض سانحه را کاهش می‌دهد و جامعه را در برابر پاسخگویی به تأثیرات سانحه آماده می‌سازد. برنامه‌ریزی قبل از بروز سانحه، خود به سه مقطع برنامه‌ریزی پیشگیری از وقوع سانحه، برنامه‌ریزی کاهش عوارض سانحه و برنامه‌ریزی آمادگی در برابر سانحه تقسیم می‌شود. برنامه‌ریزی پس از وقوع سانحه، فرایندی است در جهت تعیین اقدامات لازم پس از وقوع سانحه، تا از منابع و امکانات موجود استفادهٔ بهینه به‌عمل آید. مراحل سه‌گانهٔ این نوع برنامه‌ریزی شامل برنامه‌ریزی دورهٔ نجات و امداد فوری، برنامه‌ریزی دوره ساماندهی و برنامه‌ریزی دوره بازسازی می‌شود (فرخ‌نیا، ۱۳۸۳، ۲۶).

1. Disaster Risk Mangement

Archive of SID

www.SID.ir

روش‌شناسی تحقیق

در این بخش روابط آسیب‌پذیری سازه‌ای و روابط آسیب‌پذیری انسانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه با استفاده از مدل تحلیل ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای به تدوین راهبردها و برنامه‌های مقابله با آسیب‌پذیری در منطقه ۱۰ شهرداری تهران پرداخته می‌شود.

الف) روابط آسیب‌پذیری سازه‌ای

میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای، از طریق ایجاد روابط بین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ای و میزان آسیب‌پذیری هریک از آنها محسوب می‌شود (جایکا، ۱۳۸۱، ۴۱۲).

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

در این رابطه V_{ph} میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای هر پلاک ساختمانی، W_i وزن هر شاخص، δ_i میزان آسیب‌پذیری هر شاخص سازه‌ای و n تعداد شاخص‌هاست (همان).

ب) روابط آسیب‌پذیری انسانی

میزان آسیب‌پذیری انسانی (کشته و زخمی)، نسبتی از ساختمان‌های آسیب‌دیده و وضعیت برنامه‌ریزی و طراحی شهری آن مکان است. رابطهٔ 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 (همان).

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

در این رابطه V_{H_T} میزان نهایی آسیب‌پذیری انسانی هر پلاک ساختمانی، V_{ph} میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای ناشی از تأثیر شاخص‌های سازه‌ای در هر پلاک ساختمانی، V_{H_U} میزان آسیب‌پذیری انسانی ناشی از تأثیر شاخص‌های برنامه‌ریزی در هر پلاک ساختمانی و ϕ و φ ضرایب اهمیت شاخص‌های برنامه‌ریزی و سازه‌ای نسبت به یکدیگر است. همچنین مقدار V_{H_U} از رابطه ۴ به‌دست می‌آید.

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

که در آن W_k ضریب اهمیت شاخص K و W_i ضریب اهمیت زیرشاخص i است و g_{ij} امتیاز گزینهٔ j را در پیوند با شاخص یا زیرشاخص i مشخص می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

مدل تحلیلی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

نوشتار حاضر از سامانه اطلاعات فضایی پشتیبانی تصمیم‌گیری[۱] (SDSS) بهره گرفته است تا ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای را به انجام رساند و براساس آن به تدوین راهبردها و برنامه‌های مقابله با آسیب‌پذیری بپردازد. بر این اساس، به‌منظور طراحی و ایجاد SDSS از تلفیق یک‌پارچهٔ تکنیک دلفی[۲] و مدل ارزیابی سلسله‌مراتبی[۳] (AHP) استفاده شده است تا ضرایب اهمیت نسبی بین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری تعیین شود. سپس از روابط و مدل‌های آسیب‌پذیری مختلف و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی[۴] (GIS) بهره گرفته شده است تا عمل ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای انجام شود. در نهایت از مدل ماتریسی S.W.O.T بهره گرفته شده است تا نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید شناسایی گردد و بر طبق آن راهبردها و برنامه‌های کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای تدوین شود.

شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری

الف) 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 تقسیم‌بندی کرد، که هر دسته میزان آسیب‌پذیری مشخصی را در برابر وقوع زلزله‌های با شدت‌های مختلف از خود نشان می‌دهد (جدول ۱).

جدول ۱. رابطه میان میزان آسیب‌پذیری ساختمان و شکل ظاهری آن در پلان

شاخص	متغیر	میزان آسیب‌پذیری		
		شدت VII	شدت VIII	شدت IX
شکل سازه در پلان	متقارن	۰/۶	۰/۶	۰/۶
	نامتقارن	۰/۷۳	۰/۸۶	۱

منبع: مرکز پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، ۱۳۸۴، ۲۳

۱. Spatial Decisison Support System: در سامانهٔ اطلاعات فضایی پشتیبانی تصمیم‌گیری، انواع تصمیمات مربوط به مراحلِ مختلف فرایند برنامه‌ریزی (که هرکدام می‌توانند متکی به مدل‌ها و یا نرم‌افزارهای رایانه‌ای خاص خود باشند) به هم متصل می‌گردند. این سامانه متشکل از چارچوبی تلفیقی شامل ۱. قابلیت مدل‌های تحلیلی، ۲. سامانه‌های مدیریت پایگاه داده، ۳. قابلیت نمایش گرافیکی، ۴. قابلیت گزارش فهرست‌وار، و ۵. تخصص و دانش تصمیم‌سازهاست. از سوی دیگر، سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) قابلیت انجام مراحل ۲، ۳ و ۴ را دارد و با اضافه کردن قابلیت ۱ و ۵، می‌توان سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی را تبدیل به سامانهٔ اطلاعات فضایی پشتیبانی تصمیم‌گیری کرد (فتحی، ۱۳۸۶).

2. Delphi Technique
3. Analytical Hierarchy Process
4. Geographic Information System

Archive of SID

www.SID.ir

● ***نوع مصالح به‌کار رفته در سازه***

دسته‌بندی‌های مختلفی برای انواع مصالح به‌کار رفته در ساختمان‌ها وجود دارد، که ازجمله مهم‌ترین آنها می‌توان به دسته‌بندی آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله و دسته‌بندی مرکز آمار ایران اشاره کرد. در آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، سازه‌ها از نظر نوع مصالح به‌کار رفته در آنها به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

- بادوام که شامل اسکلت فلزی، بتنی، سنگ و آهن، و آجر و آهن است.
- نیمه‌بادوام که شامل آجر و چوب، سنگ و چوب، بلوک سیمانی، تمام‌آجر و سنگ و آجر است.
- کم‌دوام که شامل تمام‌چوب، خشت و چوب، و خشت و گل است.
- بی‌دوام که شامل چادر، حصیر و مشابه آن است.

● ***سامانهٔ سازه‌ای***

منظور از سامانهٔ سازه‌ای، نوع سامانهٔ ساختمان و نوع سامانهٔ سقف طبقات است. برطبق آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ساختمان‌ها برحسب سامانهٔ سازه‌ای‌شان در یکی از این گروه‌ها قرار می‌گیرند: سازه با سامانهٔ دیوارهای باربر، سازه با سامانهٔ قاب ساختمانی ساده، سازه با سامانهٔ قاب خمشی، سازه با سامانهٔ دوگانه یا ترکیبی و سایر سامانه‌های سازه‌ای (هرگونه سامانهٔ سازه‌ای که با سامانه‌های معرفی‌شده در اینجا متفاوت باشد، در این گروه قرار می‌گیرد). بر این اساس، مرکز پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، جدول ۲ را برای مشخص ساختن میزان آسیب‌پذیری ساختمان برحسب سامانهٔ سازه‌ای آن ارائه داده است.

جدول ۲. رابطه میان میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای و سامانهٔ سازه‌ای ساختمان

شاخص	متغیر	میزان آسیب‌پذیری		
		شدت VII	شدت VIII	شدت IX
سامانهٔ ساختمان	اسکلت فلزی با بادبند	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۲۵
	اسکلت فلزی بدون بادبند	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۵
	اسکلت بتن مسلح	۰/۵	۰/۲۵	۰/۳۷
	ساختمان بدون کلاف قائم و افقی	۰/۳۷	۰/۷۵	۱
	ساختمان با کلاف افقی و بدون کلاف قائم	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۷۰
	ساختمان با کلاف قائم و افقی	۰/۲۵	۰/۳	۰/۵۵
	ساختمان با دیوارهای باربر در طرفین و اسکلت فولادی یا بتنی	۰/۳	۰/۵	۰/۷۵

منبع: مرکز پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، ۱۳۸۴، ۲۴

● ***عمر سازه***

به‌طور نسبی، عمر مفید ساختمان در ایران ۳۰ سال برآورد شده است (حسینی، ۱۳۸۱)، به گونه‌ای که هرچه عمر ساختمان بیشتر باشد، میزان آسیب‌پذیری نیز بیشتر خواهد بود. همچنین برحسب تدوین دوره‌های مختلف آیین‌نامه

Archive of SID

www.SID.ir

طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله در ایران، میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای تابع پله‌ای ـ خطی را به نمایش می‌گذارد، چراکه در هر دوره و با اجرای ویرایش‌های مختلف آیین‌نامه، کیفیت ساخت و اجرا و استفاده از مصالح ساختمانی تغییر می‌یابد (جدول ۳).

جدول ۳. رابطه میان عمر سازه و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن

عمر سازه	وضعیت آسیب‌پذیری	میزان آسیب‌پذیری
بیشتر از ۵۰ سال (قبل از دهه ۴۰-۱۳۳۰)	بسیار زیاد	بیش از ۰/۷۵ تا ۱
۲۰ تا ۵۰ سال (بین سال‌های ۱۳۴۰ الی ۱۳۶۷)	زیاد	۰/۵ تا کمتر از ۰/۷۵
۷ تا ۲۰ سال (بین سال‌های ۱۳۶۶ الی ۱۳۷۸)	متوسط	۰/۲۵کمتر از ۰/۵
کمتر از ۷ سال (بین سال‌های ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۵)	کم	کمتر از ۰۰/۲۵

منبع: حسینی، ۱۳۸۱، ۸۷

● *ضریب تشدید ارتعاش لرزه‌ای سازه*

هر سازه در برابر وقوع زلزله، دچار جابه‌جایی و ارتعاش می‌شود و پاسخ لرزه‌ای متفاوتی از خود نشان می‌دهد که میزان این ارتعاش، برحسب مشخصات خاکِ زمینی که سازه در آن ساخته شده است، مشخصات ساختمان و ارتفاع آن از تراز پایه تشدید می‌گردد. وضعیت این تشدید، با تعداد طبقات و ارتفاع سازه نسبت مستقیم دارد. به‌منظور محاسبهٔ ضریب تشدید ارتعاش لرزه‌ای هر سازه، از روش تحلیلی استاتیکی معادلِ سازه استفاده می‌گردد؛ بدین ترتیب که نیروی جانبی زلزله تعیین می‌شود و به‌صورت رفت و برگشتی به سازه اعمال می‌گردد تا میزان خسارت ناشی از وقوع زلزله نسبت به ارتفاع سازه محاسبه شود. در این روش، حداقل نیروی برشی پایه (مجموع نیروهای جانبی زلزله) در هریک از امتدادهای ساختمان، با استفاده از رابطهٔ ۵ محاسبه می‌گردد (آیین‌نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله، ۱۳۸۴، ۱۸).

$$V = C \times W \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

در این رابطه، V نیروی برشی در تراز پایه، W وزن کل ساختمان شامل تمام بار مرده و وزن تأسیسات ثابت به‌اضافه درصدی از بار زنده و بار برف است و C ضریب زلزله است که از رابطه ۶ به‌دست می‌آید (همان).

$$C = \frac{A \times B \times I}{R} \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

که در آن A نسبت شتاب مبنای طرح (شتاب زلزله به شتاب ثقل)، B ضریب بازتاب ساختمان، I ضریب اهمیت ساختمان و R ضریب رفتار ساختمان است. ضریب بازتاب ساختمان بیانگر نحوه واکنش ساختمان به حرکت زمین است. این ضریب با استفاده از روابط مشخص و یا نمودارهای بازگوکنندهٔ ضریب بازتاب ساختمان و برای انواع زمین‌های مختلف به‌دست می‌آید (همان، ۱۵).

$$B = ۱ + S(\frac{T}{T_۰}) \leftarrow^{۰ \le T \le T_۰} \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

$$B = S + ۱ \leftarrow^{T_۰ \le T \le T_S} \qquad \text{(رابطه ۸)}$$

$$B = (S+۱)(\frac{T_S}{T})^{\frac{۲}{۳}} \leftarrow^{T \ge T_S} \qquad \text{(رابطه ۹)}$$

Archive of SID

www.SID.ir

در این روابط T زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان است. جدول ۴ پارامترهای مربوط به زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان و خطرپذیری را نشان می‌دهد. برای محاسبهٔ ضریب بازتاب ساختمان، از زمان تناوب اصلی نوسان استفاده می‌شود. زمان تناوب اصلی نوسان برحسب مشخصات ساختمان و ارتفاع از تراز پایه و با استفاده از روابط تجربی تعیین می‌گردد (همان، ۲۰).

(رابطه ۱۰) در قاب‌های فولادی: $T = ۰/۰۸H^{۳/۴}$

(رابطه ۱۱) در قاب‌های بتن مسلح: $T = ۰/۰۷H^{۳/۴}$

(رابطه ۱۲) برای ساختمان‌های با سایر سامانه‌ها: $T = ۰/۰۵H^{۳/۴}$

در این روابط، H ارتفاع ساختمان از تراز پایه است که برحسب متر محاسبه می‌شود. همچنین اگر نسبت زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان به زمان تناوب نوسان خاک برابر α در نظر گرفته شود، می‌توان میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان را تعیین کرد (جدول ۴).

جدول ۴. رابطهٔ میان تعداد طبقات و ضریب تشدید ارتعاش لرزه‌ای سازه

شاخص	ضابطه	وضعیت آسیب پذیری	میزان آسیب پذیری
تعداد طبقات	$۰/۹ \le \alpha \le ۱/۱$	بسیار زیاد	بیش از ۰/۷۵ تا ۱
	$۰/۵ < \alpha < ۰/۹$ یا $۱/۱ < \alpha < ۱/۵$	زیاد	۰/۵ تا کمتر از ۰/۷۵
	$\alpha \le ۰/۵$ یا $\alpha \ge ۱/۵$	کم	کمتر از ۰/۵ تا ۰

منبع: حسینی،۱۳۸۱، ۸۹

• *کیفیت ساخت و اجرای سازه*

نظام ساخت‌وساز از تعامل گروه‌های مختلفی شکل می‌گیرد که هریک مسئولیت بخشی از اقدامات ساخت و اجرای سازه را برعهده دارند. ساختمان به‌عنوان محصول نهایی این فرایند، متأثر از مجموعهٔ پیچیده‌ای از مقررات، خدمات، مصالح، محصولات و تجهیزات است که در این میان، کیفیت ساخت و اجرای آن به عوامل متعددی از قبیل مصالح به‌کار رفته در سازه، 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 موارد دیگر و به‌طور کلی به میزان توسعه‌یافتگی آن کشور بستگی دارد (جدول ۵).

جدول ۵. رابطهٔ میان کیفیت ساخت و اجرای ساختمان و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن

شاخص	متغیر	میزان آسیب‌پذیری		
		شدت VII	شدت VIII	شدت IX
کیفیت ساختمان	خوب	۰/۶	۰/۶	۰/۶
	متوسط	۰/۸	۰/۸	۰/۸
	بد	۱	۱	۱

منبع: حسینی،۱۳۸۱، ۸۹

Archive of SID

www.SID.ir

ب) شاخص‌های برنامه‌ریزی

• *تراکم جمعیت*

هرچه تراکم جمعیت کمتر باشد، آسیب‌پذیری (تلفات) نیز کمتر می‌شود. بر این اساس و برای محاسبهٔ این شاخص، از رابطهٔ نفر در هکتار استفاده شده و آسیب‌پذیری ناشی از آن به ۴ رده تقسیم شده است (جدول ۶).

جدول ۶. رابطهٔ آسیب‌پذیری و تراکم جمعیت

آسیب‌پذیری	تراکم جمعیت
آسیب‌پذیری کم	مساوی یا کمتر از ۴۰۰ نفر در هکتار
آسیب‌پذیری متوسط	۴۰۰–۵۰۰ نفر در هکتار
آسیب‌پذیری زیاد	۵۰۰–۶۰۰ نفر در هکتار
آسیب‌پذیری بسیار زیاد	مساوی یا بالای ۶۰۰ نفر در هکتار

منبع: فخیم، ۱۳۸۵، ۱۰۴

• *شبکه‌های ارتباطی*

شبکه‌های ارتباطی نقش بسیار مهمی در امر نجات و امداد بعد از وقوع زلزله و میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای و انسانی برعهده دارند. با طراحی شبکهٔ ارتباطی کارآمد، می‌توان صدمات زلزله را تا حد زیادی کاهش داد. شبکهٔ ارتباطی کارآمد، شبکه‌ای است که عرض بیشتری داشته باشد و سطح آن نسبت به سطوح ساخته‌شدهٔ شهری بیشتر و پل‌های آن کمتر باشد. شبکهٔ ارتباطی کارآمد با شبکه‌های خارج از شهر مرتبط باشد و معابر آن مستقیم و با پیچ‌وخم اندکی باشد. چنین شبکه‌ای باید ارتباط کاربری‌های حساس را به‌طور مستقیم برقرار کند و امکان دسترسی سواره به آن را هرچه بیشتر فراهم آورد. شبکهٔ ارتباطی با نوع بافت نیز مرتبط است. ریزدانه، میان‌دانه و یا درشت‌دانه بودن بافت شهری، بر کارآمدی شبکهٔ ارتباطی تأثیر می‌گذارد. هرچه دانه‌بندی بافت شهری درشت‌تر باشد، درصد گره‌های ترافیکی و تعداد بن‌بست‌ها کمتر می‌شود و کارآمدی شبکه ارتباطی بیشتر و میزان آسیب‌پذیری آن کمتر خواهد بود. جدول ۷ رابطهٔ آسیب‌پذیری و سلسله‌مراتب شبکه معابر را نشان می‌دهد.

جدول ۷. رابطهٔ عرض معبر با میزان آسیب‌پذیری

عرض شبکه معابر	آسیب‌پذیری
معابر با عرض بیشتر از ۱۴ متر	آسیب‌پذیری کم
معابر با عرض کمتر از ۹ تا ۱۴ متر	آسیب‌پذیری متوسط
معابر با عرض کمتر از ۳ تا ۹ متر	آسیب‌پذیری زیاد
معابر با عرض کمتر از ۶ متر و بن‌بست	آسیب‌پذیری بسیار زیاد

منبع: فخیم، ۱۳۸۵، ۱۰۶

Archive of SID

www.SID.ir

● ***همجواری بین کاربری‌ها***

همجواری بین کاربری‌ها به‌معنی نحوهٔ کنار هم قرار گرفتن هر کاربری با کاربری دیگر است و بررسی همجواری بین آنها با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری، به‌معنی بررسی نحوهٔ قرارگیری کاربری‌های مختلف و سازگاری و ناسازگاری بین آنهاست. هر کاربری، کارایی و میزان آسیب مشخصی در برابر وقوع زلزله دارد و درصورتی‌که اصول همجواری‌ها رعایت نگردد و کاربری‌های ناسازگار در کنار یکدیگر قرار داده شوند، میزان آسیب‌پذیری تشدید خواهد شد. به‌منظور بررسی وضعیت همجواری بین کاربری‌ها، می‌توان از ماتریس سازگاری و ناسازگاری استفاده کرد. این ماتریس می‌تواند با توجه به روابط عملکردی بین کاربری‌ها، میزان آسیب‌پذیری آنها را در برابر وقوع زلزله تعیین کند.

● ***بررسی میزان سازگاری زمین با کاربری واقع در آن***

در هنگام وقوع زلزله، میزان آسیب‌پذیری کاربری‌ها براساس زمینی که در آن واقع شده‌اند، متفاوت خواهد بود. 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، شامل سایت بسیار کم‌خطر (احتمال خیلی کم نشست خاک)، سایت کم‌خطر (احتمال کم نشست خاک)، سایت خطرناک (احتمال متوسط نشست خاک و داشتن پتانسیل متوسط روانگرایی و واقع شدن سایت تا فاصله ۵۰۰–۳۰۰ متری از گسل‌ها) و سایت پرخطر (احتمال بالای نشست خاک 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) تقسیم‌بندی می‌کند.

● ***تأسیسات زیربنایی***

آسیب دیدن تأسیسات زیربنایی شهر نظیر شبکه‌های آب، برق، گاز و مخابرات می‌تواند تلفات ناشی از وقوع زلزله را به‌شدت افزایش دهد. در این حیطه، دو نوع آسیب شامل آسیب‌های ناشی از عدم دسترسی به شریان‌های حیاتی در دوره امداد فوری و آسیب‌های ناشی از رویداد سوانح ثانویه مانند آتش‌سوزی، شوک الکتریکی، انفجار و مانند اینها وجود دارد. بنابراین، مکان‌یابی صحیح این دسته از تأسیسات شهری برحسب مکان‌های با خطر نسبی بالا، نوع فناوری به‌کار رفته در ساخت آنها و نحوهٔ کارکرد و شیوه کنترل مناسب هریک از این شبکه‌ها، در کاهش یا افزایش میزان آسیب‌پذیری مؤثر است. از طریق بررسی این دسته از موارد می‌توان میزان آسیب‌پذیری انسانی ناشی از عدم کارایی مناسب آنها را ارزیابی کرد.

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در نمونهٔ مطالعه‌شده

سناریوی آسیب‌پذیری فرضی

در این سناریو خطر زمین‌لرزه، روانگرایی و نشست خاک به‌عنوان مخاطرات اولیه، و تخریب ساختمان‌ها و تلفات انسانی ناشی از تخریب آنها و وضعیت شهری محدوده مورد مطالعه به‌عنوان مخاطرات ثانویه در نظر گرفته می‌شوند. محل وقوع

Archive of SID

www.SID.ir

خطر زلزله در منطقه ۱۰ شهر تهران فرض شده است. عوامل در معرض خطر تنها شامل تخریب و تلفات انسانی مرتبط با ساختمان‌های مسکونی است و ساختمان‌های اداری، تجاری، کارخانجات و ... به‌عنوان عوامل در معرض خطر دخالت داده نمی‌شوند. منظور از تلفات انسانی نیز تنها تلفات ناشی از فروریزی ساختمان‌های مسکونی و وضعیت شهری مرتبط با هر محدوده و مؤثر بر دوره امداد و نجات تا اتمام دوره ـ ۷۲ ساعت پس از وقوع زلزله ـ است. همچنین، علت خسارت هر سازه، ارتعاش لرزه‌ای آن در نظر گرفته می‌شود و خسارات ناشی از زمین‌لغزش، آتش‌سوزی و انفجار مشمول محاسبات نمی‌شوند. واحد محاسبه، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای به ازای هر پلاک مسکونی است.

از بین گسل‌های فعال منطقه شهری، فرض بر آن است که در اثر رخداد زلزله تنها گسل جنوب و شمال ری فعال خواهد شد. طول این گسل ۲۰ کیلومتر و عرض آن حدوداً ۱۶ کیلومتر است. زاویهٔ شیب آن ۷۵ درجه و ژرفای لبهٔ بالایی آن برابر ۵ کیلومتر است. زلزله فرضی در هنگام شب و بین ساعت ۲۲ تا ۷ صبح رخ می‌دهد. فرض می‌شود که زلزله احتمالی در شرایط مناسب آب‌وهوایی رخ خواهد داد. شدت زلزله احتمالی برابر ۸ ریشتر فرض می‌شود. این نوع جنبش، سراسر محدودهٔ مطالعهٔ آزمایشی را پوشش می‌دهد. در سناریوی فرضی این پژوهش، مدت زلزله احتمالی برابر ۳۰ ثانیه فرض می‌شود. بیشینه شتاب زمین برای منطقه ۱۴ برابر ۳۰۰ گال (۰/۴۰g) فرض می‌شود. شیب زمین بین صفر تا ۱۵ درجه در نظر گرفته می‌شود. استعداد روانگرایی خاک بسیار پایین است. مقدار پریود خاک با استفاده از نقشهٔ توزیع پریود دینامیکی آبرفت‌های تهران و برابر ۰/۳ ثانیه در نظر گرفته می‌شود. فرض بر آن است که افرادی که در ساختمان‌های فروریخته محبوس خواهند شد، به علت شوک‌های ناشی از فروریختن کف‌ها و سقف‌ها یا خفگی در اثر خرد شدن خشت و آجر بلافاصله خواهند مرد. همچنین در سطح دو محدودهٔ مورد مطالعه، تأسیسات خطرزایی وجود ندارد و فرض می‌گردد که سامانه‌های تأمین برق اضطراری در سطح منطقه و در مناطق مشخصی وجود دارد، به‌نحوی‌که پس از وقوع زلزله می‌توانند برق منطقه را تأمین کنند.

شناخت ویژگی‌های نمونهٔ مطالعه‌شده

در این نوشتار، منطقه ۱۰ شهر تهران به‌عنوان نمونهٔ مورد مطالعه انتخاب شده است، چرا که ساختار مسکونی آن عمدتاً قدیمی و فرسوده است و از این نظر یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق شهر تهران در مقابل زلزله به شمار می‌رود (جایکا، ۱۳۷۶، ۲۳۱).

این منطقه از شمال با منطقهٔ دو (خیابان آزادی)، از جنوب با منطقهٔ هفده (خیابان قزوین)، از شرق با منطقهٔ یازده (خیابان نواب) و از غرب با منطقهٔ نه (خیابان شهیدان) هم‌مرز است. براساس مطالعات انجام‌شده در طرح تفصیلی منطقهٔ ۱۰، این منطقه عمدتاً به‌عنوان منطقه مسکونی (۶۰ درصد اراضی این منطقه به کاربری مسکونی اختصاص دارد) در شهر تهران عمل می‌کند و فعالیت‌ها و عملکردهایی که در سطح آن وجود دارند، بیشتر معطوف به ساکنان منطقه است و عملکرد جاذبی برای جمعیت دیگر مناطق ندارد. سابقه توسعه منطقه مبنی بر قطعه‌بندی کوچک زمین، ساختار نیمه‌روستایی قدیمی، کوچه و خیابان‌های باریک و تودرتو، این منطقه را به یکی از نواحی جاذب جمعیت برای اسکان طبقات متوسط کم‌درآمد تبدیل کرده است. بر طبق آمار سال ۱۳۸۵، تعداد ۷۴۶۳۴ واحد مسکونی در این منطقه وجود دارد که جمعیتی بیش از ۳۵۸۲۷۰ نفر را در خود جای داده‌اند. با توجه به تراکم جمعیتیِ بالا، معابر باریک و پرازدحام و

Archive of SID

www.SID.ir

فرسودگی کالبدی، در صورت بروز زلزله در این منطقه فاجعه‌ای به وقوع خواهد پیوست. چنانچه در گزارش گروه جایکا آمده است، در صورت بروز زلزله در گسل ری، تلفات انسانی این منطقه افزون بر ۲۲۰۰۰ نفر خواهد شد، که این تلفات صرفاً به‌علت وقوع زلزله است و تلفات ناشی از حوادث ثانویه در آن لحاظ نشده است (جایکا، ۱۳۷۶، ۲۰۱-۲۷۴).

به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه ۱۰ شهر تهران در این پژوهش، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و بهره‌گیری از بانک داده اطلاعاتی تهیه‌شده برای این منطقه به‌وسیله شهرداری، پایگاه داده ـ اطلاعات کاملی براساس نقشه‌های مختلفی همچون کاربری اراضی، خدمات شهری، خطوط آب، گاز و برق، پل‌ها و مسیرهای دسترسی، کاربری‌های خطرناک، تراکم جمعیت و همچنین خصوصیات ساختمان‌های مسکونی موجود در منطقه ۱۰ تهیه شد و برای هر پلاک ساختمانی شناسه‌های ویژه‌ای جمع‌آوری گردید. شناسه‌های جمع‌آوری‌شده شامل شماره پلاک، سطح اشغال، تعداد طبقات، سامانهٔ سازه‌ای، عمر سازه، کیفیت ساخت، نوع مصالح به‌کار رفته، شکل سازه، تراکم ساختمانی، و تعداد افراد ساکن است.

یافته‌های تحقیق

ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری سازه‌ای

ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ای هر پلاک ساختمانی براساس شاخص‌های سازه‌ای، ضرایب اهمیت حاصل از تلفیق روش دلفی و مدل ارزیابی سلسله‌مراتبی (AHP) و استفاده از رابطه ۲ آسیب‌پذیری صورت پذیرفته است. شکل ۱ مقایسهٔ دودویی شاخص‌های سازه‌ای را نشان می‌دهد.

	A	B	C	D	E	F
A	۱	۲	۱/۲	۴	۵	۳
B	۱/۲	۱	۱/۳	۳	۴	۲
C	۲	۳	۱	۵	۶	۴
D	۱/۴	۱/۳	۱/۵	۱	۲	۱/۲
E	۱/۵	۱/۴	۱/۶	۱/۲	۱	۱/۲
F	۱/۳	۱/۲	۱/۴	۲	۲	۱

شکل ۱. ماتریس مقایسه دودویی شاخص‌های سازه‌ای

محاسبه ضرایب اهمیت شاخص‌های سازه‌ای به شرح زیر است:

$$W_B = \frac{۱/۲۵۹۹۲۱۰۵}{۷/۸۳۷۰۰۴۳۱۶} = ۰/۱۶۰$$

$$W_A = \frac{۱/۹۷۸۶۰۲۴۴۶}{۷/۸۳۷۰۰۴۳۱۶} = ۰/۲۵۲$$

$$W_D = \frac{۰/۵۰۵۴۰۷۲۳۹۲}{۷/۸۳۷۰۰۴۳۱۶} = ۰/۰۶۴$$

$$W_C = \frac{۲/۹۹۳۷۹۵۱۶۶}{۷/۸۳۷۰۰۴۳۱۶} = ۰/۳۸۴$$

$$W_F = \frac{۰/۷۴۱۸۳۶۳۷۵۶}{۷/۸۳۷۰۰۴۳۱۶} = ۰/۰۹۴$$

$$W_E = \frac{۰/۳۵۷۳۷۶۸۸۶۱}{۷/۸۳۷۰۰۴۳۱۶} = ۰/۰۴۵$$

Archive of SID

www.SID.ir

بر طبق شکل ۲ که میزان آسیب‌پذیری نهایی سازه‌ای منطقه ۱۰ شهر تهران را نشان می‌دهد، ملاحظه شده است که این منطقه در سه پهنه با آسیب‌پذیری کم، متوسط و قابل توجه قرار دارد.

ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی

میزان آسیب‌پذیری انسانی به دو عامل اولیه و ثانویهٔ شدت تخریب سازه‌ای و وضعیت شهریِ حاکم بر گسترهٔ مورد بررسی بستگی دارد. در اینجا به‌منظور برآورد میزان آسیب‌پذیری انسانی، با استفاده از تلفیق دو دسته شاخص‌های برنامه‌ریزی و سازه‌ای، میزان آسیب‌پذیری انسانی (کشته و زخمی) هر پلاک ساختمانی محاسبه شده است.

الف) آسیب‌پذیری ناشی از تراکم جمعیت

تراکم جمعیتی در منطقه ۱۰ شهر تهران براساس حوزه‌های آماری، بین ۸۹ تا ۶۳۱ نفر در هکتار است. در این نوشتار تراکم‌های مساوی یا کمتر از ۴۰۰ نفر در هکتار، ۴۰۰ تا ۵۰۰ نفر در هکتار، ۵۰۰ تا ۶۰۰ نفر در هکتار و بیشتر از ۶۰۰ نفر در هکتار به‌ترتیب آسیب‌پذیری کم، متوسط، قابل توجه و زیاد را بیان می‌کند. شکل ۳ محدوده‌های آسیب‌پذیر ناشی از تراکم جمعیت را نشان می‌دهد و جدول ۸ آمار آسیب‌پذیری ناشی از این شاخص را در سطح منطقه ۱۰ بیان می‌دارد.

ب) آسیب‌پذیری ناشی از وضعیت دسترسی

منظور از دسترسی، چگونگی دستیابی به نواحی مختلف محدوده در زمان وقوع زلزله به‌منظور امدادرسانی و نجات در ۷۲ ساعت اولیه است. در اینجا برای بررسی این شاخص، از عرض معابر استفاده شده است؛ به‌طوری‌که هر چه معابر دارای عرض بیشتری باشند و در سلسله‌مراتب بالاتری قرار داشته باشند، آسیب‌پذیری‌شان کمتر خواهد بود. شکل ۴ نتیجهٔ تحلیل این شاخص را در محدودهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد و جدول ۹ آمار آسیب‌پذیری ناشی از این شاخص را در سطح منطقه ۱۰ بیان می‌دارد.

ج) آسیب‌پذیری ناشی از همجواری بین کاربری‌ها

در منطقه ۱۰ تعداد ۳۱ مورد کاربری خطرزا شامل کارخانجات، پمپ بنزین و گاز، نفت‌فروشی و رنگ‌فروشی وجود دارد که درصورت انفجار به کاربری‌های اطراف خود آسیب می‌رساند. شکل ۵ نتیجهٔ تحلیل این شاخص را در منطقه نشان می‌دهد و جدول ۱۰ آمار آسیب‌پذیری ناشی از این شاخص را در سطح منطقه ۱۰ بیان می‌دارد.

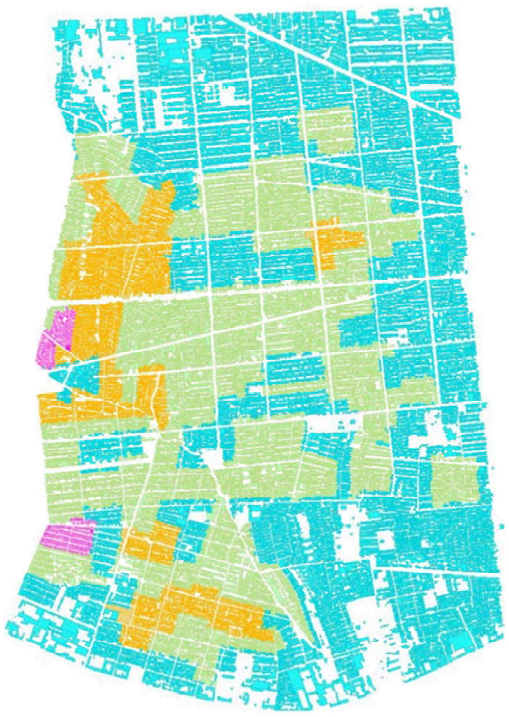
د) آسیب‌پذیری ناشی از تأسیسات زیربنایی

وارد آمدن خسارت بر شبکه تأسیسات زیربنایی که منجر به قطع خدمات آبرسانی و نبود آب شرب، قطع برق و آتش‌سوزی شبکهٔ گازرسانی می‌شود نیز از دلایل آسیب‌پذیری منطقه به‌شمار می‌آید که خود از عوامل مختلفی همچون جنس لوله‌ها، مقاومت جوش، قطر لوله، عمق و فرسودگی و شکل شبکه توزیع و بزرگای زمین‌لرزه و مرکز و عمق آن تأثیر می‌پذیرد. جدول ۱۱ آمار آسیب‌پذیری ناشی از این شاخص را در سطح منطقه ۱۰ بیان می‌دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۲. میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای منطقه ۱۰



شکل ۳. میزان آسیب‌پذیری ناشی از تراکم جمعیت در منطقه ۱۰

شکل ۴. دسترسی و میزان آسیب‌پذیری ناشی از آن در منطقه ۱۰

شکل ۵. آسیب‌پذیری و همجواری بین کاربری

www.SID.ir

براساس ارزیابی آسیب‌پذیری هریک از شاخص‌ها، میزان نهایی آسیب‌پذیری انسانی هر پلاک ساختمانی براساس رابطه ۳ آسیب‌پذیری و ترکیب هریک از آسیب‌پذیری‌ها به‌دست آمده است. شاخص‌های به‌کار گرفته شده و ضرایب اهمیت نهایی آنها که براساس ترکیب دو روش دلفی و مدل ارزیابی سلسله‌مراتبی (AHP) به‌دست آمده‌اند، در شکل ۶ نشان داده شده‌اند.

	G	H	I	J	K
G	۱	۴	۵	۳	۲
H	۱/۴	۱	۲	۱/۲	۱/۳
I	۱/۵	۱/۲	۱	۱/۳	۱/۴
J	۱/۳	۲	۳	۱	۱/۲
K	۱/۲	۳	۴	۲	۱

شکل ۶. ماتریس مقایسه دودویی شاخص‌های برنامه‌ریزی به‌همراه ضرایب اهمیت

$$W_G = \frac{۲/۶۰۵۱۷۱۰۸۵}{۶/۲۴۱۱۳۹۲۰۶} = ۰/۴۱۷ \qquad W_H = \frac{۰/۶۰۸۳۶۴۳۴۱}{۶/۲۴۱۱۳۹۲۰۶} = ۰/۰۹۷$$

$$W_I = \frac{۰/۳۸۳۸۵۱۹۴۹}{۶/۲۴۱۱۳۹۲۰۶} = ۰/۰۶۱ \qquad W_J = \frac{۱}{۶/۲۴۱۱۳۹۲۰۶} = ۰/۱۶۰$$

$$W_K = \frac{۱/۶۴۳۷۵۱۸۳}{۶/۲۴۱۱۳۹۲۰۶} = ۰/۲۶۳$$

جدول ۸. آسیب‌پذیری ناشی از تراکم جمعیت به تفکیک جمعیت و تعداد خانوار

	جمعیت		قطعات		مساحت (مترمربع)	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	وسعت	درصد
آسیب‌پذیری کم	۱۲۲۶۶۲	۴۳/۴۳	۳۰۴۹۴	۴۹/۰۱	۲۵۷۱۵۴۷	۵۳/۷۵
آسیب‌پذیری متوسط	۱۰۳۰۹۹	۳۶/۵۲	۲۲۶۹۵	۳۶/۴۹	۱۶۳۵۷۴۳	۳۴/۱۹
آسیب‌پذیری قابل توجه	۴۲۹۳۹	۱۵/۲۱	۸۰۵۴	۱۲/۹۵	۵۱۹۰۹۳	۱۰/۸۵
آسیب‌پذیری زیاد	۱۳۶۰۸	۴/۸۲	۹۵۲	۱/۵۳	۵۷۸۹۰	۱/۱۹
جمع	**۲۸۲۳۰۸**	**۱۰۰**	**۶۲۱۹۵**	**۱۰۰**	**۴۷۸۴۲۷۳**	**۱۰۰**

منبع: نگارنده، ۱۳۸۴

جدول ۹. دسترسی و تأثیر آن بر میزان آسیب‌پذیری

	جمعیت		قطعات		مساحت (مترمربع)	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	وسعت	درصد
آسیب‌پذیری کم	۸۲۶۸۸	۲۹/۲۹	۱۸۰۹۸	۲۹/۱	۱۷۲۶۱۶۶	۳۶/۰۸
آسیب‌پذیری متوسط	۴۲۰۹۲	۱۴/۹۱	۸۴۷۰	۱۳/۶۲	۶۵۴۰۱۰	۱۳/۶۷
آسیب‌پذیری قابل توجه	۱۲۲۸۰۵	۴۳/۵۰	۲۹۰۰۷	۴۶/۶۴	۲۰۳۱۸۸۱	۴۲/۴۷
آسیب‌پذیری زیاد	۳۴۷۲۳	۱۲/۳۰	۶۶۲۰	۱۰/۶۴	۳۷۲۲۱۶	۷/۷۸
جمع	**۲۸۲۳۰۸**	**۱۰۰**	**۶۲۱۹۵**	**۱۰۰**	**۴۷۸۴۲۷۳**	**۱۰۰**

منبع: نگارنده، ۱۳۸۴

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰. آسیب‌پذیری ناشی از همجواری بین کاربری‌ها

	جمعیت		قطعات		مساحت (مترمربع)	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	وسعت	درصد
آسیب‌پذیری کم	۲۰۳۶۸۵	۷۲/۱۵	۵۵۲۳۸	۷۹/۸۳	۳۶۸۸۱۹۶	۷۷/۰۹
آسیب‌پذیری متوسط	۴۱۸۰۹	۱۴/۸۱	۸۹۷۴	۱۲/۹۵	۷۰۸۵۵۲	۱۴/۸۱
آسیب‌پذیری قابل توجه	۲۴۵۰۶	۸/۶۸	۴۱۳۹	۵/۹۸	۳۱۰۹۷۷	۶/۵۰
آسیب‌پذیری زیاد	۱۲۳۰۸	۴/۳۶	۸۴۴	۱/۲۲	۷۶۵۴۸	۱/۶۰
جمع	**۲۸۲۳۰۸**	**۱۰۰**	**۶۲۱۹۵**	**۱۰۰**	**۴۷۸۴۲۷۳**	**۱۰۰**

منبع: نگارنده، ۱۳۸۴

جدول ۱۱. آسیب‌پذیری ناشی از تخریب تأسیسات زیربنایی

	جمعیت		قطعات		مساحت (مترمربع)	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	وسعت	درصد
آسیب‌پذیری کم	۱۳۰۴۵۴	۴۶/۲۱	۳۱۵۸۸	۵۰/۷۹	۲۴۲۵۶۲۸	۵۰/۷۰
آسیب‌پذیری متوسط	۳۹۶۶۴	۱۴/۰۵	۷۲۹۸	۱۱/۷۲	۵۳۹۶۶۵	۱۱/۲۸
آسیب‌پذیری قابل توجه	۵۷۲۸۲	۲۰/۲۹	۱۱۲۶۳	۱۸/۱۱	۹۸۶۵۱۷	۲۰/۶۲
آسیب‌پذیری زیاد	۵۴۹۰۸	۱۹/۴۵	۱۲۰۴۷	۱۹/۳۷	۸۳۲۴۶۳	۱۷/۴۰
جمع	**۲۸۲۳۰۸**	**۱۰۰**	**۶۲۱۹۵**	**۱۰۰**	**۴۷۸۴۲۷۳**	**۱۰۰**

منبع: نگارنده، ۱۳۸۴

راهبردهای کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای در منطقه ۱۰ شهر تهران

برای تدوین راهبردهای مرتبط با موضوع نوشتار حاضر، از مدل ماتریسی S.W.O.T بهره گرفته شده است تا براساس آن امکان برنامه‌ریزی راهبردی مقابله با زلزله فراهم آید. هدف از چنین برنامه‌ریزی راهبردی، ارتقای کیفیت زندگی منطقه ۱۰ ازطریق بهبود شرایط اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و کالبدی است؛ به گونه‌ای که این منطقه به منطقه‌ای ایمن در برابر زلزله بدل گردد و میزان تلفات انسانی ناشی از وقوع زلزله در آن به حداقل ممکن کاهش یابد.

اهداف

اهداف مرتبط با کاهش آسیب‌پذیری سازه‌ای و انسانی، که براساس سند توسعهٔ شهر / محله پایدار انتخاب شده‌اند، به‌ترتیب شامل تعادل‌بخشی، حیات‌بخشی، ظرفیت‌سازی و ایمن‌سازی‌اند. منظور از تعادل‌بخشی، ایجاد فرصت‌های برابر رشد و بالندگی و خارج کردن منطقه از فضای دوقطبی و کاهش آسیب‌پذیری ازطریق وارد کردن بافت‌های فرسوده منطقه در چرخهٔ حیاتی شهر است. منظور از حیات‌بخشی، تقویت حس شهروندی و آگاهی عمومی درخصوص کاهش آسیب‌پذیری و ارتقای مفهوم کیفیت زندگی است. در ظرفیت‌سازی، هدف بهره‌گیری از امکانات و فرصت‌های نوسازی و مقاوم‌سازی در جهت ارتقای ظرفیت‌های محل در زمینهٔ مدیریت ریسک زلزله و برنامه‌های مقابله با زلزله است. هدف از ایمن‌سازی نیز بالا بردن ضریب ایمنی شهر و کاهش سطح آسیب‌پذیری بافت‌های مختلف ـ به‌ویژه بافت‌های فرسوده ـ در برابر زلزله است.

Archive of SID

www.SID.ir

راهبردها و سیاست‌ها

راهبردها تصمیم‌هایی هستند که اهداف کلان را هماهنگ می‌سازند، شرایط ایده‌آل سامانهٔ مورد مداخله را دنبال می‌کنند و جهت‌گیری عمومی عمل و اقدام را برای دستیابی به اهداف روشن می‌کنند. سیاست‌ها نیز همان تفسیر اجرایی اهداف‌اند؛ به این معنی که سیاست‌ها، تصمیماتی هستند که برای اجرای راهبردها و دستیابی به عرصه‌های اجرایی اتخاذ می‌شوند (پاکزاد، ۱۳۸۵، ۱۷۱–۱۷۲).

جدول ۱۲. راهبردها و سیاست‌های کاهش آسیب‌پذیری در منطقه ۱۰ شهر تهران

هدف	راهبرد	سیاست‌ها
تعادل‌بخشی	تعادل جمعیت	کاهش جمعیت در بخش‌های با تراکم جمعیتی بسیار بالا
		رعایت اصل تعادل در تراکم جمعیتی و تراکم ساختمانی در طبقات
		ایجاد اختلاط اجتماعی (زمینه‌سازی برای اسکان طبقه متوسط و بالاتر)
		توزیع مناسب کاربری ها با توجه به معیار دسترسی بهینه
	توزیع متعادل امکانات و خدمات شهری	تأمین و توسعه خدمات شهری و زیرساخت‌های توسعه نوسازی
		مناسب‌سازی شیب‌بندی‌ها در جهت توزیع و دفع آب‌های سطحی
		رعایت تداوم و پیوستگی فعالیت‌های خدماتی
	توزیع متعادل فرصت‌ها	نظارت و کنترل دقیق عملیات اجرایی
		توانمندسازی ساکنان بافت فرسوده (آموزش، ایجاد اشتغال، حمایت و ارائه تسهیلات)
	بهبود کیفیت محیط انسانی (سکونت و فعالیت)	حذف کاربری‌های ناسازگار و مشکل‌آفرین و جایگزینی کاربری‌های سازگار و ارزش‌افزا
		کاهش سطح اشغال کاربری‌ها (برقراری انتظام بین توده و فضا)
		ایجاد تعادل بین سطوح کاربری مسکونی و خدمات شهری
		حفظ و تقویت پیوستگی بافت مسکونی
		بهسازی، نوسازی و مقاوم‌سازی بافت‌های فرسودهٔ مسکونی
		پایدار ساختن محیط در مقابل عوامل مخرب و سوانح محیطی
		بالا بردن قابلیت نفوذپذیری در بافت مسکونی
حیات‌بخشی	بازتعریف مأموریت نوسازی	پرهیز از نگرش صرفاً کالبدی و توجه به ابعاد و اهداف مختلف شهرسازی در نوسازی بافت
		اعتمادسازی و اطمینان‌بخشی به‌منظور افزایش مشارکت مردم ساکن در بافت
		نهادسازی و ایجاد بستر و انگیزه لازم برای مشارکت
	ارتقای هویت اجتماعی و فرهنگی	حفظ و ارتقای هویت اجتماعی منطقه
		ایجاد و ارتقای فضاهای جمعی، باز و مطلوب
		آموزش همگانی و تشکیل کمیته‌های امدادرسانی
ظرفیت‌سازی	گسترش و تقویت رویکرد جهادی و علمی در مدیریت مقاوم‌سازی	تمرکز بر هدایت، حمایت و تسهیل جریان مقاوم‌سازی
		راهبری مدیریت مقاوم‌سازی از طریق ایجاد هماهنگی بین گروه‌های ذی‌نفع و ذی‌نفوذ
		مدیریت و برنامه‌ریزی اقدامات بر اساس اهداف مقاوم‌سازی در سه سطح فوری، میان‌مدت و بلندمدت

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۱۲. راهبردها و سیاست‌های کاهش آسیب‌پذیری در منطقه ۱۰ شهر تهران

هدف	راهبرد	سیاست‌ها
ظرفیت‌سازی	ارتقای الگوهای جدید مقاوم‌سازی	تولید الگو در تمام ابعاد مقاوم‌سازی نظیر؛ تولید طرح، تولید زمین، تولید سرمایه و تولید ساختمان
		ایجاد فضای رقابتی از طریق حمایت از ایده‌ها و گروه‌های خلاق و مبتکر در امر مقاوم‌سازی
		تأکید بر هویت ایرانی و اسلامی، زیبایی و روح‌نوازی محیط، مقاوم‌سازی و رفاه عمومی ساکنان
	تقویت نگرش راهبردی و آینده‌نگر به مقاوم‌سازی	توجه به هزینه ـ فایده و تأثیرات بلندمدت و پایدار جریان مقاوم‌سازی
		ضرورت تأمین هزینه‌های متناسب مقاوم‌سازی چندبعدی در عرصه‌های مختلف
		تأکید بر نقش و اهمیت مدیریت زمان در امر مقاوم‌سازی و مدیریت ریسک
		تخریب ساختار و کاربری‌های فرسوده
		بهسازی و مقاوم‌سازی زیرساخت‌ها
ایمن‌سازی	ایمنی عملکردی	تأمین دسترسی مناسب و احداث واحدهای خدماتی به‌منظور مدیریت بحران در مواقع بروز خطر زلزله
	ترویج استانداردهای ایمنی ساخت‌وساز	استفاده از فناوری پیشرفته و مهندسی جدید مبتنی بر سرعت، دقت و کیفیت به‌منظور تسریع مقاوم‌سازی
		استفاده از مصالح ساختمانی استاندارد
		نظارت و کنترل دقیق عملیات اجرایی
		الزام در رعایت بیمه‌های کیفیت ساخت، مسئولیت، زلزله و .... در نوسازی و مقاوم‌سازی
	توسعهٔ فناوری جدید ساخت	بهره‌گیری از فناوری‌های جدید مقاوم‌سازی ساختمان از طریق تأمین پایداری فیزیکی ساختمان‌ها
		استفاده از مصالح جدید سبک، مقاوم و ارزان

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بررسی تجارب کشورهای توسعه‌یافته در زمینهٔ ارزیابی آسیب‌پذیری و مدیریت ریسک زلزله نشان می‌دهد که امروزه تأکید بر ارزیابی و مدیریت صرفاً جنبهٔ کالبدی ندارد و حیطه‌های مختلف برنامه‌ریزی اجتماعی ـ اقتصادی، فرهنگی و زیست‌محیطی را دربرمی‌گیرد؛ چراکه مدیریت آسیب‌پذیری شامل «فعالیتی کل‌نگر و یک‌پارچه است که به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری و از طریق کنترل و برنامه‌ریزیِ در معرض خطر بودن کاهش حساسیت / تأثیرپذیری و افزایش ظرفیت / توانایی پیشگیری و پاسخگویی واحدِ در معرض خطر، به انجام می‌رسد».

در این نوشتار سعی گردید تا از طریق شناسایی فرایند مدیریت ریسک زلزله و جایگاه آن در برنامه‌ریزی مقابله با سوانح در شهر و در قالب معرفی مدل فضایی پشتیبانی تصمیم‌گیریِ چندسطحی و چندبعدی، شاخص‌های سازه‌ای و برنامه‌ریزی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در مقیاس شهر و ناحیه شناسایی شوند و متناسب با شرایط کشور ایران انتخاب گردند. آنگاه برطبق روابط آسیب‌پذیری، میزان آسیب ناشی از وقوع یک سناریوی زلزله اندازه‌گیری شد و از طریق مدل

Archive of SID

www.SID.ir

ماتریسی، راهبردها و سیاست‌های مرتبط با برنامه‌ریزی مقابله با سوانح زلزله در نمونهٔ مورد مطالعه (منطقه ۱۰ تهران) استخراج گردید. نتایج حاصل را می‌توان در دو دسته نتایج کلان و خرد دسته‌بندی کرد. نتایج کلان، یافته‌های کلی و مواردی فراتر از نمونهٔ مورد مطالعه را بیان می‌دارد و نتایج خرد بیشتر در ارتباط مستقیم با نمونه مورد مطالعه است و نگاه جزئی‌تری دارد.

نتایج کلان

- شاخص‌ها و سناریوهای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، با توجه به تغییر ویژگی‌های مکان مورد مطالعه، زمان انجام کار، منابع در دسترس و اهداف عملیاتی مدنظر، متفاوت است.
- با استفاده از مدل‌ها و نقشه‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ای و انسانی، امکان بررسی فضایی گسترهٔ مورد بررسی ایجاد می‌گردد. از طریق مقایسهٔ بین این نقشه‌ها و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای هر محدوده نسبت به سایر نواحی، راهبردهای اجرایی کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای هر محدوده به‌دست می‌آید؛ چرا که در این روش علاوه بر تعیین میزان کل آسیب‌پذیری هر گستره، نوع آسیب‌های آن اعم از سازه‌ای و شهری مشخص می‌گردد. بدین ترتیب به مدیران و برنامه‌ریزان شهری آگاهی داده می‌شود که در خلال اجرای مراحل مختلف مدیریت ریسک زلزله، لزوم توجه و برنامه‌ریزی در خصوص کدام گستره اهمیت و فوریت بیشتری دارد و اولویت‌بندی در تخصیص منابع و امکانات چگونه باید باشد.
- در حیطهٔ 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 شبکه معابر و ارتباط آن با فضاهای باز و بسته ضروری می‌نماید.
- الگوهای مختلف شهری واکنش‌های مختلفی در برابر زلزله از خود نشان می‌دهند و آسیب‌پذیری لرزه‌ای‌شان متفاوت است.

نتایج خرد

- تراکم جمعیتی در قسمت غربی منطقه از سایر نقاط بیشتر است، لذا میزان آسیب‌پذیری انسانی ناشی از توجه صرف به این شاخص در مقایسه با سایر قسمت‌های منطقه ۱۰ بیشتر خواهد بود. بررسی میزان آسیب‌پذیری ناشی از تراکم جمعیت در شکل ۳ نیز همین موضوع را تأیید می‌کند.
- بررسی میزان آسیب‌پذیری ناشی از سازگاری زمین با کاربری واقع در آن در منطقه ۱۰ نشانگر آن است که عمده بخش جنوبی این منطقه و قسمتی از بخش شمالی در برابر این شاخص آسیب‌پذیر قرار دارد و لذا میزان توجه و اولویت اقدامات اجرایی در جهت کاهش آسیب‌پذیری ناشی از این شاخص می‌بایست در این بخش‌ها بیشتر باشد.
- میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای در قسمت شمالی منطقه ۱۰ در مقایسه با سایر قسمت‌ها کمتر است. در مقابل، قسمت جنوبی منطقه بیشترین میزان آسیب‌پذیری سازه را داراست.

Archive of SID

www.SID.ir

- بررسی میزان آسیب‌پذیری ناشی از وضعیت دسترسی در منطقه ۱۰ گویای رابطه بین میزان آسیب‌پذیری انسانی و وضعیت نامناسب سلسله‌مراتب شبکه معابر است؛ چرا که در قسمت غربی منطقه که تراکم بیشتر جمعیتی وجود دارد و شبکه معابر نیز شرایط نامناسب‌تری دارد، میزان آسیب‌پذیری انسانی بیشتر است.
- بررسی آسیب‌پذیری ناشی از همجواری کاربری‌های سازگار و ناسازگار که براساس مدل سازگاری کاربری تهیه شده، گویای این مطلب است که قرارگیری مکان کاربری‌های خطرناک (پمپ بنزین، کارخانه‌های شیمیایی و ...) نقش مؤثری در بالا بردن میزان آسیب‌پذیری آن مکان دارد.
- وضعیت نامناسب تأسیسات زیربنایی، عامل مهمی در بالا بردن میزان آسیب‌پذیری به‌شمار می‌آید. در قسمت جنوبی این منطقه که شبکه گاز در آن با مشکلات عدیده‌ای روبه‌روست، میزان آسیب‌پذیری زیاد و قابل توجه است.

منابع

احمدی، حسن، ۱۳۸۰، **نقش شهرسازی در کاهش آسیب‌پذیری شهر**، انتشارات دهخدا، تهران.

بحرینی، سیدحسین و دیگران، ۱۳۷۲، **نقش فرم، الگو و اندازه سکونتگاه‌ها در کاهش خطرات ناشی از وقوع زلزله**، جلد اول، مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، تهران.

پاکزاد، جهانشاه، ۱۳۸۵، **مبانی نظری و فرایند طراحی شهری**، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت شهرسازی و معماری، دبیرخانه شورای عالی شهرسازی و معماری، تهران.

جایکا، ۱۳۷۶، **مطالعات ریزپهنه‌بندی شهر تهران**، آژانس بین‌المللی زلزله‌شناسی ژاپن، تهران.

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

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

عادلی، حجت‌الله، الف، ۱۳۷۵، **چه‌طور می‌توان تلفات و خسارات ناشی از زلزله را در شهرها کاهش داد**، انتشارات دهخدا، تهران.

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

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

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

فخیم، نسیم، ۱۳۸۵، **ایجاد یک SDD جهت مدیریت بحران زلزله**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر محمدحسین شریف‌زادگان، برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

فرخ‌نیا، شیلا، ۱۳۸۳، **برنامه‌ریزی کاهش اثرات زلزله در یک ناحیه با آسیب‌پذیری بالا، نمونه موردی منطقه ۱۷ شهر تهران**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر محمدمهدی عزیزی، شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

قدسی‌پور، سیدحسن، ۱۳۸۴، **فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP**، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

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

Archive of SID

www.SID.ir

ناطقی الهی، فریبرز، الف، ۱۳۷۹، **مدیریت بحران زمین‌لرزه در برابر شهرها با رویکرد به برنامه مدیریت بحران زمین‌لرزه شهر تهران**، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

ناطقی الهی، فریبرز، ب، ۱۳۷۸، **مدیریت بحران زمین‌لرزه در ایران**، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

ویسه، یدالله، ۱۳۷۵، **نگرشی بر مطالعات شهرسازی و برنامه‌ریزی شهر در مناطق زلزله‌خیز**، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

Alex H. Barbat, 2003, **Indicators for Disaster Risk Management**, Colombia.

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

Fernandez, Jeannette, Bendimerad, Fouad, Shirley Mattingly, Jim Buika, 2006, **Comparative Analysis of Disaster Risk Management Practices in Seven Megacities**, ISDR's publications.

Hosseini M., Khaki A., and Shariat A., 2002, **Functionality Assessment of Urban Transportation Systems for Rescue and Relief Activities in the Aftermath of Earthquake in Large Populated Cities**, USA.

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

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

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

McEntire, David A., 2001, **Triggering Agents, Vulnerability and Disaster Reduction: Towards a Holistic Paradigm**, Disaster Prevention and management, Vol. 10, No.3, MCB university press.

Menoni S. and Floriana Pergalani, 1996, **An Attempt to Link Risk Assessment with Land Use Planning**, Disaster Prevention and Management, Vol. 5, No.1, MCB university press.

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

Nakabashi, Istook, 1993, **Urban Planning Based on Disaster Risk Assessment**, disaster management in metropolitan area for 21st century, Nagaya, Japan.

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

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

Archive of SID

www.SID.ir