

تعیین عوامل سازه‌ای/ساختمانی موثر در آسیب‌پذیری* بافت کهن شهری زنجان با استفاده از FUZZY LOGIC & GIS

دکتر کیومرث حبیبی*^۱، دکتر احمد پورا احمد^۲، دکتر ابوالفضل مشکینی^۳، دکتر علی عسگری^۴، مهندس سعید نظری عدلی^۵
^۱ استادیار شهرسازی دانشکده فنی، مهندسی دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.
^۲ استاد جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
^۳ استادیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
^۴ استادیار دانشکده مدیریت بحران، دانشگاه یورک، کانادا.
^۵ دانشجوی کارشناسی ارشد شهرسازی، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
 (تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۱/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۶/۸/۵)

چکیده:

بافت قدیم زنجان منطبق بر هسته‌های تاریخی و مرکزی شهر می‌باشد. وجود عناصر شهری بازار سنتی، مسجد جامع، عمارت دارایی و خانه ذوالفقاری، سبزه میدان... از مهم‌ترین عوامل هویت بخش تاریخی و فرهنگی منطقه می‌باشد. امروزه این بافت تاریخی با مشکلات کلانی چون کمبود در برخی سرانه‌های خدماتی چون پارکینگ و فضای باز شهری، عدم امکان نفوذ پذیری به داخل بافت ارگانیک، وجود کاربری‌های ناسازگار، فقدان فضای سبز کافی، بدنه‌های فرسوده و کیفیت ضعیف ابنیه، ریزدانی، عدم قرار گیری بسیاری از بناها در حریم آثار تاریخی مواجه می‌باشد. با این وجود هنوز جزء پرتراکم‌ترین نقاط شهری زنجان محسوب می‌گردد. تجربه زلزله‌های شهرهایی چون بم نشان می‌دهد که تلفات انسانی و آسیب‌های کالبدی در بافت‌های کهن بیشتر از سایر مناطق شهری است. بنابراین تهیه نقشه ریز پهنه بندی زلزله، شناسایی پهنه‌های ناپایدار شهری در مقابل آسیب‌های طبیعی (زلزله، سیل و ...) و مصنوع (آتش سوزی، گودبرداری و ...) اهمیت زیادی دارد. در این مقاله با انتخاب ۱۱ شاخص شناسایی پهنه‌های ناپایدار با کمک (GIS) صورت گرفته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بخش اعظمی از منطقه در مقابل حوادث طبیعی ناپایدار بوده و لزوم نوسازی و بهسازی آن به شدت احساس می‌گردد.

واژه‌های کلیدی:

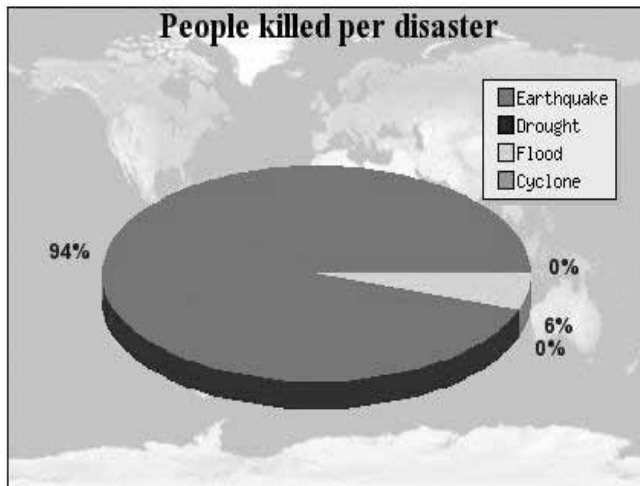
آسیب‌پذیری، مدل فازی، زلزله، بافت کهن، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS).

* بخشی از این مقاله از رساله دوره دکتری کیومرث حبیبی با عنوان "توسعه کالبدی بهسازی و نوسازی بافت‌های کهن شهری با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی" استخراج شده است که در سال ۱۳۸۵ در رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه تهران دفاع شده است.

* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۵۲۷۳۹۶۸، نمابر: ۰۲۱-۴۴۲۳۰۳۸۰، E-mail: habibi_ki@yahoo.co.uk

۱- مقدمه

نمودار ۱- سهم هریک از بلایای طبیعی در تلفات انسانی (بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰).



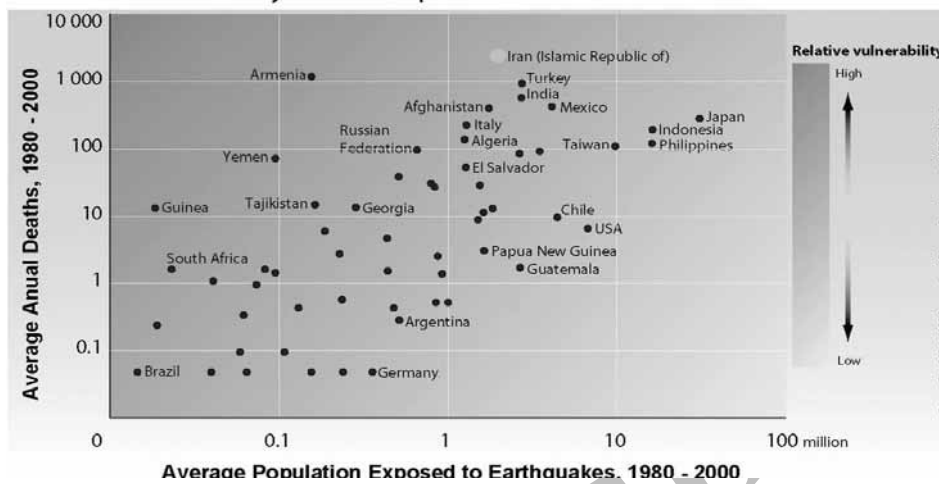
ماخذ: (UNEP, 2006)

زلزله‌های اخیر شاخصی از میزان آسیب پذیر بودن ایران در مناطق شهری و روستایی است زلزله‌های بویین زهرا (۱۳۴۱)، رودبار (۱۳۶۹) و بم (۱۳۸۲) هر کدام هزاران کشته برجای گذاشتند. تنها نتیجه آخرین این موارد یعنی زلزله بم، بیش از ۳۰۰۰۰ کشته، بیش از ۱۰۰۰۰ زخمی، بیش از ۱۰۰۰۰۰ نفر بی‌خانمان و تخریب بیش از ۸۰ درصد از شهر به انضمام از بین رفتن تمام زیرساخت‌های اجتماعی بود که چیزی بیش از ۸۰۰ میلیون دلار خسارت به بار آورد (National report of the Islamic Republic of Iran on disaster reduction, 2005, 8). درحالی که ۴ روز بعد از زلزله بم زلزله‌ای با مقیاس مشابه در شهر سن رولز ایالت کالیفرنیا اتفاق می‌افتد که تنها ۲ کشته برجای می‌گذارد (UN/ISDR, 2005, 1). به نظر می‌رسد انجام برنامه ریزی خاص جهت مصون سازی هر چه بیشتر فضاهای شهری ضرورت دارد. شهرها به دلیل تمرکز جمعیت و سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی فراوان به شدت آسیب می‌بینند و این فضاها از آغاز تشکیل خود، فرم و ساختار خاصی جهت توسعه انتخاب نموده و در گذر زمان نیز گسترش یافته‌اند. دانش شهرسازی با تکیه بر داده‌های جغرافیایی می‌تواند با تبیین اصول و مفاهیم خود و با استفاده از این داده‌ها، اثرات این گونه بلایا را تا حد زیادی تقلیل دهد و مدیران شهری می‌توانند با استفاده از این داده‌ها، اصول مدیریتی لازم جهت کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر این حوادث را به اجرا در آورند (وزارت کشور، ۱۳۸۳، ۱۶).

افزایش سریع جمعیت جهان هر روز بیشتر و بیشتر در شهرها متمرکز می‌شود. امروزه حدود نیمی از جمعیت ۶ میلیاردی کره زمین در شهرها ساکن هستند و پیش بینی شده برای ۳۰ سال آینده، از ۲.۲ میلیارد جمعیتی که به ساکنین زمین اضافه خواهند شد، ۱.۲ میلیارد ساکن شهرها خواهند بود و انتظار می‌رود ۲ میلیارد از این جمعیت در شهرهای کشورهای در حال توسعه متولد شوند (USAID, 2001, 3). جدای از افزایش بلایای طبیعی طی دهه‌های گذشته، افزایش قربانیان به دلیل افزایش آسیب‌پذیری جوامع شهری است. امروزه حدود ۴۵۰ شهر در دنیا با جمعیت بالای یک میلیون نفر وجود دارد. تعداد زیادی از این شهرها، متأسفانه به دلیل بی‌برنامگی با محدودیت فضا روبرو هستند و این باعث می‌شود که از یک سو بافت شهری فشرده شود و در نتیجه تراکم جمعیتی ساکن در آن افزایش یابد و از سوی دیگر زمین‌های نامناسب از نظر آسیب‌پذیری از بلایای طبیعی (به عنوان مثال مناطق نزدیک به گسل‌ها) اغلب توسط فقیرترین طبقات جامعه تصرف شود (Van Westen, 2006, 1). تقریباً ۵۰ درصد از شهرهای بزرگ جهان در نزدیکی گسل‌های فعال زلزله یا حوزه آبریز سیلاب‌ها قرار دارند. در کشورهای توسعه یافته به دلیل حساس بودن تکنولوژی پیشرفته به کار رفته در تاسیسات زیر بنایی، این تاسیسات در معرض تخریب بر اثر زلزله می‌باشند و در نتیجه جوامع صنعتی نیز در معرض خطر زلزله قرار دارند. اما به هر حال شهرهای کشورهای در حال توسعه در معرض خطر بیشتری هستند. تخمین زده می‌شود که حدود ۹۵ درصد از کل قربانیان بلایای طبیعی در جهان از کشورهای در حال توسعه می‌باشند و تلفات ناشی از این گونه حوادث در این کشورها ۲۰ برابر بیشتر از حوادث مشابه در کشورهای توسعه یافته است (Kreimer et al, 2003, 2). در این میان گستره پهناور جغرافیایی کشور ایران از جمله مناطق حادثه خیز است که بسیاری از بلایای طبیعی چون زمین لرزه، رانش زمین، سیل، طوفان، خشکسالی، فعالیت‌های آتش فشان و بیابان‌زایی نمونه‌هایی از تاریخ حادثه خیز دور و نزدیک آن می‌باشد. که همه ساله وقوع این حوادث موجب خسارت‌های جانی و مالی فراوان می‌شود. در گزارش دفتر برنامه ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۳ م.، کشور ایران در میان سایر کشورهای مختلف جهان، رتبه نخست را در 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 افراد کشته شده این سانحه به خود اختصاص داده است. همچنین بر طبق این گزارش، در کشور ایران، زلزله وجه غالب را در سوانح مختلف طبیعی تشکیل می‌دهد (UNDP, 2004, 35).

نمودار ۲- آسیب‌پذیری جمعیتی ناشی از زلزله در طی سالهای ۲۰۰۰-۱۹۸۰ میلادی.

Relative Vulnerability for earthquakes



ماخذ: (UNDP, 2004, 35)

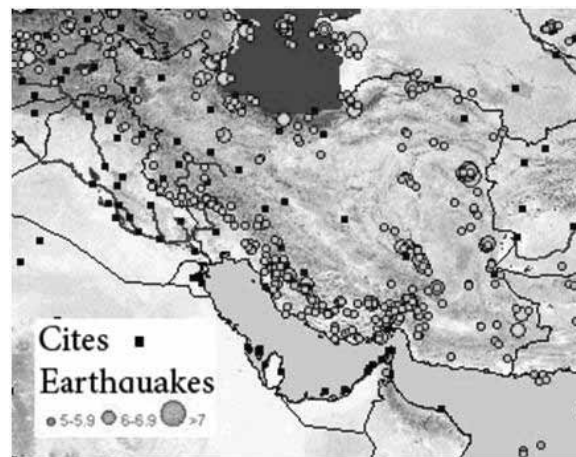
بلندمدت و به همان نسبت در کوتاه مدت تعریف شده است (Mileti, 1999, 106). از این رو کاهش اثرات زلزله و با به عبارت دیگر، کاهش آسیب‌پذیری جوامع بشری در برابر زلزله زمانی به وقوع خواهد پیوست که ایمنی شهر در برابر خطرات زلزله در تمامی سطوح برنامه‌ریزی (از آمایش سرزمین تا معماری)، مد نظر قرار گیرد، که در میان تمامی سطوح برنامه‌ریزی کالبدی، به نظر می‌رسد سطح میانی یعنی شهرسازی یکی از کارآمدترین سطوح برنامه‌ریزی برای کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله می‌باشد (اردلان و همکاران، ۱۳۸۵، ۲۹).

معمولاً این‌گونه تصور می‌شود که با تکیه صرف به تکنولوژی می‌توان جلوی تخریب ناشی از این حوادث را گرفت و بیشتر راه‌حل‌هایی که برای مقابله با این‌گونه حوادث مد نظر قرار می‌گیرد بر روش‌های سنتی مبتنی می‌باشد به این صورت که ابتدا مسئله بررسی می‌شود، سپس متخصصین به یک راه حل در مورد آن می‌رسند و در نهایت به مسئله دیگر پرداخته می‌شود. این راه‌حل‌های خطی و یک طرفه به مساله بلایای طبیعی به صورت یک پدیده ایستا می‌نگرند در حالی که ۲۵ سال گذشته نشان داده که این دیدگاه نتوانسته میزان صدمات ناشی از بلایای طبیعی را کاهش دهد. برای اصلاح این فرایند برنامه‌ریزان باید به سوی کاهش پایدار عوارض بلایای طبیعی حرکت کنند (Mileti, 1999, 2). حرکت به سوی پایداری تنها با تکیه بر فرایندی پویا به جای فرایندی ایستا امکان‌پذیر است. از این رو باید مدل‌هایی طراحی شوند که به صورت پویا قابلیت محاسبه آسیب‌پذیری بافت را داشته باشند. از سوی دیگر، روش سنتی تبدیل داده‌ها به دانش، متکی به تجزیه و تحلیل و تفسیر دستی است. این تجزیه و تحلیل دستی مجموعه‌های داده بسیار کند، گران، موضوعی و ایستا است در حقیقت با رشد نمایی حجم داده‌ها، این نوع تجزیه و تحلیل‌ها در بسیاری از حوزه‌ها غیر عملی می‌گردد. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با توانایی ذخیره، بازیابی و تحلیل داده‌های جغرافیایی تنها گزینه برای پاسخ‌گویی نیازهای امروز جوامع به اطلاعات می‌باشد.

۲- بیان مسئله

کشور ایران با ویژگی‌های خاص زمین‌ساختی، همواره در بسیاری از نقاط با خطر زلزله مواجه می‌باشد. نقاط کانونی زلزله‌های چند سال اخیر نشان می‌دهد که به ندرت نقاطی در کشور پهناور ایران یافت می‌شود که از آسیب زلزله‌های کوچک یا بزرگ در امان باشد و به همین دلیل هیچ منطقه‌ای از آن را نمی‌توان در مقابل زلزله مصون فرض نمود. بر پایه آمارهای رسمی در ۲۵ سال گذشته، ۶ درصد از تلفات انسانی کشور ناشی از زلزله بوده است و به طور میانگین هر سال یک زلزله ۶ ریشتری و هر ده سال یک زلزله به بزرگی ۷ درجه در مقیاس ریشتر در کشور رخ می‌دهد که آخرین آنها زلزله ۳.۶ ریشتری بم در دی‌ماه ۱۳۸۲ بوده است (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۵، ۸۶).

در ادبیات مربوط به مباحث زلزله آسیب‌پذیری به صورت میزان تحمل، پایداری و یا نجات از اثرات یک بلای طبیعی در



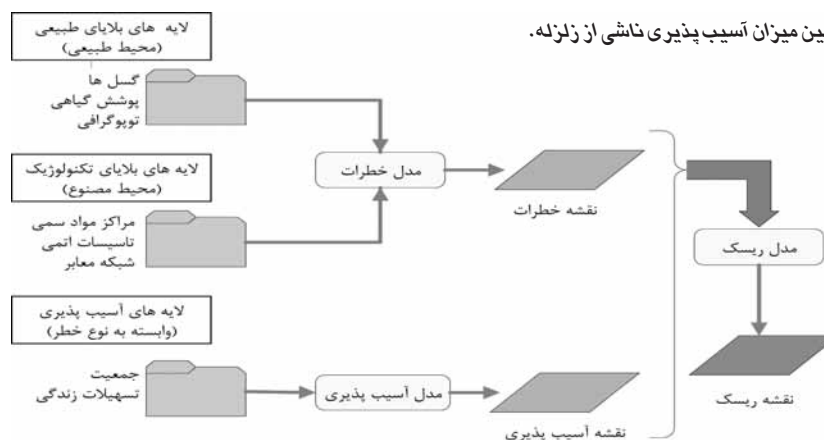
تصویر ۱- پراکندگی زمین‌لرزه‌ها در ایران بین سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۵ میلادی.

ماخذ: (UNISDR, 2005)

منطقه کمتر از سال ۶۴ بوده است این امر نشان دهنده مرکزگرایی و مهاجرت شهروندان قدیمی از این بافت های مسئله دار به علت غیر قابل زیست بودن آن می باشد. نتیجه این امر بی رونقی و متروک شدن بخش مرکزی و قدیمی این شهر و سیر نزولی آن می باشد. علاوه بر این مشکلات کالبدی چون وجود تنها ۷۰۰ واحد ساختمانی نوساز و غلبه واحدهای مخروبه، متروکه و تخریبی بر دیگر واحدها، مشکلات مدیریت بحران در هنگام وقوع حادثه، جلوگیری از توسعه کالبدی بی رویه شهر ناشی از تخلیه بافت های قدیمی، قدمت زیاد واحدهای ساختمانی (۴۰٪ بالای ۳۰ سال عمر)، جلوگیری از گسترش افقی بی رویه (۸۰٪ یک طبقه و کمتر) استفاده از مصالح کم دوام چون خشت و گل و چوب (در بیش از ۳۰٪ واحدها) جلوگیری از تفکیک بیش از حد اراضی (۴۰٪ کمتر از ۱۰۰ متر مربع)، لزوم شناسایی پهنه های ناپایدار شهری در مقابل آسیب های طبیعی (زلزله، سیل و ...) و مصنوع (آتش سوزی، گود برداری و ...) را دوچندان می سازد.

۳- مرور سابقه

آسیب پذیری شهری در مقابل حوادث طبیعی مانند زمین لرزه تابعی از رفتارهای انسانی می باشد که نشانگر درجه تاثیر پذیری یا قابلیت ایستادگی واحدهای اقتصادی اجتماعی و دارایی های فیزیکی شهری در مقابل خط طبیعی می باشد (Rashed and Weeks 2003, 547). در طول دو دهه گذشته چندین مدل برای محاسبه میزان آسیب پذیری بافت برای جهت دادن به تصمیمات جوامع به منظور کاهش اثرات ناشی از بلایای طبیعی، ارائه شده است (Burton, Kates and White 1999, Mitchell, Devine and Jagger 1989, Cutter, Mitchell and Scott 2000, Menoni and Pergalani 1996, Cova 1999, Rashed and Weeks 2003, Antonioni, Spadoni and Cozzani 2007). برای مثال Cova در سال ۱۹۹۹ برای تهیه یک نقشه آسیب پذیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS استفاده می کند او در مدل خود از اطلاعاتی نظیر: توپوگرافی و محل گسل های منطقه، محل تاسیسات زیربنایی حساس مانند نیروگاه های هسته ای و شبکه معابر و در نهایت از پراکنش جمعیت برای مدل سازی آسیب پذیری استفاده می کند. نمودار الگوریتم مدل سازی او به صورت زیر می باشد (Cova, 1999, 845-858).



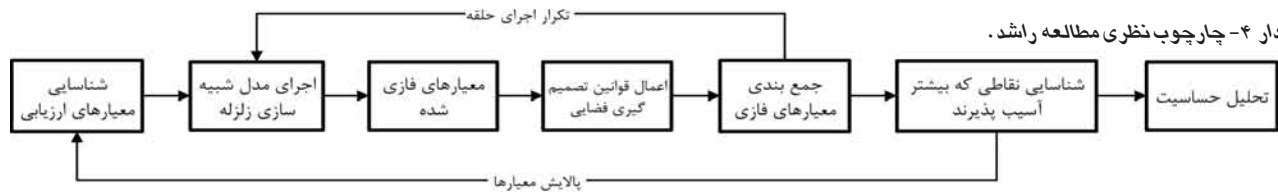
ماخذ: (Cova, 1999, 847)

بهره گیری از فن آوری های نوین همچون GIS و داده های ماهواره ای که امروزه به طور گسترده ای در کشورهای پیشرفته فراگیر شده است و تحقیقات بسیاری در این زمینه صورت گرفته (Fukuwa, Tobita and Ishida, 2004, Zipf and Leiner, 2004) که می تواند کمک فراوانی در پیش بینی مناطق آسیب پذیر و همچنین کمک رسانی به مصدومین و ساماندهی امور پس از واقعه بنماید.

منطقه مورد مطالعه بافت قدیم شهر زنجان بوده و منطبق بر هسته های تاریخی و مرکزی شهر نیز می باشد. وجود عناصر شهری تاریخی و با ارزش، از مهم ترین عوامل هویت بخش تاریخی و فرهنگی منطقه می باشد. با این وجود مشکلات و محدودیت های کلانی چون، گسترش بی رویه محدوده قانونی شهر ناشی از طرح جامع ملاک عمل، کمبود در برخی سرانه های کاربری های خدماتی شهری متناسب با نیازهای جدید شهری همچون پارکینگ علی رغم استفاده شدید از فضاهای شهری، فقدان سلسله مراتب مناسب در شبکه ارتباطی و عدم امکان نفوذ پذیری به داخل بافت ارگانیک، وجود کاربری های ناسازگار، فقدان فضای سبز کافی و ناکارآمدی طرح های تیپ جامع و تفصیلی توسعه شهری، بدنه های فرسوده و کیفیت ضعیف ابنیه به جهت قدمت بناها و استفاده از مصالح نامناسب، نظام تفکیک مبتنی بر قطعات کوچک، عدم وجود تاسیسات و تجهیزات شهری مناسب، قرار گیری بسیاری از بافت های شهری در حریم آثار تاریخی و ضوابط نارسای ساخت و ساز در آن، بورس بازی شدید زمین با کاربری های مختلف در محدوده و یا حاشیه شهری و در نتیجه آن افزایش کاذب و شدید قیمت مسکن، کم رنگ شدن و از دست دادن نقش و عملکرد بازار قدیم شهری در مقابل توسعه حاشیه خیابان های اصلی همچون امام خمینی و سعدی و باعث شده این بافت های قدیمی و با ارزش جمعیت خود را به نفع مناطق حاشیه ای و شهرک های در حال آماده سازی شده چون کوی فرهنگ، شهرک قدس، ولیعصر، انصاریه شهرک کارمندان کوی قائم، آزادگان، زیبا شهر، امیر کبیر از دست بدهند. چرا که علی رغم افزایش شدید جمعیتی شهر زنجان، که از ۲۱۵ هزار نفر در سال ۶۴ به ۳۳۹ هزار نفر افزایش یافته است، جمعیت این منطقه تقریباً ثابت باقی مانده است. طرح تفصیلی شارمند در سال ۶۴ جمعیت این منطقه را ۳۷ هزار نفر برآورد نموده است و پیشنهاد افزایش جمعیت تاسقف ۴۷ هزار نفر را مطرح نموده است (شارمند، ۱۳۶۷). حال آنکه در سال ۸۳ جمعیت

نمودار ۳- مدل کوا برای تخمین میزان آسیب پذیری ناشی از زلزله.

همان‌طور که در نمودار نیز مشخص است، در مرحله اول حداکثر شتاب افقی زمین (PGA) ناشی از زلزله‌های مهم مشخص می‌شوند، در مرحله دوم تجهیزات حساسی که ممکن است در اثر زلزله صدمه ببینند و باعث خرابی‌های مهمی شوند شناسایی می‌شوند. در مرحله سوم باید برای هرکدام از این تجهیزات سناریو مربوط به آن نوشته شود. در مرحله چهارم تا هفتم هرکدام از سناریوهای مرجع باید باهم به منظور ایجاد یک سناریو کلی ادغام شوند، زیرا ممکن است بیش از یک واحد از تجهیزات در اثر یک زلزله صدمه ببینند.



ماخذ: (Rashed and Weeks, 2003, 549)

همچنین نتایج سناریوها نیز باید ادغام شوند تا نتیجه سناریو کلی نیز مشخص شود و در نهایت رویه کلی که از ترکیب رویه‌های دیگر بدست آمده است می‌تواند ریسک ناشی از زلزله را مشخص کند.

۴- محاسبه میزان احتمال آسیب پذیری ناشی از زلزله

بلایای طبیعی سالانه جان هزاران نفر را در سراسر جهان می‌گیرند. نقشه نواحی پرخطر زلزله، نقشه‌ای است که نقاطی که در اثر این بلای طبیعی، بیشتر صدمه می‌بینند را نشان می‌دهد. وقتی ما از احتمالات برای نشان دادن میزان خطر استفاده می‌کنیم، نقشه حاصل از آن، نقشه میزان احتمال خطر نامیده می‌شود. برای تولید این نوع نقشه باید پراکنش احتمال $P(x)$ را تخمین بزنیم، در این حالت x فاکتورهای آسیب پذیری در برابر زلزله می‌باشد. بلایای طبیعی سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که فاکتورهای زیادی در آن دخالت دارند. اطلاعات در دسترس برای تخمین $P(x)$ معمولاً یا ناقصند و یا دخالت دادن همه آنها حتی در صورت وجود در یک مدل غیر ممکن به نظر می‌رسد. از این رو تخمین $P(x)$ به صورت کاملاً دقیق غیر ممکن به نظر می‌رسد و هیچ کس نمی‌تواند تضمین کند که $P(x)$ را با درصد خطای مشخص به صورت دقیق تخمین زده است. در این حالت، توابع احتمال فازی برای نشان دادن احتمال خطر به صورت فازی یکی از مهم‌ترین و مناسب‌ترین راهکار خواهد بود. منطقی فازی برای اولین بار توسط پروفیسور لطفی زاده استاد دانشگاه برکلی مطرح شد. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند صورت ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد.

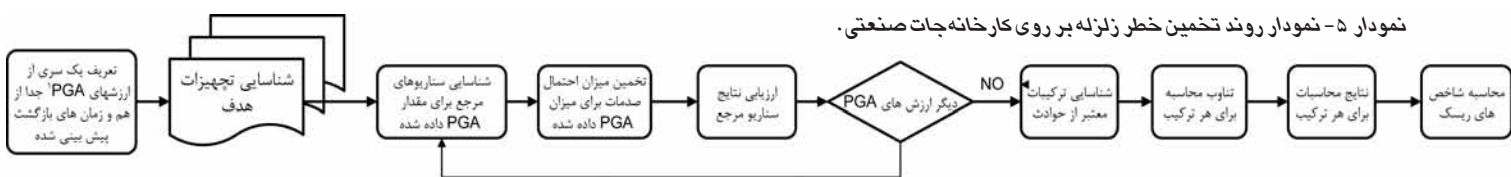
راشد در سال ۲۰۰۳ از GIS در مدل‌سازی میزان آسیب پذیری ناشی از زلزله کمک می‌گیرد. او رویکردی فازی نسبت به جهان پیرامون دارد و با این نگاه مدلی را براساس تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytical hierarchically process) برای پیش‌بینی میزان خطر تولید می‌کند. عواملی که وی در مدل خود به عنوان معیار به می‌برد شامل: حداقل عملکرد پل‌ها، سرویس‌های فوریت پزشکی، بیمارستان‌ها، خطوط انتقال نیرو، بزرگراه‌ها، و نیز حداکثر هزینه بازسازی ساختمان‌ها، نیاز به سرپناه، حجم آوار و درصد مناطق از بین رفته بر اثر آتش‌سوزی می‌باشد. نموداری که او برای این فرایند ترسیم می‌کند به صورت زیر است:

نمودار ۴- چارچوب نظری مطالعه راشد.

پروژه‌ای که راشد برای تحلیل آسیب‌پذیری استفاده می‌کند از هفت مرحله تشکیل می‌شود. اولین مرحله انتخاب معیارهای ارزیابی و شاخص‌هایی است که حدود تحلیل را مشخص می‌کنند. در مرحله دوم از طریق محاسبات آماری حرکت‌های احتمالی زمین بر اثر زلزله محاسبه می‌شود. بر این اساس شدت آسیب‌های ناشی از یک زلزله فرضی قابل محاسبه خواهد بود. در مرحله سوم، میزان آسیب‌های احتمالی از سناریوی اجرا شده فازی سازی می‌شوند. در مرحله چهارم معیارهای فازی سازی شده دو به دو با استفاده از تکنیک AHP به منظور تولید یک سری از وزن‌های فازی، مقایسه و رده بندی می‌شوند. در مرحله پنجم معیارها با هم ادغام می‌گردند و یک آرایه تک بعدی از قوانین بناشده بر روی یک مجموعه از متدهای وزن دار فازی شده، را ایجاد می‌کنند این قوانین سپس برای اندازه گیری درجه عضویت هر یک از مجموعه‌های فازی که معرف میزان صدمه وارد شده (ریسک کم، ریسک متوسط و ریسک زیاد) می‌باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. مراحل ۲ تا ۵ برای تمامی سناریوها تکرار می‌شود و در مرحله ششم لایه‌های فازی دارای ریسک زیاد که از اجرای سناریوها بدست آمده است برای مکان‌یابی نقاط مهم آسیب پذیر استفاده می‌شود. در مرحله نهایی تحلیل حساسیت تأثیرات پارمترهای شبیه‌سازی در خروجی نهایی را تعیین می‌کند. (Rashed and Weeks, 2003, 547-576)

مقاله آنتونیونی و همکاران جزو جدیدترین پژوهش‌ها در زمینه بررسی خطر ناشی از زلزله در جهان است. در این تحقیق یک روند از برای بررسی تأثیرات زلزله بر تاسیسات صنعتی آرایه می‌کند نکته شروع در این پژوهش استفاده از اطلاعات زمین لرزه‌های پیشین برای تخمین روند زلزله‌های آتی می‌باشد. در این مقاله با بررسی تجهیزات موجود و نیز نقشه آسیب‌پذیری میزان صدمات ناشی از زلزله بر روی تجهیزات پیش‌بینی شده است. الگوریتم آرایه شده ایشان برای این تحقیق به صورت زیر می‌باشد (Antonioni, Spadoni and Cozzani, 2007, Article in press).

نمودار ۵- نمودار روند تخمین خطر زلزله بر روی کارخانه جات صنعتی.



ماخذ: (Antonioni, Spadoni and Cozzani, 2007, Article in press)

۶- **تعداد طبقات** اگر با اصول ایمنی نباشد قطعاً آسیب را بالا خواهد برد. حتی اگر افزایش ارتفاع با رعایت ضوابط و محاسبات مناسب انجام گیرد، به هنگام تخلیه، جستجو و نجات با سختی همراه است، لذا افزایش تعداد طبقات یک عامل منفی محسوب می شود و آسیب پذیری را بالا می برد. در شهری مثل بم که احتمال خطر در آن وجود دارد از بلند مرتبه سازی باید پرهیز شود؛ چراکه به طور کلی توسعه در ارتفاع از توسعه در سطح پرخطرتر است.

۷- **درجه محصوریت معابر** پارامتر بسیار مهمی است؛ با بالا رفتن درجه محصوریت و ریختن آوار در خیابان، تعداد انسداد بیشتر خواهد شد و در نتیجه در سرعت و نحوه گریز و پناه امداد رسانی به هنگام بحران تاثیر گذار خواهد بود.

۸- **عرض معابر** نیز به هنگام گریز، پناه، تخلیه و امداد رسانی بسیار نقش مهمی دارد. چرا که حجم بیشتری از بازماندگان یا گروه های امداد گری می توانند منتقل شوند. هرچه عرض بیشتر باشد امکان ایجاد ترافیک عبوری کمتر خواهد شد.

۹- **فاصله سکونتگاه ها از فضاهای بی کالبد** اهمیت دارد، فضاهای بی کالبد در زمانی که احتمال وقوع زلزله وجود دارد می توانند به عنوان فضای پناه گیری استفاده شوند، بعد از وقوع زلزله نیز برای دایر کردن مراکز امدادی و درمانی و یا برای فرود اضطراری بالگرد مورد استفاده قرار می گیرند. این فضاها باید در مکان های کم خطر زلزله واقع شوند، نداشتن پوشش گیاهی قابلیت استفاده در مواقع امداد رسانی، مخصوصاً برپایی اسکان اضطراری را بالا می برد. نزدیکی این مکان به مراکز درمانی از جهت انتقال سریع تر کمک های فوری بسیار مطلوب خواهد بود.

۱۰- **فاصله کم مراکز درمانی تا محل سکونتگاه ها**، موجب سرعت بخشیدن به امداد رسانی می شود و هرچه این فاصله بیشتر باشد، زمان بیشتری بین مبدأ و مرکز درمانی طی می شود در نتیجه درمان به مخاطره می افتد.

۱۱- **دسترسی به مراکز آتش نشانی** به عنوان یک عامل بسیار مهم در امداد رسانی تلقی می شود و افزایش فاصله سکونتگاه با مراکز آتش نشانی، سرعت امداد را کاهش می دهد و دامنه خطر را افزایش می دهد.

پس از شناسایی لایه های مورد بررسی بر اساس میزان اهمیت هر عامل در آسیب پذیری یک مکان بر اثر زلزله لایه ها بر اساس شاخص آنتروپی (نظرات کارشناسی) رتبه بندی می شوند. سپس معکوس رتبه هر لایه به عنوان وزن آن لایه در مدل IHWP در نظر گرفته می شود. عامل حداکثر شتاب افقی زمین نیز می توانست جزو عوامل موثر در تخریب ناشی از زلزله به شمار آید که متأسفانه نقشه آن برای شهر زنجان تهیه نشده است.

در اینجا ذکر این نکته اهمیت دارد که تخمین پتانسیل آسیب پذیری توسط ابهامات و عدم قطعیت ها احاطه شده زیرا که معیارهای محاسبه میزان آسیب پذیری با دقت و صراحت برای محاسبه رفتار نمی کنند و دلیل استفاده از مدل فازی این است که یک "مجموعه فازی برخلاف یک مجموعه بولین به فاکتورهای آسیب پذیری اجازه عضویت به صورت یک طیف پیوسته را می دهد" (L. A. Zadeh, 1975, 200). در این پژوهش نقشه میزان احتمال خطر، طی سه مرحله تولید شده است. در مرحله اول نقشه های اصلی که در تخریب ناشی از زلزله موثر هستند از نظر اهمیت درجه بندی و امتیاز دهی می شوند، در مرحله دوم این نقشه ها با استفاده از توابع فازی به نقشه های فازی تبدیل می گردند، در مرحله سوم با توجه به امتیازات هر نقشه نقشه های فازی بر اساس مدل IHWP (حیبی، ۱۳۸۵) با هم ادغام می گردند.

۴-۱- مرحله اول: تعیین عوامل موثر در تخریب ساختمان بر اثر زلزله

با توجه به اطلاعات موجود عوامل موثر بر تخریب ساختمان که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند به شرح زیر می باشند:

۱- **قدمت ساختمان** نقش مهمی در میزان آسیب پذیری آنها دارد، عملاً حتی اگر یک ساختمان تمامی موازین مقاوم سازی را در ساختمان خود به کار برده باشد ساختمان هایی که قدمت بیشتری دارند از خطر تخریب بیشتری برخوردارند.

۲- **اسکلت ساختمان** بیشترین تاثیر را در چگونگی پایداری ساختمان در برابر زلزله دارد، به همین خاطر بیشتر عملیات مقاوم سازی ساختمان ها بر روی اسکلت ساختمان یا در ارتباط مستقیم با آن انجام می شود.

۳- **کیفیت بنا** تاثیر بسیار مهمی بر میزان آسیب پذیری ساختمان دارد، در مقایسه ساختمان های مشابه، ساختمانی که از کیفیت ساخت پایین تری برخوردار است از احتمال تخریب بیشتری در مقایسه با دیگر ساختمان ها برخوردار می باشد.

۴- **مساحت قطعات تفکیکی** فاکتور مهمی در احتمال بروز خطر ناشی از زلزله می باشد. هرچه سطح این قطعات بیشتر باشد آوار ناشی از تخریب ساختمان کمتر به ساختمان ها و معابر مجاور صدمه وارد می کند.

۵- **ترکیب توده و فضا یا رابطه پر و خالی** در بافت بسیار مهم است. با کم شدن فضای بین ساختمان ها و بیشتر شدن پیوستگی بافت ها، آسیب پذیری افزایش می یابد. اولاً هر ساختمان نیرویی به ساختمان مجاور وارد می کند و موجب آسیب رسانی به ساختمان های اطراف می شود. ثانیاً این فضا به منظور گریز و پناه و اسکان مورد استفاده قرار می گیرند. در نتیجه نسبت قرار گیری ساختمان در داخل زمین و درصد اشغال بنا اهمیت دارد.

جدول ۱- عوامل موثر در میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و وزن آنها.

رتبه	عامل موثر در میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله	امتیاز	رتبه	عامل موثر در میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله	امتیاز
۱	اسلکت ساختمان	۱۱	۷	تعداد طبقات	۵
۲	نسبت ارتفاع به عرض معبر مجاور	۱۰	۸	عرض معبر روبرو	۴
۳	کیفیت بنا	۹	۹	فاصله از مراکز آتش‌نشانی	۳
۴	مساحت	۸	۱۰	فاصله از مراکز درمانی	۲
۵	سطح اشغال	۷	۱۱	فاصله از زمین‌های خالی	۱
۶	قدمت	۶			

(ماخذ: نگارندگان)

۴-۲- مرحله دوم: فازی سازی عوامل موثر در میزان خطر ناشی از زلزله

بنا بر نوع داده ورودی فازی سازی اطلاعات به چند طریق صورت می‌گیرد:

- ۱- داده‌های اسمی: در این نوع داده‌ها از اعداد و علائم صرفاً برای طبقه بندی استفاده می‌شود، مانند کیفیت بنا، اسلکت بنا که تنها ساختمان را توصیف می‌کنند، برای فازی سازی این نوع داده‌ها باید آنها را ابتدا با نظر کارشناس به مقیاس فاصله‌ای تبدیل و سپس نسبت به فازی سازی آنها اقدام نمود.
- ۲- داده‌های ترتیبی: این نوع داده‌ها علاوه بر طبقه بندی داده ورودی ترتیب اولویت آن را نیز آشکار می‌کند، مانند قدمت بنا، در این حالت نیز با نظر کارشناس داده‌ها به مقیاس فاصله‌ای تبدیل و سپس نسبت به فازی سازی آنها اقدام نمود.
- ۳- داده‌های فاصله‌ای: این نوع داده‌ها مقیاسی قوی‌تر از

داده‌های ترتیبی دارند و می‌توان با آن فواصل را مشخص نمود، البته در عواملی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند داده‌ای با این مقیاس وجود ندارد ولی داده‌های با مقیاس اسمی و ترتیبی باید به مقیاس فاصله‌ای تبدیل شوند تا برای توابع فازی قابل استفاده باشند.

۴- داده‌های نسبی یا نسبتی: که در قوی‌ترین شکل خود قرار دارد و صفر آن واقعی است اما این نوع از داده‌ها خود به دونوع گسسته و پیوسته تقسیم می‌شوند:

- نوع گسسته مانند: نسبت ارتفاع به عرض معبر مجاور، تعداد طبقات، عرض معبر روبرو، که در نتیجه گسسته بودن داده‌های ورودی نتیجه خروجی توابع فازی نیز گسسته خواهد بود
- نوع پیوسته مانند: مساحت، سطح اشغال، فاصله از مراکز آتش‌نشانی، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از زمین‌های خالی. که در نتیجه پیوسته بودن داده‌های ورودی نتیجه خروجی توابع فازی نیز پیوسته خواهد بود.

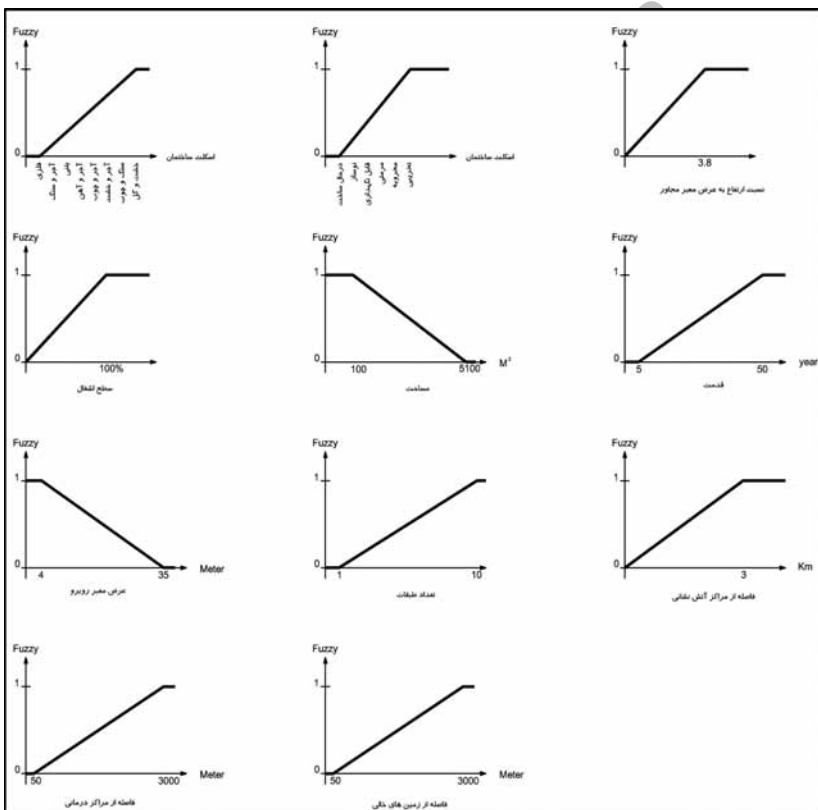
۴-۲-۱- تابع فازی مورد استفاده

تابع فازی مورد استفاده در این پژوهش تابعی خطی است که داده‌ها را به صورت خطی و با شیب یکسان از حالت کلاسیک به حالت فازی تبدیل می‌کند.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x - x_{\min}}{\Delta x} & a < x < b \\ 1 & b < x \end{cases}$$

که در این فرمول: $f(x)$: تابع فازی، x : عامل آسیب‌پذیری و a ، b حداقل و حداکثر میزان قابل قبول برای عامل آسیب‌پذیری، Δx : اختلاف x_{\max} و x_{\min} می‌باشد. شکل زیر مقادیر لایه‌های مورد استفاده در این تحقیق را که با استفاده از تابع فازی سازی شده‌اند را نشان می‌دهد.

تصویر ۱- نمودار توابع عضویت فازی برای لایه‌های مورد استفاده در محاسبه آسیب‌پذیری.



(ماخذ: نگارندگان)

۳-۴- مرحله سوم: تلفیق لایه‌ها در مدل IHWP و تعیین نقشه آسیب پذیری بافت کهن

مدل IHWP منطقی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف براساس معکوس رتبه آنها است. در این روش لایه‌ها طبق امتیازاتی که در مرحله اول براساس معکوس درجه اهمیت هریک به آنها نسب داده شده بود با یکدیگر تلفیق می‌شوند (حبیبی، ۱۳۸۵).

$$P(V) = \sum_{j=1}^n W_j(f(x_j))$$

که در این فرمول: $P(V)$: امتیاز آسیب پذیری، تعداد لایه‌های مورد استفاده در مدل IHWP، W_j : معکوس رتبه لایه i که به عنوان

وزن آن لایه در نظر گرفته شده بود و $F(X_i)$: مقادیر فازی لایه i می‌باشد.

طبق این فرمول حداکثر امتیاز آسیب پذیری یک مکان در بدترین شرایط از نظر تمامی عوامل امتیاز ۶۶ یعنی مجموع تمامی امتیازات و حداقل امتیاز یک مکان در بهترین شرایط امتیاز صفر می‌تواند باشد. اما جمع شدن تمامی شرایط در یک محل احتمال کمی دارد و این امر به خوبی در نتیجه مدل مشهود است به این صورت که حداکثر امتیاز کسب شده عدد ۴۸/۴۹ و کمترین امتیاز با به عبارت دیگر ایمن ترین مکان امتیاز ۱/۷۶ را کسب کرده است. نمودار زیر مراحل سه گانه ایجاد نقشه آسیب پذیری را نشان می‌دهد.

تصویر ۲- مراحل مدل سازی تعیین عوامل سازه‌ای/ساختمانی موثر بر آسیب پذیری ناشی از زلزله.



(ماخذ: نگارندگان)

تهیه قوانین مناسب به منظور کنترل ساخت و ساز در سطح اینگونه مناطق، تدوین ضوابط ساخت و ساز در حریم، اصلاح ضوابط کاربری زمین در جهت تامین منافع عمومی شهروندان، اختصاص زمین های بایر و اراضی نظامی به کاربری های متناسب، تدوین ضوابط تراکم با توجه به ویژگی های هر منطقه، تعیین ضوابط و یا محدود کردن تعداد طبقات، تهیه و اجرای طرح های بهسازی و مرمت برای بافت های ارگانیک و آسیب پذیر، تعریض معابر شهری در جهت دستیابی به حداقل های لازم در عملیات امداد، مقاوم سازی مراکز حیاتی در سطح نواحی، گسترش فضاهای باز و سبز به ویژه در پهنه های آسیب پذیر، محدود نمودن تقاضای مجوز ساخت در قطعات کوچک، مقاوم سازی و بهسازی فضاهای اقتصادی، تدوین ضوابط مقررات مکانیابی و احداث فعالیت های خطر زا، رعایت حریم کاربری های با خطر ثانویه می باشد.

نسبت سطح ساخته شده به سطح فضای باز)، ایجاد سلسله مراتب فضاهای باز از سطح شهر تا واحد همسایگی، ایجاد سلسله مراتب معابر شهری، رعایت حریم نواحی خطرناک و جلوگیری از گسترش شهر به نواحی فوق، رعایت هم جوار کاربری ها و انتقال کاربری های ناسازگار، تخریب و بهسازی کاربری های فرسوده و قدیمی، توزیع فضایی کاربری ها جهت کاهش مقدار سفر و تمرکزگرایی بیش از حد، جلوگیری از ساخت و ساز های غیر مجاز، قانونمند ساختن ساخت و سازها و رعایت آیین نامه ۲۸۰۰، افزایش امکانات به منظور مقابله با زلزله، بهینه سازی مسیرانتقال گاز، برق و تلفن، رعایت اصول ایمنی در مکانیابی و احداث کاربری های اصلی، تشویق سرمایه گذاری در ایجاد واحدهای اقتصادی به منظور بهبود وضع اقتصادی، می باشد.

سیاست های اجرایی نیز شامل: مشخص کردن مناطق آسیب پذیر،

فهرست منابع:

- اردلان، علی رضا، فروتن احسان و آقامحمدی، حسین (۱۳۸۵)، مدل سازی مکانی برای کاهش خسارت های بحران زلزله، اولین همایش مقابله با سوانح طبیعی، پردیس فنی دانشگاه تهران، ۲۹-۳۶.
- حبیبی، کیومرث (۱۳۸۵)، توسعه کالبدی، حفاظت، بهسازی و نوسازی بافت های کهن شهری با استفاده از GIS، رساله دکتری در دست انتشار، دانشگاه تهران، تهران.
- رنجبر، محسن، اشراقی، مهدی و ایرانمنش، فاضلی (۱۳۸۵)، تهیه الگوی پایگاه اطلاعات مکانی به منظور مکان یابی محل های استقرار موقت جمعیت های آسیب دیده ناشی از زلزله، اولین همایش مقابله با سوانح طبیعی، پردیس فنی دانشگاه تهران، ۸۶-۸۸، تهران.
- مهندسین مشاور شارمند (۱۳۶۷)، طرح جامع شهر زنجان، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.
- وزارت کشور (۱۳۸۳)، گزارش دبیرخانه ستاد هماهنگی امور ایمنی و آتش نشانی کشور نقل شده در مقدمه کتاب مدیریت بحران در نواحی شهری، چاپ سوم، سازمان شهرداری ها و دهیاری های کشور، تهران.

- Antonioni, Giacomo; Gigliola, Spadoni and Valerio Cozzani(2007) ,A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events, *Journal of Hazardous Materials*, Article in press.
- Berkeley/Zadeh(2007), <http://www.cs.berkeley.edu> (accessed July 2, 2007)
- Burton, I; Kates, R. W and White, G. F (1999) , *the environment as hazard*, Oxford university press, NewYork.
- Cova, T. J, (2005), GIS in emergency management, *Geographic Information Systems: Principle Techniques*, 845-858.
- Cutter, S; Mitchell , J and Scott , M (2000), Revealing the vulnerability and places: A case study of Georgetown County, South Carolina, *Annals of the Association of American Geographers* 90: 713-737.
- Fukuwa , N ; H , Tobita and Ishida, E (2004), Effective application of geographic information system in the field of earthquake engineering and disaster prevention, *12th world conference on earthquake engineering*. Auckland, USA.
- Kartalopoulos, Stamatios (1996), *Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic: Basic Concepts and Applications*. Institute of Electrical.
- Kosko, B (1994), *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*. Hyperion ,USA.
- Kreimer, A; Arnold,A and Carlin ,A (2003), Building safer cities, The future of disaster risk, *Disaster risk management series*, Vol. 3, The Worldbank.
- Menoni, S and F, Pergalani (1996) ,An attempt to link risk assessment with land use planning: a recent experience in Italy." *Disaster Prevention and Management* 5 , 6-21.
- Mileti, Dennis (1999), *Disasters by Design: a reassessment of natural hazards in the United States*, Joseph Henry Press.
- Mitchell, J; Devine ,N and Jagger, K (1989),A contextual model of natural hazards, *Geographical Review* 79,391-409.
- National report of the islamic republic of iran on disaster reduction (2005), *World Conference on Disaster Reduction*, Kobe, Hyogo, Japan.
- Rashed, K and Weeks, J (2003),Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas, *International Journal of Geographic Information Science* Vol. 17, no. 6: 547-576.
- Salvano,B (2004) ,*What We Learn From Deadly Quakes*, National Geographic, September.
- UN/ISDR (2005), *Word Conference on Disaster Reduction. 18- 22 January*, Kobe, Hyogo, Japan.
- UNDP(2004). *Reducing disaster risk*, A challenge for development. A global report, New York, NY 10017, USA: Bureau for Crisis Prevention and Recovery.
- UNEP (2006), <http://gridca.grid.unep.ch/undp/cntry-profile-php>, (accessed July 10, 2007).
- UNISDR (2005), <http://unidsdr.org>, (accessed July 10, 2007).
- USAID (2001) , *Making cities work: USAID's urban strategy*, an Initiative launched by the Administrator and prepared by the Urbanization task force.
- Van Westen, C(2006) ,*Geoinformation Science and Earth Observation for municipal risk management; The SLARIM project*, International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands.
- Wikipedia/Fuzzy_logic (2007), <http://en.wikipedia.org> , (accessed July 2, 2007)
- Zadeh, L (1965),Fuzzy sets, *Information and Control* vol. 8: 338-353.
- Zadeh, L (1975) ,The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning, *Information Sciences* 8: 199-249.
- Zipf, A and Leiner, R (2004) ,A mobile GIS based flood warning and information system, *12th symposium on location based services and telecartography*, Vienna, Austria.