

## Zarin Shahr Earthquake Risk Assessment using GIS

Amin Eidivandi <sup>1\*</sup>, Ghasem Khosravi <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Master of Science (MSc) in Civil Engineering Department of GIS - Lenjan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor of GIS and Environmental Risks, Islamic Azad University, Lenjan Branch, Isfahan, Iran

### Abstract

Iran is considered as one of the most earthquake-stricken countries in the world and its cities have faced many damage and harms by this natural phenomenon. Iran's establishment on the Himalayan Alpine earthquake belt has caused the occurrence of earthquakes as one of the most hazardous damages in the country. The earthquake hazard in the city of Zarin Shahr is not an exception, according to the building regulations 2800, the fourth edition and the tectonic conditions, and the existence of four main faults and a sub-fault around it at a radius of 150 km and the seismic record in this area during the last thirty nine years. Also, in the process of preparing the zoning map and horizontal hazard acceleration in Zarin Shahr, a probabilistic method of the CRISIS model, one of the most powerful and high-precision software, has been used. Therefore, in this research, we have tried to use modern planning modules such as the Analytical Hierarchy Process (AHP) model. The results of this study show that different factors can have different effects on vulnerability and earthquake damage, so that the effects of environmental factors such as distance from fault, soil, and gradient percent are more than other factors. Physical-skeletal factors such as building age, population density, number of building floors, material genus and land use are more effective in earthquake after natural factors. In this research, we tried to use a descriptive-analytical method. After determining the criteria, sub-criteria and options for the vulnerability of the earthquake, using experts' opinion and existing documents, the weight of the criteria was calculated in Expert selection software. And related maps are collected and stored through over-lapping in the Arc Gis software and vulnerable areas of the city Zarin Shahr are identified and analyzed. After drawing up a zone risk map and area vulnerability in Arc Gis software, by using the product of the two generated maps, the final map of Zarin Shahr risk was drawn and the risk of the areas was analyzed in five categories and 4.30% are at a very low risk, 23.27% at medium risk and 3.47% of urban areas are at a high risk.

**Key words:** Risk, Earthquake, Zarin Shahr, Geographic Information System, AHP Model, CRISIS.

\* amineidivandi@yahoo.com



## ارزیابی ریسک زلزله زمین‌شهر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

امین عیدیوندی\*؛ کارشناس ارشد، گروه مخاطرات محیطی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران  
قاسم خسروی؛ استادیار گروه مخاطرات محیطی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

وصول: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۷، صص ۷۴-۵۵

### چکیده

ایران یکی از زلزله‌خیزترین کشورهای دنیا محسوب می‌شود و شهرهای آن بر اثر این پدیده طبیعی آسیب‌های فراوانی دیده‌اند. استقرار ایران بر کمر بند زلزله‌خیز آلپ - هیمالیا موجب شده است رخداد زمین‌لرزه به‌منزله یکی از مخاطراتی مطرح شود که بیشترین آسیب را در کشور به وجود می‌آورد. شهر زمین‌شهر نیز با توجه به آیین‌نامه مقررات ساختمان ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، شرایط زمین‌ساختی و وجود چهارگسل اصلی و یک گسل فرعی در اطراف آن به شعاع ۵۰ کیلومتری و ثبت لرزه‌ها در این منطقه در ۳۹ سال اخیر از این قاعده مستثنی نیست. در فرایند تهیه نقشه پهنه‌بندی و شتاب افقی خطر در شهر زمین‌شهر به روش احتمالاتی از مدل CRISIS، یکی از نرم‌افزارهای بسیار قوی و با دقت زیاد، استفاده شده است؛ از این رو در این پژوهش سعی شده است مدل‌های نوین برنامه‌ریزی مانند مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به کار گرفته شود. بررسی نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد عوامل مختلف بر آسیب‌پذیری و خسارات ناشی از زلزله تأثیرگذاری متفاوتی دارند؛ به طوری که تأثیر عوامل محیطی مانند فاصله از گسل، جنس خاک و درصد شیب بیشتر از سایر عوامل است. عوامل کالبدی - فیزیکی نظیر قدمت ساختمان، تراکم جمعیت، تعداد طبقات ساختمان‌ها، جنس مصالح و کاربری اراضی در وقوع زلزله پس از عوامل طبیعی در سطح دوم تأثیرگذاری بیشتری دارند. در این پژوهش از روش توصیفی - تحلیلی استفاده و پس از مشخص کردن معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها در امر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و استفاده از نظر کارشناسان و اسناد موجود وزن‌های معیارها در نرم‌افزار Expert choice محاسبه شد. همچنین نقشه‌های مربوط با همپوشانی (Weighted sum) در نرم‌افزار Arc Gis گردآوری و ذخیره و مناطق آسیب‌پذیر شهر زمین‌شهر شناسایی و تحلیل شد. پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر و آسیب‌پذیری منطقه در نرم‌افزار Arc Gis با استفاده از حاصل ضرب (raster calculator) دو نقشه ایجاد شده، نقشه نهایی ریسک شهر ترسیم و ریسک مناطق در پنج طبقه تحلیل شد. نتیجه حاکی است زمین‌شهر ۴/۳۰ درصد ریسک بسیار کم، ۲۳/۲۷ درصد ریسک متوسط و ۳/۴۷ درصد ریسک بسیار زیاد دارد.

واژه‌های کلیدی: ریسک، زلزله، زمین‌شهر، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل CRISIS، AHP.

## مقدمه

دومین عامل برای رسیدن به نقشه ریسک و میزان ریسک منطقه مطالعه شده، ارزیابی آسیب‌پذیری است (پویان، ۱۳۷۵: ۴۸۸). در اصطلاحات مهندسی زلزله، ریسک زلزله به مفهوم احتمال وقوع زلزله با بزرگای  $M$  و بیشتر در مدت زمان مدنظر است؛ بنابراین ریسک زلزله در مدت  $t$  سال همان  $p_t$  یا احتمال وقوع زلزله با بزرگای  $M$  و بیشتر در مدت  $t$  سال خواهد بود که آن را با  $R_t$  نمایش می‌دهند.

برای به دست آوردن نقشه نهایی ریسک پس از تهیه نقشه خطر و آسیب‌پذیری از رابطه زیر استفاده می‌شود (UNDRO: 1979):

$Risk = Hazard * Vulnerability * Elements\ at\ risk$   
quantified

ارزیابی ریسک شامل ارزیابی خطرات از نظر علمی و آثار اجتماعی و اقتصادی، رویدادی خطرناک است. ریسک عبارت است از احتمال یک واقعه که یک مقدار  $x$  از آسیب را نشان می‌دهد. پژوهش‌های انجام شده در زمینه ارزیابی خطر در سکونتگاه‌های انسانی نشان‌دهنده سه رویکرد مطالعاتی برای بررسی خطرات محیطی در اجتماعات انسانی است: ارزیابی زیست‌محیطی، ارزیابی اجتماعی و ارزیابی مکانی. رویکرد اول بر پیش‌بینی احتمال وقوع خطرات و تعیین شعاع اثرگذاری در محیط و فضای جغرافیایی تأکید دارد؛ رویکرد دوم تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی خطرات محیطی را در زمان وقوع و پس از آن ارزیابی می‌کند؛ رویکرد سوم به خطرات بالقوه محیطی و آثار اقتصادی و اجتماعی آنها توجه دارد و راهکارها و الگوهای مقابله با خطرات محیطی و کاستن از آثار نامطلوب آنها را ارائه می‌کند (گلی و عسگری، ۱۳۸۷: ۵۵).

مخاطرات محیطی طبیعی نظیر زلزله از پدیده‌هایی است که بسیاری از شهرها را در معرض ریسک ناشی از آن قرار داده است؛ بنابراین شمار قربانیان ناشی از آن در جهان در حال افزایش است. وقوع زلزله‌های شدید بشر را بر آن داشته است در فکر تدوین برنامه‌ای زیربنایی برای کاهش خطرات و آسیب‌های ناشی از آن باشد. از آنجایی که ایران در کمربند زلزله خیز آلپ - هیمالیا قرار دارد و یکی از بخش‌های جوان و در حال کوه‌زایی به شمار می‌رود، با فعالیت‌های لرزه‌ای پراکنده، زلزله‌های بسیار بزرگ با دوره بازگشت طولانی و شکاف‌های بزرگ لرزه‌ای در امتداد گسل‌های متعدد کواترنری مشخص می‌شود. آنچه زلزله را به بحران تبدیل می‌کند، ناآگاهی انسان و ناتوانی او در مواجهه و برخورد با آن است. این مسئله عموماً با گسترده‌ترین دخالت‌های نسنجیده انسانی در محیط‌های طبیعی از جمله ساخت‌وسازهای بی‌رویه در حریم گسل‌ها، نبود ضوابط و استانداردهای ساخت‌وساز یا بی‌توجهی به آنها تشدید می‌شود. این مسائل و بسیاری دیگر از عوامل موجب شده است تهدید مخاطرات حاصل از وقوع زلزله شدت یابد و بر اثر وقوع آن، بحران‌های زیادی در جوامع انسانی ایجاد شود؛ بنابراین مدیریت سنجیده مخاطرات به منظور کاهش هرچه بیشتر تأثیرات سوء آنها بر جامعه ضروری است (امینی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۳). با توجه به اهمیت موضوع در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری و ریسک زلزله، پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. آسیب‌پذیری به معنی شرایط تعریف شده با عوامل و فرایندهای کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی است که حساسیت و شکنندگی یک جامعه را در برابر خطرات افزایش می‌دهد.

پژوهش نشان می‌دهد میزان آسیب‌پذیری مسکن شهر در برابر خطر زلزله زیاد است و از نظر شاخص دسترسی مسکن شهر به مراکز امداد و نجات به‌ویژه آتش‌نشانی، مرکز اورژانس و مرکز پلیس، شهر اصفهان در مواقع بحرانی مانند وقوع زلزله‌های احتمالی وضعیت بسیار نامطلوبی دارد (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۱).

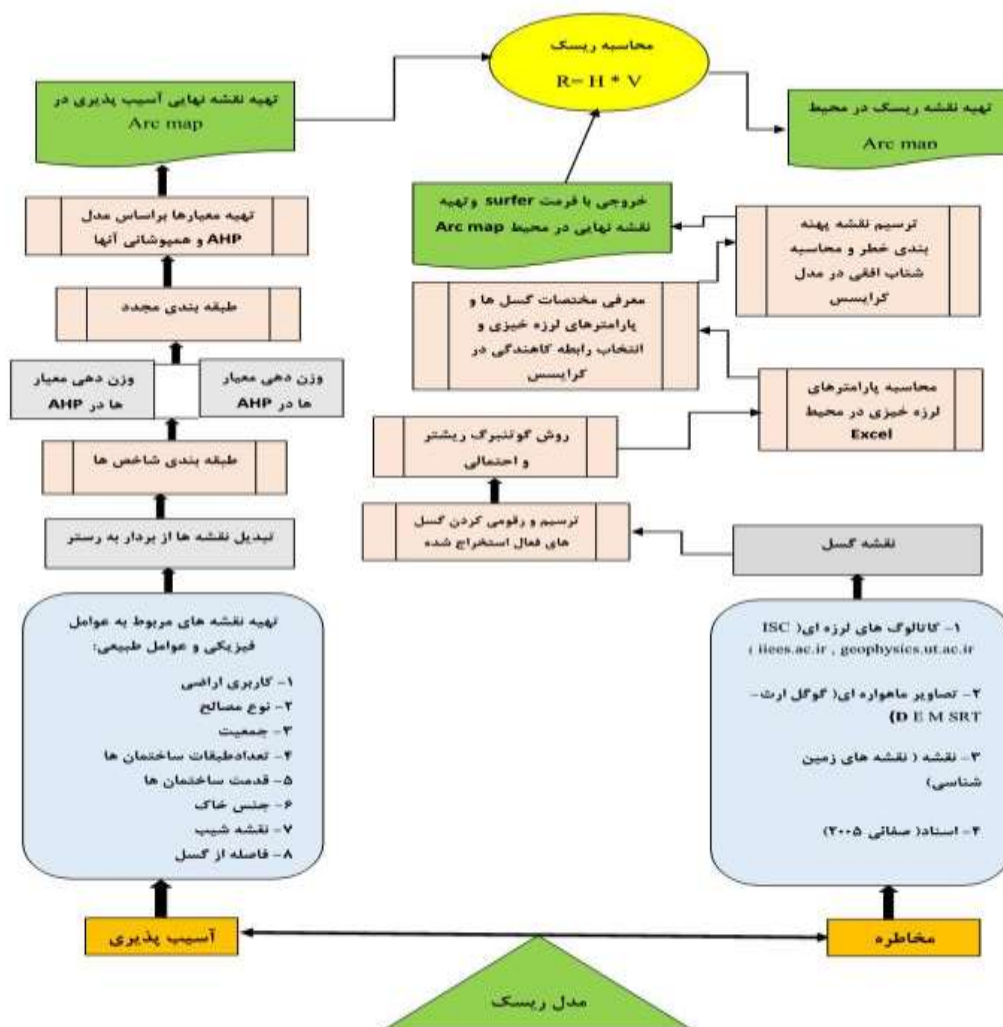
### روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش برای به‌دست‌آوردن میزان ریسک زلزله و ترسیم نقشه منطقه مطالعه‌شده، نخست نقشه خطر و سپس نقشه آسیب‌پذیری منطقه و درنهایت ریسک منطقه به دست آمده است. نوع پژوهش در این مطالعه کاربردی و روش پژوهش توصیفی - تحلیلی است؛ بنابراین با استفاده از مدل‌سازی رستری در محیط نرم‌افزاری و توابع تحلیل سلسله‌مراتبی برای تحلیل ریسک اقدام شده است. گردآوری داده‌ها برای این پژوهش برپایه مشاهدات میدانی و کتابخانه‌ای صورت گرفته است. داده‌های توصیفی استفاده‌شده در این پژوهش شامل اطلاعات مربوط به نوع کاربری اراضی، نوع مصالح و قدمت از بانک اطلاعات شهرداری زمین‌شهر، تراکم جمعیت، کیفیت ساختمان، طبقات ساختمان، شیب زمین، نوع خاک، گسل‌های فعال منطقه و سایر داده‌های توصیفی گردآوری‌شده برای تهیه نقشه‌های موضوعی است. نرم‌افزارهای به‌کاررفته Arc Gis، Expert choice و crisis است.

پورمحمدی و مصیب‌زاده (۱۳۸۷) در مقاله‌ای با عنوان «آسیب‌پذیری شهرهای ایران» بر این امر تأکید کرده‌اند که یکی از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت بحران زلزله پس از آشنایی افراد با میزان آسیب‌پذیری مجتمع‌های انسانی در جهت پیشگیری و آمادگی در برابر زلزله، امدادسانی به آسیب‌دیدگان زلزله است (پورمحمدی و مصیب‌زاده، ۱۳۸۷: ۱۱۷).

حاتمی‌نژاد (۱۳۸۸) در مقاله‌ای شناسایی و تدوین روابط بین برنامه‌ریزی شهری و مدیریت ریسک زلزله را به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر، هدف اصلی پژوهش خود قرار داده و منطقه ۱۰ شهرداری تهران را به‌منزله نمونه موردی بررسی کرده است. پژوهش حاضر نشان داده است الگوهای مختلف شهری در برابر زلزله، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند و میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای‌شان متفاوت است. همچنین به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی، استفاده صرف از شاخص‌های سازه‌ای کافی نیست و برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر استفاده از شاخص‌هایی همچون تراکم جمعیت، نوع بافت منطقه بررسی‌شده، وضعیت شبکه معابر و ارتباط آن با فضاهای باز و بسته ضروری می‌نماید (حاتمی‌نژاد، ۱۳۸۸: ۱).

زنگی‌آبادی و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی موضوع ایمنی شهرها را در برابر مخاطرات طبیعی به‌منزله یکی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی شهری بررسی کرده‌اند. در این پژوهش درباره آسیب‌پذیری مسکن شهری و شناخت میزان آسیب‌پذیری آنها در مقابل مخاطرات طبیعی با توجه به وضعیت مسکن شهر اصفهان بحث شده است. نتایج حاصل از



شکل ۱. فرایند انجام پژوهش

## روش‌ها

توماس ال ساعتی<sup>۱</sup> پیشنهاد کرد و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است (زبردست، ۱۳۸۰: ۱۳). از این روش در این پژوهش به‌منزله روش مناسبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده می‌شود.

خطر یک رویداد (event)، پدیده یا فعالیت انسانی یا پتانسیل تخریب موجب به‌وجودآمدن

برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله تاکنون روش‌های مختلفی به کار گرفته شده است. یکی از روش‌هایی که در این پژوهش برای ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی زمین‌شهر استفاده شده، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است؛ روشی منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری متضاد استفاده می‌شود. این روش ارزیابی چندمعیاری را نخست در سال ۱۹۸۰

<sup>۱</sup> Tomas L Satty

۱- کاتالوگ زمین‌لرزه؛ ۲- یکسان‌سازی بزرگی زمین‌لرزه‌ها؛ ۳- حذف پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها؛ ۴- مدل چشمه‌های لرزه‌زا؛ ۵- معادله پیش‌بینی جنبش زمین و ۶- مدل کرایسس.

فهرست زمین‌لرزه‌های رخ داده در گستره زمین‌شهر تا سال ۲۰۱۴ میلادی گردآوری شد. به منظور تهیه فهرست زمین‌لرزه‌ها از کاتالوگ‌های پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (isc)، دانشگاه ژئوفیزیک تهران (geoph)، زلزله‌نگاری ایران (iiees) و منابع مکتوب موجود معتبر لرزه‌نگاری جهان استفاده شده است. اطلاعات داده شده برای هر زمین‌لرزه شامل تاریخ و زمان وقوع، مختصات جغرافیایی رومرکز، ژرفای کانونی و بزرگاست که در جدول (۱) آمده است.

تلفات جانی، مجروحیت، خسارت به دارایی، ازهم‌گسیختگی اجتماعی و اقتصادی یا تخریب محیط زیست می‌شود. مخاطرات شامل شرایط نهفته‌ای است و تهدیدی برای آینده به شمار می‌رود و منشأهای متفاوتی از جمله طبیعی (زمین‌شناختی، آب و هواشناسی و بیولوژیک) یا ناشی از فرایندهای انسانی (تخریب محیط زیست یا مخاطرات تکنولوژیک) دارد. نخستین اقدام برای به‌دست آوردن میزان ریسک زمین‌شهر، به‌دست آوردن شتاب افقی و میزان خطر و نقشه آن است که این کار با مدل crisis انجام و برای ارزیابی خطر زمین‌لرزه زمین‌شهر از روش احتمالی استفاده شده که مراحل اصلی آن به شرح زیر است:

جدول ۱. داده‌های لرزه‌ای زمین‌شهر به شعاع ۵۰ کیلومتر (مرکز زلزله‌شناسی بین‌المللی)

EVENTID,AUTHOR	DATE	TIME	LAT	LON	DEPTH	TY	MAG	MS	MW
719967,ISC	12/2/1975	07:15.3	32.0424	51.2459	146.6	M	4.5		4.5
698985,ISC	5/26/1977	49:09.4	32.1787	51.6877	33	M	4.5		4.5
401562,ISC	6/9/1989	12:32.1	32.0904	51.7224	33	mb	4.5		4.4
3524969,KISR	5/21/2001	24:02.7	32.14	50.97	33	ML	3.3	2.7	4.0
6133125,KISR	11/14/2002	57:53.9	32.29	51.018	40.2	ML	2.8	2.2	3.6
6142975,KISR	11/29/2002	9:00:24	31.968	51.439	33	ML	3.4	2.9	4.0
7243394,ISC	1/28/2004	18:14.0	32.2337	51.4808	25.8	mb	3.9		3.5
8009236,ISC	6/28/2005	00:31.6	32.1121	51.1361	10	ML	3.1	2.5	3.8
8010615,ISC	10/10/2005	14:21.2	32.1223	51.1172	12.1	ML	3.1	2.5	3.8
14010990,TEH	8/25/2008	35:42.7	32.796	51.378	3.2	M	4		4
602004692,TEH	7/2/2011	28:06.7	32.434	51.513	11	ML	2.6	1.9	3.4
602010319,TEH	12/2/2011	04:22.3	32.452	51.341	7.4	ML	2.6	1.9	3.4
602011243,TEH	12/24/2011	56:54.3	32.404	51.519	6.7	ML	3	2.4	3.7
604846739,TEH	6/28/2012	05:17.6	32.416	51.349	10	ML	2.6	1.9	3.4
607835125,THR	4/23/2013	34:55.3	32.09	51.03	18	ML	2.5	1.8	3.3
608794930,TEH	1/30/2014	25:11.4	32.464	51.696	14.4	ML	2.5	1.8	3.3
609851930,TEH	12/7/2014	23:19.8	32.463	51.58	7.2	ML	2.6	1.9	3.4

یکسان‌سازی شوند. در بین انواع مقیاس‌های بزرگی، Mw مناسب‌ترین مقیاس است که مستقل از تجهیزات لرزه‌نگاری است و در مقادیر زیاد نیز اشباع نمی‌شود؛ در حالی که سایر مقیاس‌ها در محدوده خاصی اشباع

در یکسان‌سازی بزرگی زمین‌لرزه‌ها، چنانچه مشخص است بزرگی گزارش شده از زلزله‌ها به صورت‌های مختلف Mb, Ms, ML, Mw است. در مطالعه آماری لازم است این داده‌ها هم‌ارز و

منطقه دارند؛ بنابراین تعیین دقیق و منطقی آنها و نسبت‌دادن درست آنها به زون‌های لرزه زمین‌ساختی اهمیت بسزایی دارد. در این بخش برای برآورد دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها در گستره ساختگاه، روش توزیع نمایی گوتنبرگ - ریشتر<sup>۱</sup> و روش کیچکو<sup>۲</sup> و سلوول<sup>۳</sup> به کار رفته است.

روش گوتنبرگ - ریشتر: بررسی فراوانی زمین‌لرزه‌ها در ارتباط با بزرگای آنها در بازه‌های مختلف زمانی و مکانی رابطه‌ای لگاریتمی را بین بزرگا و فراوانی پیشنهاد می‌کند. چنین رابطه‌ای را گوتنبرگ و ریشتر (1954 Gutenberg and Richter) به صورت زیر بیان کرده‌اند:

$$\text{Log}(NC) = a - bM$$

در این رابطه NC فراوانی تجمعی زمین‌لرزه‌ها در بازه‌ای از زمان و مکان، a ضریب لرزه‌خیزی متناسب با آهنگ کلی رویداد و b ضریب لرزه‌خیزی نسبی‌اند. ضرایب a و b به راحتی با برازش رابطه خطی بین لگاریتم فراوانی تجمعی و بزرگا امکان محاسبه دارند. در عمل با توجه به کاربرد وسیع این رابطه در توابع آماری و احتمالاتی از لگاریتم طبیعی برای بیان این رابطه استفاده می‌شود:

$$NC = e^{a - \beta M}$$

$$a = 10^a$$

$$\beta = b \ln 10$$

در این مطالعه زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی  $\geq 3M_w$  برای یک دوره ۳۹ ساله از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۴ مشخص شد؛ سپس با محاسبه  $\log N$  و ترسیم آن برحسب  $M_w$ ، بهترین پردازش خطی انجام گرفت و براساس روابط بالا مؤلفه‌های لرزه‌خیزی برای تحلیل

می‌شوند. به علاوه تجهیزات لرزه‌نگاری نیز محدودیت مربوط به خود را دارند و حداکثر دامنه‌هایی که ثبت می‌کنند، محدود است؛ بنابراین مناسب‌ترین روش یکسان‌سازی، تبدیل سایر مقیاس‌ها به مقیاس بزرگی گشتاوری  $M_w$  است. در این مطالعه مقادیر  $M_b$  و  $M_L$  به  $M_s$  تبدیل و برای  $M_w$  به همان مقدار واقعی محاسبه شده است.

رابطه  $M_b$  و  $M_s$ :

$$\text{الف- آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲): } M_b = 0.62M_s + 2.3$$

ب- ریدر و میرز (۱۹۸۵) برای خاورمیانه:

$$M_b = 0.623M_s + 2.1$$

برای حذف پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها در تحلیل خطر زمین‌لرزه از یک مدل آماری به منظور پیش‌بینی رخداد زمین‌لرزه استفاده می‌شود. در حال حاضر بیش از همه از مدل پواسون استفاده می‌شود که توزیعی به صورت زیر دارد:

$$P = \frac{(vt)^n \text{EXP}(-vt)}{n!}$$

پس از انجام عملیات یکسان‌سازی و حذف پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها، کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها به دست آمد که برای انجام برآوردها از آن استفاده شده است. تعیین مؤلفه‌های لرزه‌خیزی برای تهیه نقشه خطر عبارت‌اند از: مؤلفه  $\beta$  یا b که به ضریب لرزه‌خیزی (Seismicity Coefficient) معروف است؛ زیرا کاهش مقدار b در طول یک دوره زمانی مشخص، نشانه افزایش درجه بزرگی زلزله قابل رویداد به همان نسبت است. مؤلفه a، ضریب ثابتی است که با تغییر دامنه زمان گردآوری داده‌ها تغییر می‌کند و مؤلفه  $\lambda$  نرخ رویداد است (Occurrence Rate).

مؤلفه‌های لرزه‌خیزی نقش بسزایی در تخمین جنبش نیرومند زمین و ویژگی‌های لرزه زمین‌ساختی

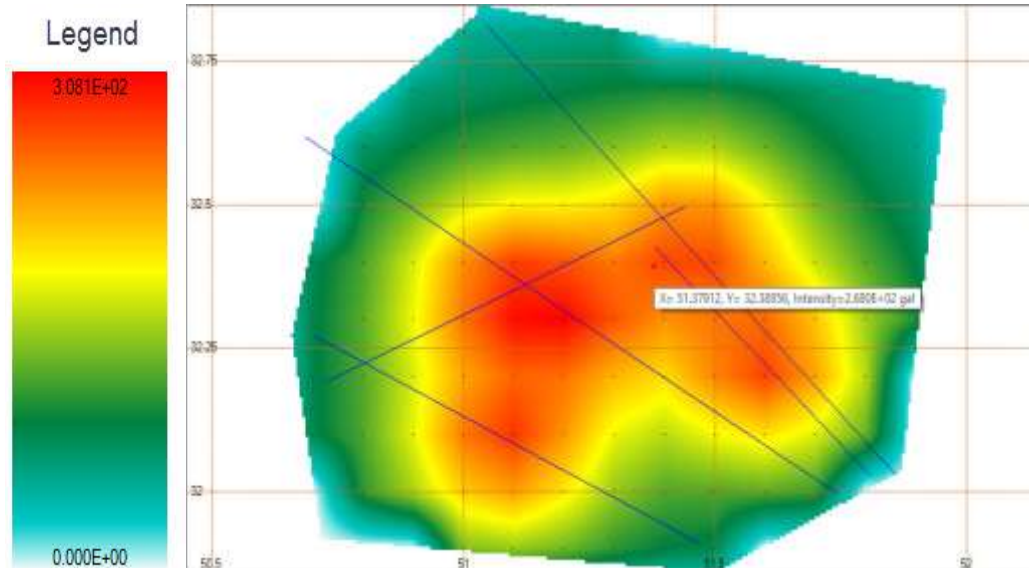
<sup>1</sup> Gutenberg- Richter

<sup>2</sup> Kyuiko

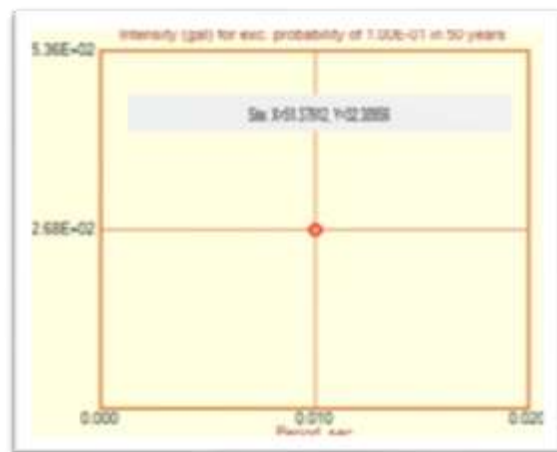
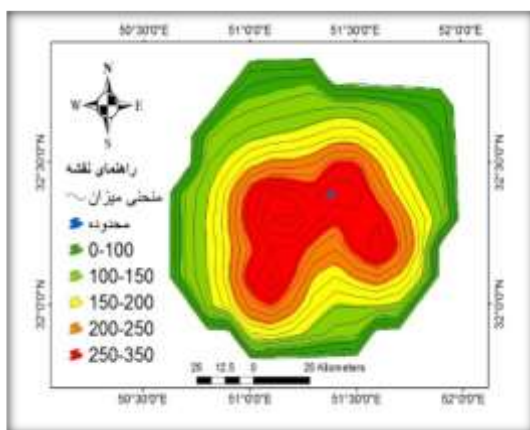
<sup>3</sup> Sovvol

منطقه پژوهش، محاسبه مؤلفه‌های لرزه‌ای، انتخاب رابطه کاهندگی و وارد کردن data در نرم‌افزار crisis، نمودار خطی میزان شتاب افقی و نقشه پهنه‌بندی خطر به شکل زیر تهیه شد:

خطر و ترسیم نقشه آن در نرم‌افزار crisis منطقه یعنی a و b به دست آمد. در اینجا رابطه کاهندگی تجربی صدیقی و همکاران (۱۹۹۷) به کار رفته است. پس از مشخص کردن گسل‌های فعال به شعاع ۵۰ کیلومتری



شکل ۲. نقشه خطر تهیه شده به روش احتمالی با شتاب افقی (۲۶۸ gal) و دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل ۴. خطر منطقه پژوهش در نرم‌افزار Arc GIS

شکل ۳. میزان شتاب افقی منطقه پژوهش در نرم‌افزار crisis برحسب gal

که نزدیک به ۳۰۰ گال معادل  $g = 0.3$  است و از خطر لرزه‌ای نسبتاً زیاد منطقه حکایت دارد. در نهایت برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر به شعاع ۵۰ کیلومتری از

شکل (۲)، پهنه‌بندی خطر با کمترین شتاب افقی ۲/۶۸ گال با دوره بازگشت ۴۷۵ سال روی سنگ‌بستر، با توجه به روش خطر احتمالی تهیه شده

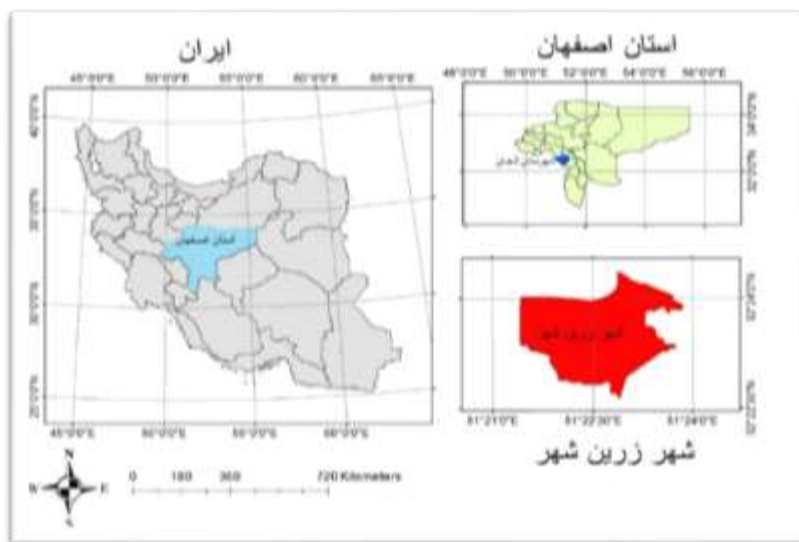


برای احداث ساختمان‌های مهم و ضروری حائز اهمیت است و خسارات احتمالی ناشی از زلزله را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. در نهایت شکل (۴) در نرم‌افزار arc map برای ادامهٔ مراحل پژوهش - که فاصله‌های نزدیک بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده - به پنج گروه طبقه‌بندی شده است.

#### محدوده پژوهش

محدوده پژوهش با مساحت ۵۳۶۸۳/۲۴ هکتار در شهرستان لنجان در فاصله ۳۵ کیلومتری غرب شهر اصفهان به طول جغرافیایی ۳۶ ۲۷ ۵۱ تا ۳۶ ۰۸ ۵۱ و عرض جغرافیایی " ۳۲ ۳۲ ۰۵ تا ۳۲ ۱۲ ۳۶ قرار دارد.

کل مساحت ۱۵۹/۰۰۵ هکتاری منطقه پژوهش، ۱۷/۰۲۲۵ هکتار از اراضی شهری در معرض خطر بسیار زیاد و ۳۸/۴۰۵۰ هکتار از اراضی شهری در معرض خطر بسیار کم قرار دارد؛ با توجه به جمعیت ساکن در منطقه با خطر زیاد که جمعیتی ۱۵ هزار نفری است و با توجه به شرایط صنعتی منطقه و جمعیت نسبتاً زیاد این شهر که مرکز شهرستان لنجان است، لزوم توجه به امر مدیریت و ایمنی ساخت‌وسازها، مقاوم‌سازی بافت‌های فرسوده و همچنین تعیین مناطقی برای اسکان موقت در زمان وقوع زلزله اهمیت ویژه‌ای دارد. اهمیت امر توجه به مقاوم‌سازی، اجرای تدابیر مهندسی در ساخت‌وساز شهری و لحاظ کردن آن در طرح‌های تفصیلی شهر



شکل ۵. موقعیت محدوده پژوهش

عوامل کالبدی و طبیعی طبقه‌بندی و مطالعه شد. پس از تعیین معیارها و شاخص‌های مؤثر برای هر کدام از این معیارها، تعدادی زیرمعیار و برای هر زیرمعیار، گزینه‌هایی تهیه شد؛ برای نمونه برای معیار عوامل فیزیکی، زیرمعیار نوع مصالح استفاده‌شده در

#### یافته‌های پژوهش

عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شهر

برای ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی زمین‌شهر در برابر زلزله عوامل مؤثر به دو دسته یا دو معیار

جغرافیایی و مدل AHP تهیه و ترسیم شد. به منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری زمین‌شهر از معیارهایی با اهمیت بیشتر در ارزیابی آسیب‌پذیری شهری استفاده شده است. اساس روش AHP بر مقایسه زوجی یا دوبه‌دویی گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری است که در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد.

طبیعی فیزیکی

$$\begin{matrix} 1- \text{فیزیکی} \\ 2- \text{طبیعی} \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 9 \\ 1/9 & 1 \end{bmatrix}$$

در زیر، ماتریس مقایسه دوبه‌دویی معیارها برای مسئله مدنظر ارائه شده است:

برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها از روش میانگین هندسی به دلیل دقت بیشتر آن استفاده شده است:

$$3 = [(1 \times 9)]^{(1/2)} = \text{فیزیکی}$$

$$.3333 = [((1/9) \times 1)]^{(1/2)} = \text{طبیعی}$$

سپس ضریب اهمیت معیارها با نرمالیزه کردن این اعداد به دست آمد:

$$.9000 = \left(\frac{3}{3.3333}\right) = \text{ضریب اهمیت فیزیکی}$$

$$.0999 = \left(\frac{.3333}{3.3333}\right) = \text{ضریب اهمیت طبیعی}$$

مجموع ضرایب اهمیت معیارهای اصلی معادل ۱ است و این نسبی بودن اهمیت معیارها را نشان می‌دهد. ضرایب اهمیت زیرمعیارها نیز براساس مراحل به دست می‌آید که برای معیارهای اصلی طی شد.

ساخت‌وساز مشخص و براساس استانداردهای موجود در این زمینه برای هر کدام از این زیرمعیارها و گزینه‌های آنها براساس میزان آسیب‌پذیری آنها وزن‌های از ۱ تا ۹ داده و درنهایت براساس این وزن‌ها، نقشه هر کدام از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد.

برای تولید ماتریس مقایسه دوتایی این شاخص‌ها، نخست هر کدام از معیارهای مربوط با زیرمعیارها و گزینه‌ها به صورت نقشه وزن‌گذاری تولید و مقایسه زوجی و استخراج وزن‌های هر کدام از شاخص‌ها انجام شد. برای به دست آوردن وزن‌ها از نظر کارشناسان و متخصصان این امر و همچنین اسناد موجود استفاده و در نرم‌افزار Arc Gis، نقشه‌های معیارها تهیه شد. درنهایت با تلفیق و روی هم‌گذاری لایه‌های عوامل در سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه نهایی آسیب‌پذیری زمین‌شهر تهیه شد. معیارهای عوامل فیزیکی شامل زیرمعیار کاربری اراضی، زیرمعیار تعداد طبقات ساختمان، نوع مصالح ساختمان‌ها، قدمت ساختمان، تراکم جمعیتی و معیارهای عوامل طبیعی شامل فاصله از گسل، شیب زمین و نوع خاک هستند.

پس از مشخص شدن زیرمعیارهای عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری و وزن‌دهی به هر معیار و زیرمعیار و گزینه‌های آنها، نقشه‌های آسیب‌پذیری هر کدام از عوامل جداگانه ترسیم و درنهایت نقشه نهایی آسیب‌پذیری منطقه با استفاده از سیستم اطلاعات

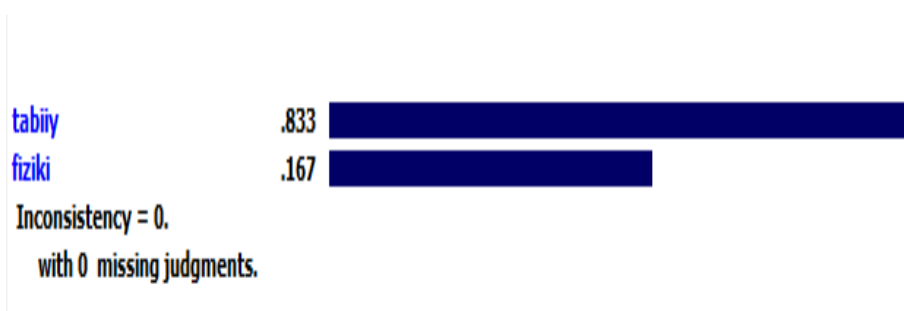
وزن‌های محاسبه‌شده در نرم‌افزار اکسپورت چویس



(الف)



(ب)

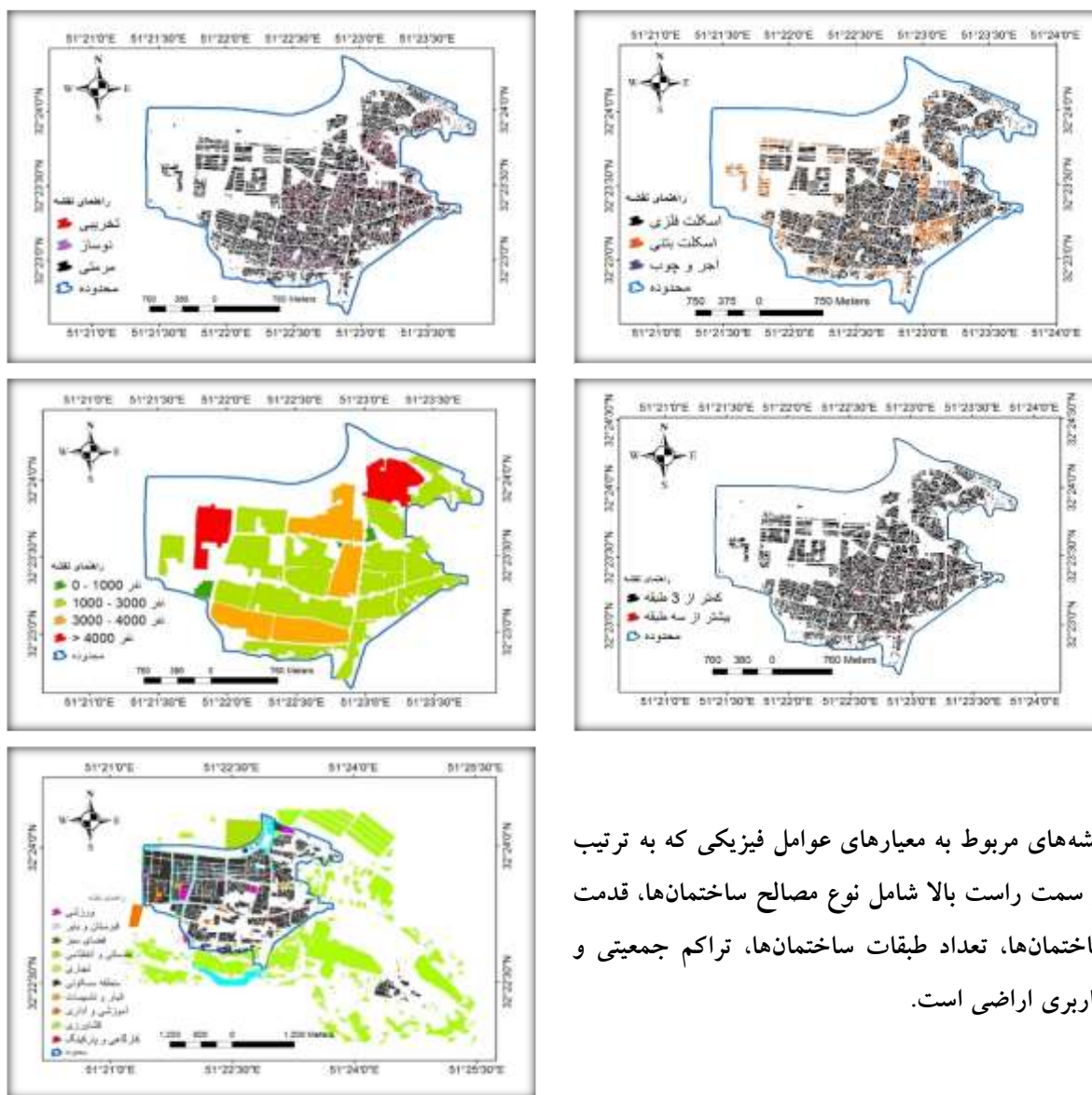


(ج)

وزن‌ها پس از استفاده از نظر کارشناسان و اسناد موجود در نرم‌افزار اکسپورت چویس بر مبنای شکل (۴) محاسبه شده است که نمودار (الف) مربوط به زیرمعیارهای عوامل فیزیکی، نمودار (ب) مربوط به زیرمعیار عوامل طبیعی و در نهایت نمودار (ج) مربوط به معیارهای عوامل فیزیکی و طبیعی است.

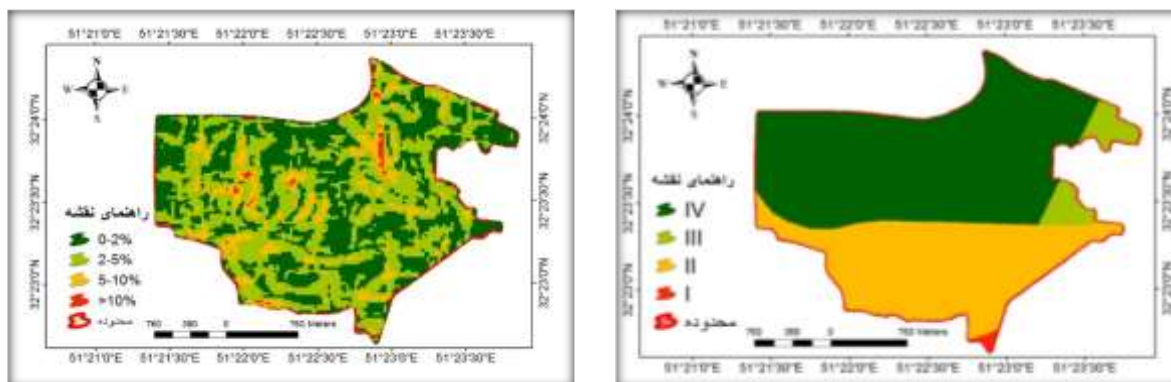
شکل ۶. نمودارهای مربوط به وزن‌ها در اکسپورت چویس

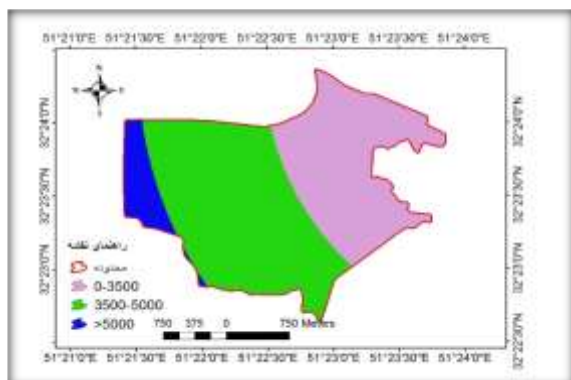
نقشه‌های مربوط به معیارهای عوامل کالبدی و طبیعی



نقشه‌های مربوط به معیارهای عوامل فیزیکی که به ترتیب از سمت راست بالا شامل نوع مصالح ساختمان‌ها، قدمت ساختمان‌ها، تعداد طبقات ساختمان‌ها، تراکم جمعیتی و کاربری اراضی است.

شکل ۷. نقشه‌های آسیب‌پذیری معیارهای عوامل کالبدی





شکل ۸. نقشه‌های آسیب‌پذیری معیارهای عوامل طبیعی

نقشه‌های مربوط به معیارهای عوامل طبیعی که به ترتیب از سمت راست بالا شامل نوع خاک، شیب زمین و فاصله از گسل است.

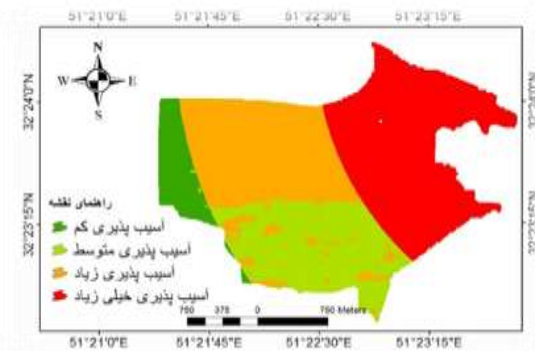
آورده شد؛ در نهایت نقشه‌های مربوط به معیارها جداگانه با استفاده از توابع تحلیلی در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ایجاد شد که نقشه (الف) مربوط به معیار عوامل کالبدی و نقشه (ب) مربوط به معیار عوامل طبیعی است.

نقشه‌های آسیب‌پذیری ایجادشده از معیارهای عوامل طبیعی و کالبدی

پس از به‌دست‌آمدن وزن‌های مربوط به گزینه‌ها و زیرمعیارها، در نهایت نقشه‌های مربوط به معیارها که به دو گروه کالبدی و طبیعی تقسیم شده است، تهیه و وزن‌های مربوط به آنها در شکل (۶) و در نمودار (ج)



(الف)



(ب)

شکل ۹. نقشه‌های آسیب‌پذیری ایجادشده از معیارهای عوامل طبیعی و کالبدی

استخراج شد. با توجه به دیدگاه سیستمی، تعیین آسیب‌پذیری شهر فقط با یک شاخص گویا نیست؛ بلکه باید شاخص‌های مختلف با همدیگر مطالعه شوند. همچنین شاخص‌هایی که در تعیین آسیب‌پذیری استفاده شده‌اند، اهمیت یکسانی نداشته‌اند و حتی

نقشه نهایی آسیب‌پذیری

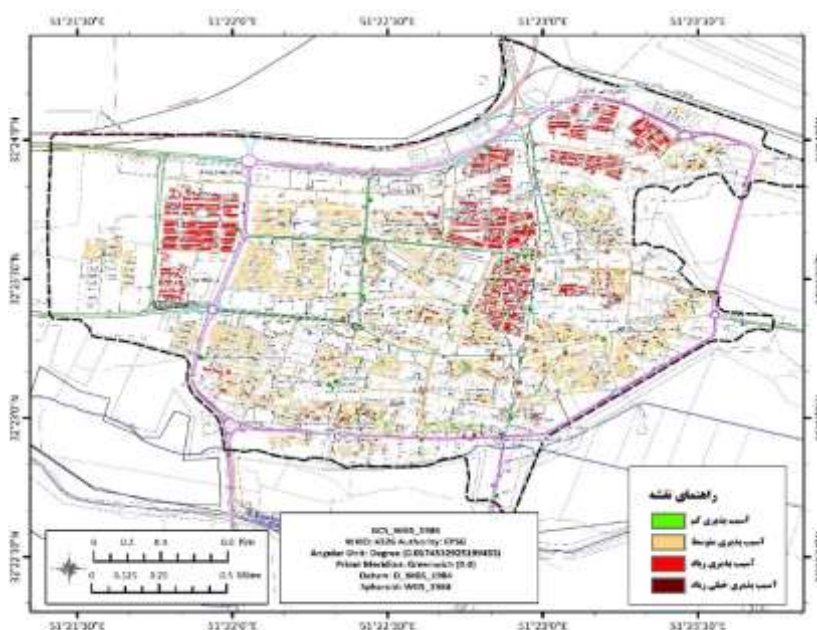
در مرحله اول هر کدام از شاخص‌ها به‌تنهایی وزن‌گذاری و آسیب‌پذیری هر کدام (نوع مصالح، قدمت ساختمان، طبقات ساختمان، شیب، نوع خاک، جمعیت، فاصله از گسل و کاربری اراضی) به‌تنهایی

همدیگر از روش *weighted sum* و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. با استفاده از این روش وزن هر کدام از شاخص‌ها در آن شاخص تأثیر داده و سپس شاخص‌ها با همدیگر ترکیب و در نهایت نقشه (۱۰) آسیب‌پذیری زمین‌شهر استخراج شد. در جدول (۲) میزان آسیب‌پذیری زمین‌شهر آمده است.

ممکن است شاخصی نسبت به دیگری نقش تعیین‌کننده‌تری داشته باشد؛ بنابراین در این مرحله شاخص‌ها نسبت به همدیگر سنجیده شدند و برای تعیین وزن و اهمیت هر کدام در آسیب‌پذیری از روش *AHP* استفاده شد؛ پس از استخراج وزن هر کدام از شاخص‌ها با *AHP*، برای ترکیب لایه‌ها (شاخص‌ها) با

جدول ۲. توزیع وضعیت نقشه آسیب‌پذیری نهایی زمین‌شهر

ردیف	طبقات عوامل آسیب‌پذیری	وضعیت	مساحت (به مترمربع)	درصد مساحت
۱	آسیب‌پذیری کم	بسیار مناسب	۳۳۳۲۵	۴,۳۰ %
۲	آسیب‌پذیری متوسط	مناسب	۴۴۳۹۲۵	۵۷,۲۲ %
۳	آسیب‌پذیری زیاد	نامناسب	۲۷۰۸۲۵	۳۴,۹۱ %
۴	آسیب‌پذیری بسیار زیاد	بسیار نامناسب	۲۷۷۵۰	۳,۵۸ %



شکل ۱۰. آسیب‌پذیری نهایی زمین‌شهر

گرفت. وزن هر کدام از زیرمعیارها و گزینه‌های آنها با نظر کارشناسان و اسناد موجود در نرم‌افزار اکسپورت چویس مشخص و محاسبه شد که در نهایت زیرمعیارهای گسل و جنس خاک به ترتیب بیشترین و کمترین وزن را به خود اختصاص دادند. پس از همپوشانی زیرمعیارها، میزان آسیب‌پذیری از نظر

برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری، پس از مشخص کردن عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری، عوامل به دو معیار طبیعی و کالبدی (فیزیکی) تقسیم‌بندی شدند که در معیار طبیعی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل مقایسه زوجی بین زیرمعیارهای گسل، شیب زمین و جنس خاک منطقه صورت

(weighted sum) در نرم‌افزار Gis برای تهیه نقشه نهایی آسیب‌پذیری در نظر گرفته شد که قسمتی از نواحی غرب و شرق آسیب‌پذیری زیاد و نواحی مرکزی آسیب‌پذیری متوسط دارد.

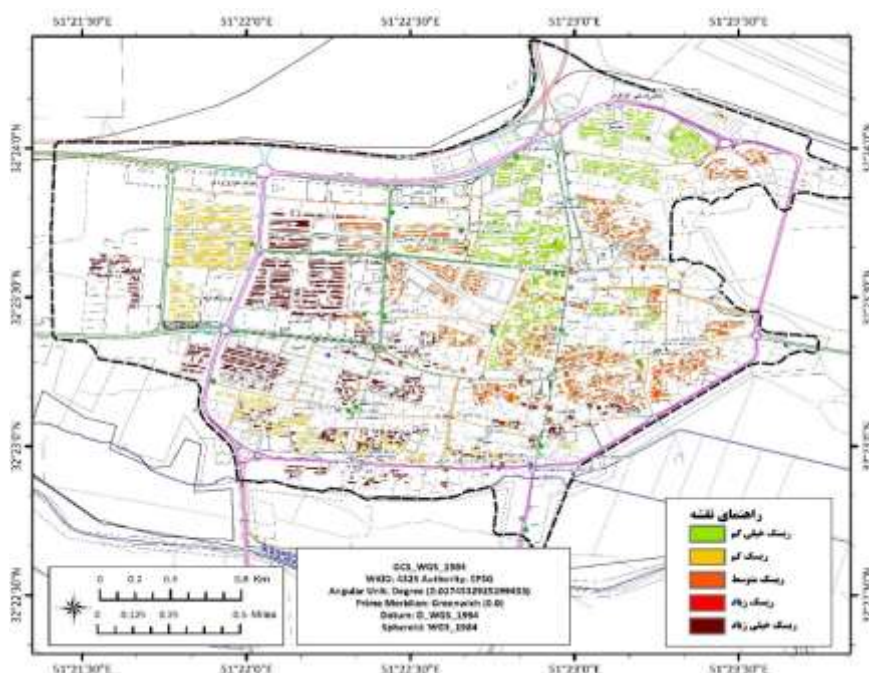
### نقشه نهایی ریسک

پس از تهیه نقشه خطر و نقشه آسیب‌پذیری منطقه با استفاده از روش RASTER CALCULATOR در ARC MAP با اعمال ضرب نقشه خطر و نقشه آسیب‌پذیری، نقشه ریسک ۱۱ منطقه استخراج شد و جدول (۳) بیان‌کننده توزیع وضعیت ریسک زمین‌شهر است.

درصد منطقه ۳۸/۵۰٪ با آسیب‌پذیری بسیار زیاد و ۷/۴۵٪ با آسیب‌پذیری کم بوده است. براساس مراحل بالا برای معیار عوامل کالبدی نیز همین مراحل انجام شد که از بین زیرمعیارهای قدمت ساختمان، تراکم جمعیت، تعداد طبقات ساختمان، جنس مصالح و کاربری اراضی منطقه، بیشترین وزن به زیرمعیار قدمت ساختمان و کمترین وزن به زیرمعیار کاربری اراضی اختصاص یافت که در این معیار نیز آسیب‌پذیری متوسط با ۴۷/۸۸ درصد و آسیب‌پذیری بسیار زیاد با ۳/۵۸ درصد از معیار عوامل کالبدی در منطقه بوده است. در نهایت دو معیار طبیعی و کالبدی با همپوشانی

### جدول ۳. توزیع وضعیت نقشه ریسک نهایی زمین‌شهر

ردیف	طبقات عوامل ریسک	وضعیت	مساحت (به مترمربع)	درصد مساحت
۱	ریسک بسیار کم	پذیرفته	۳۳۳۲۵	۴,۳۰ %
۲	ریسک کم	بسیار مناسب	۳۳۰۹۷۵	۴۲,۶۶ %
۳	ریسک متوسط	مناسب	۱۸۰۵۵۰	۲۳,۲۷ %
۴	ریسک زیاد	نامناسب	۲۰۴۰۷۵	۲۶,۳۰ %
۵	ریسک بسیار زیاد	بسیار نامناسب	۲۶۹۰۰	۳,۴۷ %



شکل ۱۱. نقشه ریسک زمین‌شهر

## نتیجه‌گیری

نقشه پهنه‌بندی خطر با کمترین شتاب افقی ۲/۶۸ گال با دوره بازگشت ۴۷۵ سال بر سنگ‌بستر با توجه به روش خطر احتمالاتی انجام شده که نزدیک به ۳۰۰ گال معادل  $0.3g$  است و از خطر لرزه‌ای نسبتاً زیاد در منطقه حکایت دارد.

برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری، پس از مشخص کردن عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری، عوامل به دو معیار طبیعی و کالبدی (فیزیکی) تقسیم‌بندی شد که در معیار طبیعی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل مقایسه زوجی بین زیرمعیارهای گسل، شیب زمین و جنس خاک منطقه صورت گرفت. وزن هر کدام از زیرمعیارها و گزینه‌های آنها با نظر کارشناسان و اسناد موجود در نرم‌افزار اکسپورت چویس مشخص و محاسبه شد که در نهایت زیرمعیارهای گسل و جنس خاک به ترتیب بیشترین و کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. در این معیار پس از همپوشانی زیرمعیارها، میزان آسیب‌پذیری از نظر درصد منطقه  $38/50\%$  با آسیب‌پذیری بسیار زیاد و  $7/45\%$  با آسیب‌پذیری کم بوده است.

برای معیار عوامل کالبدی نیز همین مراحل انجام شد که از بین زیرمعیارهای قدمت ساختمان، تراکم جمعیت، تعداد طبقات ساختمان، جنس مصالح و کاربری اراضی منطقه، بیشترین وزن به زیرمعیار قدمت ساختمان و کمترین وزن به زیرمعیار کاربری اراضی اختصاص یافت. در این معیار نیز آسیب‌پذیری متوسط با  $47/88\%$  درصد و آسیب‌پذیری بسیار زیاد با  $3/58\%$  درصد از معیار عوامل کالبدی در منطقه بوده است. در نهایت دو معیار طبیعی و کالبدی با همپوشانی (weighted sum) در نرم‌افزار Gis برای تهیه نقشه

نهایی آسیب‌پذیری در نظر گرفته شد که قسمتی از نواحی غرب و شرق آسیب‌پذیری زیاد و نواحی مرکزی آسیب‌پذیری متوسط دارد. برای تهیه نقشه ریسک منطقه با دستور raster calculator در آرک‌مپ، نقشه خطر ضربدر نقشه آسیب‌پذیری و در نهایت نقشه ریسک منطقه ایجاد شد که ریسک بسیار زیاد با  $3/47\%$  درصد و ریسک کم با  $42/66\%$  درصد، کمترین و بیشترین درصد ریسک را در منطقه دارند.

## منابع

ابلقی صحرايي، عليرضا، (۱۳۸۳). بافت‌های فرسوده در سکونتگاه‌های شهری و روستایی و خطر زلزله، فصلنامه عمران و بهسازی شهری هفت شهر، دوره ۵، شماره ۱۷، تهران، ۳۰-۴۳.

احدنژاد، محسن، مشکینی، ابوالفضل، نوری، بتول، (۱۳۸۵). ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های حاشیه‌ای و ... رسمی در برابر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: اسکان غیررسمی اسلام‌آباد شهر زنجان)، کنفرانس جی‌ای‌اس شهری، دانشگاه شمال، آمل.

احدنژاد، محسن، جلیل‌پور، شهناز، (۱۳۹۱). ارزیابی عوامل درونی تأثیرگذار در آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر خوی)، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۶، شماره ۲۰، ۲۳-۵۲.

ادیب رضانی، محمدرضا، اکبرپور، عباس، (۱۳۸۵). بررسی و شناخت پارامترهای مؤثر بر مدیریت



امینی، جمال، کرمی، جلال، علی‌محمدی، عباس، صفرزاد، طاهر، (۱۳۹۰). ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، دوره ۳، شماره ۱۱، ۲۳-۴۱.

اهری، زهرا، (۱۳۷۵). تحلیل و برنامه‌ریزی فضایی - مکانی سکونتگاه‌ها برای کاهش خطر زلزله، چاپ اول، تهران، مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران، ۳۲۵ ص.

ایری، عبدالجلال، (۱۳۷۸). برنامه‌ریزی کاهش اثرات زلزله در سطوح شهری (نمونه موردی: منطقه ۲۰ تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: عبدی دانش‌پور، زهره، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری و شهرسازی.

باغوند، اکبر، نظری‌ها، مهرداد، صفارزاده، محمود، گیوه‌چی، سعید، (۱۳۸۵). بررسی علل تنزل عملکرد شبکه حمل و نقل شهری پس از وقوع زلزله و راهکارهای مقابله با آن، دومین سمینار ساخت‌وساز در پایتخت، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران.

بحرینی، سید حسین، (۱۳۸۵). ساخت‌وساز پایدار در شهرها، دومین سمینار ساخت‌وساز در پایتخت، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران.

بحرینی، حسین، (۱۳۷۵). برنامه‌ریزی کاربری زمین در مناطق زلزله‌خیز، نمونه موردی: شهرهای منجیل، لوشان، رودبار، دومین سمینار

بحران، فصلنامه بنا، دوره ۱، شماره ۲۷، تهران، ۳۷-۴۵.

آقایی، مسعود، (۱۳۶۹). گزارش بازدید از مناطق زلزله‌زده گیلان و زنجان، دفتر فنی، معاونت آموزش و پژوهش دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

احمدی، حسن، (۱۳۷۶). نقش شهرسازی در کاهش آسیب‌پذیری شهر، فصلنامه مسکن و انقلاب، دوره ۶، شماره ۸۰، تهران، ۶۱-۷۰.

احمدی، حمید، بوچانی، محمدحسین، (۱۳۸۲). پیشینه زلزله در ایران، ماهنامه شهرداری‌ها (ویژه‌نامه زلزله)، دوره ۱۲، شماره ۱۲، تهران، ۳۸-۵۷.

افشین، حسن، چناقلو، محمدرضا، قنبری، عبدالله، (۱۳۸۳). بررسی تحلیلی زلزله ۵ دی‌ماه ۱۳۸۲ بم، مرکز تحقیقات زلزله دانشگاه صنعتی سهند، تبریز.

اکبری، رضا، (۱۳۸۴). نقش شهرسازی در مدیریت بحران زلزله (نمونه موردی: فرحزاد تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد شهرسازی، استاد راهنما: عزیزی، محمدمهدی، دانشگاه تهران، دانشکده هنرهای زیبا.

امینی حسینی، کامبد، حسینی، مازیار، جعفری، محمدکاظم، (۱۳۸۵). چالش‌ها و راهبردهای مدیریت بحران در شهر تهران، دومین سمینار ساخت‌وساز در پایتخت، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران.

تکبیری، سهراب، (۱۳۸۳). زلزله، مدیریت بحران، طراحی محیط، فصلنامه عمران و بهسازی شهری هفت شهر، دوره ۵، شماره ۱۸ و ۱۹، سازمان عمران و بهسازی شهری، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران، ۴۹-۶۰.

جعفری، محمدکاظم، توکلی، بهروز، توکلی، شهاب، (۱۳۸۱). مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، چاپ اول، تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۵۲۳ ص.

جعفری، محمدکاظم، (۱۳۸۵). ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شمال تهران از دیدگاه شرایط ساختگاه، چاپ هفتم، تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۷۵۲ ص.

جهانی، علی، مسگری، سوسن، (۱۳۸۰). GIS به زبان ساده، چاپ ۲، تهران، انتشارات وزارت دفاع.

حاتمی‌نژاد، حسین، (۱۳۸۸). ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر (نمونه مطالعه: منطقه ۱۰ شهرداری تهران)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۲، شماره ۶۸، ۱-۲۰.

زارع، مهدی، (۱۳۸۷). مبانی تحلیل خطر زمین‌لرزه، انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

زبردست، اسفندیار، (۱۳۸۰). کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۰، شماره ۱۰، ۵-۱۶.

ساخت‌وساز در پایتخت، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران.

بحرینی، سید حسین، (۱۳۷۲). طراحی شهری در مناطق زلزله‌خیز، طرح بسیج توان فنی کشور برای مقابله با آثار زلزله، چاپ اول، تهران، مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران، ۳۶۶ ص.

بربریان، مانوئل، قریشی، منوچهر، ارژنگ، بهرام، مهاجر اشجعی، ارسلان، (۱۳۶۴). پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلش در شمال تهران و پیرامون، گزارش شماره ۵۶، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.

پورمحمدی، محمدرضا، مصیب‌زاده، علی، (۱۳۸۷). آسیب‌پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت‌های محله‌ای در امدادسانی آنها، جغرافیا و توسعه، دوره ۶، شماره ۱۲، پژوهشکده علوم زمین و جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ۱۱۷-۱۴۴.

پویان، ژیلا، (۱۳۷۵). برنامه‌ریزی مقابله با خطرات طبیعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: ناطق‌الهی، فریبرز، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری.

تقوایی، مسعود، علی‌محمدی، نرگس، (۱۳۸۵). زلزله و پیامدها و بحران‌های ناشی از آن در شهرها، ماهنامه بنا، دوره ۳، شماره ۲۷، ۸۳-۱۰۷.

راهنما: عسگری، علی، دانشگاه تربیت مدرس، گروه جغرافیا.

گلی، علی، عسگری، علی، (۱۳۸۷). زلزله تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری بنگاه‌های اقتصادی (مطالعه موردی: شبکه بانکی شهر تهران)، فصلنامه مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۴، شماره ۳، ۵۵-۷۱.

گزارش آماری از اطلاعات زمین‌لرزه‌های کشور، (۲۰۰۸). پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور.

ناظری، مصطفی، انصاری، محمدرضا، کهنسال، ابراهیم، (۱۳۸۵). کاربرد سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مدیریت بحران و پهنه‌بندی خطر شهرهای ساحلی دریای خزر، اولین کنفرانس GIS شهری، دانشگاه شمال، آمل، ایران.

نوری، بتول، احدنژاد، محسن و مشکینی، ابوالفضل، (۱۳۸۵). ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های حاشیه‌ای و غیررسمی در برابر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (اسکان غیررسمی اسلام‌آباد شهر زنجان)، اولین همایش GIS شهری.

ویسه، یدالله، (۱۳۷۷). نگرشی به مطالعات شهرسازی و برنامه‌ریزی در مناطق زلزله‌خیز، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

Ablagi, Alireza, (2004). **Eroded texture in urban and rural settlements and earthquake damage Haft shahr jornal**, years 5, No 17, Tehran.

Ahadnejad, Mohsen, (2005). **Modeling of Urban Building Vulnerability in**

زنگی‌آبادی، علی، تبریزی، نازنین، (۱۳۸۵). زلزله تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری مناطق شهری، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۶، ۱۱۵-۱۳۰.

زنگی‌آبادی، علی، محمدی، جمال، صفایی، همایون، قائدرحمتی، صفر، (۱۳۸۷). تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (نمونه موردی: مسکن شهر اصفهان)، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۶، شماره ۱۲، ۶۱-۷۹.

صنعی، راحله، (۱۳۸۶). تحلیل فضایی آسیب‌پذیری و مدیریت بحران زلزله در بخش مرکزی تهران (مطالعه موردی: مناطق ۱۱ و ۱۲ شهرداری تهران با استفاده از GIS)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: زنگی‌آبادی، علی، اصفهان، گروه جغرافیا.

عزیزی، محمدمهدی، اکبری، رضا، (۱۳۸۷). ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله (مطالعه موردی: منطقه فرحزاد تهران)، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۳۴، شماره پیاپی ۱۸۸۸، ۲۵-۳۶.

فرجی، امین، قرخلو، مهدی، (۱۳۸۹). زلزله و مدیریت بحران شهری (نمونه موردی: شهر بابل)، دوره ۸، شماره ۲۵، ۱۴۳-۱۶۴.

قدیری، محمودعلی، (۱۳۸۱). کاربرد روش‌های برنامه‌ریزی شهری در کاهش آسیب‌پذیری خطرات زلزله، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد

- Safaei, H., (2005). **Identify and evaluate the seismic potential of faults around Isfahan**, final report of the research project, university of Isfahan, 116 p.
- Paton, Douglas and Fohnston, David, (2001). **Disaster and Communities: Vulnerability, resilience and preparedness**, Disaster Prevention and Management, 51 (4), MCB University, ISSN 0965- 3562.
- Vahidnia, M., Alesheikh, A., Alimohammadi, A., (2009). **Hospital Site Selection Using Fuzzy AHP and Its Derivatives**, Journal of Environmental Management, Vol 90, No 10, Pp 3048-3056.
- Ranjit Das, Wason, H.R. Sharma, M.L., Received, (2010). Accepted: 19 March 2011/ Published online: 6 April 2011Springer Science+Business Media B.V. 2011.
- UNDP, (2004). Reducing Disaster Risk, A Challenge for Development.
- UNDRO, (1979). Natural Disasters and Vulnerability Analysis in Report of Expert Group meeting.
- Gutenberg B, Richter CF, (1956). **Magnitude and energy earthquakes**. Ann Geoff's 9, Pp 1–15.
- Sadigh, K. et al., (1997). **Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data**, Seismological Research Letters, 68 (1), Pp 180–189.
- Earthquake against Using Analytical Hierarchy Process (AHP) and GIS**, A case study on Zanjan City, Northwest of Iran, Iran.
- Asgari, Ali, (1994). **Limitation of planning for Reduction of earthquake Hazard**, London, Mcgraw Hill.
- Cutter, S.L., Mitchell, J.T., Scott, M.S., (2000). **Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina**, Annals of the Association of American Geographers.
- Delmonaco, G., Margottini, C., Spizzichino, D., (2006). **ARMONIA methodology for multirisk assessment and the harmonisation of different natural risk maps**. Deliverable 3.1.1, ARMONIA.
- Ekhtesasi, M.R., Sepehr, A., (2011). **Methods and Models of Desertification Assessment and Mapping**, Yazd University Press, First Edition, 312 p.
- Ghafory-Ashtiany, Mohsen, (2007). **EARTHQUAKE RISK REDUCTION ACHIEVEMENT, "Iranian Experience"**, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran.
- Mehmet, Servi, (2004). **Assessment of Vulnerability to Earthquake Hazards Using Spatial Multicriteria Analysis**, Msc Thesis in Middle East Technical University, Turkey.
- Levy, J.K., (2005). **Multiple Criteria Decision Making and Decision Support Systems for Flood Risk Management**, Journal of Stochastic Environmental Research for Risk Assessment, Vol 19, Pp 438- 447.