

بررسی پتانسیل تخریب لرزه‌خیزی با به‌کارگیری مدل‌های چند شاخصه (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی یک شهر تهران)

منیژه قهرودی تالی* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
سیدموسی پورموسوی - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه امام حسین (ع)
سمیه خسروی - کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه خوارزمی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۲/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۹/۲۵

چکیده

شهرهای ایران دارای شواهد متعددی از لرزه‌خیزی، همچون گسله‌ها و شکستگی‌ها، به‌ویژه در زمین‌های آبرفتی است که با ایجاد سازه‌های سنگین شهری، ناپایداری بسترهای شهری را به‌ارمغان آورده است. این پژوهش با هدف تحلیل پراکنش تخریب ناشی از لرزه‌خیزی در محیط شهری انجام شده است. منطقه‌ی یک تهران از این نظر انتخاب شده است که در ناحیه‌ی البرز مرکزی، بر نهشته‌های کواترنری واقع شده است و دارای شواهد متعدد تکنونیک، از جمله وجود سازند هزار دره، وقوع زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بیش از ۷ ریشتر، چین خوردگی و گسلش در سازند هزاردره و وجود زمین لغزش‌های دامنه‌ای هستند. در این مطالعه به‌منظور بررسی پتانسیل تخریب ناشی از زمین‌لرزه در منطقه‌ی یک تهران، از نقشه‌ی توپوگرافی، پراکندگی گسله‌ها، کاربری تهیه‌شده از سوی شهرداری، تراکم جمعیت، داده‌های ارتفاعی (DEM) استفاده شده است. بر اساس داده‌های فوق با توجه به شرایط تکنونیک منطقه‌ی یک تهران، معیارهای ضریب خمیدگی، نوع آبرفت، ارتفاع زمین، تغییرات ارتفاعی، تراکم شبکه‌ی زهکشی، تراکم نسبی گسل، تراکم نسبی جمعیت و درصد فضای باز، شاخص‌های انتخاب‌شده‌ای است که می‌تواند بیانگر تخریب ناشی از لرزه‌خیزی در این منطقه باشد. پراکنش شاخص‌های مورد نظر با استفاده مدل تاپسیس از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج مطالعات نشان داد که حداکثر پتانسیل لرزه‌خیزی در بخش شمالی منطقه‌ی یک، به‌دلیل بیشترین برون‌زدگی‌های آبرفت‌های قدیمی‌تر روی آبرفت‌های جدیدتر، حضور گسل‌های اصلی و لرزه‌زا، حداکثر ضریب خمیدگی و حضور شبکه‌های آبرفتی اصلی قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: لرزه‌خیزی، مدل تاپسیس، روش تصمیم‌گیری چند شاخصه، منطقه‌ی یک تهران.

مقدمه

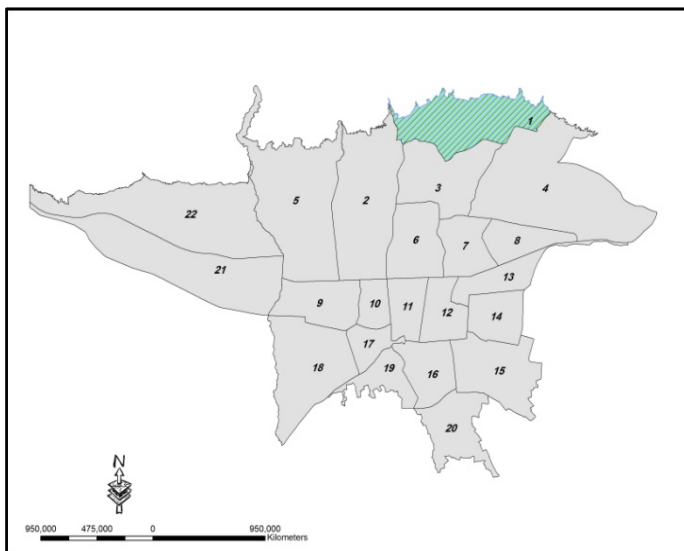
شناخت شرایط طبیعی بسترهای شهری، از جمله زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، اقلیمی و زیست‌محیطی، ضرورت مدیریت شهری است. وجود پرشمار گسله‌ها، به‌ویژه در زمین‌های آبرفتی، همچنین گسترش بی‌رویه‌ی شهرهای بزرگ و ایجاد سازه‌های سنگین، ناپایداری بسترهای شهری را تشدید می‌کند و تغییراتی در سامانه‌ی طبیعی محیط ایجاد کرده و مورفوزن شهر را دچار تحول خواهد کرد (روستایی، ۱۳۹۰: ۲۸). شهر تهران در دامنه‌ی جنوبی البرز مرکزی و روی لایه‌های آبرفتی گسترش یافته است. بستر تهران با ضخامت بیش از ۵۰۰ متر از نهشته‌های کواترنری، گسل‌های عمیق، نشست و رانش زمین و سیستم زهکشی نامنظم، مستعد تخریب ناشی از وقوع زمین‌لرزه است (جعفری، ۱۳۸۱: ۲۸). افزایش جمعیت و گسترش تأسیسات انسانی، مطالعه‌ی دقیق پتانسیل تخریب را ضروری می‌کند.

در بررسی‌هایی که در زمینه‌ی لرزه‌خیزی و تخریب ناشی از آن انجام شده است، می‌توان مطالعه‌ی جان استون و نووا^۱ در سال ۱۹۹۰ را مطرح کرد که به بررسی رابطه‌ی نئوتکتونیک و زلزله پرداختند و دریافتند که برآورد بزرگای زلزله‌های قدیمی در امتداد گسل‌ها، می‌تواند به پیش‌بینی بزرگای زلزله‌های آینده کمک کند (Johnston & Nava, 1990: 47-58). در ادامه‌ی این پژوهش، بزرا^۲ (۲۰۰۰) در برزیل لرزه‌خیزی را در امتداد گسل‌های میوسن بررسی کرد و نتیجه گرفت که استفاده از بزرگای زلزله‌های قدیمی، در برآورد تخریب ناشی از زلزله‌های جدید، به دلیل وجود بسترهای آبرفتی و اشغال فضا توسط سازه‌های شهری، مناسب نیست (Bezerra, 2000: 563). ویتا فینزی^۳ و همکاران، ارزیابی مخاطره‌ی زلزله در جنوب تایوان را بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که خط ساحلی طی هولوسن به‌طور میانگین ۳/۸ میلی‌متر در سال بالآمدگی داشته است و حدود ۱/۳ درصد بالآمدگی، به سبب فعالیت گسل‌های معکوس در آنجا بوده است (Vita-Finzi, et al., 2005: 2). ماروکیان^۴، نقش مورفوتکتونیک بر شبکه‌ی زهکشی در پراچورا^۵ یونان را بررسی کرده است و به این نتیجه رسیده است که توسعه‌ی سیستم‌های زهکشی پراچورا و پیزا^۶ در اواخر کواترنری، به‌طور عمده وابسته به گسل‌های تکتونیک در سیستم‌های گسلی کرانه‌ی ساحلی است که باعث بالآمدگی تراس‌های دریایی شده‌اند (Maroukian, 2008: 86). کپینگ چن و همکاران، ترکیب ارزیابی چندمعیاره و GIS را در ریسک سوانح طبیعی مطالعه کرده‌اند. در این پژوهش مدل‌های MCE شامل تاپسیس و WLC را استفاده کرده‌اند (Keping Chen, et al., 2001: 12). مطالعه‌ی دیگر در فلورانس ایتالیا، به بررسی لرزه‌ی زمین‌ساخت (خطر زمین‌لرزه - گسلش) و کاربرد آن در برنامه‌ریزی شهری با هدف کاهش آسیب‌پذیری پرداخته است و وضعیت ساختمان‌ها و آسیب‌پذیری آنها در قالب نقشه تهیه شده است (Birkhauser Basel, 2001). دورنکمپ، رویکرد ژئومورفولوژیکی جهت مطالعه‌ی نئوتکتونیک را مورد مطالعه قرار داده است. او به این نکته اشاره کرده است که برای یکپارچه‌سازی مطالعات مورفوتکتونیک، لازم است که از روش‌هایی که در رشته‌های دیگر استفاده شده و تئوری‌های مدرن ژئومورفولوژی همزمان استفاده شود (Doornkamp, 1986: 4). عزیز، آسیب‌پذیری آبخوان دشت

1. Johnston and Nava
2. Bezerra
3. Vita-Finzi
4. Maroukian
5. Perachora
6. Pissia

امامزاده جعفر گچساران را به‌کمک شاخص SINTACS مطالعه کرده است و هفت عامل را به‌عنوان عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری در این منطقه مشخص کرده است (عزیزی، ۱۳۹۰: ۷). زارع، به مطالعه‌ی ارزیابی خطر لرزه‌ای بر پایه‌ی قطعه‌بندی گسل‌های فعال استان سمنان پرداخته است. در این مطالعه نقشه‌های هم‌شتاب در استان تهیه شده و مناطق مختلف استان از نظر ویژگی‌های لرزه‌خیزی تفکیک شده‌اند (زارع، ۱۳۹۰: ۹). شبان، تکتونیک فعال منطقه‌ی بهاباد را به‌کمک ترکیب شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت بررسی کرده است و میزان فعالیت تکتونیک در منطقه را به‌دست آورده است (شبان، ۱۳۹۰: ۶). بربریان و همکاران تاریخچه‌ی نئوتکتونیک تهران با عنوان ژرف نوزمین‌ساخت، لرزه‌ی زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره‌ی تهران و پیرامون را انجام داده‌اند که شامل اطلاعات سودمندی از رسوب‌های آبرفتی تهران، شناسایی و معرفی گسله‌های تهران و زمین‌لرزه‌های رخ داده طی دهه‌های مختلف است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱: ۳۵). همچنین آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن، جایکا، گزارشی با عنوان "ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ" را در سال ۱۳۷۹ منتشر کرد که ریسک‌پذیری تهران را در سه طرح فرضی مورد بررسی قرار داده است (جایکا، ۱۳۸۱: ۶۳).

در این پژوهش، منطقه‌ی یک تهران از دید پتانسیل تخریب ناشی از لرزه‌خیزی با استفاده مدل تاپسیس^۲ - که از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه^۳ است - مورد تحلیل قرار گرفته است. این منطقه از طرف شمال به ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ متری دامنه‌ی جنوبی کوه‌های البرز، از جنوب به بزرگراه چمران حد فاصل دو راهی هتل آزادی و بزرگراه مدرس و پل آیت‌ا.. صدر، از طرف غرب به اراضی رودخانه درکه و از شرق نیز، به انتهای بزرگراه ارتش محدود می‌شود. از نظر همجواری با سایر مناطق تهران، از جنوب با منطقه‌ی سه، از شرق و جنوب شرق با منطقه‌ی چهار و از غرب نیز با منطقه‌ی دو هم مرز است. این منطقه دارای ۱۰ ناحیه و ۲۶ محله‌ی شهری است. مساحت منطقه بدون احتساب حریم ۴۷ کیلومترمربع و با احتساب حریم منطقه، حدود ۲۱۰ کیلومترمربع است. جمعیت آن براساس سرشماری سال ۱۳۸۵ حدود ۳۸۰ هزار نفر گزارش شده است (شکل شماره ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی یک در کلان‌شهر تهران

1. JICA
2. Technique for Order – Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
3. Multi Attribute Decision Making (MADM)

این منطقه در ناحیه‌ی زمین‌شناختی البرز مرکزی، بر نهشته‌های کواترنری با سنگ بستر سازند کرج واقع شده است. کوه‌های البرز از نظر تکتونیکی فعال است، وجود سازند هزاردره، وقوع زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای بیش از ۷ ریشتر، چین‌خوردگی و گسلش در سازند هزاردره، وجود نهشته‌های تکتونیزه‌ی هزاردره در هسته‌ی طاقدیس‌ها (عباس‌آباد) و زمین‌لغزش‌های دامنه‌ای در دره‌های درکه، دربند، گلابدره، ولنجک، و دارآباد از شواهد آن هستند (Abbassi and Shabanian, 1999: 68). با توجه به تأثیر فرایندهای تکتونیکی پس از پلیوسن بر رسوب‌های کنگومرایی نتوزن، در بخش جنوب تراس شمال تهران، ناودیس‌ها و تاقدیس‌های درون لایه با شیب اندک قابل مشاهده است (Hedayati, et al., 1976: 1714). از ویژگی‌های خاص این منطقه اختلاف ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر، شیب زیاد و گسله‌های مهم شرقی - غربی است. گسل‌های اصلی و لرزه‌زا با درازای بیش از ۱۰ کیلومتر در این منطقه، رسوب‌های آبرفتی A, B, C را بریده‌اند. سن جوان و درازای زیاد این گسله‌ها، آنها را در دسته‌ی گسل‌های لرزه‌زا و خطرناک گستره‌ی تهران قرار داده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱: ۳۵). اختلاف ارتفاع ناگهانی میان شهر تهران و نزدیکترین قله‌ی کوهستانی (توچال) در فاصله‌ی کمتر از ۱۰ کیلومتری، یکی از بارزترین ویژگی‌های توپوگرافی منطقه‌ی یک در تهران است که نتیجه‌ی حرکت عمودی‌ای است که در راستای راندگی شمال تهران (گسل شمال تهران) روی داده است (Abbassi and Farbod, 2009: 523).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی پتانسیل تخریب ناشی از زمین‌لرزه در منطقه‌ی یک تهران از نقشه‌ی توپوگرافی، پراکندگی گسله‌های منطقه، کاربری تهیه‌شده‌ی شهرداری، تراکم جمعیت و داده‌های ارتفاعی (DEM) استفاده شده است. بر اساس داده‌های فوق با توجه به شرایط تکتونیکی منطقه‌ی یک تهران، معیارهای ضریب خمیدگی، نوع آبرفت، ارتفاع زمین، تراکم شبکه‌ی زهکشی، تراکم نسبی گسل، تراکم نسبی جمعیت و درصد فضای باز، شاخص‌های انتخاب شده‌ی هستند که می‌توانند بیانگر لرزه‌خیزی در این منطقه باشند. فرایند مطالعه به ترتیب زیر انجام شده است:

- براساس شاخص‌های فوق و مدل تاپسیس، ماتریس داده‌ها تهیه شد. در این شیوه فرض می‌شود هر شاخص و

معیار در ماتریس تصمیم‌گیری دارای مطلوبیت افزایشی یا کاهشی یکنواخت است (رابطه‌ی شماره ۱).

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

- برای تعیین اوزان شاخص‌ها (W)، از روش مقایسه‌ی زوجی در مدل AHP^۱ استفاده شد. مقایسه‌ی زوجی در این

مدل بر چهار اصل زیر استوار است (Saaty, 1994: 431):

اصل ۱: شرط معکوس پذیری. اگر ارجحیت عنصر A بر عنصر B برابر n باشد، آنگاه ارجحیت عنصر B بر

عنصر A برابر $\frac{1}{n}$ خواهد بود (رابطه‌ی شماره ۲).

$$\text{if } \frac{w_A}{w_B} = n \text{ then } \frac{w_B}{w_A} = \frac{1}{n} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

اصل ۲: اصل همگنی^۱. عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل مقایسه باشند، بدین مفهوم که برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد (رابطه‌ی شماره‌ی ۳).

$$\frac{w_A}{w_B} \neq 0 \text{ or } \infty \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

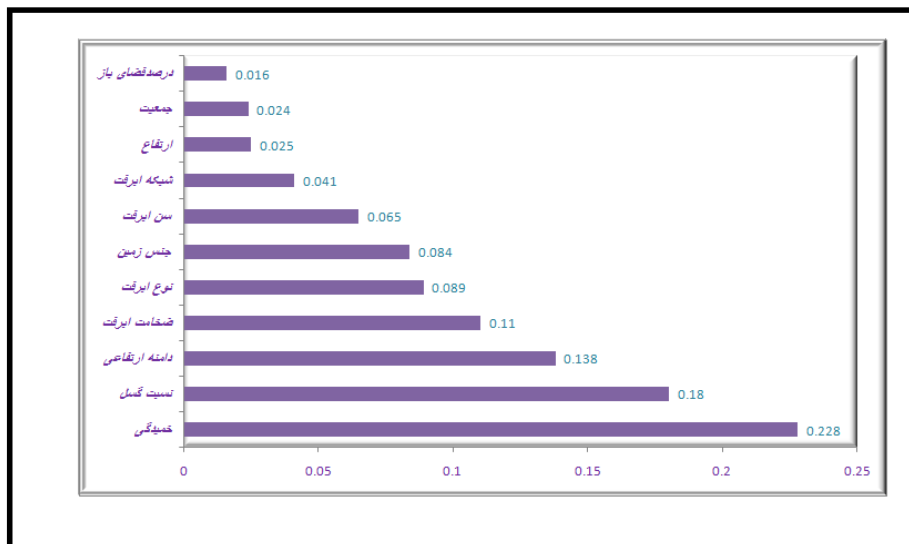
اصل ۳: وابستگی^۲. هر عنصر سلسله‌مراتبی می‌تواند به عنصر سطح بالاتر خود وابسته باشد و این وابستگی با بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

اصل ۴: انتظارات^۳. هر گاه تغییری در ساختمان سلسله‌مراتبی رخ دهد، آنگاه فرایند ارزیابی باید بار دیگر انجام گیرد.

به‌طور کلی یک ماتریس مقایسه‌ی زوجی به‌صورت رابطه‌ی (۴) نشان داده می‌شود که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i ام نسبت به عنصر j ام است (رابطه‌ی ۴).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad A = [a_{ij}] \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

بر اساس آن درجه‌ی اهمیت هر شاخص نسبت به یکدیگر سنجیده شد (شکل شماره‌ی ۲). نرخ سازگاری^۴ در این تحلیل ۰/۰۶ محاسبه شد (Saaty, 1994: 428).



شکل ۲. وزن‌های استخراج شده از مدل AHP

1. Homogeneity
2. Relationship
3. Expectations
4. Consistency Ratio

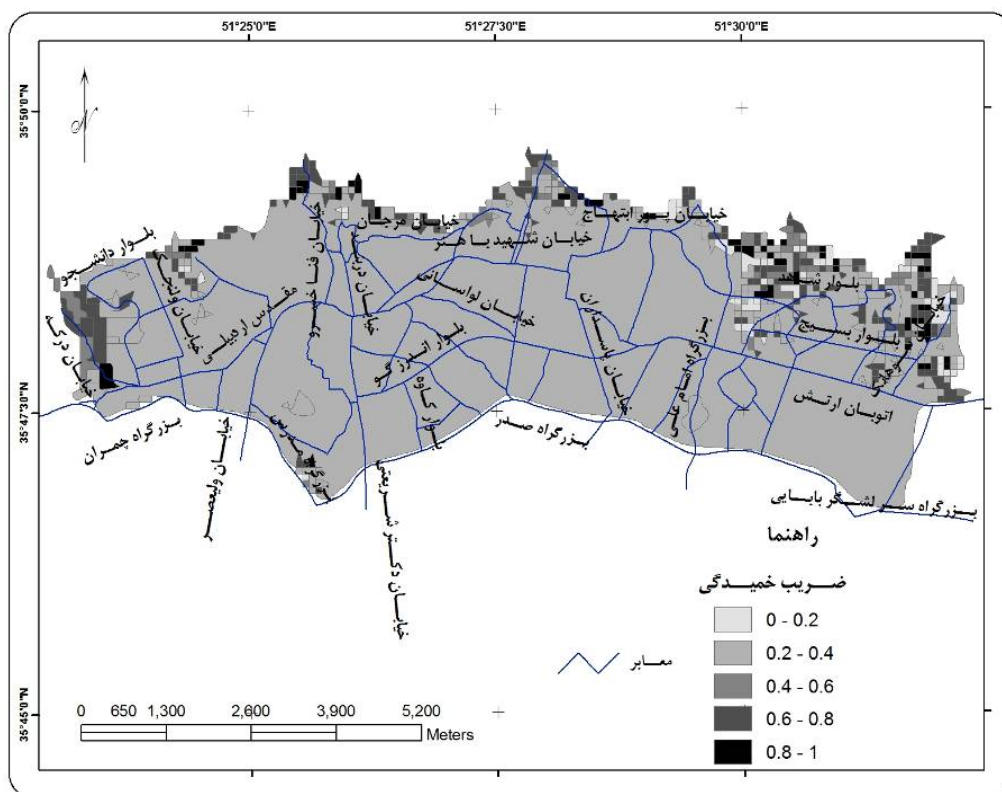
- از آنجا که هر ۸ معیار (شاخص) دارای دامنه و مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوتی هستند، برای تحلیل و ارزیابی آنها ضروری بود که مقیاس اندازه‌گیری آنها با هم همخوان و متناسب شوند. به این منظور از روش بی‌بعدسازی فازی^۱ استفاده شده است (Chu, 2002: 690). داده‌ها در بی‌مقیاسی فازی در بازه‌ی صفر و یک قرار گرفت، به طوری که صفر برای بدترین نتیجه و یک برای بهترین نتیجه است. شاخص‌ها بر اساس منحنی فراوانی به ۱۰ کلاس طبقه‌بندی شده‌اند. ارزش‌های اختصاص یافته بر اساس اهمیت نسبی داده‌ها بود. به بیان دیگر ارزش گذاری ۸۰ درصد به صورت ۰/۸ بیان شده است و دو رابطه‌ی زیر، به ترتیب برای جنبه‌ی مثبت و منفی مورد استفاده قرار گرفته است (رابطه‌ی شماره ۵).

$$N_{ij} = (a_{ij} - a_i^{min}) / (a_j^{max} - a_i^{min})$$

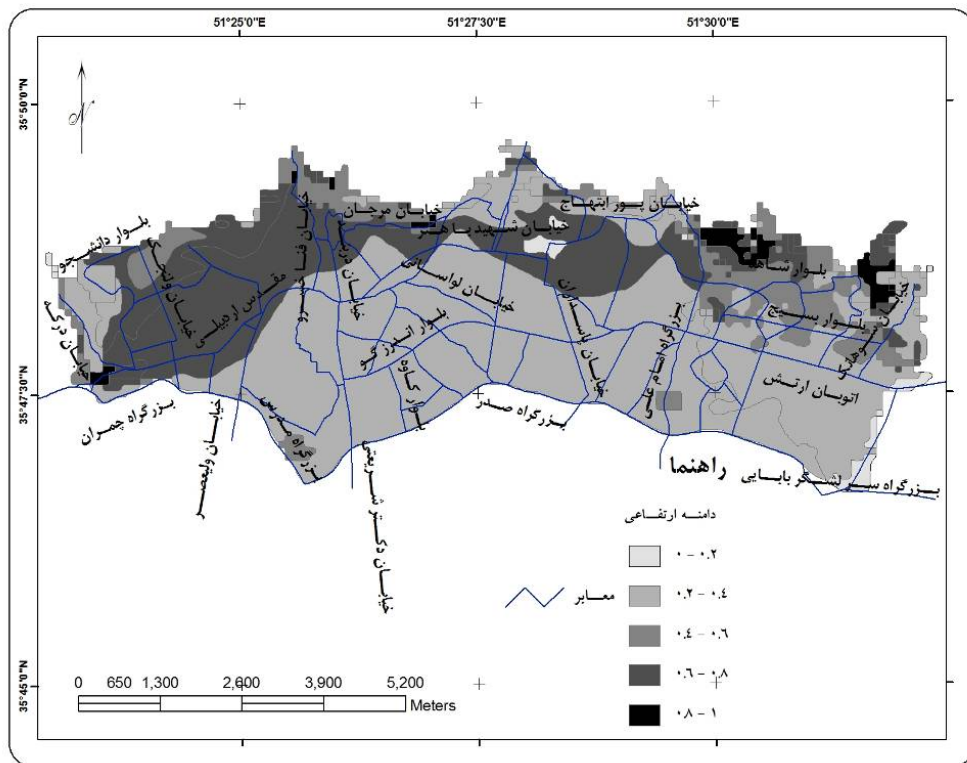
$$N_{ij} = (a_j^{max} - a_{ij}) / (a_j^{max} - a_i^{min})$$

رابطه‌ی (۵)

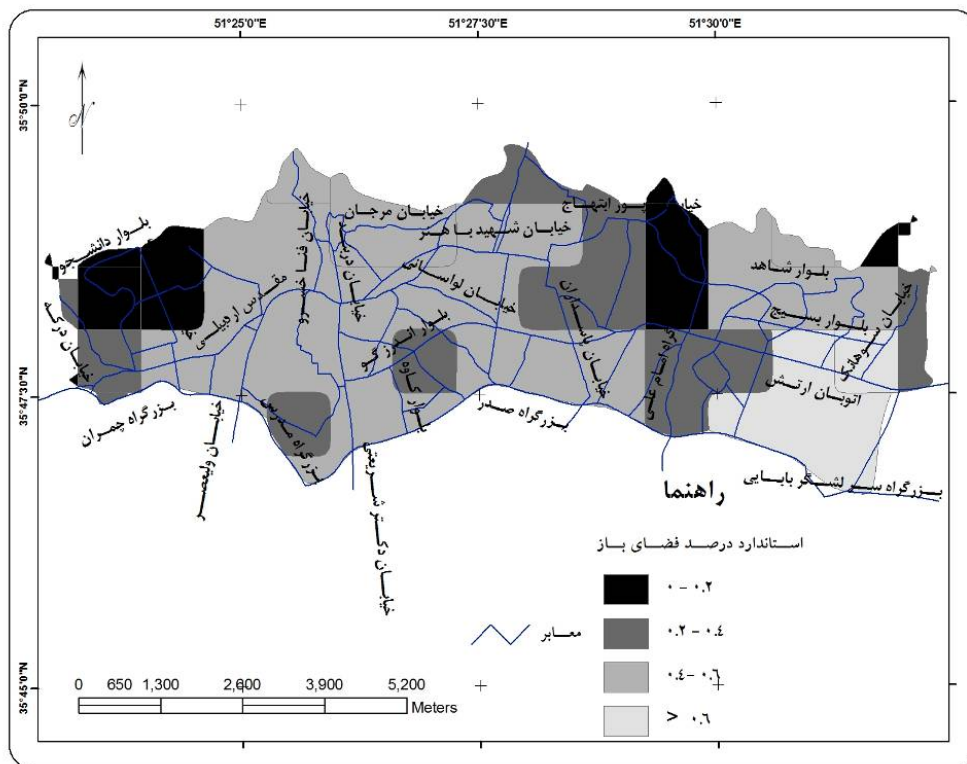
شکل شماره ۳ شاخص بی‌بعد شده‌ی ضریب خمیدگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، میزان این ضریب در شمال منطقه به ۱ می‌رسد. شکل شماره ۴ تغییرات این شاخص را در ارتفاع و شکل شماره ۵ تغییرات شاخص فوق را شاخص فضای باز نشان می‌دهد. همان‌گونه که این شکل‌ها بیان می‌کنند، پراکنش فضایی از شاخص‌های انتخاب شده در منطقه‌ی یک وجود دارد.



شکل ۳. شاخص بی‌بعد شده‌ی ضریب خمیدگی



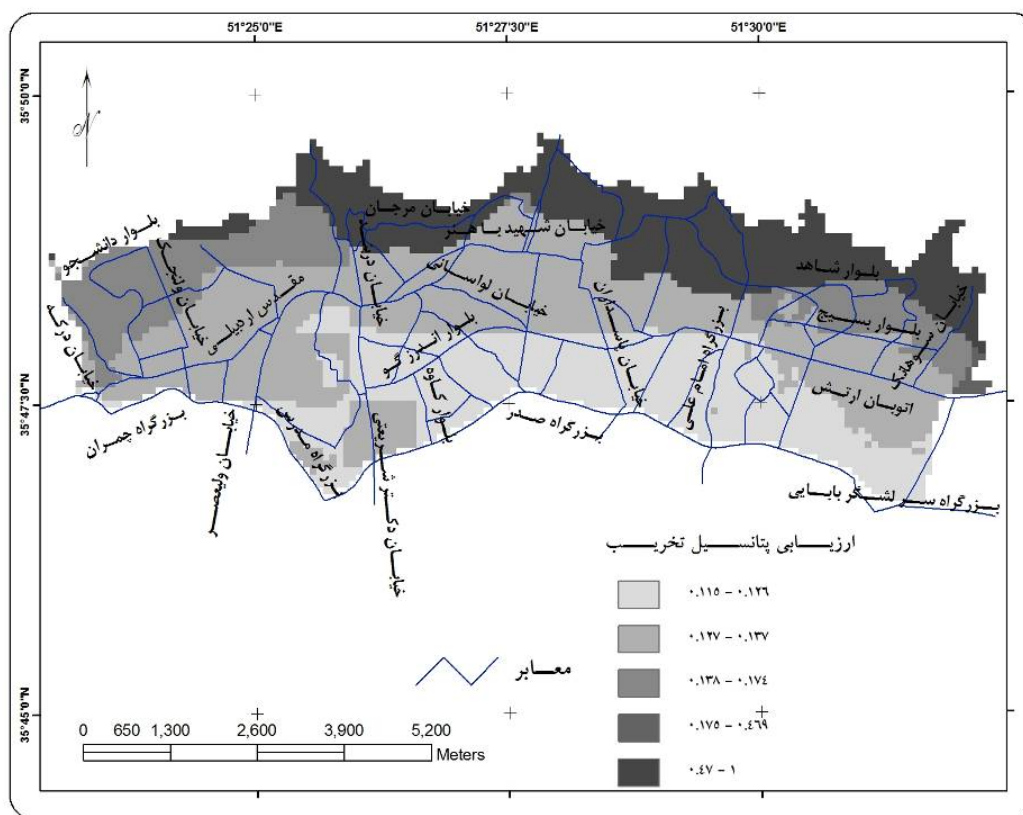
شکل ۴. شاخص بی‌بُعد شده‌ی ارتفاع



شکل ۵. شاخص بی‌بُعد شده‌ی درصد فضای باز

برای ترکیب شاخص‌ها از روش تاپسیس استفاده شده است. این روش یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MADM)^۱ است (Zanakis, et al., 1998: 508). از این روش‌ها برای انتخاب گزینه‌های برتر استفاده می‌شود که خود شامل مدل‌های جبرانی و غیر جبرانی هستند. مدل تاپسیس از مدل‌های جبرانی است. جبرانی به این مفهوم که امکان تبادل امتیاز بین شاخص‌ها بر اساس شدت تأثیرات، امکان‌پذیر است. در این روش M گزینه به‌وسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و هر مسئله را می‌توان به‌عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بُعدی در نظر گرفت. روش تاپسیس بر این مفهوم بنا شده است که گزینه‌ی انتخابی باید کمترین فاصله را با ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را با ایده‌آل منفی داشته باشد. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص به‌طور یکنواخت افزایشی یا کاهش‌ی است که برای گزینه‌ی ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-) تعریف می‌شوند. سپس با استفاده از روش اقلیدسی، اندازه‌ی جدایی (فاصله) گزینه نام با ایده‌آل‌ها محاسبه می‌شود. به این ترتیب که نزدیکی نسبی A_i به راه‌حل ایده‌آل ابتدا محاسبه و سپس براساس ترتیب نزولی CL_i^+ گزینه‌های موجود رتبه‌بندی می‌شوند (Lai, et al., 1994: 490). به این ترتیب میزان پتانسیل تخریب ناشی از لرزه‌خیزی در منطقه‌ی مورد مطالعه مشخص شد (شکل شماره ۶).

درصد مساحت آنها در هر پهنه‌ی محدوده‌ی مطالعاتی در جدول شماره ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۶. تخریب ناشی از لرزه‌خیزی در منطقه‌ی یک تهران

بحث و نتیجه‌گیری

به‌دلیل موقعیت شهر تهران، فعالیت‌های زمین‌ساخت در ناپایداری ساخت‌وسازهای شهری اهمیت زیادی دارند. برای تعریف معیار لرزه‌خیزی در منطقه‌ی یک تهران، از ترکیب معیارهای طبیعی و انسانی استفاده شده است. چون ضریب خمیدگی (تحدب و تقعر) در منطقه‌ی یک تهران در ارتباط با شکستگی‌های تکتونیکی است، به‌عنوان معیار انتخاب شد و شواهد آن در منطقه‌ی الهیه و زعفرانیه آشکار هستند. همچنین حضور گسل‌های اصلی و لرزه‌زا در منطقه و جابه‌جایی‌های انجام گرفته در آنها، نشانه‌ی فعال بودنشان از نظر تکتونیکی هستند. گسل‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه از شرق به غرب کشیده شده‌اند و بیشترین پراکندگی آنها در غرب محدوده‌ی مورد مطالعه است و شواهد آن در توجال و ناحیه‌ی ولنجک قابل مشاهده است. در این محدوده، شاخص دامنه‌ی ارتفاعی بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داده است. در محدوده‌ی مطالعاتی پنج شاخه‌ی اصلی رودخانه (مسیل و آبراهه) و سه شاخه‌ی فرعی وجود دارد. بیشترین تراکم شبکه‌ی زهکشی در قسمت غربی حوضه وجود دارد که متعلق به رودهای درکه، ولنجک و دربند است و کمترین پهنه‌ی تراکمی در شرق حوضه قرار دارد که شامل رودهای جمشیدیه و مقصودبیک است. از سوی دیگر، قسمت‌های مرکزی فاقد شبکه‌ی تراکم زهکشی است. میزان تراکم و رشد جمعیت، به‌عنوان یک شاخص انسانی به این دلیل مورد استفاده واقع شده است که افزایش تراکم جمعیت، ساختمان‌سازی و بهره‌برداری‌های غیر مجاز بیشتری را در حریم شهرها به‌دنبال دارد. جمعیت محدوده‌ی مورد مطالعه بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵، حدود ۳۷۰۰۰۰ نفر و میانگین رشد سالانه‌ی آن طی سال‌های ۸۵-۱۳۷۵، حدود ۲/۳ درصد بوده است. شاخص فضای باز، نشان‌دهنده‌ی وسعت این فضاها اعم از زمین‌های بایر و فضاهای سبز شهری است. مقدار کم این شاخص، نشان‌دهنده‌ی پُر شدن فضاهای خالی در سطح محدوده و اشغال آنها است که ایجاد تنش و بار در محدوده را افزایش می‌دهد.

نقشه‌ی نهایی (شکل شماره ۵)، پتانسیل تخریب ناشی از لرزه‌خیزی را در پنج کلاس از خیلی کم تا خیلی زیاد را نشان می‌دهد. جدول شماره ۱، مساحت و درصد پهنه‌ها و جدول شماره ۲ نواحی شهری را شامل می‌شود. ۲۱/۹ درصد مساحت، شدت خیلی زیاد را نشان می‌دهد که در بخش شمالی محدوده از شرق به غرب کشیده شده است. بررسی معیارها نشان می‌دهد که این محدوده با داشتن بالاترین امتیازها (امتیاز ۱ در بی‌مقیاس فازی) بیشترین قابلیت تخریب را دارد؛ زیرا بیشترین برون‌زدگی‌های آبرفت‌های قدیمی‌تر روی آبرفت‌های جدیدتر، حضور گسل‌های اصلی و لرزه‌زا و حضور شبکه‌های آبرفتی اصلی مانند، رودخانه‌های دارآباد، جمشیدیه، دربند و گلاب‌دره، در این بخش قرار دارند. وجود پراکندگی زیاد شاخص ضریب خمیدگی، بیشترین وزن را در مدل AHP (وزن ۰/۲۴۸) به خود اختصاص داده است و همچنین کمترین نسبت فضای باز این بخش، به‌عنوان پهنه با خطر بسیار زیاد مشخص کرده است که نواحی کاشانک، نیاوران، منظریه، حصارک و جماران در این پهنه قرار دارند. شکل‌های ۷، ۸ و ۹ تصاویری از این قلمرو است. ۰/۳۵ درصد مساحت محدوده‌ی مطالعاتی در شدت زیاد قرار گرفته است که شامل بخش شرقی منطقه (منطقه‌ی سوهانک) است. ضریب خمیدگی در این محدوده بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، گسل لویزان این محدوده را تحت تأثیر قرار داده و تپه‌هایی را در این محدوده ایجاد کرده است. از نظر نوع آبرفت می‌توان گفت این محدوده از کنگلومراهای همگن و لایه‌بندی منظم، متشکل از قلوله‌سنگ، ریگ و شن با میان‌لایه‌های ماسه و لای تشکیل شده است.

قلوه‌سنگ‌ها بیشتر از جنس توف سبز هستند. ضخامت این سازند آبرفتی ۱۲۰۰ متر است و جزء آبرفت‌های A، سازند هزاردره هستند. ۱۴/۱ درصد مساحت دارای پتانسیل نوزمین‌ساخت با شدت متوسط است. نواحی ولنجک، زعفرانیه در غرب منطقه و نواحی حدیقه، آجودانیه و شهرک گلها را در شرق دربرمی‌گیرد. ۳۸/۷۳ درصد مساحت دارای پتانسیل شدت کم است، بیشترین درصد مساحت را این طبقه به خود اختصاص داده است که مرکز و قسمت‌های شرقی و غربی محدوده‌ی مورد مطالعه را دربرگرفته است. اکثر این محدوده با نهشته‌های کواترنری با آبرفت‌های نوع C پوشیده شده است. ضخامت این آبرفت‌ها چندان زیاد نیست. این محدوده از نظر شاخص‌های تعریف شده در حالت اعتدال قرار دارد، تمام شاخص‌ها در مقیاس بی‌بعد نزدیک به صفر را نشان می‌دهند. بیشترین درصد فضای باز در این پهنه قرار دارد که خود نشان‌دهنده‌ی تنش ورودی کم است. درصدی از این مساحت مناطق نظامی است که جمعیت کمی دارد. جنوب محدوده‌ی مطالعاتی مناطق با شدت پتانسیل خیلی کم است که ۲۴/۸ درصد مساحت را به خود اختصاص است.

جدول ۱. درصد مساحت پتانسیل تخریب ناشی از لرزه‌خیزی

درصد مساحت	مساحت ۲ m	پهنه‌ها	امتیاز پهنه‌ها
۲۴.۸۳	۱۱۱۲۰۰۰۰	خیلی کم	۰.۱۱۵ - ۰.۱۲۶
۳۸.۷۳	۱۷۳۴۰۰۰۰	کم	۰.۱۲۷ - ۰.۱۳۷
۱۱.۱۴	۶۳۲۰۰۰۰	متوسط	۰.۱۳۸ - ۰.۱۷۴
۳۵.۰	۱۶۰۰۰۰	زیاد	۰.۱۷۵ - ۰.۴۶۹
۹۵.۲۱	۹۸۳۰۰۰۰	خیلی زیاد	۰.۴۷ - ۱

جدول ۲. محله‌های منطقه‌ی یک در پهنه‌های آسیب‌پذیر

پتانسیل زمین‌ساخت فعال	نواحی
خیلی زیاد	محله‌های نواحی ولنجک، دربند، منظریه، نیاوران، کاشانک، اقدسیه، حدیقه، آجودانیه، آراج، شهرک گلها، شهرک نفت
زیاد	محله‌های شرقی ناحیه‌ی ۱۰ (سوهانک)
متوسط	اوین، تجریش، جعفرآباد، سعدآباد، محله‌های مرکزی سوهانک
کم	فرمانیه، سامیان، پاسداران، زعفرانیه، محمودیه، ازگل
خیلی کم	محله‌های جنوبی نواحی الهیه، قیطریه، ازگل، چیدر

منابع

- آژانس همکاری بین‌المللی ژاپن (JICA)، مرکز تحقیقات زیست محیطی تهران بزرگ. (۱۳۸۰). گزارش نهایی ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ.
- بربریان، ا.، قریشی، م.، روش، ا. و مهاجرشجاعی، ا. (۱۳۷۱). پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت، لرزه‌زمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره‌ی تهران و پیرامون، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۵۶، چاپ دوم، تهران.
- جعفری، م. ک. (۱۳۸۱). ریزپهنه‌بندی لرزه‌ی شمال تهران از دیدگاه شرایط ساختگاه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندس زلزله، تهران.
- روستایی، ش. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر گسل تبریز برای کاربری‌های مختلف اراضی شهری، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۱، صص. ۲۷-۴۱.
- زارع، ح. (۱۳۹۰). ارزیابی خطر لرزه‌ای بر پایه‌ی قطعه‌بندی گسل‌های فعال استان سمنان، پانزدهمین سمپوزیم زمین‌شناسی، ۲۳-۲۴ آذرماه، دانشگاه تربیت معلم، تهران.
- شبان، م. (۱۳۹۰). بررسی تکنیک فعال منطقه بهاباد با استفاده از شاخص‌های ریخت زمین‌ساخت، گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه فردوسی مشهد.
- عزیزی، ف. (۱۳۹۰). ارزیابی و بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران به کمک شاخص SINTACS، مهندسی منابع آب، سال پنجم، صص. ۱۱-۱۴.
- Abbassi, M.R. and Shabanian, B., 1999, **Evolution of the Stress Field in Tehran Region during the Quaternary- International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)**, http://www.iiees.ac.ir/iiees/english/seismology/eng_seis_prj_abbasi.html
- Abbassi, M.R., Farbod, Y., 2009, **Faulting and Folding in Quaternary Deposits of Tehran Piedmont (IRAN)**, Journal of Asian Earth Science, 34, PP. 522-531.
- Azizi.F, 1391,**Spatial assessment of groundwater quality and aquifer vulnerability Emamzadeh Jafar Gachsaran by using of DRASTIC model and quality index of GWQI**, Water Resources Engineering, Fifth Year, pp.11-14
- Berberian, E., Ghoreashi, B., Arjang, A., Shogai, M., 1992, **Research and Evaluate Neotectonic, Seismotectonic and Seismic Hazard - faults in the Tehran Area**, Geological Survey of Iran, Report No. 56, Second Edition, Tehran.
- Bezerra, F. H.R., 2000, **Neotectonic Movements In Northeastern Brazil: Implications for a Preliminary Seismic-Hazard Assessment**, Revista Brasileira de Geociências, Vol. 30, No. 3, PP.562-564.
- Birkhauser, B., 2001, **Active Tectonics and Seismic Zonation of the Urban Area of Florence, Italy**, Journal Pure and Applied Geophysics, No. 12, pp. 2313-2332.
- Chu, T. Ch., 2002, **Facility Location Selection Using Fuzzy TOPSIS under Group Decisions**, International Journal of Uncertainty, Fuzziness & Knowledge-Based Systems Vol. 10, No. 6, PP.687-701.
- Doornkamp, J. C., 1986, **Geomorphological Approaches to the Study of Neotectonics**, Journal of the Geological Society, Vol. 43, No. 2, PP.335-342.

- Gaafari, M.K., 2002, **Seismic Micro-zoning of Northern Tehran Through the Perspective Condition Attitude**, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tehran.
- Hedayati, A.J., Brader L. and Berberian, M., 1976, **Microearthquake Survey of Tehran Region Iran**, Bull. Seismol-SOC.AM, 66 (1), PP.1713-1725.
- Japan International Cooperation Agency, 2001, **the Final Report of Seismic Micro-zoning in Tehran**, Center for Environmental Studies of Tehran.
- Johnston A.C. & Nava S.J., 1990, **Seismic-Hazard Assessment in Tria Central United States**, in: E.L. Krinitzsky and D.B. Slemmons (eds.) Neotectonics in Earthquake Evaluation, Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, Vol. 8, PP. 47-58.
- Keping, Ch., et al., 2001, **MCE-RISK: Integrating Multicriteria Evaluation and GIS for Risk Decision-making in Natural Hazard**, Environmental Modeling & Software 16 (4), PP.387-397.
- Lai, Y.J., Liu, T.Y., Hwang, C.L., 1994, **TOPSIS for MODM**, European Journal of Operational Research, Vol. 76, No. 3, PP.486-500.
- Maroukian, H., 2008, **Morphotectonic Control on Drainage Network Evolution in the Perachora Peninsula-Greece**, Geomorphology, No.102, PP. 81-92.
- Roustaei, S., 2011, **Tabriz Fault Hazard Zonation for Different Urban Landuses**, Geography and Development Journal, No. 21, PP.27-41.
- Saaty, T.L., 1994, **Highlights and Critical Points in the Theory and Application of the Analytical Hierarchy Process**, European Journal of Operational Research, Vol. 74, PP. 426-447.
- Shaban, M., 2011, **Active Tectonics of Bahabad Using Morphological Parameters Tectonics**, Department of Geology, Earth Sciences Faculty, Ferdowsi University, Mashhad.
- Vita-Finzi, C., Jiun-Chuan, L., 2005, **Neotectonic and Seismic Hazard Assessment in Heng Chun Peninsula, Southern Taiwan**, Comptes Rendus Geoscience, Vol. 337, No. 13, PP. 1194-1199.
- Zanakis, S.T., Solomon, A., Wishart, N., Dublish, S., 1998, **Multi-attribute Decision Making: A Simulation Comparison of Select Methods**, European Journal of Operational Research, Vol. 107, No. 3, PP.507-529.
- Zareh, H., 2001, **Seismic Risk Assessment Based on Segmentation of Active Faults in Semnan Province**, Fifteenth Symposium of Geological Society of Iran, 14-15 Dec 2001, Tarbiat Moalem University.