

# مدل ارزیابی و کاهش خطرپذیری زلزله در بافت‌های تاریخی

## مطالعه موردی: بازار تاریخی اردبیل<sup>۱</sup>

محمود حسینی<sup>۴</sup>

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه،  
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

سیمین اسدزاده تره‌باری<sup>۲</sup>

کامبد امینی حسینی<sup>۳</sup>

دانشیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله،

کلیدواژگان: شاخص خطرپذیری زلزله، بافت‌های تاریخی-تجاری، مدیریت بحران، بازار تاریخی اردبیل.

### چکیده

وقوع زلزله در بافت‌های تاریخی با ارزش اقتصادی نظیر بازارهای سنتی ضمن آسیب به زیرساخت‌های هویتی شهرها، می‌تواند تبعات گسترده اجتماعی و اقتصادی در جامعه به همراه داشته باشد. علی‌رغم اهمیت زیاد این بافت‌ها، مطالعات اندکی در خصوص ارتقای ایمنی و مدیریت بحران بافت‌های تاریخی در برابر زلزله شده است و این مسئله ضرورت انجام پژوهش‌های مرتبط را آشکار می‌کند.

در این مقاله با هدف شناخت وضعیت خطرپذیری لرزه‌ای بافت‌های تاریخی دارای ارزش اقتصادی-فرهنگی، مدل جدیدی بر مبنای ترکیب شاخص‌های خطر، آسیب‌پذیری لرزه‌ای و ظرفیت‌های مقابله در برابر زلزله عرضه شده است. این شاخص‌ها و مقادیر کمی مؤلفه‌های مربوطه بر مبنای بررسی تبعات زلزله‌های گذشته، مطالعه ادبیات فنی مرتبط، و ارزیابی‌های تحلیلی و چندجانبه تعیین شده است. همچنین ضرایب وزنی این شاخص‌ها بر اساس نظر متخصصان امر و با استفاده از روش AHP تعیین گردیده است. مدل عرضه‌شده سپس به صورت موردی به منظور تعیین خطرپذیری لرزه‌ای در بازار

سنتی شهر اردبیل استفاده شد و نحوه اصلاح شاخص‌های تأثیرگذار در بهبود خطرپذیری متناسب با مداخلات اجرایی بررسی گردید. این ارزیابی نشان داد که مدل پیشنهادی قابلیت ارزیابی میزان خطرپذیری لرزه‌ای بازارهای سنتی را دارد و با استفاده از آن می‌توان مداخلات کاهش خطرپذیری و عرضه برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت، و بلندمدت را شناسایی و ترتیب انجام آن‌ها را اولویت‌بندی کرد.

### مقدمه

ایران کشوری در معرض خطر زلزله در جهان شناخته می‌شود و احتمال رخداد زلزله تقریباً در همه نقاط این سرزمین هست.<sup>۵</sup> از طرفی، اغلب شهرهای این کشور با توجه به سابقه تاریخی و تمدن آن، دارای بافت‌های ارزشمند تاریخی هستند. خطر زلزله‌های بزرگ این بافت‌های تاریخی را، که تا حدی نمایانگر هویت فرهنگی و ملی این سرزمین هستند، همواره تهدید می‌کند. برخی از این بافت‌ها در مناطق تجاری شهرها واقع شده‌اند که بارزترین نمونه آنها بازارهای سنتی است.<sup>۶</sup> با توجه به

۱. این مقاله برگرفته از بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول با عنوان تعیین شاخص‌های ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای در بافت‌های فرسوده دارای ارزش تجاری و تاریخی و ارائه راهکارهایی برای بهبود مدیریت خطرپذیری و بحران (مطالعه موردی: بازار تاریخی اردبیل) است که با راهنمایی نگارنده دوم و مشاوره نگارنده سوم در پژوهشکده خطرپذیری و مدیریت بحران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در سال ۱۳۹۴ دفاع شده است.

۲. کارشناس ارشد مهندسی عمران-زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله  
simin.asadzadeh7@gmail.com

۳. نویسنده مسئول؛

kamini@iiees.ac.ir

4. hosseini@iiees.ac.ir

۵. نک:

B. Tavakoli & M. Ghafory-Ashtiany, "Seismic Hazard Assessment of Iran".

6. R. Jigyasu, et al, *Heritage and Resilience: Issues and Opportunities for Reducing Disaster Risks*, pp. 22-23.

7. A. Keshavarzian, *Bazaar and State in Iran: The Politics of the Tehran Marketplace*, pp. 1-19.

### پرسش‌های پژوهش

۱. مهم‌ترین عوامل مؤثر در خطرپذیری زلزله در بافت‌های تاریخی با ارزش اقتصادی و فرهنگی کدام هستند؟
۲. آیا امکان کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در بافت‌های تاریخی، بدون انجام مداخلات کالبدی، میسر است؟
۳. با توجه به محدودیت امکانات و اعتبارات در بهسازی بافت‌های شهری و مشکلات مرتبط با اصلاحات اساسی و ساختاری در بافت‌های تاریخی، آیا می‌توان روشی برای تعیین اثربخشی مداخلات کاهش خطرپذیری و اولویت‌بندی تخصیص بهینه منابع در این نوع بافت‌ها عرضه کرد؟

قدمت و آسیب‌پذیری اغلب سازه‌های این بازارها در برابر زلزله و نیز تراکم جمعیت در آن‌ها در ساعاتی از شبانه‌روز، خطرپذیری لرزه‌ای در این بافت‌ها بسیار بالا ارزیابی می‌شود.<sup>۸</sup> همچنین ارزش‌های معنوی و تاریخی بازار و ارزش اقتصادی کالاهای تجاری موجود در آن‌ها نیز اهمیت این بافت‌های شهری را در ساختار اقتصادی-اجتماعی کشور آشکار می‌کند.<sup>۹</sup> از طرفی، انجام مداخلات کالبدی در بازارها معمولاً به‌سادگی میسر نیست. به دلیل وجود آثار ارزشمند تاریخی و جریان فعال اقتصادی و وابستگی اجتماعی و مذهبی افراد در این محدوده‌ها، همواره مقاومت‌هایی جدی مقابل ایجاد مداخلات اساسی در بازارها بوده است.<sup>۱۰</sup> از این رو برای هرگونه برنامه‌ریزی عملیاتی به منظور کاهش خطرپذیری لرزه‌ای بازارهای سنتی، باید علاوه بر در نظر داشتن ملاحظات کالبدی و فیزیکی، به جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، و حتی سیاسی انجام مداخلات نیز توجه کرد.

### ۱. پیشینه تحقیقاتی

در سال‌های اخیر مطالعاتی در زمینه تخمین آسیب‌پذیری و خطرپذیری مناطق شهری، بر اساس پارامترهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، و سایر پارامترهای مرتبط، انجام گرفته است. به طور مثال دیویسون و شاه در سال ۱۹۹۷، بر اساس ترکیب پنج شاخص خطر، معرضیت، آسیب‌پذیری، عوامل خارجی، و توان واکنش اضطراری، شاخص ریسک زلزله (EDRI) را عرضه کرده‌اند.<sup>۱۱</sup> کارنو و همکاران روشی برای ارزیابی جامع خطرپذیری مناطق شهری بیان کرده‌اند.<sup>۱۲</sup> در این روش علاوه بر خسارات فیزیکی و تلفات و خسارات اقتصادی، پارامترهای اجتماعی نیز در برآورد خطرپذیری تأثیر داده شده است. سپس باربات و همکاران و همچنین سالگادو و همکاران خطرپذیری لرزه‌ای در مناطق شهری را بر اساس تحلیل احتمالاتی بررسی کرده‌اند.<sup>۱۳</sup> در ایران نیز امینی حسینی و همکاران، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از معیارهای فنی و معیارهای اجتماعی و اقتصادی، خطرپذیری شهر تهران را برآورد کرده‌اند.<sup>۱۴</sup> معتمد نیز، با در نظر گرفتن تعدادی از شاخص‌های مربوط به خسارات فیزیکی و اجتماعی زلزله و با استفاده از یک روش بهینه‌سازی برای تشخیص بهینه عملیات لازم برای کاهش میزان خطرپذیری و خسارات مالی ناشی از زلزله، به بررسی پارامترهای آسیب‌پذیری و ارزیابی تخمین خسارات و تلفات ناشی از زلزله پرداخته و در انتها نرم‌افزاری برای ارزیابی خسارت مالی و خطرپذیری

۸. Hosseini, "Earthquake Risk Management in Historical and Old Urban Fabrics, Case Study of Tehran Bazaar", p. 3.
۹. نک: A. Assari, et al, "Comparative Sustainability of Bazaar in Iranian Traditional Cities: Case Studies in Isfahan and Tabriz".
۱۰. نک: A. Nejad Ebrahimi, "IMPACTS OF URBAN PASSAGES ON FORMATION OF IRANIAN BAZAARS: Case Study of the Historic Bazaar of Tabriz".
۱۱. نک: R. Davidson & H.C. Shah, "A Multidisciplinary Urban Earthquake Disaster Risk Index".
۱۲. نک: M.L. Carreño, et al, "Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach".
۱۳. نک: A.H. Barbat, et al, "Seismic Vulnerability and Risk Evaluation Methods for Urban Areas, A Review with Application to a Pilot Area"; M.A. Salgado-Gálvez, et al, "Urban Seismic Risk Index for Medellín, Colombia, Based on Probabilistic Loss and Casualties Estimations".

۱۴. نک: کامد امینی حسینی و همکاران، توسعه روش ارزیابی بافت‌های آسیب‌پذیر شهری در مناطق لرزه‌خیز (مطالعه موردی: بخشی از منطقه ۱۷ شهر تهران  
۱۵. نک: هومن معتمد، تعیین شاخص‌ها و توسعه مدل‌های ارتقاء سطح ایمنی شهر در برابر زلزله.  
۱۶. نک:

JICA, "The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran"; E. Zebardast & M.J. Koohsari, "Mapping Social Vulnerability to Earthquake Hazards by Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS in Tehran City"; محمد مهدی عزیزی و رضا اکبری، «ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله (مطالعه موردی: منطقه فرحزاد تهران)»؛ حسین کلاتتری و عارف آقاصفری، «راهبردهای احیای بافت تاریخی شهر اردکان با استفاده از تکنیک AHP»؛ سعید فلاح علی‌آبادی و همکاران، «ارزیابی آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS (مطالعه موردی: محله فهادان یزد)».  
۱۷. نک:

R.T. Walker et al, "The 2002 June 22 Changureh (Avaj) Earthquake in Qazvin Province, Northwest Iran".

مورد میزان آسیب‌پذیری بازار تهران با توجه به شرایط نامناسب دسترسی‌ها و نداشتن توانایی برای واکنش اضطراری بخصوص در برابر خطر آتش‌سوزی اشاره کرد.<sup>۲۵</sup> همچنین رضوی به نقش فضاهای باز در تهیه برنامه‌های کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در بافت بازار تاریخی قزوین پرداخته است.<sup>۲۶</sup> یوسل و آرون برنامه تخلیه اضطراری و افزایش ایمنی در برابر آتش‌سوزی در بازار بزرگ و تاریخی شهر استانبول را بررسی کرده‌اند.<sup>۲۷</sup> عالی‌قدر و همکاران نیز وضعیت تخلیه اضطراری در زمان وقوع حادثه در تیمچه بازار تاریخی تبریز را مورد بررسی قرار داده‌اند.<sup>۲۸</sup> در اکثر این مطالعات به چگونگی بهبود فرایند مدیریت واکنش اضطراری در بازارهای تاریخی (بخصوص با تأکید بر چگونگی بهبود دسترسی‌ها و برنامه‌ریزی برای تخلیه) پرداخته شده، ولی به طور جامع موضوع کاهش خطرپذیری لرزه‌ای مطالعه نشده است. در این مقاله تلاش شده است که مدلی جامع برای ارزیابی و کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در بازارهای سنتی با توجه به آسیب‌پذیری آن‌ها عرضه شود. در این مدل به شاخص‌های خطر، آسیب‌پذیری، و ظرفیت‌های مقابله در برابر زلزله در بازارها به مثابه المان‌های اصلی مدل توجه و رابطه آن‌ها با یکدیگر تعیین شده است. در این مدل، به مثابه الگوی ارزیابی میزان خطرپذیری لرزه‌ای در بازار سنتی اردبیل، شاخص خطرپذیری در ۳۰ بلوک بازار این شهر تعیین و رتبه‌بندی گردیده است. بر اساس این رتبه‌بندی اولویت‌های کاهش خطرپذیری در بلوک‌های مختلف بازار، با توجه به مؤلفه‌های مؤثر خطرپذیری لرزه‌ای تعیین شده است. در انتها نیز راهکارهایی اجرایی برای بهبود وضعیت موجود بیان شده است.

## ۲. چارچوب نظری و روش تحقیق

در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان خطرپذیری لرزه‌ای در بازارهای تاریخی، مدلی، که قابلیت در نظر گرفتن اثر همه شاخص‌های مرتبط را داشته باشد، عرضه گردیده است. بر این

زلزله در مناطق شهری تهیه کرده است.<sup>۱۵</sup> حاجی‌بابایی، با استفاده از شاخص‌های مرتبط با خطرپذیری و توان مقابله با زلزله و ترکیب وزنی آن‌ها، مدل جدیدی برای ارزیابی نسبی خطرپذیری زلزله در محیط‌های شهری عرضه و سپس این مدل را در مناطق تهران پیاده و با نتایج تحقیقات آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن مقایسه کرده است. از جمله دیگر مطالعات در موضوع تخمین میزان خطرپذیری لرزه‌ای در شهرهای ایران می‌توان به تحقیقات جایکا، زبردست و کوهساری، عزیزی و اکبری، کلاتتری و آقاصفری، و فلاح علی‌آبادی و همکاران اشاره کرد.<sup>۱۶</sup>

هرچند در مطالعات فوق معیارهایی برای ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای بافت‌های شهری بیان شده است؛ لیکن در هیچ‌یک از آن‌ها به موضوع بافت‌های تاریخی و ارزشمند شهری توجه نشده است. رخداد زلزله‌های اخیر در ایران، نظیر زلزله سال ۱۳۸۱ اوج (آسیب‌دیدگی برج‌های دوقلوی خرقان<sup>۱۷</sup>)، زلزله ۱۳۸۲ بم (آسیب ارگ بم و بافت‌های تاریخی شهر<sup>۱۸</sup>) و زلزله‌های جهانی همانند زلزله ۲۰۰۹ ایتالیا (خرابی ساختمان‌های تاریخی در منطقه لاکویلا<sup>۱۹</sup>) و زلزله ۲۰۱۰ هائیتی (ویرانی آثار باستانی و زیرساخت‌های فرهنگی هائیتی<sup>۲۰</sup>)، که ویرانی آثار باستانی زیادی را در پی داشتند، ضرورت تهیه طرح‌های جامع پیشگیری و مدیریت بحران در محدوده بافت‌های فرهنگی و تاریخی شهرها را بیش از پیش آشکار کردند. بر این اساس در دهه اخیر موضوع کاهش اثرات سوانح طبیعی در این بافت‌ها توجه ویژه بسیاری از کشورها و نیز مراجع رسمی ذی‌ربط نظیر<sup>۲۱</sup> UNESCO، ICCROM،<sup>۲۲</sup> و ICOMOS<sup>۲۳</sup> را به خود جلب کرده است و تحقیقاتی در این مورد انجام شده یا در دست انجام است.

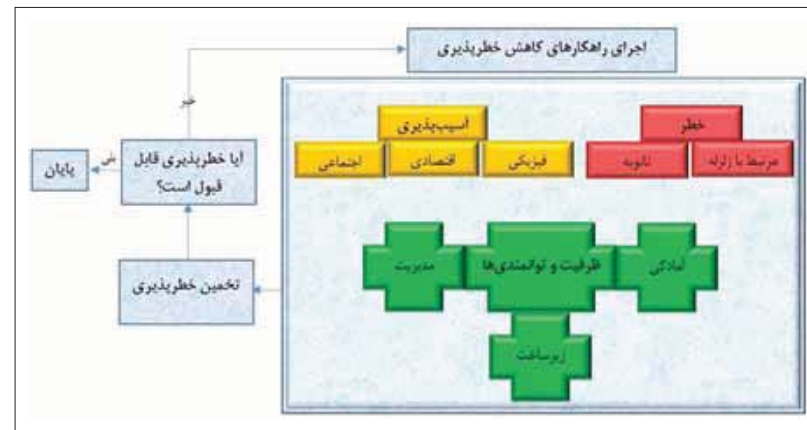
در همین چارچوب در خصوص بازارهای تاریخی نیز مطالعات اندکی در حوزه مدیریت جامع بحران و کاهش خطرپذیری انجام شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیقی در



ت ۱ (بالا). نمودار روند عملیاتی ارزیابی خطرپذیری زلزله در این پژوهش، تنظیم و ترسیم فلوجارت: سیمین اسدزاده ترهباری. ت ۲ (پایین). مؤلفه‌ها و معیارهای شاخص خطر زلزله و ضرایب وزنی آن‌ها، برآورد و تدوین: نگارندگان.

اساس میزان خطرپذیری با استفاده از شاخص‌های خطر زلزله، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، ظرفیت و توانمندی‌های محلی، و ترکیب وزنی آن‌ها ارزیابی شده است. بدین منظور پرسش‌نامه‌ای تخصصی برای تعیین عوامل مختلف در خطرپذیری لرزه‌ای بافت‌های تاریخی و ارزیابی میزان تأثیر آن‌ها طراحی گردید و وزن هر یک از مؤلفه‌ها و معیارها با توجه به میزان اهمیت در برآورد خطرپذیری زلزله در بافت‌های باارزش تاریخی و تجاری با بهره‌گیری از نظر کارشناسان تعیین گردید. به دلیل تعداد زیاد مؤلفه‌ها، برای ارزیابی میزان تأثیر هر شاخص و مؤلفه بر روی شاخص خطرپذیری از روش AHP استفاده شده است.<sup>۲۹</sup>

در «ت ۱» چارچوب ارزیابی خطرپذیری زلزله در این مدل نشان داده شده است و در ادامه مقاله مراحل آن و نحوه تعیین شاخص‌های مختلف در قسمت‌های ذیل توضیح داده شده‌اند.



شاخص	مؤلفه‌های خطر	وزن	معیارهای تأثیرگذار خطر	وزن
خطر	خطرات مرتبط با زلزله	۰/۵۵	شتاب زلزله	۰/۷
			مخاطرات زمین‌شناختی مرتبط	۰/۳
	مخاطرات ثانویه	۰/۴۵	آتش‌سوزی	۰/۷
			مصالح و اقلام خطرناک	۰/۳

## ۱.۲. مرحله اول: شاخص خطر زلزله

در هنگام وقوع زلزله علاوه بر جنبش شدید زمین، خطرات دیگری از قبیل روان‌گرایی، گسلش سطحی، زمین‌لغزش، فرونشست، و خطرات ثانویه نظیر انفجار، آتش‌سوزی، و نشست مواد خطرناک محیط شهری و اجزای آن را تهدید می‌کنند. علاوه بر این هر یک از این مخاطرات اثراتی مختلف و مخصوص به خود بر هر یک از المان‌های شهری (نظیر ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها، و شریان‌های حیاتی) و همچنین جمعیت و اقتصاد دارد. بر این اساس، در این پژوهش ۴ گروه مخاطرات، که احتمال وقوع آن‌ها در اثر زلزله بیشتر در کشور هست، بررسی شده است. چنانچه در «ت ۲» مشاهده می‌شود، این مخاطرات شامل جنبش زمین (شتاب)، مخاطرات زمین‌شناختی (شامل گسلش سطحی، فرونشست زمین، و روان‌گرایی که با توجه به شباهت زیاد آن‌ها در اثرگذاری بر روی المان‌های شهری در یک گروه مجزا قرار داده شده‌اند)، آتش‌سوزی، و فاکتور مصالح و اقلام خطرناک می‌شود. این جدول همچنین ضرایب وزنی مرتبط با مؤلفه‌ها و معیارهای تأثیرگذار برای ارزیابی کمی را نشان می‌دهد. این ضرایب وزنی با توجه به پرسش‌نامه طراحی شده بر اساس نظر کارشناسان و قضاوت مهندسی به منظور تعیین میزان اثرگذاری هر مؤلفه بر شاخص مربوطه با استفاده از روش AHP برآورد شده‌اند.

## ۲.۲. مرحله دوم: شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای

آسیب‌پذیری عمدتاً یک ویژگی ذاتی از جامعه، زیرساخت‌ها، سیستم اقتصادی، و شرایط محیطی در نظر گرفته می‌شود.<sup>۳۰</sup> در این پژوهش، با توجه به مطالعات انجام‌گرفته در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های تاریخی با ارزش اقتصادی، آسیب‌پذیری لرزه‌ای به سه گروه آسیب‌پذیری فیزیکی، آسیب‌پذیری اقتصادی و آسیب‌پذیری اجتماعی تقسیم شده است. با توجه به اهمیت عامل انسانی در میزان آسیب‌پذیری، به نظر می‌رسد که با شاخص‌های بیان‌شده در بخش اجتماعی بتوان تا حدودی برخی از ابعاد انسانی تأثیرگذار در میزان خطرپذیری را آشکار کرد. در «ت ۳» سه



شاخص برابر ۱ است. در ادامه روش‌های ارزیابی کمی مؤلفه‌ها بیان شده است.

## ۲.۵. مرحله پنجم: مدل ارزیابی شاخص کلی خطرپذیری زلزله

در حالت کلی خطرپذیری زلزله از حاصل ضرب خطر زلزله در آسیب‌پذیری طبق «رابطه ۲» به دست می‌آید.<sup>۳۱</sup>

(۲)

$$R = H \times V$$

در این رابطه R معرف خطرپذیری، H معرف خطر، و V معرف آسیب‌پذیری است. همان‌طور که در این رابطه مشهود است، برای کاهش خطرپذیری زلزله باید خطر یا آسیب‌پذیری را کاهش دهیم.

Reality of UNESCO World Heritage in Danger, B.J. Adams, et al, The Bam (Iran) Earthquake of December 26, 2003.

ت ۳. مؤلفه‌ها و معیارهای شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای و ضرایب وزنی آن‌ها، برآورد و تدوین: نگارندگان.

وزن	معیارهای آسیب‌پذیری	وزن	زیرمعیارهای تأثیرگذار	وزن
۰/۷	ساختمان‌ها	۰/۷	بافت‌های سنتی	۰/۷
			بافت‌های جدید	۰/۳
۰/۳	شریان‌های حیاتی	۰/۳	آب	۰/۲
			گاز	۰/۴
			گذرگاه‌ها و معابر	۰/۴
۰/۲۵	ارزش‌های غیر مادی (تاریخی-معنوی)	۰/۴	۰/۲۵	
			ارزش‌های مادی	۰/۴۵
			ارزش‌های مادی و دارایی‌های تاریخی	۰/۵۵
اشتغال		۰/۳۵		
تراکم جمعیت		۰/۳		
۰/۵	اختلالات اجتماعی (ناهنجاری‌های اجتماعی)	۰/۵	۰/۲	
			تلفات و مصدومین	۰/۳
			تلفات	۰/۶
تلفات و مصدومین		۰/۵		
تلفات و مصدومین شدید		۰/۶		
تلفات و مصدومین سربایی		۰/۱		

شاخص آسیب‌پذیری و مؤلفه‌ها و معیارهای تأثیرگذار بر آن‌ها و ضرایب وزنی مرتبط با هریک، بر اساس نظرات متخصصین حوزه‌های ذی‌ربط و قضاوت مهندسی، نشان داده شده است.

## ۲.۳. مرحله سوم: شاخص ظرفیت‌ها و توانمندی‌های محلی

این شاخص شامل شرایط، ظرفیت‌ها، و امکانات موجود در منطقه است که به منظور کنترل و کاهش خطرپذیری زلزله در محیط شهری به کار گرفته می‌شوند. در این خصوص در پژوهش حاضر این شاخص در سه گروه آمادگی، مدیریت و برنامه‌ریزی، و زیرساخت‌ها تقسیم‌بندی شده است. همان‌طور که در جدول «ت ۴» دیده می‌شود، در حوزه آمادگی نیز برخی از جنبه‌های عامل انسانی در ارزیابی خطرپذیری اشاره می‌شود. در جدول مذکور مؤلفه‌های بیان شده در این پژوهش به منظور ارزیابی کمی این شاخص به همراه ضرایب وزنی‌شان نشان داده شده است. با ارتقای آمادگی و انجام برخی فعالیت‌های مدیریتی صحیح و به‌کارگیری زیرساخت‌های موجود می‌توان میزان خطرپذیری زلزله را کاهش داد.

## ۲.۴. مرحله چهارم: روش ترکیب وزنی برای ارزیابی شاخص‌ها

برای ارزیابی شاخص‌های خطر، آسیب‌پذیری، و ظرفیت‌ها و توانمندی‌های محلی از روش ترکیب وزنی مؤلفه‌ها و معیارها طبق «رابطه ۱» استفاده شده است.

(۱)

$$I_i = \sum_{k=1}^n W_{k_i} \times \text{indicator value } (k_i) \quad \text{Note: } \sum_{k=1}^n W_{k_i} = 1$$

در این رابطه I<sub>i</sub> معرف شاخص مورد ارزیابی است. پارامتر n تعداد مؤلفه‌ها یا معیارهای هریک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد و W بیانگر وزن هر مؤلفه یا معیار است و مجموع آن‌ها در هر

۱۹. نک:

C. Modena, et al, "Cultural Heritage Buildings and the Abruzzo Earthquake".

۲۰. نک:

N. Barbacci, *Preserving Haiti's Gingerbread Houses*.  
 21. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization  
 22. International Centre for the Conservation and Restoration of Monuments  
 23. International Cooperative Research Project  
 24. International Council On Monuments and Sites

ت ۴. مؤلفه‌ها و معیارهای شاخص ظرفیت‌ها و توانمندی‌های محلی و ضرایب وزنی آن‌ها، برآورد و تدوین: نگارندگان.

راهکار دیگری که برای کاهش خطرپذیری لرزه‌ای می‌تواند مورد توجه باشد، ظرفیت‌سازی و بهبود اقدامات مدیریتی، ارتقای آمادگی، و استفاده صحیح از زیرساخت‌ها است. بر این اساس در این پژوهش شاخص کلی خطرپذیری لرزه‌ای از «رابطه ۳» برآورد می‌شود.

(۳)

$$R = \frac{H \times V}{-1 \times \ln(C)}$$

در این رابطه اثر شاخص ظرفیت‌ها و توان‌مندی‌های محلی (C) در برابر زلزله در غالب یک تابع لگاریتم طبیعی در نظر گرفته شده است. ویژگی «رابطه ۳» این است که با افزایش مقدار C شیب منحنی آن کاهش می‌یابد. همچنین این کاهش شیب با افزایش مقدار C کمتر می‌شود. در واقع تأثیر افزایش ظرفیت در مناطق با C کمتر اثر بیشتری بر کاهش مقدار کلی خطرپذیری زلزله نسبت به همین افزایش در مناطق با C بیشتر خواهد داشت که این موضوع با ارزیابی تجارب اقدامات قبلی در ایران و سایر نقاط جهان نیز همخوانی دارد.

### ۳. اجرای مدل در بازار تاریخی اردبیل

#### ۳.۱. معرفی محدوده مورد مطالعه

بنای فعلی بازار اردبیل از جمله آثار دوره صفویه و زندیه است که بر

بنیان اولیه بازار ساخته شده است. قسمت عمده این بازار در تغییرات شهری نیم‌قرن گذشته تخریب شد و ارتباط بعضی از بخش‌های آن با مرکز بازار از بین رفت. مجموعه بازار تاریخی اردبیل در سال ۱۳۶۴ از سوی سازمان میراث فرهنگی مرمت و با شماره ۱۶۹۰ در فهرست آثار ملی کشور ثبت شد<sup>۳۲</sup>. «ت ۵» نماهایی از محوطه و موقعیت خروجی‌های راسته‌های بازار تاریخی اردبیل را نشان می‌دهد.

#### ۳.۲. وضعیت لرزه‌خیزی و خطر زلزله در محدوده مورد مطالعه

شهر اردبیل واقع در شمال غربی ایران در یکی از مناطق لرزه‌خیز کشور واقع است که در طول تاریخ بارها در اثر زلزله‌های ویرانگر آسیب‌های جدی دیده است. از جمله زلزله‌های تاریخی رخ داده در آن می‌توان به زلزله‌های سال ۱۱۰۰ جنوب خاور تبریز، ۱۲۲۳ میانه-گرمرو، ۱۲۴۲ هیر-اردبیل، و ۱۲۵۸ بزگوش-گرمرو اشاره کرد<sup>۳۳</sup>. در سال ۱۹۹۷ نیز شهر اردبیل در اثر زلزله‌ای قدرتمند آسیب‌های مالی و جانی زیادی متحمل شد<sup>۳۴</sup>. علاوه بر سابقه لرزه‌خیزی، وجود گسل‌های فعال<sup>۳۵</sup>، از جمله گسل شمال بزگوش، گسل تالش، گسل سنگاور، و... در منطقه وضعیت خطر زلزله را در این شهر بیشتر نمایان می‌کند. در «ت ۶» گسل‌های فعال اردبیل در فاصله ۱۵۰ کیلومتری از اردبیل نشان داده شده است.

برای برآورد بیشینه شتاب سطح زمین در محله بازار اردبیل از روش تحلیل خطر تعیینی زمین‌لرزه استفاده شده است. به این ترتیب بعد از شناسایی گسل‌های فعال منطقه و به دست آوردن بزرگای هر گسل، با استفاده از رابطه کاهندگی مناسب منطقه<sup>۳۶</sup> حداکثر شتاب منطقه که مربوط به گسل بزگوش با  $PGA=0.31g$  است، محاسبه شد.

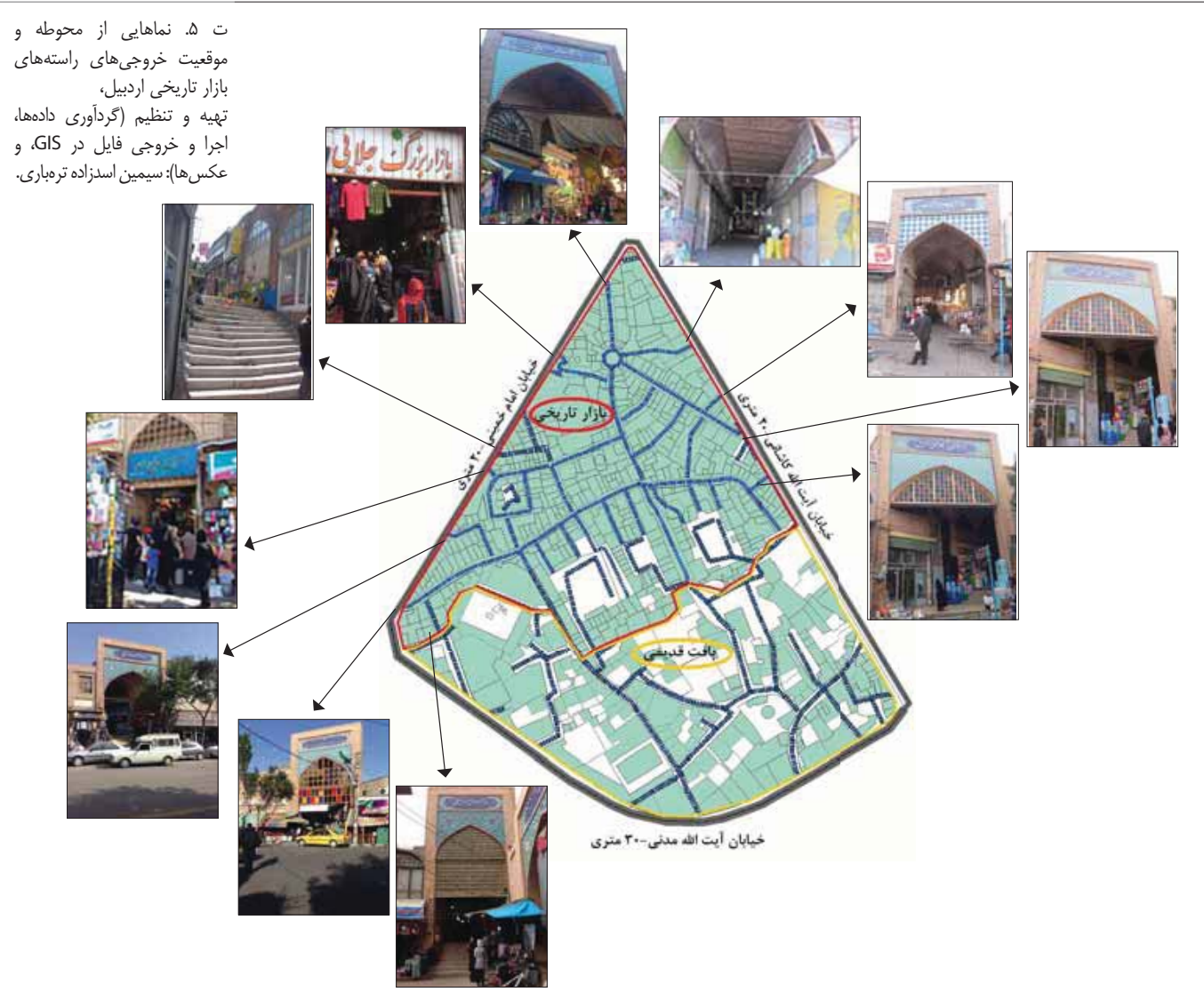
#### ۳.۳. برآورد وضعیت خسارات و صدمات جانی

##### زلزله سناریو در منطقه بازار اردبیل

تقریباً همه روش‌های ارزیابی صدمات ناشی از زلزله در

شاخص	مؤلفه‌های ظرفیت‌ها	وزن	معیارهای تأثیرگذار	وزن
ظرفیت‌ها و توانمندی‌های محلی	آمادگی	۰/۲۸	آمادگی بازدید کنندگان	۰/۱
			آمادگی کسبه و مسئولان محلی	۰/۴
			همبستگی و ارتباطات اجتماعی	۰/۵
	مدیریت و برنامه‌ریزی	۰/۳۲	مدیریت توانمند	۰/۵۵
			وجود برنامه‌های واکنش اضطراری تمرین شده	۰/۴۵
			امکانات واکنش اضطراری (اطفای حریق و ...)	۰/۳۳
زیرساخت‌ها	۰/۴	راه‌های گریز	۰/۳۴	
		فضاهای باز	۰/۳۳	

شهرها بر جمع‌آوری اطلاعات ساختمان‌های آسیب‌دیده و یا مدل‌سازی ریاضی رفتار ساختمان‌ها و تحلیل آن‌ها تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای استوار هستند.<sup>۳۷</sup> در این پژوهش ویژگی‌های ساختمان‌های منطقه بازار طبق دسته‌بندی آژانس همکاری‌های



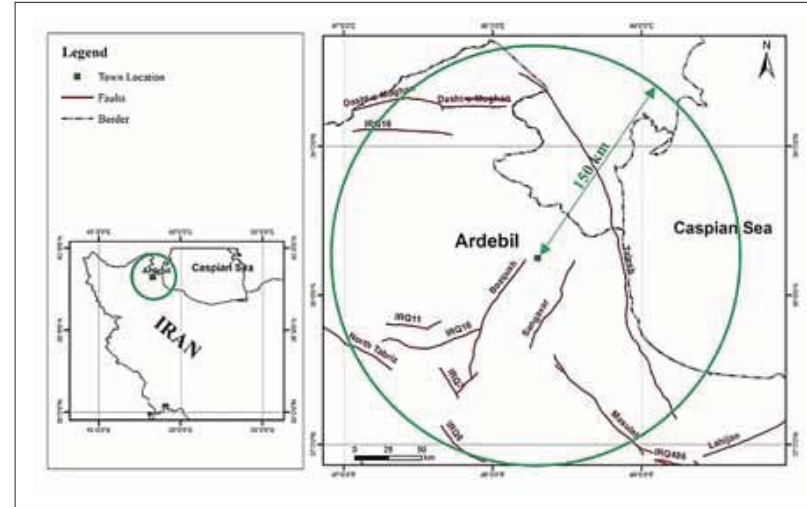
بین‌المللی ژاپن (جایکا) به ۹ گروه تقسیم شده است:

- ۱) سازه‌های آجر و فولادی و سنگ و فولادی،
- ۲) سازه‌های فولادی نوع یک،
- ۳) سازه‌های فولادی نوع دو،

- ۴) سازه‌های بتن مسلح نوع صفر،
- ۵) سازه‌های بتن مسلح نوع یک،
- ۶) سازه‌های بتن مسلح نوع دو،
- ۷) سازه تمام چوبی،

- ۸) بلوک سیمانی با هر نوع سقف، آجر و چوب یا سنگ و چوب، تمام آجر یا سنگ و آجر،
  - ۹) سازه‌های خشت و چوبی، خشت و گلی.
- وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های هر بلوک بر اساس نوع سازه ساختمان‌ها و طبق نمودارهای شکنندگی مطابق «ت ۷» است.

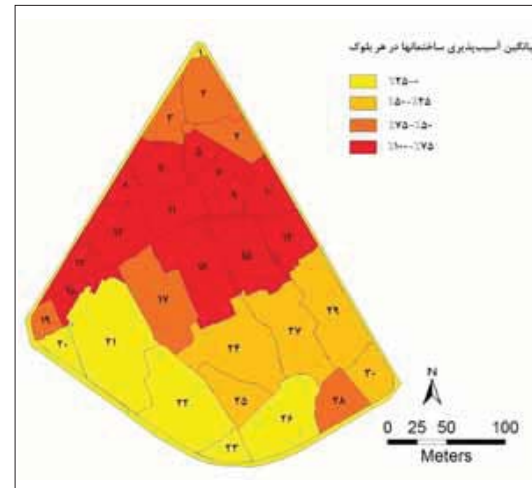
برای برآورد تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله در منطقه بازار اردبیل از روش کوبرن و همکاران و برای برآورد تعداد مصدومین شدید و مصدومین سرپایی یا سالم از روش منصوری و همکاران استفاده شده است.<sup>۳۸</sup> با توجه به اینکه خسارت‌های کالبدی با روش جایکا و برای خرابی شدید به دست آمده، میزان تلفات نیز فقط برای حالت خسارت شدید محاسبه شده است. در «ت ۸» برآورد تعداد تلفات انسانی در ساعت ۱۲ ظهر که بیشترین تعداد



ت ۶ (بالا). گسل‌های فعال اردبیل در فاصله ۱۵۰ کیلومتری از اردبیل، تهیه و تنظیم: سیمین اسنژاده تره‌باری بر اساس Hessami, et al, Revised Version of Active Fault Maps of Iran.

ت ۷ (پایین، راست). وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های هر بلوک‌ها در منطقه بازار اردبیل بر اساس نوع سازه ساختمان‌ها و توابع شکنندگی، گردآوری و تحلیل داده‌ها در GIS: س. اسنژاده تره‌باری. ت ۸ (پایین، چپ). برآورد تعداد تلفات انسانی در محدوده مورد مطالعه در سناریو ۱۲ ظهر و برای انواع مختلف امدادسانی، برآورد و تدوین: نگارندگان.

ساعت ۱۲ ظهر (جمعیت تحت تأثیر ۴۴۹۶)			
نوع امدادسانی	کشته‌شدگان	مصدومین شدید	مصدومین سرپایی یا سالم
بدون هیچ‌گونه امدادسانی	۱۰۳۹ نفر	۱۰۸۲ نفر	۲۳۷۵ نفر
	٪۲۳	٪۲۴	٪۵۳
امدادسانی مردمی	۸۸۹ نفر	۱۱۱۴ نفر	۲۴۹۳ نفر
	٪۲۰	٪۲۵	٪۵۵
امدادسانی مردمی و گروه‌های امداد	۸۳۰ نفر	۱۱۲۷ نفر	۲۵۳۹ نفر
	٪۱۸	٪۲۵	٪۵۷
امدادسانی مردمی و گروه‌های امداد و کارشناسان	۸۰۵ نفر	۱۱۳۲ نفر	۲۵۵۹ نفر
	٪۱۸	٪۲۵	٪۵۷





25. K. Amini Hosseini, *Golestan Palace, Tehran Bazaar and Their Surrounding Old Urban Fabrics in Tehran*, pp. 30-33. نك: ۲۶.
- H.S.N. Razavi, "The Critical Role of Open Space in Hazard Mitigation (Earthquake) in Traditional Commercial Spaces". نك: ۲۷.
- G. Yücel & G. Arun, "Istanbul Grand Bazaar Evacuation System Vulnerability Assessment". نك: ۲۸.
- S. Alighadar, et al, *Emergency Evacuation during a Disaster, Study Case*. نك: ۲۹.
- سلسله‌مراتبی AHP، علیرضا فلاحی، خطرپذیری، آسیب‌پذیری و خسارات، ص ۸۱. نك: ۳۰.
- D.J. Dowrick, *Earthquake Resistant Design*. نك: ۳۱.
- R. Masoudi Nejad, "Social Bazaar and Commercial Bazaar". نك: ۳۲.
- R. Masoudi Nejad, "Social Bazaar and Commercial Bazaar". نك: ۳۳.
- ن.ن. امیرسبیز و چ ملویل، تاریخ زمین لرزه‌های ایران. نك: ۳۴.
- M. Ghafory-Ashtiani, "Rescue Operation and Reconstruction of Recent Earthquakes in Iran".

برای ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری، مؤلفه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها مطابق بخش «۳.۳» محاسبه شده است (ت ۹). آسیب‌پذیری مؤلفه شبکه آب، با توجه به جنس و ضخامت لوله‌ها، به‌ترتیب در ۵ گروه پلی‌اتیلن، فولادی با اتصال فلنچی، چدنی با اتصال تایتون، بتنی با ضخامت کمتر از ۳۰ سانتی‌متر، و بتنی با ضخامت بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر دسته‌بندی شده‌اند. آسیب‌پذیری مؤلفه شبکه گاز با توجه به سن لوله‌ها از ۵ تا ۳۰ سال در ۵ گروه دسته‌بندی شده است. آسیب‌پذیری مؤلفه گذرگاه‌ها و معابر وابسته به عرض و طول معبر در هر بلوک است. راهروهای بازار با توجه به موقعیت دسترسی به خروجی‌های بازار به سه دسته راهرو ۱ (نزدیک به خروجی اصلی)، راهرو ۲ (نزدیک به خروجی فرعی)، راهرو ۳ (راهرو داخلی) تقسیم‌بندی شده‌اند. کوچه‌های محدوده مورد مطالعه نیز بسته به عرض دسترسی شامل ۵ دسته صفر تا ۲ متر، ۲ تا ۴ متر، ۴ تا ۶ متر، ۶ تا ۸ متر، و بیش از ۸ متر است. تراکم جمعیت هر بلوک با توجه به تعداد آن‌ها در هر بلوک دسته‌بندی شده است. میزان تلفات و مصدومین نیز با توجه به تعداد محاسبه‌شده آن‌ها طبق بخش «۳.۳» این مقاله در هر بلوک ارزش‌گذاری شده است. بر اساس مقادیر کمی به‌دست‌آمده برای هر مؤلفه ارزش هر معیار بین صفر تا ۱ تعیین و نرمالیزه می‌شود.

در بخش ظرفیت و توانمندی‌های محلی نیز پارامترهای مورد استفاده در جدول (ت ۹) نشان داده شده است. در منطقه مورد مطالعه با توجه به اینکه هیچ‌گونه علائم و راهنما و یا اقدامی برای آشنایی و آمادگی بازدیدکنندگان در زمان وقوع زلزله وجود ندارد، ارزش این مؤلفه در اکثر بلوک‌ها خیلی کم است. همچنین با توجه به اینکه هیچ‌گونه اقدامی برای ارتقای آمادگی کسبه و مسئولان محلی انجام نگرفته است، ارزش کمی این معیار نیز خیلی کم در نظر گرفته شده است؛ البته در بعضی از بلوک‌ها، که ساختمان با کاربری آموزشی هست، ارزش این معیار در بلوک متوسط فرض شده است. قدمت زیاد منطقه

در ساختمان‌ها با سازه‌های ضعیف پراکنده هستند، برای انواع مختلف امداد رسانی نشان داده شده است.

### ۴.۳. ارزیابی کمی شاخص‌های خطرپذیری در بازار اردبیل

به منظور ارزیابی شاخص خطر باید مقدار کمی مؤلفه‌های تأثیرگذار در این شاخص برآورد شود (ت ۹). در این مقاله حداکثر شتاب زلزله با روش تحلیل خطر تعیینی زمین‌لرزه برآورد شده است که نحوه محاسبه آن قبلاً توضیح داده شد. مخاطرات زمین‌شناختی نیز بر اساس نقشه‌های گسلش سطحی و زمین‌لغزش و بررسی نوع خاک منطقه برای ارزیابی احتمال روان‌گرایی و فرونشست تعیین شده است. در این پژوهش پارامتر آتش‌سوزی یک فاکتور خطر جداگانه قلمداد و بررسی شده است و احتمال آتش‌سوزی با توجه به امکان آسیب دیدن شبکه برق (EH)، شبکه گاز (GH)، و اشتعال‌زایی مواد قابل اشتعال (FMH) با توجه به صنف‌های موجود در بخش‌های داخلی و خارجی بازار طبق «رابطه ۴» تعیین شده است.

(۴)

$$\text{Indicator value: } \sum EH + GH + FMH$$

همچنین خطرهای ثانویه‌ای که وسایل و تجهیزات موجود در برخی از مغازه‌ها ایجاد می‌کنند (MEH) و میزان خطر را افزایش می‌دهند (مانند اشیای شکستنی نظیر شیشه و ظروف یا اقلام سنگین معلق نظیر آهن‌آلات)، یا وجود الحاقات و نماهای ساختمان‌ها (EFH)، در قالب یک فاکتور خطر جداگانه با عنوان خطرات ناشی از مصالح و اقلام خطرناک طبق «رابطه ۵» تعیین شده است.

(۵)

$$\text{Indicator value: } \sum MEH + EFH$$

بر اساس مقادیر کمی به‌دست‌آمده برای هر مؤلفه، ارزش هر معیار بین ۰ تا ۱ تعیین و نرمالیزه شده است.



ت ۹. روش ارزیابی کمی مؤلفه‌های تأثیرگذار در شاخص‌های خطر، آسیب‌پذیری، ظرفیت‌ها و توانمندی‌ها، تدوین: نگارندگان.

مورد مطالعه سبب شده است که افراد محله تا حدود زیادی با هم آشنا باشند و ارتباط اجتماعی زیادی با هم داشته باشند و بنا بر این میزان همبستگی وضعیت نسبتاً خوبی دارد. همچنین بررسی وضع موجود نشان داد که هیچ‌گونه برنامه مدیریتی برای زمان بحران در این منطقه تدوین نشده است و فقط می‌توان وجود ساختمان‌های آموزشی- مذهبی و درمانی را به منزله

مؤلفه شاخص خطر	روش ارزیابی کمی
شتاب زلزله (g)	بر اساس PGA منطقه
مخاطرات زمین‌شناسی	نقشه‌های گسلش سطحی و زمین‌لغزش و بررسی نوع خاک منطقه
آتش‌سوزی	وضعیت شبکه برق و نوع صنف مغازه‌ها
مصالح و اقلام خطرناک	خطر وسایل و تجهیزات مغازه‌ها و الحاقات و نمای ساختمان‌ها
مؤلفه شاخص آسیب‌پذیری	روش ارزیابی کمی
بافت‌های سنتی	سال ساخت و نوع سازه ساختمان‌ها
بافت‌های جدید	سال ساخت و نوع سازه ساختمان‌ها
آب	جنس و ضخامت لوله‌ها
گاز	قدمت لوله‌ها
گذرگاه‌ها و معابر	عرض معبر و طول معبر
ارزش‌های غیر مادی	وجود بناهای تاریخی و معنوی
ارزش اموال و دارایی‌های تاریخی	دارا بودن اموال تاریخی
ارزش اموال تجاری و سایر دارایی‌ها	نوع صنف مغازه‌ها
اشتغال	نوع کاربری
تراکم جمعیت	تعداد افراد
اختلالات اجتماعی	ایمنی و صنف مغازه‌ها
کشته‌شدگان	تعداد کشته
مصدومین شدید	تعداد مصدوم شدید
مصدومین سرپایی	تعداد مصدوم سرپایی
مؤلفه شاخص ظرفیت و توانمندی‌ها	روش ارزیابی کمی
آمادگی بازدیدکنندگان	علائم و راهنما و اقدام برای آشنایی محل
آمادگی کسبه و مسئولان محلی	اقدام برای ارتقای آمادگی
همبستگی و ارتباطات اجتماعی	قدمت محله و صمیمیت و رابطه اجتماعی افراد
مدیریت توانمند	وجود مدیر در محله
وجود برنامه‌های واکنش اضطراری تمرین شده	برنامه مدیریتی و کاربری ساختمان‌ها
امکانات واکنش اضطراری	شیرهای آتش‌نشانی و کاربری‌های ساختمان‌ها
راه‌های گریز	عرض معبر و شعاع دسترسی هر بلوک به فضای باز
فضاهای باز	شعاع دسترسی هر بلوک به فضای باز

ظرفیت‌هایی به منظور ایجاد مدیریت در بافت‌های مرتبط در نظر گرفت. شیرهای آتش‌نشانی، بیمارستان، و ساختمان‌هایی با کاربری آموزشی- مذهبی نیز می‌توانند امکانات واکنش اضطراری در منطقه محسوب شوند و با توجه به موقعیت آن‌ها می‌توان ارزش کمی هر بلوک را مشخص کرد.

در «ت ۱۰» مقدار نهایی شاخص‌های خطر، آسیب‌پذیری، ظرفیت‌ها، و توانمندی محلی در بلوک‌های مختلف بازار اردبیل نشان داده شده است. همچنین شاخص خطرپذیری زلزله در این محدوده، که بر اساس «رابطه ۳» محاسبه شده است، نیز در این شکل نشان داده شده است.

مطابق «ت ۱۰» بلوک‌های بخش شمالی و غربی، به دلیل خطر و آسیب‌پذیری بیشتر و فقدان ظرفیت‌های کافی، برای مقابله از خطرپذیری لرزه‌ای بیشتری نسبت به سایر بلوک‌ها برخوردارند. بخش‌های جنوبی نیز، به علت بیشتر بودن ظرفیت‌ها، میزان خطرپذیری لرزه‌ای کمتری دارند.

می‌توان با انجام برخی از مداخلات در حوزه مدیریتی و ظرفیت‌سازی (چه نرم‌افزاری و چه سخت‌افزاری) وضعیت موجود را، با توجه به اولویت‌هایی که از محاسبات فوق حاصل شده است، بهبود بخشید. در ادامه برخی راهکارهای مدیریتی در این خصوص مطرح و آزمون خواهند شد تا بتوان، در کمترین زمان و با صرف هزینه قابل قبول، بیشترین تأثیر را در کاهش خطرپذیری لرزه‌ای اعمال کرد.

### ۳.۵. راهکار پیشنهادی برای کاهش خطرپذیری و بهبود مدیریت بحران زلزله در بازار اردبیل

با توجه به ماهیت تاریخی- تجاری بازارهای سنتی، از جمله بازار اردبیل، همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، انجام مداخلات کالبدی در این بافت‌ها می‌تواند تبعات گسترده اقتصادی و اجتماعی داشته باشد، پس کاهش آسیب‌پذیری این بافت‌ها

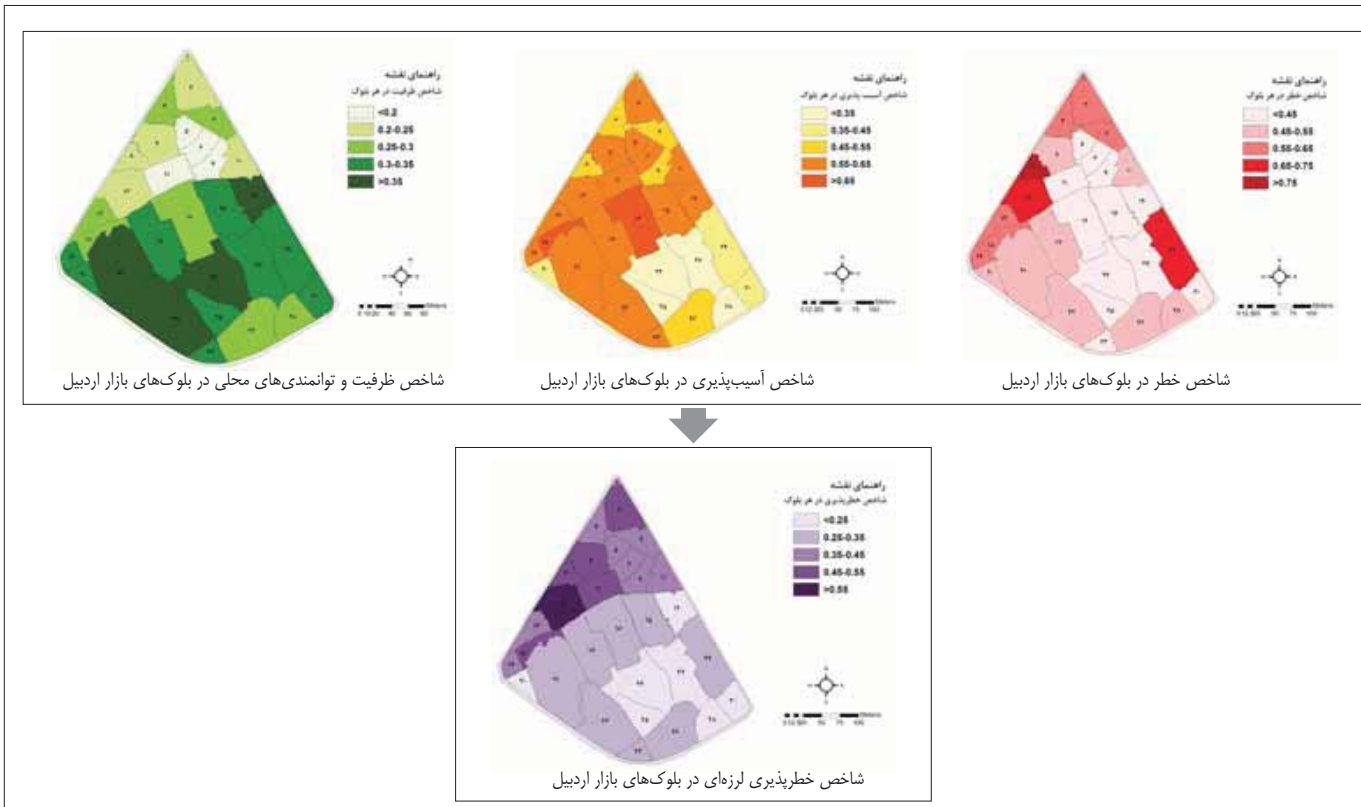
اجرای صحیح و جامع این برنامه‌ها باید نقش مردم، نهادها، و سازمان‌های مختلف با توجه به ظرفیت آن‌ها به‌درستی تعیین گردد و افراد و مسئولان به طور کامل با محتوای این برنامه‌ها آشنا شوند.

با توجه به موقعیت منطقه بازار اردبیل، تغییر صنف کاربری‌ها و یا بهسازی و مقاوم‌سازی مستحکات موجود نیازمند اجرای برنامه‌های بلندمدت و صرف هزینه‌های زیاد است که در برخی موارد، به علت مسائل اجتماعی و اقتصادی، امکان‌پذیر نیست. بر این اساس با توجه به وضعیت منطقه مورد مطالعه و ارزیابی نتایج تحلیل‌های انجام‌شده در این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که

با انجام اصلاحات ساختاری (نظیر تخریب و نوسازی، تعریض معابر، ... ) به‌راحتی میسر نیست؛ به همین دلیل در این پژوهش تلاش شده است، تا به منظور کاهش خطرپذیری لرزه‌ای منطقه بازار اردبیل، راهکارهایی بیان گردد که قابلیت اجرایی داشته باشند. چنین راهکارهایی باید از نظر صرف زمان و هزینه در کوتاه‌مدت قابل اجرا باشد و بتواند بیشترین اثرگذاری را در کاهش تلفات و خسارات زلزله داشته باشد.

هدف از پیشنهاد این راهکارها در درجه اول کاهش تعداد تلفات و مصدومین زلزله و در درجه دوم کاهش خسارات ناشی از مخاطراتی نظیر تخریب مستحکات و آتش‌سوزی است. برای

ت ۱۰. برآورد شاخص خطرپذیری لرزه‌ای در بلوک‌های بازار اردبیل، گردآوری و تحلیل داده‌ها در GIS: س. اسدزاده تره‌باری.

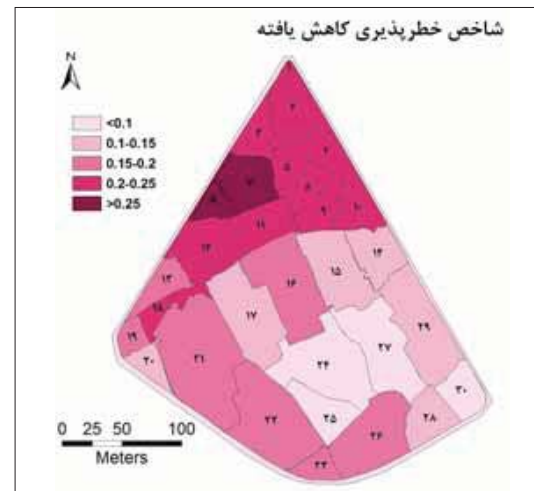


همان‌طور که در شکل یادشده مشهود است، شاخص خطرپذیری با اعمال راهکارهای پیشنهادی در بلوک‌های بازار اردبیل تقریباً به نصف کاهش یافته است. در این بین ظرفیت‌سازی، در قالب انجام اقدامات نرم‌افزاری، بیشترین تأثیر را در کاهش این شاخص در همه بلوک‌ها دارد. در بلوک ۱۲ (که بحرانی‌ترین بلوک از حیث خطرپذیری لرزه‌ای است)، به علت دارا بودن قابلیت ظرفیت‌سازی در بعد سخت‌افزاری، بیشترین مقدار کاهش خطرپذیری لرزه‌ای با اجرای تمهیدات پیشنهادی قابل مشاهده است. بلوک‌های جنوبی منطقه نیز، به علت قابلیت ایجاد فضای تخلیه امن، امکان ظرفیت‌سازی مناسب را در بعد سخت‌افزاری دارند؛ ولی در بلوک‌های شمالی، به دلیل تاریخی بودن بناها، امکان ایجاد ظرفیت در ابعاد سخت‌افزاری بسیار محدود است و در این بعد در کوتاه‌مدت فقط به تجهیز راهروها و مغازه‌ها به سیستم‌های اطفای حریق اکتفا شده است و تمرکز اصلی بر روی ارتقای ظرفیت‌ها در ابعاد نرم‌افزاری است.

#### ۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفته در این پژوهش مشخص گردید که بازارهای تاریخی و سنتی در اغلب شهرها در برابر زلزله به دلایل مختلف آسیب‌پذیرند و لازم است برای کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در این محدوده‌ها اقدامات لازم پیش از رخداد زلزله‌ای ویرانگر اندیشیده و اجرایی شوند. در این پژوهش با عرضه مدلی تلاش شد تا چگونگی ارزیابی بافت‌های قدیمی با ارزش تاریخی و اقتصادی بررسی و چگونگی اولویت‌بندی انجام اقدامات کاهش خطرپذیری، با توجه به امکانات و منابع موجود، کنکاش شود. این مدل‌سازی در بازار تاریخی شهر اردبیل، که به‌شدت در معرض خطر زلزله قرار دارد، به صورت پایلوت اجرا شد و نتایج نشان داد که خسارات و تلفات ناشی از زلزله، در صورت رخداد زلزله در روز، موجب فاجعه انسانی گسترده‌ای در این محدوده می‌شود که جبران اثرات آن به‌سختی میسر خواهد بود.

به منظور کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در بلوک‌های بازار اردبیل بهترین انتخاب از نظر اجرایی و اقتصادی در کوتاه‌مدت می‌تواند کاهش شاخص‌های خطر، نظیر ایمن‌سازی الحاقات سازه‌ای و غیر سازه‌ای، خارج کردن اقلام پرخطر مغازه‌ها، ترمیم‌های موضعی (نظیر ترمیم سقف راهروهای بازار، تعویض سیم‌های برق بازار، پاک‌سازی مصالح اشتعال‌زا از بخش‌های مختلف بازار، و...) و افزایش ظرفیت در ابعاد سخت‌افزاری (شامل اضافه کردن امکاناتی نظیر تجهیزات اطفای حریق، تعیین فضاهایی با کارایی تخلیه امن، نگهداری تجهیزات مربوط به امداد رسانی یا کمک‌های اولیه در برخی مکان‌ها، و...) و نرم‌افزاری (شامل تهیه نقشه‌های شناخت موقعیت‌های امن و خطرناک در منطقه و توزیع آن‌ها بین کسبه و افراد محلی و بازدیدکنندگان، نصب علائم راهنمای تخلیه یا دسترسی به فضای باز در داخل بازار، آموزش خودامدادی و آمادگی در برابر زلزله به کسبه و مردم، و...)، به صورت توأمان است. با اعمال این اصلاحات وضعیت شاخص خطرپذیری لرزه‌ای مطابق با «ت ۱۱» خواهد بود که بهبود قابل توجهی را نسبت به وضعیت موجود نشان می‌دهد.



۳۵. نک:

K. Hessami, Revised Version of Active Fault Maps of Iran.

۳۶. نک:

S. Akkar & J.J. Bommer, "Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East".

۳۷. نک: محسن غفوری آشتیانی

و همکاران، تعیین شاخص‌ها و معیارهای ارتقای سطح ایمنی کالبدی شهر در برابر زلزله (مطالعه موردی: بخشی از منطقه ۱۷ شهرداری تهران).

۳۸. نک:

A.W. Coburn, et al, "Factors Determining Human Casualty Levels in Earthquakes;

بایک منصوری و همکاران، توسعه مدل لرزه‌ای خسارات جانی (مطالعه موردی منطقه هفده شهر تهران).

ت ۱۱: کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در بلوک‌های بازار اردبیل با انجام اصلاحات پیشنهادی، گردآوری و تحلیل داده‌ها در GIS: س. اسدزاده تره‌باری.

مطالعات هزینه به فایده، مهم‌ترین اقدامات اثربخش در کاهش خطرپذیری لرزه‌ای را تعیین کرد. با اولویت‌بندی پروژه‌های قابل اجرا، برنامه‌های کوتاه، میان، و بلندمدت قابل تعیین خواهد بود. به طور کلی در برنامه‌های کوتاه‌مدت به افزایش آگاهی و آمادگی ساکنین و افزایش ظرفیت پاسخ توجه می‌شود تا اگر زلزله‌ای در آینده نزدیک رخ داد، امکان خدمات‌رسانی به آسیب‌دیدگان فراهم باشد. در برنامه‌های میان‌مدت کاهش آسیب‌پذیری ساختمانهای تاریخی و ایجاد زیرساخت‌های لازم، به منظور ارتقای ایمنی کالبد بازار، باید مورد توجه باشد تا ساختار بازار پس از زلزله دچار آسیب کلی نشود. در انتها در برنامه بلندمدت باید بهسازی، مقاوم‌سازی، و نوسازی کل کالبد بازار، با توجه به ارزش تاریخی همه اجزای آن و توسعه معابر، در دستور کار قرار گیرد.

بدین ترتیب تنها با تهیه و اجرای طرح جامع کاهش خطرپذیری لرزه‌ای و بهبود مدیریت بحران برای محدوده بازارهای سنتی، نظیر بازار اردبیل، می‌توان ایمنی پایدار این محدوده شهری را در برابر زلزله ویرانگر احتمالی تا حدودی تضمین کرد و تاب‌آوری آن را در برابر اثرات اجتماعی-اقتصادی زلزله بهبود بخشید.

از طرفی دیگر، پتانسیل کاهش خطرپذیری از بعد کالبدی در بازارهای سنتی نظیر بازار اردبیل، با توجه به تبعات اجتماعی و اقتصادی و گاهی سیاسی مداخلات ساختاری، بسیار محدود است. این پیچیدگی‌ها باعث شده است که مسئولین مربوطه نیز کمتر به مقوله کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در این مناطق بپردازند. از این رو، به منظور بهبود وضعیت موجود و کاهش تلفات و خسارات ناشی از زلزله در بازارهای سنتی، در این پژوهش تلاش شد تا راهکارهای اجرایی برای بهبود وضعیت خطرپذیری، که در کوتاه‌مدت قابل اجرا باشند و از نظر عملیاتی بدون مداخله گسترده در کالبد بازار امکان‌پذیر باشند، مورد توجه قرار گیرند. این اقدامات در ابعاد کاهش خطر و ظرفیت‌سازی به صورت پایلوت در محدوده بازار اردبیل بررسی شدند.

می‌توان امید داشت با اجرای این طرح‌ها خطرپذیری لرزه‌ای بازارهای سنتی از جمله بازار اردبیل تا حد قابل قبولی کاهش یابد که نتیجه آن حفظ ایمنی و کاهش آسیب‌پذیری خواهد بود؛ البته، با توجه به محدودیت منابع و اعتبارات، نکته دارای اهمیت توجه به اولویت‌بندی برنامه‌ها بر طبق اهمیت و اثرات آن‌ها بر نجات جان و حفظ دارایی‌ها و آثار تاریخی است تا بتوان، با

## منابع و مأخذ

اسدزاده تره‌باری، سیمین. تعیین شاخص‌های ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای در بافت‌های فرسوده دارای ارزش تجاری و تاریخی و ارائه راهکارهایی برای بهبود مدیریت خطرپذیری و بحران (مطالعه موردی: بازار تاریخی اردبیل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۴.

امبرسیز، نیکلاس و چارلز ملویل. تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران، ترجمه ابولحسن رده، تهران انتشارات آگاه، ۱۳۷۰.

امینی حسینی، کامبد و محمدرضا قائم‌مقامیان و بابک منصوری و سلماز حسینیون. توسعه روش ارزیابی بافت‌های آسیب‌پذیر شهری در مناطق لرزه‌خیز (مطالعه موردی: بخشی از منطقه ۱۷ شهر تهران)، گزارش شماره ۳۶-۲۵.

عزیزی، محمدمهدی و رضا اکبری. «ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله (مطالعه موردی: منطقه فرحزاد تهران)»، در نشریه هنرهای زیبا، ش ۳۴ (تابستان ۱۳۸۷)، ص ۳۶-۲۵.

حاجی‌بابایی، مقداد. مدلی جدید برای ارزیابی ریسک زلزله در بافت‌های شهری بر اساس ترکیب مؤثرترین مؤلفه‌های آسیب‌پذیری و خطر زلزله (مطالعه موردی: مناطق شهر تهران)، رساله دکتری، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۳.

قدسی‌پور، حسن. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۹۲.

کلانتری خلیل‌آباد، حسین و عارف آقاصفوی. «راهبردهای احیای بافت تاریخی شهر اردکان با استفاده از تکنیک AHP»، در پژوهش در فرهنگ و هنر، ش ۱ (بهار ۱۳۸۸)، ص ۶۹-۹۰.

معتمد، هومن. تعیین شاخص‌ها و توسعه مدل‌های ارتقاء سطح ایمنی شهر در برابر زلزله، رساله دکتری، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۰.

منصوری، بابک و محمدرضا قائم‌مقامیان و کامبد امینی حسینی و نیمه گواهی. توسعه مدل لرزه‌ای خسارات جانی (مطالعه موردی منطقه هفده شهر تهران)، گزارش شماره ۲۱-۹۰-۶-۸۰، تهران: انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۰.

Adams, B.J. & C.K. Huyck & M. Mio & C. Sungbin & S. Ghosh & H.C. Chung, ... & B. Mansouri. *The Bam (Iran) Earthquake of December 26, 2003: Preliminary Reconnaissance Using Remotely Sensed Data and the VIEWS (Visualizing the Impacts of Earthquakes with Satellite Images) System*, MCEER, 2004.

Akkar, S. & J.J. Bommer. "Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East", in *Seismological Research Letters*, 81(2) (2010), pp. 195-206.

Alighadar, S. & A.H. Fallahi & J. Kiyono & N. Rizqi Fitriasha & M. Miyajima. *Emergency Evacuation during a Disaster, Study Case: Timche Muzaffariyye-Tabriz Bazaar*, 15 WCEE LISBOA, 2012.

Amini Hosseini, K. *Golestan Palace, Tehran Bazaar and Their Surrounding Old Urban Fabrics in Tehran*, Proceedings of UNESCO Chair Programme on Cultural Heritage and Risk Management, International Training Course on Disaster Risk Management of Cultural Heritage, 2013.

Assari, A. & T.M. Mahesh & M.R. Emtehani & E. Assari. "Comparative Sustainability of Bazaar in Iranian Traditional Cities: Case Studies in Isfahan and Tabriz", in *International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE)*, Published by International Organization on TPE (IOTPE), ISSN 2077-3528, 2011, pp. 18-24

غفوری آشتیانی، محسن و کامبد امینی حسینی و بابک منصوری و بیژن خزایی و هومن معتمد. تعیین شاخص‌ها و معیارهای ارتقای سطح ایمنی کالبدی شهر در برابر زلزله (مطالعه موردی: بخشی از منطقه ۱۷ شهرداری تهران)، گزارش شماره ۷-۹۲-۵-۸۳، انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۲.

فلاح علی‌آبادی، سعید و سعید گیوه‌چی و محمد اسکندری و علی‌رضا سرسنگی. «ارزیابی آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS (مطالعه موردی: محله فهادان یزد)»، در *دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، ش ۳ (بهار و تابستان ۱۳۹۲)، ص ۵-۱۳.

فلاحی، علیرضا. ارزیابی سوانح، خطرپذیری، آسیب‌پذیری و خسارات، تهران: مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی هلال ایران، ۱۳۸۵.

Barbacci, N. *Preserving Haiti's Gingerbread Houses*, Earthquake Mission Report December 2010.

Barbat, A.H. & M.L. Carreño & L.G. Pujades & N. Lantada & O.D. Cardona & M.C. Marulanda. "Seismic Vulnerability and Risk Evaluation Methods for Urban Areas, A Review with Application to a Pilot Area", in *Structure and Infrastructure Engineering*, 6(1-2) (2010), pp. 17-38.

Beheshti, M. & C. Adle. *3DCG Reconstitution and Virtual Reality of UNESCO World Heritage in Danger: The Citadel of Bam*, 2008.

Carreño, M.L. & O.D. Cardona & A.H. Barbat. "Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach", in *Natural Hazards*, 40(1) (2007), pp. 137-172.

Coburn, A.W. & R.J.S. Spence & A. Pomonis. "Factors Determining Human Casualty Levels in Earthquakes: Mortality Prediction in Building Collapse", in *Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*, July 1992, pp. 5989-5994.

Davidson, R. & H.C. Shah. "A Multidisciplinary Urban Earthquake Disaster Risk Index", in *Earthquake Spectra*, 13(2) (1997), pp. 211-223.

Dowrick, D.J. *Earthquake Resistant Design*, New York, NY; John Wiley and Sons Inc, 1988.

Ghafariy-Ashtiany, M. "Rescue Operation and

Reconstruction of Recent Earthquakes in Iran", in *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 8(1) (1999), pp. 5-20.

Hessami, K. & P. Mobayen & H. Tabassi. *Revised Version of Active Fault Maps of Iran*, Seismotectonic Dept., Seismology Research Center, IIEES, Iran, 2013.

Hosseini, K.A. "Earthquake Risk Management in Historical and Old Urban Fabrics, Case Study of Tehran Bazaar", in *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Istanbul, 2014.

Japan International Cooperation Agency, JICA. "The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran", Final Report, Main Report, SSF JR 00-186, 2000.

Jigyasu, R. & M. Murthy & G. Boccardi & C. Marrion & D. Douglas & J. King, ... & M. Osihn. *Heritage and Resilience: Issues and Opportunities for Reducing Disaster Risks*, 2013.

Keshavarzian, A. *Bazaar and State in Iran: The Politics of the Tehran Marketplace*, Vol. 26, Cambridge University Press, 2007.

Masoudi Nejad, Reza. "Social Bazaar and Commercial Bazaar: Comparative Study of Spatial Role of Iranian Bazaar in the Historical Cities in Different Socio-economical Context", in *Proceedings of 5th International Space Syntax Symposium*, Vol. 1 (2005), pp. 197-200.

Modena, C. & F. Da Porto & C. Filippo & M.A.R.C.O. Munari & E.L.E.N.A. Simonato. "Cultural Heritage Buildings and the Abruzzo Earthquake: Performance and Post-earthquake Actions", in *Advanced Materials Research*, Vol. 133 (2010), pp. 3-17. Trans Tech Publications.

Nejad Ebrahimi, A. & F. Pour Rahimian & M. Sahraei Loron.

"IMPACTS OF URBAN PASSAGES ON FORMATION OF IRANIAN BAZAARS: Case Study of the Historic Bazaar of Tabriz", in *International Journal of Architectural Research (Archnet IJAR)*, 7(2) (2013), pp. 61-75.

Razavi, H.S.N. "The Critical Role of Open Space in Hazard Mitigation (Earthquake) in Traditional Commercial Spaces: A Case Study-Qazvin Old Bazaar", in *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 44 (2012), pp. 437-448.

Salgado-Gálvez, M.A. & D.Z. Romero & C.A. Velásquez & M.L. Carreño & O.D. Cardona & A.H. Barbat. "Urban Seismic Risk Index for Medellín, Colombia, Based on Probabilistic Loss and Casualties Estimations", in *Natural Hazards*, 80(3) (2016), pp. 1995-2021.

Tavakoli, B. & M. Ghafory-Ashtiany. "Seismic Hazard Assessment of Iran", in *Annals of Geophysics*, 42(6) (1999), pp. 1013-1021.

Walker, R.T. & E. Bergman & J. Jackson & M. Ghorashi & M. Talebian. "The 2002 June 22 Changureh (Avaj) Earthquake in Qazvin Province, Northwest Iran: Epicentral Relocation, Source Parameters, Surface Deformation and Geomorphology", in *Geophysical Journal International*, 160(2) (2005), pp. 707-720.

Yücel, G. & G. Arun. "Istanbul Grand Bazaar Evacuation System Vulnerability Assessment", in *Advanced Materials Research*, Vol. 133 (2010), pp. 611-616, Trans Tech Publications.

Zebardast, E. & M.J. Koohsari. "Mapping Social Vulnerability to Earthquake Hazards by Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS in Tehran City", in *Proceedings of Map Asia 2007 Conference*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2007.

۹۲

۷۹