

ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی - اقتصادی بافت‌های فرسوده شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری لرزه‌ای

احمد خواجوی^۱

رسول صمدزاده^۲

محمدتقی معصومی^۳

چکیده

زمین‌لرزه‌ها عامل ویرانی بسیاری از سکونتگاه‌های انسانی مخصوصاً بافت‌های فرسوده و قدیمی در طول تاریخ بشر بوده‌اند. این قبیل بناها به ویژه در برابر مخاطرات لرزه‌ای آسیب‌پذیر هستند. نخستین گام برای کاهش خطر زمین‌لرزه شامل درک خطر لرزه‌ای موجود و ارزیابی راهبردهای احتمالی برای کاهش آن است. در این پژوهش از یک روش مبتنی بر نمایه آسیب‌پذیری برای ارزیابی خسارت مورد انتظار در بافت‌های فرسوده شهر اردبیل استفاده شده است. واکاوی خطرپذیری برای سناریوهای زمین‌لرزه تعریف شده توسط شدت‌های مه‌لرزه‌ای V، VI-VI، VI، VI-VII و VII برای طراحی برنامه‌های اضطراری لرزه‌ای انجام شده است. اوج شتاب اولیه زمین برای یک دوره بازگشت ۴۷۵ ساله $g_{0.04}$ است که مربوط به شدت VII می‌باشد. بنابراین، ضمن کمی‌سازی آسیب‌پذیری، تأثیر آن بر جمعیت و سایر مقادیر مانند آوار و هزینه اقتصادی بررسی شده است. علی‌رغم خطر لرزه‌ای متوسط تا زیاد در اردبیل، نتایج نشان می‌دهد که به دلیل قدمت زیاد، گونه‌شناسی بنایی تقویت نشده (یا غیر مسلح) و تقویت شده (مسلح) ساختمان‌های واقع در بافت‌های فرسوده و آسیب‌پذیری محیط ساخته شده، خطر بسیار زیاد است و آسیب‌پذیرترین بافت‌ها در مناطق یک و دو شهری واقع گردیده‌اند.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری فیزیکی - اقتصادی، سناریوهای لرزه‌ای، خطرپذیری لرزه‌ای، بافت فرسوده، اردبیل

مقدمه

در طول چند دهه اخیر وقوع بلایای طبیعی و پیامدهای ناشی از آن به یکی از دغدغه‌های اصلی رهبران و سازمان‌های متولی سراسر جهان تبدیل شده است (Ciurean and Schroter, 2012: 14). خطر بخشی از زندگی است. از این رو مستلزم تعریف چارچوب نظام‌مند و دربرگیرنده فراسنج‌های خطرپذیری و جامعه در معرض خطر است (Servi, 2004: 17).

آسیب‌پذیری عبارت است از "ویژگی‌های یک فرد، گروه یا یک سامانه و موقعیت آن‌ها که بر توانایی‌شان در پیش‌بینی، مقابله، مقاومت و بازیابی از اثر خطر طبیعی، تأثیر می‌گذارد" (Wisner et al, 2004:22). فراسنج‌های کلیدی مفهوم آسیب‌پذیری به‌منظور قانونمندی عبارت‌اند از: تنش‌هایی که سیستم در معرض آن قرار می‌گیرد، حساسیت و قابلیت سازگاری سیستم (Turner et al, 2003: 8077). آسیب‌پذیری فیزیکی عبارت است از: «احتمال (یا توان) تأثیرپذیری و یا آسیب‌دیدگی یک مولفه یا عنصر فیزیکی مشخص تحت تأثیر نیروی محرک بیرونی خاص، برای مثال یک خطر طبیعی مانند زمین‌لرزه. امروزه آسیب‌پذیری فیزیکی یکی از

^۱. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

^۲. دانشیار گروه جغرافیا، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول)

موفه‌های اصلی کلیدی به‌عنوان داده‌های ورودی مدل توسط سازمان‌های متولی پیشگیری و تعدیل خطر، و تدوین آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های ساختمانی، مورد استفاده قرار می‌گیرد (9: Meslem and Lang, 2017).

در این دیدگاه، و برای نوع خاصی از گونه‌شناسی ساختمانی، آسیب‌پذیری فیزیکی به‌عنوان احتمال تحمل سطح معینی از آسیب فیزیکی تعریف می‌گردد. علاوه‌براین، آسیب‌پذیری فیزیکی با اندازه‌گیری خسارت فیزیکی ناشی از سطح معینی از شدت حرکت زمین، تأثیرات شدیدی بر زیان‌های مالی و اجتماعی دارد (385: FEMA, 2002) در واقع آسیب‌پذیری توصیف‌کننده درجه‌نسبی از خطر، حساسیت، مقاومت و تاب‌آوری به یک حادثه مخاطره‌آمیز یا فاجعه می‌باشد (دالزیل و مک مانوس^۲، ۲۰۰۴ به نقل از قنبری، ۱۳۹۹: ۳۲۰).

محیط‌های شهری از یک طبقه‌بندی تاریخی برخوردار هستند که در آن توپوگرافی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، محیط‌زیست و فضاهای باز، با یکدیگر همسو می‌شوند. اهمیت شهرهای تاریخی و میراث فرهنگی و باستانی به‌جامانده در هسته اولیه کانون‌های مدنی به‌مراتب فراتر از سایر مناطق و سازه‌های شهری است. این قبیل مکان‌ها، بخشی از میراث فرهنگی شهری پیچیده و پویا هستند که با تعامل پیوسته مادی و معنوی و تکامل مداوم ساختارهای آن‌ها مشخص می‌شوند (15: UNESCO, 2013).

یکی از انگیزه‌های اصلی کشورها به‌منظور ایجاد برنامه‌های مدیریت یکپارچه خطرپذیری فاجعه شامل: برنامه‌هایی برای کاهش آسیب‌پذیری، گزینه‌ها و ابزارهای برنامه‌ریزی، راهبردهای انتقال و تامین مالی، تحلیل هزینه - سود برای برنامه‌های مقاوم‌سازی^۳، برآورد خسارات و ضررهای احتمالی ناشی از زمین‌لرزه‌ها در مناطق شهری بوده است. با توجه به احتمال وقوع روی‌دادهای ویرانگر در آینده، برآورد خطرپذیری بایستی بر مبنای مدل‌های احتمالاتی استوار گردد. بنابراین، ارزیابی خطرپذیری باید با رویکرد آینده‌نگاری صورت بگیرد، یعنی پیش‌بینی قابل اعتماد علمی روی‌دادهایی که ممکن است در آینده اتفاق بیفتد (4: Yamin et al, 2012).

منابع اصلی عدم قطعیت در تحلیل خطرپذیری عبارت‌اند از: برآورد خطرپذیری لرزه‌ای و ارزیابی آسیب‌پذیری هر یک از سازه‌های ساختاری مورد تجزیه و تحلیل. عناصر مختلف در معرض خطر باید دقیقاً تجزیه و تحلیل شوند تا برآورد گردد که آسیب‌پذیری‌های محلی حتی چگونه می‌توانند آسیب‌پذیری‌های جهانی را تحت تأثیر قرار دهند (20: Jiménez et al, 2018).

شهرها از لحاظ مورفولوژی و عملکرد، از سامانه‌های پیچیده همراه با خرده‌سامانه‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که جهت تضمین عملکرد درست شبکه در تعامل با هم هستند. ساختمان‌های راهبردی و کلیدی، مراکز تاریخی، زیرساخت‌های حیاتی و فضاهای باز، به عنوان اجزای اصلی شبکه شهری بایستی در ارزیابی‌های لرزه‌ای بزرگ مقیاس مدنظر قرار گیرند (12: Basaglia et al, 2018).

فجایع لرزه‌ای و پیامدهای احتمالی ناشی از آن، نگرانی‌های فزاینده‌ای در کانون‌های جمعیتی، به‌ویژه شهری را به دنبال داشته است (22: Jiménez et al, 2018). این نگرانی‌ها در کشورهای در حال توسعه و لرزه‌خیز که ایران نیز در ردیف این دسته از کشورهاست، نمود عینی و ملموس‌تری داشته است. آنچه که زمین‌لرزه را به عنوان تهدید مطرح می‌کند، عدم آمادگی بشر در مقابله با آن است (حبیبی و همکاران، ۱۳۳۹۵: ۱۰۲).

نگاهی به تاریخ لرزه‌خیزی شهرهای ایران در کمتر از یکصد سال اخیر که علاوه بر تلفات جانی و مالی بی‌بازگشت (دربان و هراثینی، ۱۳۹۸: ۹۲) با ویرانگری‌هایی همراه بوده است، بیانگر ابعاد گسترده آسیب‌پذیری شهرهای ایران از این فاجعه طبیعی است. طبیعتاً در این میان نگرانی‌های ساکنین بافت‌های فرسوده و متولیان مراکز تاریخی شهرها به مراتب بیشتر از دیگران خواهد بود.

¹ . Federal Emergency Management Agency (FEMA) (آژانس فدرال مدیریت اضطراری)

² . Dalziell and McManus

³ . Retrofitting Programs



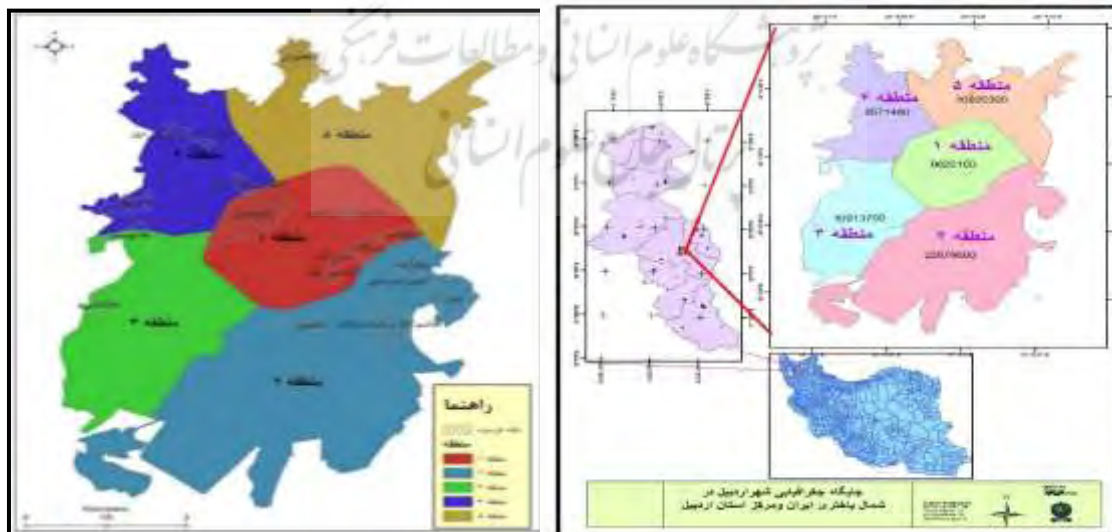
گستره دشت اردبیل توسط گسل‌های لرزه‌زایی چون خطواره مغناطیسی اردبیل- میانه، گسل شمال بزقوش، گسل نئور، گسل‌های دامنه‌های سبلان و... محصور گردیده است. این گسل‌ها در پیشینه لرزه‌خیزی خود با رویداد زمین‌لرزه‌های مهمی همراه بوده‌اند که ویرانی و آسیب‌های عمده به شهرها و روستاهای پیرامونی خود را به دنبال داشته است. ویرانگرترین و درعین‌حال جدیدترین آن زمین لرزه روستای گلستان در تاریخ ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ با بزرگی $M_s=6/5$ است. لذا تاریخچه لرزه‌خیزی منطقه گویای این واقعیت است که گستره اردبیل به دفعات رویداد زمین‌لرزه‌های متعدد و ویرانگری را تجربه نموده است. بنابراین می‌توان گفت که منطقه توان بالقوه ایجاد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۶ تا ۶/۵ ریشتر را دارد (صمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۶).

تأثیر سناریوهای لرزه‌ای بر روی سکونتگاه‌ها و ساکنین بافت‌های فرسوده یکی از کهن‌ترین شهرهای ایران یعنی اردبیل، هدف نهایی این مطالعه است تا ضمن فراهم‌ساختن اطلاعات کارآمد در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای برنامه عملیاتی شهری به روز رسانی گردد. هدف اصلی برنامه عملیاتی ارائه یک پاسخ سریع و مؤثر است که آسیب‌های احتمالی به مردم، دارایی و محیط زیست را به حداقل رسانده و خدمات اساسی را به مردم در کمترین زمان ممکن بازگرداند.

داده‌ها و روش کار

محدوده مورد مطالعه

اردبیل سومین شهر بزرگ و پرجمعیت شمال باختری ایران است. این شهر در داخل یک چاله ساختمانی موسوم به دشت اردبیل قرار گرفته است. مساحت این شهر ۶۲۸۸ هکتار و بر اساس سرشماری عمومی سال ۱۳۹۵ جمعیت آن ۵۲۹۳۷۴ نفر است. تراکم جمعیت شهر به ۸۴/۱۸ نفر در هر هکتار می‌رسد. شهر اردبیل از ۱۵ محله تحت عنوان بافت فرسوده تشکیل شده است (شکل ۲). ساختمان‌های موجود در بافت فرسوده شهر اردبیل در مجموع به سه نوع؛ اسکلت فلزی، بتن آرمه و مصالح بنائی تقسیم گردیده است. داده‌های مربوط به بناها و ساختمان‌های شهر و اطلاعات سازه‌ای موجود از سوابق امر شهرداری اردبیل استخراج گردیده است. این اطلاعات شامل قدمت (سال ساخت) ساختمان، گونه‌شناسی سازه‌ای، تعداد طبقات، وضعیت حفاظت و سرشماری جمعیت (شهروندان ساکن در هر ساختمان) است. تحلیل آسیب‌پذیری و خسارت فیزیکی مستقیم و برآورد تأثیرات آن بر جمعیت بر اساس تعداد بناهای بافت فرسوده صورت گرفته است (جدول ۶).



شکل (۲). موقعیت جغرافیایی شهر اردبیل و بافت‌های فرسوده واقع در داخل مناطق پنجگانه آن

روش پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف از نوع کاربردی و از نظر ماهیت نیز از نوع توصیفی-تحلیلی است. قلمرو پژوهش مناطق پنجگانه شهر اردبیل می‌باشد. ساختمان‌های موجود در بافت‌های فرسوده شهر اردبیل در مجموع به سه نوع: بنایی، بتون آرمه و فولادی تقسیم گردیده است. داده‌های مربوط به بناها و ساختمان‌های شهر و اطلاعات سازه‌ای موجود از سوابق امر شهرداری اردبیل و همچنین سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران استخراج گردیده است. این اطلاعات شامل قدمت (سال ساخت) ساختمان، گونه‌شناسی سازه‌ای، تعداد طبقات، وضعیت حفاظت و سرشماری جمعیت (شهروندان ساکن در هر ساختمان) است. تحلیل آسیب‌پذیری و خسارت فیزیکی مستقیم و برآورد تأثیرات آن بر جمعیت بر اساس تعداد ۱۴۰۶ ساختمان مسکونی صورت گرفته است.

در این پژوهش روش نمایه آسیب‌پذیری به منظور ارزش‌گذاری عددی هر ساختمان از لحاظ کیفیت لرزه‌ای و برای تدوین سناریوهای لرزه‌ای، رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها بر اساس شدت مه‌لرزه‌ای مبتنی بر مقیاس اروپایی (EMS-98) استفاده شده است. سپس آسیب‌پذیری فیزیکی ساختمان‌های شهر اردبیل و تأثیرات آسیب‌زای دیگر شامل آسیب به جمعیت، هزینه‌های اقتصادی، آوار حاصل از تخریب بناها و در نهایت سناریوهای لرزه‌ای برای شهر اردبیل تدوین شده است. در ادامه به مراحل اجرای روش‌های به کار گرفته شده به صورت مختصر اشاره می‌گردد:

رفتار لرزه‌ای^۱

رفتار لرزه‌ای از نظر شدت مه‌لرزه‌ای ۲ با توجه به مقیاس اروپایی (EMS-98) (Grünthal, 1998) در نظر گرفته شده و ساختمان‌ها نیز با استفاده از نمایه‌های آسیب‌پذیری (LM1) مشخص شده‌اند. به عبارت دیگر روش LM1 که به عنوان بخشی از پروژه EU-Risk (خطرپذیری اروپا) تدوین گردیده است (Lantada, 2007; Milutinovic and Trendafiloski 2003; Mouroux and Lebrun 2006a, 2006b). سناریوهای زمین‌لرزه را می‌توان بر اساس زمین‌لرزه‌های احتمالی انتخاب کرد. در سناریوهای قطعی معمولاً بیشترین شدت لرزه‌ای که در منطقه مورد مطالعه تجربه شده است انتخاب می‌گردد. سناریوهای احتمالی به زمین‌لرزه‌های با احتمال رویداد از پیش تعریف شده مربوط می‌گردد. معمولاً زمین‌لرزه‌های با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله انتخاب می‌گردد، یعنی شدت مه‌لرزه‌ای با احتمال رویداد ۱۰٪ در هر ۵۰ سال (Lantada et al. 2018: 5).

روش نمایه آسیب‌پذیری

این روش از میانگین توابع آسیب‌پذیری نیمه‌تجربی استفاده می‌کند، که برای یک نمایه آسیب‌پذیری معین، به شدت مه‌لرزه‌ای و خسارت مورد انتظار مربوط می‌گردد (Lantada et al. 2018: 4). این روش که توسط گرونثال (Grünthal, 1998) و مطالعات پروژه خطرپذیری اروپا (Risk-UE) (Giovinazzi, 2005; Giovinazzi and Lagomarsino, 2002; Milutinovic and Trendafiloski, 2003, Lagomarsino and Giovinazzi, 2006) پیشنهاد گردیده، روشی توانمند برای ارزیابی آسیب و خطرپذیری لرزه‌ای مورد انتظار در مناطق شهری است. نمایه آسیب‌پذیری مقادیر بین صفر (کم‌ترین آسیب‌پذیری) و ۱ (بیشترین آسیب‌پذیری) را به خود می‌گیرد. مقادیر فرین زیر صفر و بالای ۱ برای ساختمان‌های آسیب‌پذیر و تقویت شده ویژه مجاز است. این نمایه‌های آسیب‌پذیری به مقادیر یک پارامتر عضویت، χ ، از رده‌های آسیب‌پذیری مقیاس EMS-98 مربوط می‌شود: χ شامل مقادیر بین ۱، کل عضویت؛ و صفر، عدم عضویت؛ را دربر می‌گیرد.

در جدول ۱، نمایه‌های آسیب‌پذیری (VI) ساختمان‌های شهر اردبیل، $(\chi = 1)$ BTMVI * محتمل‌ترین مقدار است، $(\chi = 0.5)$ $[-BTMVI+ BTMVI]$ ، فاصله‌ای را نشان می‌دهد که در آن نمایه‌های آسیب‌پذیری احتمالی یافت می‌شود، و $(\chi =$

1. Seismic Action

2. Macroseismic Intensity



0.2) [min, BTMVI max , BTMVI] کمینه و بیشینه مقادیر ممکن را تعریف می‌کند. در این روش، هر ساختمان با استفاده از یک نمایه آسیب‌پذیری خاص، که از یک نمایه اصلی، BTMVI* در جدول ۱، به دست می‌آید، و اصلاح‌کننده‌های مناسب مشخص می‌شود، به گونه‌ای که می‌توان این مقدار مرکزی را با قدمت، ویژگی‌های هندسی، موقعیت و سایر خصوصیات مکانیکی ساختمان، در محدوده مقادیر مجاز محتمل و ممکن تطبیق داد. در این مطالعه، اصلاح‌کننده‌های ناحیه‌ای و رفتاری در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. گونه‌شناسی سازه‌ای و رده‌های آسیب‌پذیری در شهر اردبیل

نمایه آسیب‌پذیری					نوع ساختمان		
min, BTMVI	- BTMVI	*BTMVI	+BTMVI	max, BTMVI			
۰/۴۶۰	۰/۶۵۰	۰/۷۴۰	۰/۸۳۰	۱/۰۲۰	M3.1	دال‌های چوبی	بنایی تقویت نشده (غیر مسلح)
۰/۴۶۰	۰/۶۵۰	۰/۷۷۶	۰/۹۵۳	۱/۰۲۰	M3.2	تاق‌های بنایی	
۰/۵۰۰	۰/۵۰	۰/۶۰۰	۰/۹۱۰	۱/۰۲۰	M3.3	دال‌های چوبی مسلح	
۰/۰۶۰	۰/۱۲۷	۰/۵۲۲	۰/۸۸۰	۱/۰۲۰	RC3.2	بتن آرمه با قاب‌های نامنظم	
۰/۱۴۰	۰/۳۳۰	۰/۴۸۴	۰/۶۴۰	۰/۸۶۰	S3	قاب فولادی و دیوارهای میانقابی بنایی غیرمسلح	
-۰/۲۰	۰/۲۵۷	۰/۴۰۲	۰/۷۲۰	۱/۰۲۰	S5	شبکه مختلط فولادی و RC	

جدول ۲ اصلاح‌کننده‌های رفتاری اتخاذ شده برای ساختمان‌های بتن آرمه و بنایی در این پژوهش به عنوان ساختمان‌های غالب شهر اردبیل، را نشان می‌دهند. اصلاح‌کننده‌ها و مقادیر و دامنه‌های ویژه‌شان بعد از تبادل نظر با متخصصانی همچون معماران و مهندسان عمران صاحب‌نظر، تثبیت گردیدند. اصلاح‌کننده ناحیه‌ای به عنوان تابعی از قدمت ساختمان تعریف شده است و مقادیر بین ۰/۲۳۴+ برای ساختمان‌های ساخته شده پیش از سال ۱۳۷۲، و ۰/۰۸۸- برای ساختمان‌های ساخته شده بعد از ۱۳۷۲ اختیار می‌کند. به دلیل این که اصلاح‌کننده رفتاری، نمایه آسیب‌پذیری ساختمان‌های بلندمرتبه ممکن است دارای فراوانی ۰/۰۸+ واحد و ساختمان‌های کم ارتفاع نیز دارای مقادیر حداکثر ۰/۰۲- واحد باشند، از اصلاح‌کننده مکانی می‌توان برای در نظر گرفتن تفاوت در ارتفاع نسبت به ساختمان‌های پیوسته و موقعیت نسبی درون بلوک استفاده کرد. از این نظر، سه موقعیت در نظر گرفته شده است: میانی، گوشه‌ای و نیش.

جدول (۲). اصلاح‌کننده‌های رفتاری مورد استفاده برای ساختمان‌های بتن آرمه و بنایی

محدوده	پارامترها	عوامل رفتاری
-۰/۰۲	پایین (۱ یا ۲)	بنایی
+۰/۰۲	متوسط (۳، ۴ یا ۵)	
+۰/۰۶	کم (≥ ۶)	
-۰/۰۴	پایین (۱ یا ۲)	بتن آرمه
۰	متوسط (۳، ۴ یا ۵)	
+۰/۰۸	بلند (≥ ۶)	
-۰/۰۴	خوب	میزان حفاظت
+۰/۰۴	بد	
+۰/۰۴	بی‌نظمی‌های افقی
+۰/۰۲	بی‌نظمی‌های عمودی
-۰/۰۴	میانی	تعدیل‌کننده مکانی:
+۰/۰۴	گوشه‌ای	موقعیت
+۰/۰۶	نیش	
+۰/۰۲	تفاوت در ارتفاع	تعدیل‌کننده مکانی:
-۰/۰۴	کمتر از ۲ طبقه	ارتفاع
+۰/۰۴	تفاوت در ارتفاع	
+۰/۰۴	۲ طبقه و بیشتر	

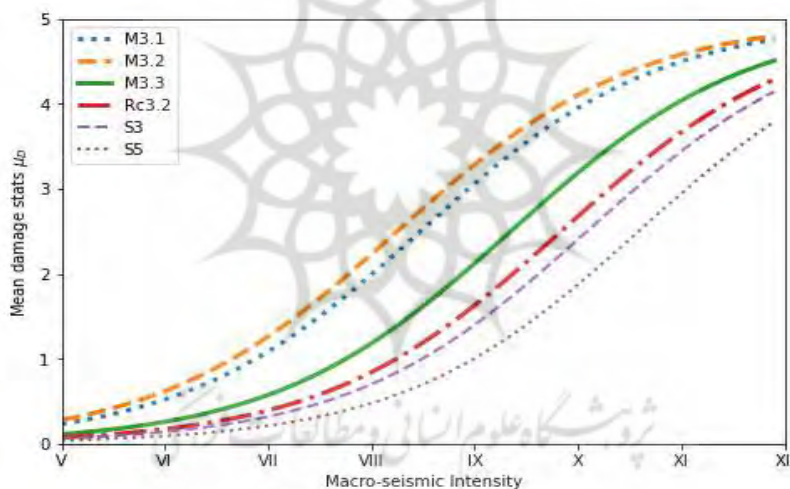
آسیب فیزیکی

بعد از تکمیل ماتریس‌های احتمال آسیب (DPM)، اگر: $p_j = P(j | I, VI)$ احتمال درجه آسیب J باشد، برای یک شدت مشخص، I ، و یک نمایه آسیب‌پذیری VI ، در این صورت میانگین درجه آسیب به شکل رابطه زیر تعریف می‌گردد (Lantada et al, 2018:7)

$$\mu_D(I, VI) = d * (I, VI) = \sum_{j=0}^5 j P(j|I, VI) = \sum_{j=0}^5 j P_j \quad \text{رابطه (۱)}$$

گیوینازی (Giovinazzi, 2005: 12) یک تابع آسیب نیمه تجربی مرتبط با شدت مهلزه‌ای (I)، نمایه آسیب‌پذیری (VI)، و میانگین درجه آسیب (μ_D) را تنظیم نموده است. معادله زیر این توابع آسیب را تعریف می‌کند:

$$\mu_D = d^* = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25V_I + 13.1}{2.3} \right) \right] \quad \text{رابطه (۲)}$$



شکل (۱). چند نمونه از این تابع را برای انواع ساختمان‌های شهر اردبیل نشان می‌دهد (جدول ۱).

شکل (۱). توابع آسیب نیمه تجربی برای انواع ساختمان‌های شهر اردبیل که با استفاده از رابطه ۲ ترسیم گردیده است. برای ترسیم این منحنی، مقدار مرکزی ($BTMVI^*$)، محتمل‌ترین نمایه آسیب‌پذیری، مورد استفاده قرار گرفته است.

از آنجایی که میانگین درجه آسیب شناخته شده است، DPM را می‌توان با استفاده از فرض توزیع آماری دوجمله‌ای بازیابی نمود. با این حال، برای اهداف روش‌شناختی، و برای جلوگیری از ماهیت گسسته توزیع دوجمله‌ای، توزیع احتمالی پیوسته بتا ترجیح داده شد. پارامترهای بتا به گونه‌ای حاصل گردیدند که توزیع بتا متناسب با توزیع دوجمله‌ای باشد. تابع چگالی احتمالی (pdf) توسط معادله زیر به دست آمده است:

$$\mu_D = d^* = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25V_I + 13.1}{2.3} \right) \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این معادله $\Gamma(\cdot)$ تابع گاما است، x متغیر مستقل است، و مقادیر بین a و b را اختیار می‌کند که دامنه عملکرد pdf را تعریف می‌کند، و t و q پارامترهای توزیع بتا هستند. t مربوط به پراکندگی توزیع است. مقدار $t = 8$ باعث می‌شود که توزیع بتا با توزیع دوجمله‌ای سازگار باشد. a و b که به درجات آسیب مربوط می‌گردند، بر اساس $a = 0$ و $b = 5$ تعیین می‌شوند، زیرا ۵ درجه آسیب غیر تهی در نظر گرفته شده است. در پایان، معادله زیر میانگین درجه آسیب μ_D و پارامترهای t و q را پیوند می‌دهد (Milutinovic and Trendafiloski, 2003: 18).

$$q = t(0.007\mu_D^3 - 0.052\mu_D^2 + 0.2875\mu_D) \quad \text{رابطه (۴)}$$

احتمال، $P_\beta(x)$ ، که در آن مقدار آسیب کمتر یا برابر با x است به وسیله انتگرال بین a و x تعریف شده در معادله (۱) تعیین می‌گردد؛ به این معنا که:

$$P_\beta(x) = \int_a^x P_\beta(\varepsilon) d\varepsilon \quad \text{رابطه (۵)}$$

و به این ترتیب، احتمال درجه آسیب، $k = 0, \dots, 5$ را می‌توان با استفاده از معادله زیر بدست آورد:

$$P_k = P_\beta(k+1) - P_\beta(k) \quad k = 0, \dots, 5 \quad \text{رابطه (۶)}$$

بنابراین، برای هر ساختمان، که به وسیله نمایه آسیب‌پذیری آن، VI، و برای هر سناریوی زمین‌لرزه، که با استفاده از شدت مه‌لرزه-ای EMS-98، I، تعریف شده است، از معادله (۲) می‌توان برای به دست آوردن میانگین درجه آسیب، μ_D ، و معادله‌های (۳) و (۶) برای به دست آوردن DPM ویژه، استفاده نمود، یعنی احتمالات هر درجه آسیب (Lantada et al, 2018:9).

آسیب به جمعیت

با توجه به نوع ساختمان و فهرستی از تلفات، کوبورن و اسپنس (Coburn and Spence, 1992: 350, 2002: 365)، تعداد مربوط به تلفات (KS) را به صورت زیر مدل‌سازی نموده‌اند:

$$K_S = C \cdot [M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot (M_4 + M_5 \cdot (1 - M_4))] \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن C تعداد ساختمان‌های فروریخته است. برای اهداف برآورد تلفات، قابل درک است که آسیب کامل مربوط به درجه ۴، بسیار شدید، و درجه ۵، ویران، به گونه‌ای است که احتمال مورد استفاده برای برآورد تعداد ساختمان‌های ویران‌شده، مجموع احتمالات آسیب درجات ۴ و ۵ است. سپس برای هر ساختمان M_1 تعداد ساکنان، M_2 نرخ اشغال و M_3 درصدی از ساکنان ساختمان است که به دلیل فروریختگی آن به دام افتاده‌اند. بنابراین، حاصل M_1 ، M_2 ، M_3 ، تعداد افرادی است که در اثر زمین‌لرزه در ساختمان آسیب‌دیده گرفتار شده‌اند. در پایان، M_4 و M_5 پارامترهای مورد استفاده برای ارزیابی پراکنش فهرستی از تلفات هستند. برای هر دسته از تلفات، M_4 درصد افراد گرفتار شده‌ای را به دست می‌دهد که متحمل هر نوع آسیب گردیده‌اند. M_5 فقط در مورد افراد متوفی مقادیر غیر از صفر را در نظر می‌گیرد. در این حالت، M_4 تعداد کشته شدگان ناشی از فروریختگی ساختمان را به طور مستقیم نشان می‌دهد و M_5 نیز امکان مرگ و میر پس از هر زمین‌لرزه را می‌پذیرد.

جدول (۳). مقادیر انتخابی برای پارامترهای معادله ۶

پارامترهای مورد نیاز برای برآورد تلفات انسانی							گونه‌شناسی ساختمان
M4 (%)							
M5 (%)	مرگو میر	آسیب‌دیدگی‌های شدید	آسیب‌دیدگی‌هایی که مستلزم بستری شدن در بیمارستان هستند	آسیب-دیدگی اندک	M3 (%)	M2 (%)	
۶۰	۱۵	۲۵	۳۰	۳۰	۵	۸۰	بنایی تقویت نشده
۹۰	۴۰	۴۰	۴۰	۱۰	۵۰	۸۰	بتون آرمه

برای ساختمان‌های بنایی و بتن آرمه، مقادیر (جدول ۳) بر اساس پیشنهادهای واکارنو و همکاران (Vacareanu et al, 2004: 12) و کوبورن و اسپنس (Coburn and Spence, 1992: 352) انتخاب گردید. این مقادیر مربوط به زمین‌لرزه‌ای است که در طول شب یکی از روزهای هفته رخ داده است، با پیش‌فرض همزمانی با بیشترین نرخ اشغال ساختمان‌های مسکونی. علاوه بر تعداد افراد فوتی ممکن یا متحمل انواع مختلفی از جراحات، جنبه مهم دیگر یک خطر تعداد افرادی است که خانه‌های خود را از دست می‌دهند. در این مطالعه مدل پیشنهادی (Coburn and Spence, 2002: 370)، هنگامی که درجات آسیب ساختمان برابر یا بیشتر از ۳ باشد (آسیب سنگین یا شدید) به عنوان غیرقابل سکونت مدنظر قرار گرفته است. تعداد افراد بی خانمان در یک ساختمان i با گونه‌شناسی t (N_{phit}) به شرح زیر است:

$$N_{phit} = N_{pvit} \cdot N_{vivit} [0.9P_{it}(Severe) + P_{it}(Complete)] \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن N_{pvit} تعداد افراد ساکن در ساختمان i با گونه‌شناسی t است، N_{vivit} تعداد مسکن در ساختمان است و P_{it} (شدید) و $P_{it}(Complete)$ (کامل) به ترتیب احتمالات حالت‌های آسیب شدید و کامل را نشان می‌دهند. بنابراین، مقدار $[0.9P_{it}(Severe) + P_{it}(Complete)]$ (شدید) (کامل) تعداد مسکن در ساختمان i نوع t را تعریف می‌کند که غیرقابل استفاده شده‌اند. در این مدل، تنها چهار حالت آسیب در نظر گرفته شده است، زیرا در معادله (۲) درجه ۳، درجه آسیب شدید، به ۳، حالت آسیب سنگین و درجات آسیب ۴، بسیار سنگین و ۵، ویران، در درجه جدید ۴، درجه آسیب کامل، طبقه‌بندی شده‌اند.

هزینه اقتصادی

برای ساختمان (j) از نوع (t) ، پارامترهای درگیر در ارزیابی احتمال هزینه تعمیر اقتصادی به شرح زیر است: (۱) هزینه V_{ct} واحد (m^2) منطقه آسیب دیده، که برای همه ساختمان‌ها از یک نوع (t) یکسان فرض می‌گردد؛ و (۲) تعداد متر مربع برای تعمیر یا تعویض. به نوبه خود، تعداد متر مربع قابل تعویض برای هر درجه یا حالت آسیب به مجموع تعداد متر مربع ساختمان $(Area_{jt})$ ، احتمال وضعیت خسارت (P_{jtk}) و k متر معادل آن در هزینه تعمیر هر درجه آسیب (RC_{tk}) بستگی دارد. بدیهی است که باید سهم همه حالت‌های آسیب به یکدیگر اضافه گردد. علاوه بر این، هنگامی که برای تعداد زیادی از ساختمان‌ها استفاده می‌شود، این اعداد باید برای کلیه ساختمان‌ها (j) از هر نوع، و برای تمامی انواع (t) ساختمان‌ها جمع گردد، که خروجی آن مدل ارزیابی زیر است:

$$cost = \sum_{t=1}^{Nt} \{ V_{ct} \sum_{j=1}^{Net} [Area_{jt} \sum_{k=1}^{Ns} P_{jtk} \cdot RC_{tk}] \} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن RC_{tk} هزینه خسارت ناشی از درجه آسیب k در ساختمان‌های نوع t است و به عنوان درصد هزینه واحد m^2 تعریف می‌گردد. P_{jtk} احتمال وضعیت آسیب k در ساختمان j از نوع t است و از ماتریس احتمال آسیب مربوطه به دست می‌آید. Ns تعداد حالت‌های آسیب وضعیت آسیب صفر است. $Area_{jt}$ مساحت ساخته شده بر حسب متر مربع یک ساختمان j از نوع t است. Net تعداد ساختمان‌های نوع t است و V_{ct} هزینه برآورد شده بر حسب متر مربع برای ساختمان‌های نوع t است. مقدار V_{ct} باید نزدیک به هزینه‌های واقعی مواد و نیروی کار مورد نیاز برای بازسازی املاک آسیب دیده باشد، اما V_{ct} قیمت زمین را شامل نمی‌شود. سرانجام، Nt تعداد



انواع ساختمان‌هایی است که در مدل BTM در نظر گرفته شده است. این رابطه مبتنی بر گزارش ATC-13 (۱۹۸۵) است. در این مدل فرض بر این است که مقدار محتویات ساختمان‌های مسکونی ۵۰٪ هزینه تعویض ساختمان است. کل هزینه‌های خسارت مستقیم اقتصادی (Tcost) عبارت است از مجموع هر دو مقادیر، یعنی ۱/۵ برابر ارزش به دست آمده در معادله (۳).

آوار حاصله از تخریب بناها

در برآورد حجم آوار تولید شده هر دو روش HAZUS 99 (FEMA / NIBS, 2002: 87) و دستورالعمل‌های مربوط به پروژه Risk-UE (Vacareanu et al, 2004: 15) اهمیت و کارآمدی ویژه‌ای دارند. این برآورد به ویژه در مناطق قدیمی و کم‌برخوردار که در آن تراکم بالایی از بافت شهری، خیابان‌ها و معابر اصلی باریک وجود دارد، کارآمد است. حجم آوارهای بجا مانده از یک ساختمان مواجه با زمین‌لرزه، تابعی از میزان آسیب متحمل شده، است. بنابراین، برای یک ساختمان (j) از نوع (t)، برای هر نوع آوار (e) و هر درجه آسیب (k)، سهم حجم آوار توسط معادله زیر به دست می‌آید:

$$Dejtk = A_{jt} \cdot W_{et} \cdot F_{etk} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در آن $Dejtk$ سهم وزن کل آوار نوع e حاصله از ساختمان z از نوع t است، وقتی که ساختمان دارای درجه آسیب Ait k؛ مساحت ساخته شده ساختمان z از نوع t است و W_{et} واحد وزن (تن/متر مربع) نوع مصالح e برای نوع ساختمان t است. F_{etk} کسری از واحد وزن است که ویرانی را برای این نوع آوار e، برای این نوع ساختمان t زمانی که ساختمان دارای درجه آسیب k باشد اتفاق می‌افتد، بدست می‌دهد. برای یک سناریوی لرزه‌ای، فراوانی آوارها از حاصلضرب بین این مقدار $Dejtk$ و احتمال این که ساختمان z از نوع t متحمل درجه آسیب P_{jtk} (K) گردد.

$$ES_{total} = \sum_{t=1}^{Nt} \left(\sum_{j=1}^{Net} \left\{ \sum_{e=1}^{Nd} \left[\sum_{k=0}^{Ns} Area_{jt} \cdot W_{et} \cdot F_{etk} \cdot P_{jtk} \right] \right\} \right) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در آن نمایه k نشانگر حالت‌های مختلف خسارت بین صفر و کامل (Ns)؛ e بیانگر انواع آوارها بوده و از ۱ تا تعداد Nd انواع آوارها متغیر است؛ z برای تعداد ساختمان‌های با گونه‌شناسی t در نظر گرفته شده و از ۱ تا تعداد ساختمان‌های با گونه‌شناسی Net، t متغیر است؛ و t نیز شامل گونه‌شناسی‌های مختلف بین ۱ و تعدادی از گونه‌شناسی‌های مختلف، Net، است. در این رابطه دو نوع ساختمان و دو نوع آوار در نظر گرفته شده است. مقادیر پارامترها در معادلات ۱۰ و ۱۱ از واکارنو و همکاران (Vacareanu et al, 2004: 16) گرفته شده است، که خود جزئی از مدل HAZUS 99 است (FEMA / NIBS 2002: 88).

جدول (۴). ویژگی‌های کلی کالبدی شهر اردبیل.

میانگین سال ساخت	نسبت ساخته شده به کل منطقه %	ساختمان‌های مسکونی			تراکم جمعیت		تعداد ساکنین	بافت‌های فرسوده
		مساحت ساخته شده M2	واحد مسکونی	تعداد ساختمان	ساکنین در هر هکتار مسکونی	مترمربع		
۲۰	۰/۲۰	۲۷۸۵۰	۳۹۹	۳۹۹	۳۴۵	۰/۰۳	۴۹۳۸	ججین
۱۴	۰/۰۶	۸۵۰۰	۴۰	۴۰	۱۶۷	۰/۰۲	۲۳۱۷	ملاپاشی
۲۶	۰/۰۵	۶۳۶۰	۳۵	۳۵	۴۷۶	۰/۰۵	۵۹۴۵	هاشم‌آباد و جمشیدآباد
۲۴	۰/۰۹	۲۸۰۰	۱۱	۱۱	۵۵۷	۰/۰۶	۱۶۴۷	کوی شریعی
۲۳	۰/۰۱	۵۸۰۰	۳۵	۳۵	۱۸۰	۰/۰۲	۷۱۹۶	نیار
۲۱	۰/۱۱	۲۴۵۲۵	۱۹۴	۱۹۴	۳۷۰	۰/۰۴	۳۱۹۵	ابراهیم‌آباد
۲۲	۰/۰۳	۳۶۷۵	۱۶	۱۶	۴۵۴	۰/۰۴	۶۲۱۳	بهارآباد
۲۰	۰/۰۴	۱۰۱۷۵	۸۹	۸۹	۲۸۶	۰/۰۳	۳۰۱۶	بیر مادر
۱۷	۰/۰۶	۱۴۴۵۰	۶۶	۶۶	۵۸۸	۰/۰۶	۵۲۱۷	ابوطالب
۲۴	۰/۰۶	۲۶۷۵	۲۳	۲۳	۶۲۴	۰/۰۶	۳۰۲۸	ملاویوسف
۱۹	۰/۰۹	۸۵۷۵	۴۶	۴۶	۵۰۰	۰/۰۵	۱۶۷۴	تازه شهر
۲۴	۰/۱۲	۱۸۵۵۰	۸۵	۸۵	۵۲۶	۰/۰۷	۷۸۵۸	گلمغان
۲۵	۰/۰۴	۲۴۵۰	۲۱	۲۱	۶۶۵	۰/۰۸	۳۶۹۵	موسی کاظم
۱۷	۰/۳۲	۴۱۳۰۰	۳۱۷	۳۱۷	۸۳۳	۰/۰۵	۱۰۶۷۲	کاظم‌آباد و سلمان‌آباد
۲۰	۰/۰۶	۷۲۵۰	۲۹	۲۹	۲۷۰	۰/۰۳	۳۴۲۴	کلخوران
				۱۴۰۶			۷۰۰۲۵	مجموع

نتایج و بحث

سناریوهای زمین‌لرزه

بر اساس اطلاعات نقشه خطر لرزه‌ای ایران (توکلی و غفوری آشتیانی، ۱۳۷۸) دشت اردبیل و شهرستان اردبیل به عنوان بخشی از این دشت هموار در منطقه با خطر نسبی بالا قرار گرفته است. علاوه بر این با توجه به پهنه‌بندی a/b-Value (ضرایب لرزه‌خیزی در رابطه گوتنبرگ-ریشر Log N = a-b (M) بر اساس نگاهت‌های دستگاهی سده بیستم تا عصر حاضر) در گستره ایران، دشت اردبیل و محدوده‌های پیرامونی آن در دامنه ۶/۵-۶/۷ (گستره‌ای با توان لرزه‌زائی بالا) قرار دارد (بیت‌الهی و رزاقیان، ۱۳۹۷: ۷۶). از طرف دیگر با توجه به برداشت‌های میدانی و ترانشه‌ها و گمانه‌های موجود شهر اردبیل بر روی نهشته‌های دریاچه‌ای پلیو-کواترنری با بیشینه ستبرای ۲۰۰ متری و همچنین نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای و تراس‌های رودخانه‌ای کواترنری (از جمله شهرک‌های ساحلی و اداری کارشناسان و تمامی بناهای ساخته شده در امتداد رودخانه بالیقلوچای از خیابان معلم تا شهرک زرناس) استقرار یافته است. این نهشته‌های نرم دریاچه-ای و رودخانه‌ای در مجموع شهر را علاوه بر آسیب‌پذیری مستقیم در برابر خطر زمین‌لرزه برای پدیده‌های ثانوی آن همچون روانگرایی مستعد ساخته است.

آیین‌نامه لرزه‌ای کشور (۱۳۹۳، ویرایش ۴) برای تخمین شتاب‌های پایه (ab) و دوره‌های بازگشت (RT) مربوط به شدت تعیین شده مهلزهای استفاده می‌شود. برای پیدا کردن شتاب پایه مربوط به سناریوهای لرزه‌ای در نظر گرفته شده، از معادله زیر (NCSE-94، 1994) استفاده شد:

$$\log_{10} a_b = 0.301030 I - 0.2321 \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

که در آن ab شتاب پایه است، که معمولاً به عنوان شتاب اوج موثر نیز شناخته می‌شود، و I نیز شدت EMS-98 مهلززه است. بر اساس معادله (۱۲)، ارزش ab (شتاب پایه) ۰.۰۴ g برای شهر اردبیل اختصاص داده شده، که منطبق با شدت مهلززه‌ای VII است. یعنی شهر در پهنه با خطر لرزه‌ای متوسط تا بالا قرار دارد.

آیین‌نامه ۲۸۰۰ شتاب‌های پایه را با دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای همه شهرهای ایران تعیین کرده (g ۰.۰۴ برای شهر اردبیل) و معادله زیر را برای محاسبه دوره‌های بازگشت شتاب‌های پایه دیگر پیشنهاد نموده است:

$$a_b|_{PR=t} = a_b|_{PR=500} \left[\frac{t}{500} \right]^{0.37} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

که در آن ab| PR= t شتاب پایه با دوره بازگشت t و ab| PR= 500 شتاب پایه برای دوره بازگشت ۵۰۰ سال است.

جدول (۵). سناریوهای لرزه‌ای بررسی شده، با توجه به شدت‌های مهلززه‌ای، شتاب پایه ab(g) و دوره‌های بازگشت (TR بر حسب سال).

دوره‌های بازگشت	ab(g)	شدت زمین‌لرزه
۷۵	-/۰.۱۹	V
۱۷۵	-/۰.۲۷	V-VI
۵۰۰	-/۰.۴۰	VI
۱۱۳۰	-/۰.۵۴	VI-VII
۳۰۰۰	-/۰.۷۷	VII

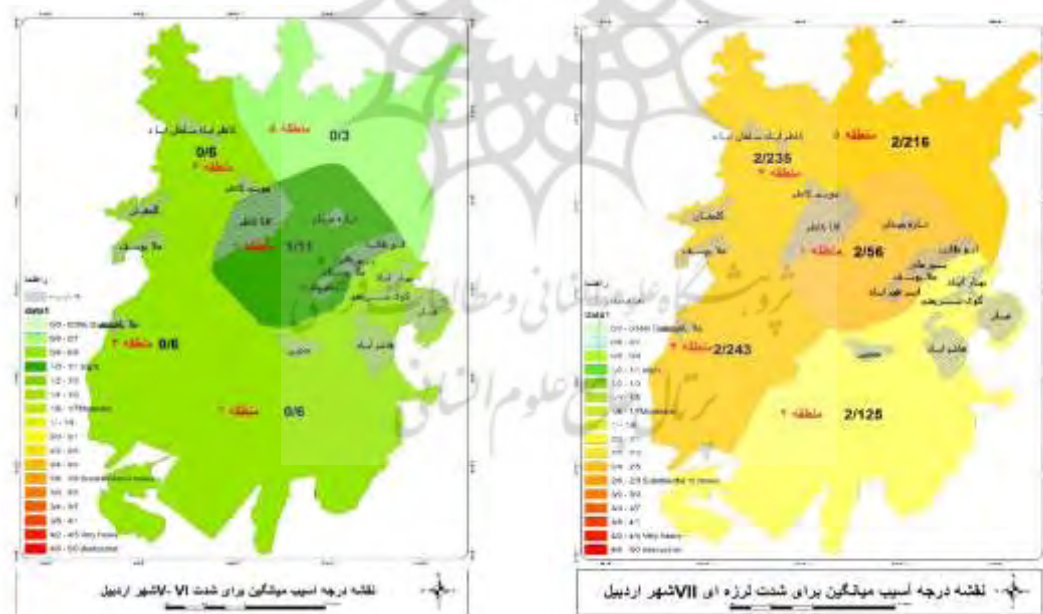
جدول (۶). نمایه آسیب‌پذیری و میانگین درجه آسیب برای شدت‌های مختلف لرزه‌ای

منطقه	بافت‌های فرسوده	نمایه آسیب‌پذیری	شدت لرزه‌ای			
			VII	VI-VII	VI	V-VI
۱	ججین، هاشم‌آباد، پیرمادر جمشیدآباد، کوی شریعتی، ابراهیم‌آباد، تازه‌شهر، ابوطالب	۰/۹۰۵	۰/۹۷۵	۰/۹۷۵	۱/۳۳۶	۲/۵۰۸
۲	نیار، بهارآباد	۰/۶۵۰	۰/۸۱۵	۱/۱۱۶	۱/۵۲۹	۲/۸۷۱
۳	ملایوسف، ملاباشی، گل‌مغان، موسی کاظم	۰/۸۵۰	۰/۸۹۰	۱/۲۱۲	۱/۳۹۲	۲/۶۱۴
۴	کاظم‌آباد، سلمان‌آباد	۰/۸۳۰	۰/۸۴۶	۱/۱۵۹	۱/۵۸۷	۲/۱۷۵
۵	کلخوران	۰/۵۸۰	۰/۷۸۸	۱/۰۷۹	۱/۴۸۷	۲/۰۶۲

معادلات (۶) و (۷) برای محاسبه شتاب‌های پایه و دوره‌های بازگشت مربوط به سناریوهای لرزه‌ای واکاوی شده استفاده گردیده است. جدول ۵ شدت مهلرزه‌ای سناریوها در نظر گرفته شده، همراه با شتاب‌های پایه و دوره‌های بازگشت مربوطه را نشان می‌دهد. پس از انجام ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای برای کلیه سناریوهای زمین‌لرزه در جدول ۵، معنی‌داری و یا عدم معنی‌داری خسارت‌های مورد انتظار در بافت‌های فرسوده شهر اردبیل برای سناریوهای با شدت VII ارائه شده است. سپس، تنها نتایج به دست آمده برای چهار سناریوی زمین‌لرزه دیگر نشان داده شده است.

آسیب‌پذیری و آسیب فیزیکی

آسیب‌پذیری ساختمان‌های واقع در بافت‌های فرسوده شهر اردبیل نشانگر ارزش متوسط ۰/۵۹ برای ساختمان‌های بتونی و ۰/۹۳ برای ساختمان‌های بنایی است که آسیب‌پذیرترین آن‌ها هستند.



شکل (۳). درجه آسیب میانگین برای شدت‌های لرزه‌ای V-VI و VII بافت‌های فرسوده شهر اردبیل

بنابراین پیش‌بینی می‌شود ساختمان‌های بنایی از درجه آسیب بیشتری برخوردار باشند. نمایه آسیب‌پذیری مناطق ۱ (۰/۹۵۰) و ۳ (۰/۸۵۰) نسبت به بقیه مناطق بیشتر است (عمدتاً به دلیل قدمت ساختمان‌ها). برای سناریوی شدت VII هر چند که تمامی مناطق دارای درجه آسیب اندکی بالاتر از ۲ (متوسط) هستند (جدول ۶) ولی درجه مناطق ۱ و ۳ نسبت به مناطق ۲، ۴ و ۵ اندکی بیشتر است که این امر حاکی از فراوانی‌های ۰/۲۷، ۰/۸ و ۰/۱ به ترتیب با وضعیت‌های سنگین، بسیار سنگین و ویرانی کامل است (شکل ۳).

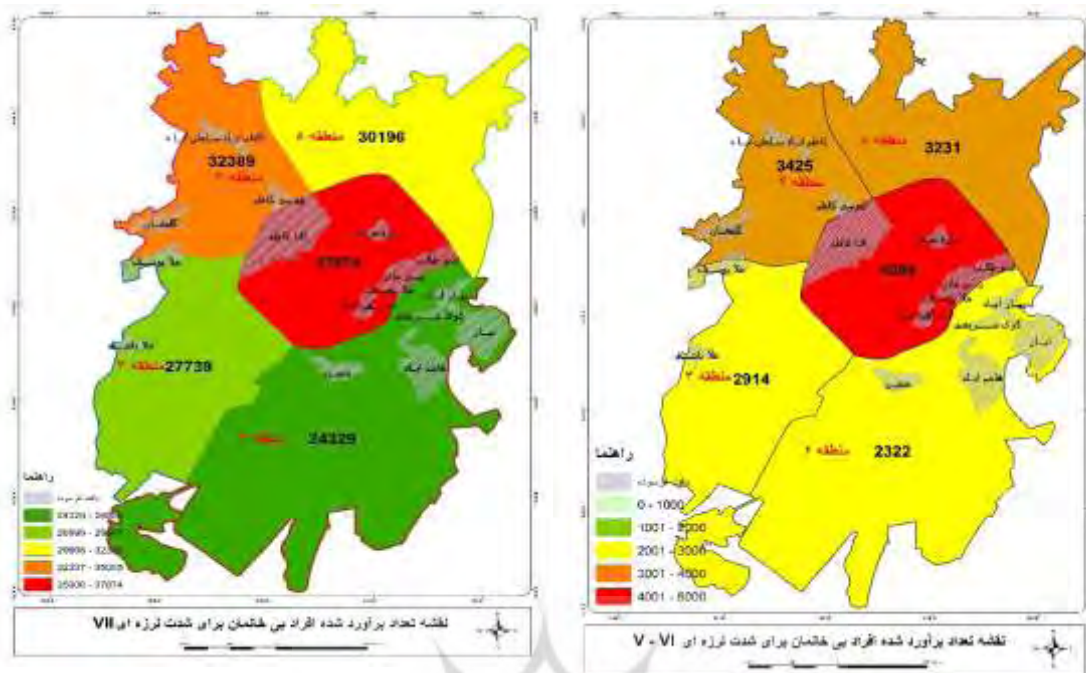
آسیب به جمعیت

الگوی ذکر شده در بالا، براساس معادله (۱) به منظور تعیین تعداد افرادی زخمی، کشته و یا بی‌خانمان شده، برای هر ساختمان بطور مستقیم کاربرد دارد. همه این نتایج به زمین‌لرزه شب، با پیش‌فرض اشغال ۸۰٪ ساختمان‌ها توسط ساکنین، با استفاده از اطلاعات معتبر و به روز شده در مورد تعداد ساکنان در هر ساختمان که توسط شهرداری اردبیل برای بیش از ۹۶٪ ساختمان‌های شهر ارائه شده، مربوط می‌گردد. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار بر جمعیت است. در سناریوی بدترین حالت یک زمین‌لرزه با شدت VII حدود سه در هزار نفر (۰.۳٪) از مردم شهر می‌میرند و نه در هر هزار نفر (۰.۹٪) از مردم آسیب‌های مختلفی متحمل می‌شوند. این درصدها رقم قابل توجهی است که هزاران نفر را دربرمی‌گیرد.

جدول (۷). تعداد برآوردشده افراد بی‌خانمان (%) برای شدت‌های مختلف لرزه‌ای

بافت‌های فرسوده	شدت لرزه‌ای			نمایه آسیب‌پذیری
	VII	VI-VII	VI	
ججین	۵۳۲	۲۹۸	۱۴۰	۰/۶۵۰
ملاباشی	۱۰۶	۵۹	۲۸	۰/۱۸۵۰
هاشم‌آباد و جمشیدآباد	۱۱۴	۶۴	۳۰	۰/۶۵۰
کوی شریعتی	۳۹	۲۲	۱۰	۰/۶۵۰
نیار	۱۱۵	۶۵	۳۱	۰/۶۵۰
ابراهیم‌آباد	۲۸۴	۱۵۹	۷۵	۰/۹۰۵
بهارآباد	۵۲	۲۹	۱۴	۰/۶۵۰
پیر مادر	۴۳۴	۲۴۳	۱۱۴	۰/۹۰۵
ابوطالب	۲۸۲	۱۶۰	۷۶	۰/۹۰۵
ملاپوسف	۳۸	۲۱	۱۰	۰/۱۸۵۰
تازه شهر	۱۳۴	۷۵	۳۵	۰/۹۰۵
گلمغان	۱۶۰	۸۸	۴۱	۰/۸۳۰
موسی کاظم	۵۱	۲۸	۱۳	۰/۸۳۰
کاظم‌آباد و سلمان‌آباد	۸۴۲	۴۵۱	۲۰۶	۰/۸۳۰
کلخوران	۴۱	۲۲	۱۰	۰/۱۵۸۰
مجموع	۳۲۲۴	۱۷۸۴	۸۳۳	۳۳۲

در سناریوی لرزه‌ای با شدت V-VI، ۳۳۲ نفر از جمعیت بافت‌های فرسوده (معادل با نیم درصد جمعیت ۷۰۰۳۵ نفر کل بافت) و در سناریوی با شدت VII، ۳۲۲۴ نفر از جمعیت این بافت‌ها (معادل با ۵ درصد جمعیت کل بافت) بی‌خانمان می‌گردند (جدول ۷ و شکل ۴). منطقه‌ای که در همه موارد بیشتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت "منطقه یک به عنوان هسته اولیه و مرکزی شهر اردبیل" است.



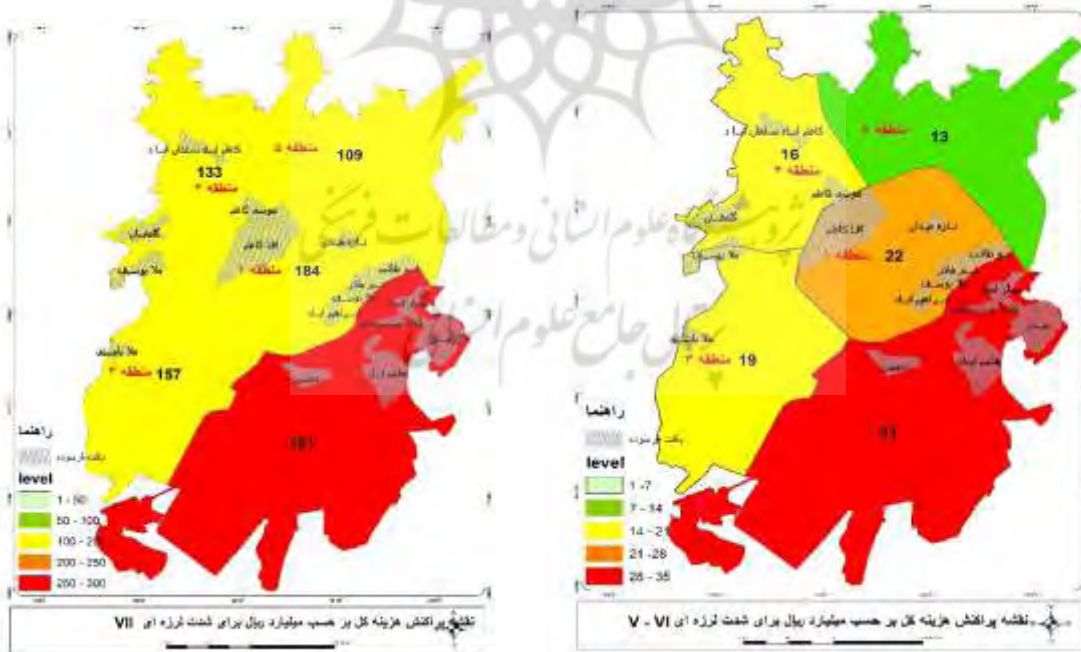
شکل (۴). تعداد برآوردشده افراد بی‌خانمان برای شدت‌های لرزه‌ای V-VI و VII در مناطق پنجگانه و بافت‌های فرسوده شهر اردبیل

هزینه اقتصادی

خسارات اقتصادی مستقیم ناشی از آسیب مستقیم فیزیکی به ساختمان‌ها طبق مدل تعریف شده در معادله (۹) به عنوان هزینه مرمت ساختمان‌های آسیب‌دیده برآورد شده است. ارزش تعمیر مربوط به شرط آسیب k برای یک ساختمان j ، RCK_j ، z به عنوان یک درصد یا هزینه تغییر مکان (Vc) به ازای هر مترمربع مشخص شده است (Lantada et al, 2010:210). در این مطالعه، مقدار اتخاذ شده برای Vc برابر است با ۴۷۷۳۳۳۰ ریال به ازای هر مترمربع. این مقدار مرجع برای یک ساختمان مسکونی با ساختار بتن آرمه و فولادی در نظر گرفته است (پس از اخذ نظر متخصصان و خبرگان نظام مهندسی ساختمان استان اردبیل). هزینه اقتصادی مورد انتظار برای مرمت و تعمیر ساختمان‌هایی که تخریب یا آسیب دیده‌اند، با توجه به سناریوی لرزه‌ای در نظر گرفته شده متفاوت است. در حالی که زمین‌لرزه-ای با شدت V نمی‌تواند خسارت قابل توجهی ایجاد کند، یک زمین‌لرزه با شدت $V-VI$ تقریباً ۷۹۸ میلیون ریال برای بافت‌های فرسوده شهر اردبیل هزینه دارد. از این شدت، هنگامی که شدت مهلرزهای به اندازه نیم درجه افزایش یابد، کل هزینه تلفات مستقیم اقتصادی (از جمله هزینه تعمیر ساختمان آسیب دیده و آسیب به محتویات) تا حدودی کمتر از دو برابر است (جدول ۸ و شکل ۵). در بین بافت‌های فرسوده پانزده‌گانه شهر اردبیل قابل ذکر است که بافت‌های فرسوده ججین، پیرمادر، کاظم‌آباد و سلمان‌آباد به دلیل غیررسمی بودن بخش از سکونتگاه‌های آن همراه با قدمت بالا، استفاده از مصالح نامقاوم با درصد بالایی از ساختمان‌های بنائی، بیشترین تأثیر اقتصادی را خواهد داشت، و هزینه تقریبی ۳۹۰۶ میلیون ریال برای سناریوی با شدت VII دربرخواهد داشت. علاوه بر این، کل هزینه این بافت‌ها به ۶۸۰۰ میلیون ریال خواهد رسید. با مقایسه بودجه کل ۵۲۶ میلیارد تومانی شهرداری اردبیل (۱۳۹۹) که تقریباً در خوش‌بینانه‌ترین حالت وصول ۵۵ درصد آن (معادل ۲۸۹ میلیارد تومان) تحقق می‌یابد، هزینه آسیب فیزیکی به ساختمان‌های این مناطق برای شدت VII (جدول ۸) به بیش از $۶/۸$ میلیارد تومان می‌رسد که نزدیک به $۲/۳$ درصد بودجه کل شهر (۱۳۹۹) خواهد بود.

جدول (۸). هزینه کل بر حسب میلیون ریال

شدت لرزه‌ای				نمایه آسیب‌پذیری	بافت‌های فرسوده
VII	VI-VII	VI	V-VI		
۱۳۹۹	۸۲۳	۴۱۲	۱۶۵	۰/۱۶۵۰	ججین
۲۰۲	۱۱۹	۵۹	۲۴	۰/۱۸۵۰	ملاباشی
۲۱۶	۱۲۷	۶۴	۲۵	۰/۱۶۵۰	هاشم‌آباد و جمشیدآباد
۶۸	۴۰	۲۰	۸	۰/۱۶۵۰	کوی شریعتی
۱۳۴	۷۹	۳۹	۱۶	۰/۱۶۵۰	نیار
۶۹۴	۲۹۸	۲۰۴	۸۲	۰/۹۰۵	ابراهیم‌آباد
۱۰۴	۶۱	۳۱	۱۲	۰/۹۰۵	بهارآباد
۱۳۷۷	۸۱۰	۴۰۵	۱۶۲	۰/۹۰۵	پیر مادر
۴۰۹	۲۴۱	۱۲۰	۴۸	۰/۹۰۵	ابوطالب
۶۴	۳۳	۱۸	۷	۰/۱۸۵۰	ملا یوسف
۲۴۳	۱۴۳	۷۱	۲۹	۰/۹۰۵	تازه شهر
۴۷۹	۲۸۲	۱۴۱	۵۴	۰/۸۳۰	گلمغان
۷۰	۴۱	۲۰	۸	۰/۸۳۰	موسی کاظم
۱۱۳۰	۶۶۵	۳۳۲	۱۳۳	۰/۸۳۰	کاظم‌آباد و سلمان‌آباد
۲۱۱	۱۲۵	۶۲	۲۵	۰/۵۸۰	کلخوران
۶۸۰۰	۳۸۸۷	۱۹۹۸	۷۹۸		مجموع



شکل (۵). پراکنش هزینه اقتصادی (هزینه کل) بر حسب میلیارد ریال برای شدت‌های لرزه‌ای V-VI و VII در بافت‌های فرسوده شهر اردبیل

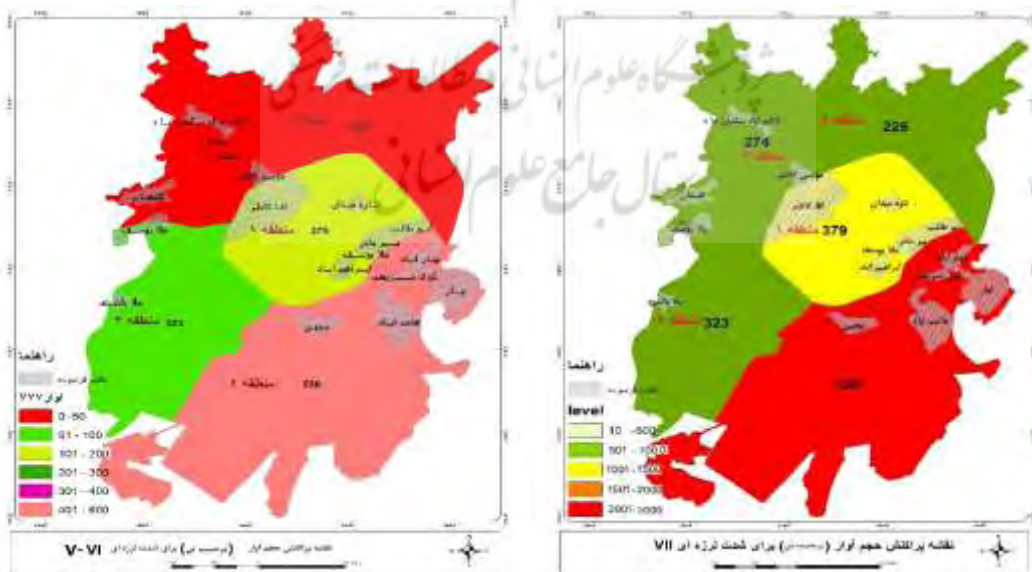


آوار

بر اساس معادلات (۱۰) و (۱۱)، برای سناریوهای مورد واکاوی وزن کل آوار با استفاده از GIS برای این مطالعه شبیه‌سازی شده است. احتمال حالت‌های خسارت برای هر ساختمان از ماتریس‌های احتمال آسیب (DPM) مربوط به سناریوهای تحلیل شده، استفاده شده است. به دلیل احتمال کم آسیب، انتظار نمی‌رود که حجم قابل توجهی از آوار برای زمین‌لرزه‌های با شدت ۷ وجود داشته باشد. با این حال، در صورت وقوع زمین‌لرزه‌ای با شدت بالاتر، مقدار قابل توجهی آوار در شهر ایجاد می‌گردد، به عنوان مثال، ۱۳۹۸۹ تن برای زمین‌لرزه‌ای با شدت VII (جدول ۹ و شکل ۶). به طور کلی، بقایای مورد انتظار عمدتاً چوب، آهن و آجر است (بین ۵۰ تا ۶۹ درصد از کل حجم تولید شده با توجه به سناریوی در نظر گرفته شده)، و باقی مانده آن بتن و فولاد است. منطقه‌ای که بیشترین حجم آوار در آن انتظار می‌رود نیز مناطق ۱ و ۲ شهری است.

جدول (۹). آوار تولید شده بر حسب تن

شدت لرزه‌ای				نمایه آسیب‌پذیری	بافت‌های فرسوده
VII	VI-VII	VI	V-VI		
۲۸۷۹	۱۶۹۴	۸۴۷	۳۳۹	۰/۶۵۰	ججین
۴۱۵	۲۴۴	۱۲۲	۴۹	۰/۸۵۰	ملاپاشی
۴۴۵	۲۶۲	۱۳۱	۵۲	۰/۶۵۰	هاشم‌آباد و جمشیدآباد
۱۴۰	۸۲	۴۱	۱۷	۰/۶۵۰	کوی شریعتی
۲۷۵	۱۶۲	۸۱	۳۲	۰/۶۵۰	نیار
۱۴۲۸	۶۱۳	۴۲۰	۱۶۸	۰/۹۰۵	ابراهیم‌آباد
۲۱۴	۱۲۶	۶۳	۲۵	۰/۹۰۵	بهارآباد
۲۸۳۳	۱۶۶۶	۸۳۹	۳۳۳	۰/۹۰۵	پیر مادر
۸۴۱	۴۹۵	۲۴۷	۹۹	۰/۹۰۵	ابوطالب
۱۳۱	۶۷	۳۸	۱۵	۰/۸۵۰	ملاپوسف
۴۹۹	۲۹۴	۱۴۷	۵۹	۰/۹۰۵	تازه شهر
۹۸۵	۵۸۰	۲۹۰	۱۱۱	۰/۸۳۰	گلنغان
۱۴۳	۸۴	۴۲	۱۷	۰/۸۳۰	موسی کاظم
۲۳۲۵	۱۳۶۸	۶۸۴	۲۷۴	۰/۸۳۰	کاظم‌آباد و سلمان‌آباد
۴۳۶	۲۵۷	۱۲۸	۵۱	۰/۵۸۰	کلخوران
۱۳۹۸۹	۷۹۹۴	۴۱۲۰	۱۷۰۱		



شکل (۶). پراکنش حجم آوار (بر حسب تن) برای شدت‌های لرزه‌ای V-VI و VII در بافت‌های فرسوده شهرداری

نتیجه‌گیری

شهر اردبیل در پهنه خطر لرزه‌ای متوسط تا زیاد قرار دارد که در هنجار لرزه‌ای کنونی کشور توسط یک زمین‌لرزه مشخص با شدت VII و شتاب پایه مربوط به آن $g=0.04$ شناسایی شده است. با این حال برای یک دوره بازگشت ۵۰۰ ساله، بر اساس داده‌های موجود و با واکاوی‌هایی که انجام شده است، می‌توان نتیجه گرفت که این ناحیه دارای خطر لرزه‌ای نسبتاً بالایی است که عمدتاً به دلیل انباشت زیاد جمعیت و ساختمان‌های قدیمی و آسیب‌پذیر است. آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی، عمدتاً به دلیل سال ساخت آن‌ها، و نیز به دلیل عدم دانش و آگاهی از خطر لرزه‌ای و عدم در نظر گرفتن اقدامات لرزه‌ای مورد انتظار در طراحی و ساخت ساختمان‌ها، زیاد است. این آسیب‌پذیری زیاد باعث آسیب دیدگی مستقیم فیزیکی قابل توجهی به ساختمان‌ها مخصوصاً بافت‌های فرسوده می‌شود، حتی برای زمین‌لرزه‌هایی با شدت کم. در نتیجه، آسیب فیزیکی مورد انتظار در مورد زمین‌لرزه‌های متوسط قابل توجه است. انتظار نمی‌رود برای زمین‌لرزه با شدت V، خسارت مربوطه چندان زیاد باشد، اما برای یک سناریوی با شدت VII، تمام مناطق پنجگانه و بافت‌های فرسوده واقع در داخل آن‌ها دچار سطحی از خسارت می‌شوند که کمی بالاتر از درجه آسیب ۲ (متوسط) است که به معنی فراوانی‌های ۰.۲۷٪، ۰.۸٪ و ۱٪ به ترتیب شامل خسارات‌های سنگین، بسیار سنگین و ویرانی کامل است. در نتیجه آسیب عمده به ساختمان‌ها و تمرکز بالایی از جمعیت و فعالیت اقتصادی - اجتماعی، خسارات اقتصادی قابل توجه و آسیب به جمعیت نیز در صورت بروز زمین‌لرزه‌های نسبتاً متوسط مورد انتظار است. در سناریوی بدترین حالت زمین‌لرزه با شدت VII، تقریباً سه در هزار نفر از جمعیت منطقه می‌میرند و ۹ در هزار از جمعیت با شدت‌های مختلف آسیب می‌بینند. علاوه بر تعداد قابل توجهی از قربانیان و مجروحان که نیاز به توجه فوری دارند، تعداد افراد بی‌خانمان (۳۰٪ از جمعیت برای شدت VII) مدیریت اضطراری بعد از زمین‌لرزه و بازیابی بعدی فعالیت‌های عادی اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی شهر در میان مدت و طولانی مدت نکته حائز اهمیتی است. زمین‌لرزه‌های اخیر که در مناطق پرجمعیت با خطر لرزه‌ای کم تا متوسط اتفاق افتاده‌اند، گواهی است بر این ادعا. پراکنش محلات با آسیب‌پذیری بالا در هسته مرکزی شهر یعنی مناطق یک (آقا کاظم - موسی کاظم، تازه میدان، ملایوسف، پیرمادر، ابوطالب، ابراهیم‌آباد) و دو (ججین، هاشم‌آباد، نیار، کوی شریعتی و بهارآباد)، به لحاظ قدمت بالای ساختمان‌ها، استفاده از مصالح نامقاوم، فرسودگی شدید، تراکم بالای جمعیت دیده می‌شود. علاوه بر این با توجه به پراکنش بافت‌های فرسوده در هر پنج منطقه شهری، لازم است تا امر مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای در راستای کاهش خطر در برابر زمین‌لرزه مدنظر قرار گیرد.

زمین‌لرزه‌ای با شدت VI-VI تقریباً ۷۹۸ میلیون ریال و با شدت VII برابر با ۶۸۰۰ میلیون ریال برای بافت‌های فرسوده شهر اردبیل هزینه خواهد داشت. در بین محلات بافت‌های فرسوده با توجه به تأثیر یک بحران لرزه‌ای در معابر و شریان‌های ارتباطی کم عرض و ناموزون، حجم قابل توجهی از تولید آوارهای مورد انتظار وجود دارد (برای سناریوهای VI-VI و VII، به ترتیب بین ۱۷۰۱ تا ۱۳۹۸۹ تن). به دلیل اثرات ترکیبی حجم زیادی از آوارهای تولید شده و الگوی شهری از معابر باریک و نامنظم، هر گونه جابجایی با مشکلات متعددی روبرو خواهد شد. در سناریوی لرزه‌ای با شدت VI-VI، ۳۳۲ نفر از جمعیت بافت‌های فرسوده (معادل با نیم درصد جمعیت ۷۰۰۳۵ نفر کل بافت) و در سناریوی با شدت VII، ۳۲۲۴ نفر از جمعیت این بافت‌ها (معادل با ۵ درصد جمعیت کل بافت) بی‌خانمان می‌گردند. این نتیجه‌گیری با یافته‌های لطفی و همکاران (۱۳۹۳) و همچنین اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳) مبنی بر آسیب‌پذیری بالای بافت‌های فرسوده شهر اردبیل از پدیده زمین‌لرزه ناشی از فعالیت گسل‌های پیرامونی از جمله گسل دویل و علاوه بر این با یافته‌های لانتادا و همکاران (۲۰۱۸) در بافت‌های قدیمی بارسلون اسپانیا همخوانی دارد. بنابراین، تنها راهکار برای کاهش خطر لرزه‌ای با رویکرد کاهش آسیب‌پذیری از طریق اعمال و لحاظ دستورالعمل‌های لرزه‌ای و افزایش آگاهی مردم به این امور امکان‌پذیر است.



منابع

- اسفندیاری، فریبا، غفاری‌گیلانده، عطا، لطفی، خداد (۱۳۹۳)، بررسی توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری (مطالعه موردی: شهر اردبیل، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴، صص ۳۶-۱۷).
- بیت‌اللهی، علی و غزاله رزاقیان (۱۳۹۷)، پهنه‌بندی گستره ایران بر اساس تغییرات نسبت ضرایب لرزه‌خیزی a/b، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲۹، صص ۷۵-۸۳.
- توکلی، بهروز و محسن غفوری آشتیانی (۱۳۷۸)، *نقشه خطر لرزه‌ای ایران*، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، مقیاس: ۱:۵,۰۰۰,۰۰۰، تهران، چاپ نخست.
- حبیبی، کیومرث، عزتی، محمد، ترابی، کمال و بختیار عزت‌پناه (۱۳۹۵)، بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از مدل MIHWP (مطالعه موردی منطقه ۱۰ تبریز)، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۷۲ (زمستان)، صص ۳۱۹-۳۵۶.
- دریان آستانه، علیرضا و مصطفی هراثینی (۱۳۹۸)، تحلیل فضائی تاب‌آوری اجتماعی، اقتصادی اجتماعات محلی در برابر زلزله (مطالعه موردی: بخش آفتاب - شهرستان تهران)، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۳، شماره ۶۸ (تابستان)، صص ۹۱-۱۱۱.
- صمدزاده، رسول، خیام، مقصود، حسینی امینی، حسن (۱۳۸۹)، نگرشی نو بر تکامل ژئومورفولوژیکی چاله زمین‌ساختی اردبیل با رویکرد آمایش سرزمین، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه اصفهان، ۲۱(۱)، صص ۱۰۵-۱۳۰.
- قنبری، ابوالفضل (۱۳۹۹)، ارزیابی ارتباط بین تاب‌آوری منطقه‌ای و آسیب‌پذیری محیطی در منطقه کرانه شرقی دریاچه ارومیه با استفاده GIS، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۴، شماره ۷۲ (تابستان)، صص ۳۱۹-۳۵۶.
- لطفی، خداد، غفاری‌گلانده، عطا، اسفندیاری، فریبا (۱۳۹۳)، *ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها از گسل‌های پیرامونی با استفاده از روش TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر اردبیل)*، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال سوم، شماره ۴، صص ۳۳-۱۷.
- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (۱۳۹۳)، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم)، نشریه شماره ۲۵۳-ض.
- ATC-13., (1985), Earthquake damage evaluation data for California. ATC-13, 492. Redwook City, California: Applied Technology Council, 121p.
- Basaglia, A., Aprile, A., Spacone, E and F., Pilla., (2018), Performance-based seismic risk assessment of urban systems. International Journal of Architectural Heritage, 12 (7-8): 1131-1149, Doi: 10.1080/15583058.2018.1503371.
- Ciurean-Roxana, L., Schröter, D., and Glade, T., (2013), Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction, licensee Intech, pp. 1-23. (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>).
- Coburn, A., and Spence, R., (1992), Earthquake Protection, Chichester, England: John Wiley & Sons, 355p.
- Coburn, A., and Spence, R., (2002), Earthquake Protection, Chichester, England: John Wiley & Sons, 2nd Ed 436p.
- FEMA/NIBS., (2002), HAZUS Technical Manual -SR2. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency, FEMA and National Institute of Building Sciences, NIBS.1, 2, 3.
- Ferlito, R., and Pizz, A., G., (2011), Vulnerability Model of an urban centre. Methodology for a Quick Evaluation of Emergency Road Network Vulnerability 28 (4):31-49.

- Jiménez, B., Pelà, L., & Hurtado, M., (2018), Building survey forms for heterogeneous urban areas in seismically hazardous zones. Application to the historical center of Valparaíso, Chil, *International Journal of Architectural Heritage*, PP. 1-36. DOI: 10.1080/15583058.2018.1503370
- Giovinazzi, S., (2005), The vulnerability assessment and the damage Scenario in seismic risk analysis. PhD dissertation, The Department of Civil Engineering of the Technical University Carolo-Wilhelmina at Braunschweig and the Faculty of Engineering Department of Civil Engineering of the University of Florence. Accessed October 11, 2017. https://publikationsserver.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00001757.
- Giovinazzi, S., and Lagomarsino, S., (2002), WP04: Guidelines for the implementation of the 1 level methodology for the vulnerability assessment of current buildings. Risk-UE report, Genoa, Italy doi: 10.1044/1059-0889(2002/er01).
- σ Grünthal, G., Ed., (1998), *European Macroseismic Scale 1998*. Vol. 15. Luxemburg: Centre Européen de Géodynamique et Séismologie, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie.
- Lagomarsino, S., and Giovinazzi, S., (2006), Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering* 4 (4):415–43. Doi: 10.1007/s10518-006-9024-z.
- Lantada, N., (2007), Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Dpto. De Ingeniería del terreno cartográfica y geofísica. <http://www.tdx.cat/handle/10803/6259>.
- Lantada, N., Pujades, L., G., & Barbat, A., H., (2018), Earthquake Risk Scenarios in Urban Areas: A Review with Applications to the Ciutat Vella District in Barcelona, Spain, *International Journal of Architectural Heritage*, DOI: 10. 1080/15583058.2018.1503367. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1503367>
- Lantada, N., rizarry, I., J., Barbat, A., H., Goula, X., Roca, A., Susagna, T., and Pujades, L. G., (2010), Seismic hazard and risk scenarios for Barcelona, Spain, using the Risk-UE vulnerability index method. *Bulletin Earthquake Engineering* 8:201–29. Doi: 10.1007/s10518-009-9148-z.
- Lestuzzi, P., Podestà, S., Luchini, C., Garofano, A., KazantzidouFirtinidou, D., Bozzano, C., Bischof, P., Haffter, A., and Rouiller, J., D., (2016), Seismic vulnerability assessment at urban scale for two typical Swiss cities using Risk-Ue methodology. *Natural Hazards* 84:249–269.
- λ Meslem, A., and Lang, D., H., (2017), Physical Vulnerability in Earthquake Risk Assessment, Online Publication Date: May 2017 DOI: 10.1093/acre fore/9780199389407.013.71i
- Milutinovic, Z., V., and Trendafiloski, G., S., (2003), WP04 Vulnerability of current buildings. RISK-UE project of the EC: an advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns, 111p.
- Mouroux, P., and Lebrun, B., (2006a), RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different European towns. In *Assessing and managing earthquake risk*, eds. C. S. Oliveira, A. Roca, and X. Goula, 479–508. Berlin: Springer.
- Mouroux, P., and Lebrun, B., (2006b), Presentation of RISK-UE Project. *Bull Earthq Eng. Special Issue: Earthquake Scenarios for European Cities*, 4 (4):323–339.
- Rivas-Medina, A., Gaspar-Escribano, J., M., Benito, B., and Bernabé, M. A., (2013), The role of GIS in urban seismic risk studies: Application to the city of Almería (southern Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13 (11):2717–2725. Doi: 10.5194/nhess-13-2717-2013.

- Servi, M., (2004), Assessment of vulnerability to earthquake hazards using spatial multicriteria analysis: Odunpazari, Eskisehir case study, a thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of Middle East technical university, 94p.
- Turner, B., Kasperson, L., Matson, R., E., Mccarthy, P., A., Corell, J., J., Christensen, L., & et al., (2003), A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100 (14): 8074-8079.
- UNESCO., (2012), Recommendation on the Historic Urban landscape. Records of the General Conference 36th session. <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002150/15084e.pdf#page=52>.
- UNESCO., (2013), New life for historic cities: The historic urban landscape approach explained. Parigi, Francia: UNESCO Publishing.
- Vacareanu, R., D. Lungu, C. Arion, and A. Aldea., (2004), WP07. Seismic risk scenarios handbook, 52, Report. RiskUE Project, Bucharest.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. (2004). At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters, 2nd end. Routledge, London, 220p.
- Yamin, L., Hurtado, E., A., Barbat, I., A., Bernal, A., G., and Cardona, O., (2012), Earthquake Vulnerability Assessment of Buildings for Catastrophic Risk Analysis in Urban Areas, 15 WCEE, LISBOA.

