



Research Article

Earthquake risk scenarios in urban areas (Case study: Ardabil city)

Rasol Samadzadeh*

Department of Geography, Faculty of Humanity Sciences, Islamic Azad University, Ardabil Branch, Ardabil, Iran

Received: 02 Mar 2023 Accepted: 10 Aug 2023

Extended Abstract

Introduction: Urban-scale seismic risk assessment is an essential activity to assess the potential consequences of large earthquakes. This method includes a series of systematic research steps that begin with the identification of seismic hazard, continue with the assessment of the vulnerability of buildings and end with the development of hazard plans and appropriate mitigation plans. The Impact of Seismic Scenarios on the Ardabil City, the ultimate goal of this study is to provide up-to-date information on the seismic vulnerability assessment of the urban operational plan.

Materials and methods: In this study, a method based on the vulnerability index has been used to assess the expected damage in Ardabil. This method introduces a vulnerability index to display and determine whether a building belongs to a particular vulnerability class. This method uses the mean of quasi-experimental vulnerability functions, which for a given vulnerability index is strongly associated with seismicity and expected damage. Risk analysis for seismic scenarios defined by seismic intensities V, V-VI, VI, VI-VII and VII has been performed to design seismic emergency plans.

Results and Discussion: High vulnerability causes significant direct physical damage to buildings, even for low-intensity earthquakes. As a result, the expected physical damage in the case of moderate earthquakes is significant. For a magnitude V earthquake, the damage is not expected to be significant, but for a magnitude VII scenario, all five areas and the dilapidated textures within them will experience a level of damage that is slightly higher. Among the five urban areas, Region 2 will have the greatest economic impact due to its high-altitude density, and will cost approximately 261 billion rials for the VII intensity scenario. The economic impact of the earthquake for the five regions is from 101 billion rials for the earthquake with magnitude V-VI to 844 for the earthquake with magnitude VII. Due to the impact of a seismic crisis, there is a significant volume of expected debris production. In addition, under such circumstances, 29% of the total citizens of Ardabil become homeless.

Conclusion: The city of Ardabil is in the range of moderate to high seismic hazard, which in the current seismic norm of the country has been identified by a specific earthquake with a magnitude of VII and a related acceleration of 0.04g. The city and its environs have a relatively high seismic risk, mainly due to the large population and old and vulnerable buildings. Vulnerability of buildings in Ardabil shows an average value of 0.59 for concrete buildings and 0.93 for masonry buildings. Therefore, masonry structures are predicted to have a higher degree of damage, because the pattern of vulnerability is transferred to the pattern of damage. The vulnerability index of regions 1 (0.950) and 3 (0.850) is higher than other regions. On the other hand, due to the increase in infrastructure and services in areas, one to four vulnerable elements are constantly increasing. Therefore, the only way to reduce seismic risk with a vulnerability reduction approach is through strict measures of seismic regulations and raising public awareness.

Keywords: Physical vulnerability, Ardabil, Vulnerability index, Risk scenario.

Citation: Rasol Samadzadeh (2023). Earthquake risk scenarios in urban areas (Case study: Ardabil city), *Res. Earth. Sci.* 14(3), (111-129) DOI: 10.48308/ESRJ.2022.102317


* Corresponding author E-mail address: samadzadehr@gmail.com



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

سناریوهای خطرپذیری زمین لرزه در مناطق شهری

(مورد پژوهی: شهر اردبیل)

رسول صمدزاده * 

گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل، اردبیل، ایران

پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۱۱ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۹

چکیده گسترده

مقدمه: ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای در مقیاس شهری یک فعالیت ضروری برای ارزیابی پیامدهای بالقوه زمین‌لرزه‌های بزرگ است. این روش متشکل از یک سری مراحل پژوهشی سیستماتیک است که با شناسایی خطر لرزه‌ای آغاز شده و با ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها ادامه می‌یابد. تأثیر سناریوهای لرزه‌ای بر روی ساکنین شهر اردبیل، هدف نهایی این مطالعه است تا ضمن فراهم ساختن اطلاعات کارآمد در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای برنامه عملیاتی شهری به روز رسانی گردد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از روشی مبتنی بر شاخص آسیب‌پذیری برای ارزیابی خسارت مورد انتظار در اردبیل استفاده شده است. این روش یک شاخص آسیب‌پذیری را برای نمایش و تعیین اینکه آیا یک ساختمان به طبقه آسیب‌پذیری خاص تعلق دارد، معرفی می‌کند. این روش از میانگین توابع آسیب‌پذیری نیمه تجربی استفاده می‌کند که برای یک شاخص آسیب‌پذیری معین به با لرزه‌خیزی و خسارت مورد انتظار کاملاً مرتبط است. تحلیل خطرپذیری برای سناریوهای لرزه‌ای تعریف شده با شدت‌های لرزه‌ای V، V-VI، VI، VI-VII و VII برای طراحی طرح‌های اضطراری لرزه‌ای انجام شده است.

نتایج و بحث: آسیب‌پذیری بالا باعث آسیب فیزیکی مستقیم قابل توجهی به ساختمان‌ها می‌شود، حتی برای زمین‌لرزه‌های با شدت کم. در نتیجه خسارت فیزیکی مورد انتظار در صورت وقوع زمین‌لرزه‌های متوسط قابل توجه است. برای زمین‌لرزه‌ای با بزرگی V، انتظار نمی‌رود خسارت قابل توجهی باشد، اما برای سناریوی با بزرگی VII، هر پنج منطقه و بافت‌های فرسوده درون آن‌ها سطحی از آسیب را تجربه خواهند کرد که اندکی بیشتر است. در بین مناطق پنج‌گانه شهری، منطقه ۲ به دلیل تراکم ارتفاعی بیشترین تأثیر اقتصادی را خواهد داشت و برای سناریوی با شدت VII حدود ۲۶۱ میلیارد ریال هزینه خواهد داشت. تأثیر اقتصادی زمین‌لرزه‌ای برای مناطق پنج‌گانه از ۱۰۱ میلیارد ریال برای زمین‌لرزه‌ای با بزرگی V-VI تا ۸۴۴ برای زمین‌لرزه‌ای با بزرگی V است. با توجه به تأثیر یک بحران لرزه‌ای، حجم قابل توجهی از تولید آوار وجود دارد. همچنین در چنین شرایطی ۲۹ درصد از کل شهروندان اردبیلی بی‌خانمان می‌شوند.

نتیجه‌گیری: شهر اردبیل در محدوده خطر لرزه‌ای متوسط تا زیاد قرار دارد که در آئین‌نامه لرزه‌ای فعلی کشور با زلزله‌ای خاص با بزرگی VII و شتاب مربوط به آن ۰/۰۴ گرم شناسایی شده است. شهر و اطراف آن از خطر لرزه‌ای نسبتاً بالایی برخوردار است که عمدتاً به دلیل جمعیت زیاد و ساختمان‌های قدیمی و آسیب‌پذیر است. آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در اردبیل میانگین مقدار ۰/۵۹ را برای ساختمان‌های بتنی و ۰/۹۳ را برای ساختمان‌های بنایی نشان می‌دهد. بنابراین پیش‌بینی می‌شود که سازه‌های بنایی دارای درجه آسیب بالاتری باشند، زیرا الگوی آسیب‌پذیری به الگوی آسیب منتقل می‌شود. شاخص آسیب‌پذیری مناطق ۱ (۰/۹۵۰) و ۳ (۰/۸۵۰) بالاتر از سایر مناطق است. از سوی دیگر، با توجه به افزایش زیرساخت‌ها و خدمات در مناطق، یک تا چهار عنصر آسیب‌پذیر به‌طور مداوم در حال افزایش است. بنابراین، تنها راه کاهش خطر لرزه‌ای با رویکرد کاهش آسیب‌پذیری، اقدامات سخت‌گیرانه مقررات لرزه‌ای و افزایش آگاهی عمومی است.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری سازه‌ای، اردبیل، روش نمایه آسیب‌پذیری، سناریوی خطرپذیری.

استناد: رسول صمدزاده (۱۴۰۲). سناریوهای خطرپذیری زمین‌لرزه در مناطق شهری (مورد پژوهی: شهر اردبیل)، پژوهشهای دانش زمین:

DOI: 10.48308/ESRJ.2022.102317، (۱۱۱-۱۲۹)، (۳)، ۱۴

مقدمه

خطرات لرزه‌ای به دلیل پیامدهای احتمالی در مناطق شهری، همواره با نگرانی‌های فزاینده‌ای همراه بوده است. در دو دهه اخیر بسیاری از شهرهای سرتاسر کره زمین مانند لاکوئیل^۱ ایتالیا، بیوبیو^۲ شیلی، مانابی^۳ اکوادور و آماتریسه^۴ ایتالیا تحت تأثیر زمین‌لرزه‌های بزرگ دستخوش ویرانی‌های عمده‌ای شده‌اند. بسیاری از این رویدادها با ویرانی‌های سازه‌های متعدد، تلفات جانی و اقتصادی قابل توجهی را به دنبال داشته است. این مراکز شهری به دلیل تاب‌آوری پایین‌شان، بعد از سال‌ها هنوز قادر به بازیابی عملکرد اصلی‌شان نگردیده‌اند (Lantada et al, 2018; Jiménez et al, 2018). وقایع ویرانگر، همانند موارد یادشده، نشانگر اهمیت ملاحظات کاهش میزان خطرپذیری لرزه‌ای و مدیریت بلایا به عنوان نگرانی اصلی در سیاست‌های جهانی، است. بنابراین، روش‌های ارزیابی در مقیاس بزرگ باید نسبت به روش‌های دقیق‌تری که برای ارزیابی خطر لرزه‌ای ساختمان‌های منفرد طراحی شده‌اند، ترجیح داده شوند. با این وجود، لازم است ارزیابی لرزه‌ای بر روی مناطق آسیب‌پذیر شهرها، که به‌طور معمول شامل مراکز تاریخی و بافت‌های فرسوده هستند، متمرکز شود. در این مراکز، عموماً تراکم بالایی از ساختمان‌های بنایی سنگی یا آجری قدیمی وجود دارد که آسیب‌پذیرترین نوع سازه‌ها محسوب می‌گردند. حفظ برخی از ساختمان‌های بنایی قدیمی، مخصوصاً تاریخی، واقع در مناطق لرزه‌ای فعال یکی از مشکلاتی است که امروزه بسیاری از شهرداری‌ها با آن روبرو هستند. برای حل چنین مسائل مهمی، ارزیابی تاب‌آوری لرزه‌ای این ساختمان‌ها، تقویت آن‌ها با مداخلات سازه‌ای و پیشگیری طولانی مدت و/یا تهیه برنامه‌های اضطراری با استفاده از سناریوهای لرزه‌ای واقعی، حائز اهمیت است (Maio, 2016; Uva et al, 2016). ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای در مقیاس شهری فعالیتی ضروری برای بررسی پیامدهای احتمالی زمین‌لرزه‌های بزرگ است. این روش شامل یک سری مراحل پژوهشی نظام‌مند است که از شناسایی خطر لرزه‌ای آغاز گردیده، با ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها ادامه یافته و توسعه نقشه‌های خطرپذیری و برنامه‌های تعدیلی مناسب پایان می‌یابد (Oliveira, 2016). آنچه که در این رابطه مورد نیاز است، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای نسبتاً سریع ولی دقیق است. در حال حاضر، بسیاری

از روش‌های تحلیل خطرپذیری یک رویکرد بزرگ مقیاس سرزمینی را در نظر می‌گیرند. با این حال، اطلاعات موجود در نقشه‌های بزرگ مقیاس تر چنانچه موقعیت محلی را، که به سرعت در مناطق شهری تغییر می‌یابند، بازتاب ننماید، می‌توانند بلااستفاده باشند. چنین موردی می‌تواند بر ارزیابی خطرپذیری تأثیر منفی بگذارد، که ممکن است در مقیاس جزئی یا محلی بسیار کلی و ناکارآمد باشد (Pilone et al, 2017).

علاوه بر این، مسیرهای راهبردی که شبکه جاده‌ای متداول بارزترین نمونه آن محسوب می‌گردند، تأثیر فزاینده‌ای در برنامه‌ریزی اضطراری دارند، زیرا آن‌ها می‌توانند پس از یک رویداد لرزه‌ای دسترسی مطمئن به عناصر راهبردی را فراهم سازند (Ferlito and Pizz, 2011). در چنین مواردی، آوار تولید شده توسط ساختمان‌های آسیب دیده ممکن است یک مانع اساسی برای فعال کردن حداقل تحرک خدمات اضطراری مورد نیاز برای دستیابی به جمعیت ساکن باشد. برای تعیین سناریوهای خسارت مورد انتظار ناشی از زمین‌لرزه احتمالی، پایگاه داده‌ها باید حاوی اطلاعاتی از قبیل نتایج خطر، ویژگی‌های ساختاری ساختمان‌ها، جمعیت در معرض قرار گرفته و پراکنش جغرافیایی جمعیت در واحدهای کاری، باشد. استفاده از منابع اطلاعاتی مختلف یکپارچه‌سازی کلیه داده‌های ورودی را که از لحاظ زمانی و مقیاس متفاوت هستند، دشوار می‌سازد. یکپارچه‌سازی داده‌ها معمولاً توسط نرم افزار سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت می‌گیرد (Pilone et al, 2017)، که می‌تواند نقاط خطرپذیر اصلی را به سادگی نشان داده، و بدین ترتیب واکاوی و انتشار نتایج را تسهیل نماید (Rivas-Medina et al, 2013). با توجه به گستردگی و امتداد قاره به قاره کمربند کوه‌زاد جوان و فعال آلپ - هیمالیا، مطالعه لرزه‌خیزی محض تا جنبه‌های مختلف سرزمینی به‌ویژه تأثیرگذاری آن بر ابعاد مختلف زندگی سکونتگاه‌های انسانی واقع در قلمرو این کمربند، از دیرباز مورد توجه پژوهشگران حوزه‌های گوناگون علمی بوده است. تعلق سامانه کوهزادی البرز و زاگرس به کمربند یادشده باعث گردیده تا سرزمین ایران نیز همواره در طول تاریخ با زمین‌لرزه‌های ویرانگری مواجه گردد. از این‌رو پژوهشگران مختلف و با گرایش‌های متفاوت پدیده لرزه‌خیزی ایران را مورد مطالعه قرار داده‌اند. یکی از جنبه‌های مطالعاتی مرتبط

خاوری - باختری تقریباً به طرف شمالی؛ یعنی در جهت کاملاً متفاوت تغییر می‌یابد، مخصوصاً این‌که بسیاری از زمین‌لرزه‌های تاریخی و ویرانگر منطقه نیز در این محدوده و در امتداد گسل‌های یاد شده روی داده است. برای نمونه می‌توان به قدیمی‌ترین آن‌ها؛ یعنی زمین‌لرزه‌های ۱۵۹۳ سراب با بزرگای $M_s=6/1$ و همچنین زمین‌لرزه هیر - اردبیل در ۳۰ دسامبر ۱۸۶۳ اشاره نمود. جدیدترین آن زمین‌لرزه روستای گلستان در سال ۱۳۷۵ با بزرگای $M_s=6/1$ است، که ویرانی‌های فراوانی در سیزده روستای تابعه استان برجای گذاشت. بنابراین می‌توان گفت که منطقه توان بالقوه ایجاد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۶ تا ۶/۵ ریشتر را دارد (صمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹). در این پژوهش، رویکرد تحلیلی و روش شناختی جدیدی برای ارزیابی آسیب‌پذیری هر سازه ساختاری ارائه شده است. تأثیر سناریوهای لرزه‌ای بر روی سکونتگاه‌ها و ساکنین یکی از کهن‌ترین شهرهای ایران یعنی اردبیل، هدف نهایی این مطالعه است تا ضمن فراهم ساختن 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.

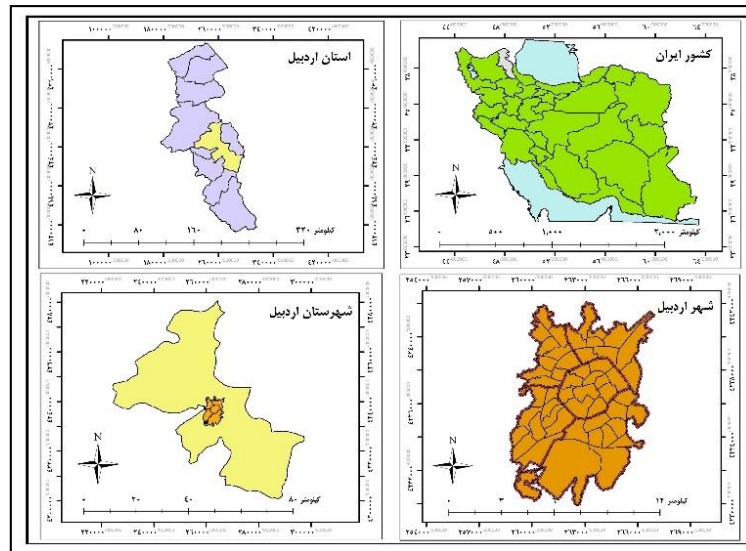
منطقه مورد مطالعه

اردبیل سومین شهر بزرگ و پرجمعیت شمال باختری ایران است. این شهر در داخل یک چاله ساختمانی موسوم به دشت اردبیل قرار گرفته است. پس از پی‌ریزی اسکلت کنونی ناهمواری‌ها و چین خوردگی ملایم آن‌ها شکل اولیه دشت اردبیل به وجود آمد و در مرحله بعدی بر اثر عملکرد گسل‌های منطقه این چاله به تدریج فروافتادگی پیدا کرده و به صورت یک گرابن در آمده است. بدین ترتیب دشت اردبیل در ضلع جنوب باختری توسط گسل‌های عمده‌ای همانند گسل‌های دامنه‌های شمالی و جنوبی بزغوش و گسله بالیقلوچای با راستای تقریبی باختری - خاوری و گسل‌های نئور و دامنه‌های خاوری ارتفاعات تالش با راستای شمال خاوری - جنوب باختری احاطه شده است (صمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹). نهشته‌های این گستره شامل سنگ‌های آتش‌فشانی جدید سبلان، مخروط‌افکنه‌های جوان کواترنری

با لرزه‌خیزی این سرزمین، آسیب‌پذیری (اکولوژیکی، سیاسی، اجتماعی، جمعیت‌شناختی و فیزیکی) در کلیت خود است. لذا در بررسی پیشینه پژوهشی با توجه به محوریت موضوع سعی گردیده تا برخی از منابع مطالعاتی خطرپذیری زمین‌لرزه در رابطه آسیب‌پذیری فیزیکی سکونتگاه‌های انسانی به‌طور خلاصه مورد اشاره قرار گیرد: شریکانث و همکاران (Srikanth et al, 2010)، آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود در شهرهای گاندهیدام^۵ و ادیپور^۶ گجرات^۷ هند؛ استانیسیا، اسپاسون و فابیه ته‌تی (Staniscia et al, 2017) ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای براساس رفتار لرزه‌ای؛ تافارل و همکاران (Taffarel, 2018) روش‌های سریع ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در بافتار سرزمینی اروپا با رویکرد قابلیت اطمینان، امکان سنجی و صرف هزینه و زمان مورد مطالعه قرار داده‌اند. علاوه بر این مکان‌های فرهنگی میراث جهانی یونسکو در سراسر اروپا از لحاظ خطرپذیری لرزه‌ای توسط دسپوتاکي و همکاران (Despotaki et al, 2018)؛ و بررسی مجدد نمایه‌های آسیب‌پذیری و روش‌های مبتنی بر طیف ظرفیتی^۸ که برای ارزیابی آسیب‌های فیزیکی مورد انتظار در مسکن، مزایا و کاستی‌های عمده آن‌ها نیز به وسیله لانتادا و همکاران (Lantada et al, 2018) مورد بحث و واکاوی قرار گرفته است. در مورد دشت اردبیل نیز می‌توان به مطالعات اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۲)، ایمانی و پورخسروانی (۱۳۹۶) اشاره نمود. در گستره شمال باختری ایران، دو پهنه زمین‌ساختی با رژیم‌های تنشی متفاوت حاکم است: نخست، گستره‌ای با پیشینه فشارش افقی شمال باختر - جنوب خاور (گسل شمال تبریز)؛ دوم، گستره‌ای با پیشینه فشارش افقی شمال خاور و جنوب باختر (گسل نئور و خطواره معناتپسی میانه - اردبیل) در ارتفاع‌های تالش (صمدزاده، ۱۳۹۸). امتداد شمال باختری ارتفاعات تالش با کمان ۴۵ درجه‌ای موسوم به کوه‌های عنبران است. این ارتفاعات واقع در شمال خاوری دشت اردبیل در بطن خود گسل‌های اصلی و فرعی بسیاری را جای داده است. از سمت باختر دشت اردبیل نیز رودخانه بالیقلوچای مسیر خود را بر گسل بالیقلو تطبیق داده است. در دامنه‌های توده آتش-فشان‌ی سبلان نیز دو گروه گسل به صورت خطی و کمانی وجود دارند. لذا این محدوده و مناطق پیرامونی آن در جایی قرار گرفته است که در آن روند ساختارها از

محدوده‌های باختری و شمال‌باختری محدوده مورد مطالعه، دامنه‌های سبلان و مرز ناگسستگی آن با دشت از گدازه‌های آتشفشانی عمدتاً تراکی‌آندزیتی دگرسان شده، تشکیل شده است. این گدازه‌ها در بیشتر قسمت‌ها توسط یخرفت-های نامقاوم حاصل از عقب‌نشینی یخچال‌های سبلان، تا ارتفاعات ۱۸۰۰ متری، پوشیده شده‌اند.

واقع بر روی نهشته‌های کهن‌دریاچه پلیو - کواترنر اردبیل، جریان‌های گلی آتشفشانی متعلق به ۱۱۰ هزار سال پیش یعنی آخرین فعالیت انفجاری سبلان (صمدزاده، ۱۳۹۸؛ قلم‌قاش و همکاران، ۲۰۱۶) و یخرفت‌های متعلق به پلیستوسن پسین (صمدزاده، ۱۳۹۳) است. این کهن‌دریاچه در اوج گسترش خود تا محدوده‌های ارتفاعی ۱۸۰۰ متری پایکوه‌های خاوری سبلان گسترش داشت. در سرتاسر



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه؛ شهر اردبیل در گوشه شمال باختری ایران

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 تاثیرات آن بر جمعیت براساس تعداد ۱۴۶ هزار ساختمان مسکونی صورت گرفته است. در این پژوهش روش نمایه آسیب‌پذیری به منظور ارزش‌گذاری عددی هر ساختمان از لحاظ کیفیت لرزه‌ای و برای تدوین سنایورهای لرزه‌ای، رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها براساس شدت مهلرزه‌ای مبتنی بر مقیاس اروپایی (EMS-98) استفاده شده است. سپس آسیب‌پذیری فیزیکی ساختمان‌های شهر اردبیل و تاثیرات 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:

مساحت این شهر ۶۲۸۸ هکتار و براساس سرشماری عمومی سال ۱۳۹۵ جمعیت آن ۵۲۹۳۷۴ نفر است. تراکم جمعیت شهر به ۸۴/۱۸ نفر در هر هکتار می‌رسد. همانند دیگر شهرها و مراکز استانی بزرگ ایران، شهر اردبیل نیز شامل نواحی و کانون‌های جمعیتی متعددی در پیرامون خود بوده که بخشی از تقسیمات محلی اداری شهر را تشکیل می‌دهد. این مناطق برآیند رشد و تکامل شهر و گروه‌بندی‌های تاریخی جمعیت آن است. این شهر از ۵ منطقه و ۱۵ ناحیه تشکیل شده که قدیمی‌ترین آن ناحیه یک واقع در منطقه یک است (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

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 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

رفتار لرزه‌ای^۹

رفتار لرزه‌ای از نظر شدت مه‌لرزه‌ای^{۱۰} با توجه به مقیاس اروپایی (EMS-98) (Grunthal, 1998) در نظر گرفته شده و ساختمان‌ها نیز با استفاده از نمایه‌های آسیب‌پذیری (LM1) مشخص شده‌اند. به عبارت دیگر روش LMI که به عنوان بخشی از پروژه EU-Risk (خطرپذیری اروپا) تدوین گردیده (Lantada, 2007; Milutinovic and Trendafiloski, 2003; Mouroux and Lebrun, 2006a, 2006b) مورد استفاده قرار گرفته است. سناریوهای زمین لرزه را می‌توان براساس زمین‌لرزه‌های احتمالی در منطقه مورد مطالعه انتخاب کرد. سناریوهای قطعی به گونه‌ای تعریف می‌شوند که نماینده زمین‌لرزه‌های تاریخی بزرگ باشند. معمولاً بیشترین شدت لرزه‌ای که در منطقه مورد مطالعه تجربه شده است انتخاب می‌گردد.

در این رابطه زمین‌لرزه‌های با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله انتخاب می‌گردد، یعنی شدت مه‌لرزه‌ای با احتمال رویداد ۱۰٪ در هر ۵۰ سال (Lantada et al, 2018).

روش نمایه آسیب‌پذیری

این روش عبارت است از ارزش‌گذاری عددی هر ساختمان به منظور نمایش "کیفیت لرزه‌ای" آن. این عدد نمایه آسیب‌پذیری (VI) نامیده می‌شود. این نمایه حاصل جمع

ارزش‌های عددی بیانگر "کیفیت لرزه‌ای" پارامترهای سازه-ای و غیرسازه‌ای است که به نظر می‌رسد نقش مهمی در پاسخ لرزه ای ساختمان دارند. ضرایب پارامترها براساس داده‌های آماری حاوی سازه‌های آسیب دیده توسط زمین لرزه‌های مختلف تعیین می‌گردد (Belheouane and Bensaibi, 2013). پارامتر در نظر گرفته شده می‌تواند تنها یک عامل را اختیار نماید (جدول ۱). این روش که توسط گرونثال (Grunthal, 1998) و مطالعات پروژه خطرپذیری اروپا (Risk-UE) (Giovinazzi, 2005; Giovinazzi and Lagomarsino, 2002; Milutinovic and Trendafiloski, 2003; Lagomarsino and Giovinazzi, 2006) 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 در بر می‌گیرد.

جدول ۱: گونه‌شناسی سازه‌ای و رده‌های آسیب‌پذیری در شهر اردبیل براساس داده‌های سرشماری سال ۱۳۹۵

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
۰/۴۶۰	۰/۶۵۰	۰/۷۷۶	۰/۹۵۳	۱/۰۲۰	M3.2	تاق‌های بنایی	(غیرمسلح)
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	
-/۰۲۰	۰/۲۵۷	۰/۴۰۲	۰/۷۲۰	۱/۰۲۰	S5	شبکه مختلط فولادی و RC	

ساختمان با استفاده از یک نمایه آسیب‌پذیری خاص، که از یک نمایه اصلی، BTM^{VI} * 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 احتمال و ممکن تطبیق داد. در این مطالعه، اصلاح‌کننده‌های ناحیه‌ای و رفتاری در نظر گرفته شده است.

در جدول ۱، نمایه‌های آسیب‌پذیری (VI) ساختمان‌های شهر اردبیل، BTM^{VI} * (محتتم‌ترین مقدار است، $\chi = 1$)، $[BTM^{VI} - BTM^{VI}]$ (فاصله‌ای را نشان می‌دهد که در آن نمایه‌های آسیب‌پذیری احتمالی یافت می‌شود، و $\chi = 0.2$) $[min, BTM^{VI} \max, BTM^{VI}]$ کمینه و بیشینه مقادیر ممکن را تعریف می‌کند. در این روش، هر

جدول ۲: اصلاح‌کننده‌های رفتاری مورد استفاده برای ساختمان‌های بتن آرمه و بنایی شهر اردبیل براساس داده‌های سرشماری سال

۱۳۹۵

محدوده	پارامترها	عوامل رفتاری	
-۰/۰۲	پایین (۱ یا ۲)	بنایی	- ارتفاع یا
+۰/۰۲	متوسط (۳، ۴، ۵)		تعداد طبقات
+۰/۰۶	کم (≥ ۶)		
-۰/۰۴	پایین (۱ یا ۲)	بتن آرمه	
۰	متوسط (۳، ۴، 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	نبش		
	تفاوت در ارتفاع		- تعدیل‌کننده مکانی:
+۰/۰۲	کمتر از ۲ طبقه		ارتفاع
-۰/۰۴	تفاوت در ارتفاع		
+۰/۰۴	۲ طبقه و بیشتر		

دارند، یک ساختمان نبش فقط یک ساختمان مجاور دارد.

متغیرهای اصلی این نمایه عبارت‌اند از:

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 ۱ تعریف می-

گردد:

رابطه ۱)

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

گیوینازی (Giovinazzi, 2005) یک تابع آسیب نیمه

تجربی مرتبط با شدت مهلهزه‌ای (I)، نمایه آسیب‌پذیری

(VI)، و میانگین درجه آسیب (μ_D) را تنظیم نموده است.

معادله زیر این توابع آسیب را تعریف می‌کند:

رابطه ۲)

$$\mu_D = d^* = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I+6.25VI-13.1}{2.3} \right) \right]$$

جدول ۲ اصلاح‌کننده‌های رفتاری اتخاذ شده برای

ساختمان‌های بتن آرمه و بنایی در این پژوهش را نشان

می‌دهد، که ساختمان‌های غالب شهر اردبیل را نشان می-

دهند. اصلاح‌کننده‌ها و مقادیر و دامنه‌های ویژه‌شان بعد از

بحث و تبادل نظر با متخصصانی همچون معماران و

مهندسان عمران صاحب‌نظر در ساخت‌وساز شهری، تثبیت

گردیدند. اصلاح‌کننده ناحیه‌ای به عنوان تابعی از طول عمر

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 می-

کند. به دلیل این که اصلاح‌کننده رفتاری، نمایه آسیب-

پذیری ساختمان‌های بلندمرتبه ممکن است دارای فراوانی

۰/۰۸ + واحد باشد، در حالی که ساختمان‌های کم ارتفاع

ممکن است دارای مقادیر حداکثر ۰/۰۲ - واحد باشند، از

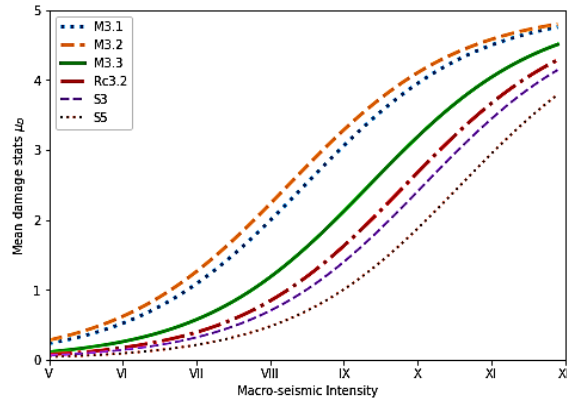
اصلاح‌کننده مکانی می‌توان برای در نظر گرفتن تفاوت در

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 نبش. در مقابل

ساختمان‌های میانی و گوشه‌ای که دو ساختمان مجاور



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

و به این ترتیب، احتمال درجه آسیب، $k = 0, \dots, 5$ را می‌توان با استفاده از معادله رابطه ۶ بدست آورد.

رابطه ۶

$$P_k = P_\beta(k+1) - P_\beta(k) \\ k = 0, \dots, 5$$

بنابراین، برای هر ساختمان، که به وسیله نمایه آسیب‌پذیری آن، VI، و برای هر سناریوی زمین‌لرزه، که با استفاده از شدت مهلرزه‌ای EMS-98، I، تعریف شده است، از رابطه ۲ می‌توان برای به دست آوردن میانگین درجه آسیب، μ_D و معادله‌های ۶ و ۳ برای به دست آوردن DPM ویژه، استفاده نمود، یعنی احتمالات هر درجه آسیب.

آسیب به جمعیت

با توجه به نوع ساختمان و فهرستی از تلفات، کوبورن و اسپنس (Coburn and Spence, 1992, 2002)، تعداد مربوط به تلفات (KS) را به صورت رابطه ۷ مدل‌سازی نموده‌اند.

رابطه ۷

$$K_S = C \cdot [M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot (M_4 + M_5 \cdot (1 - M_4))]$$

که در آن C تعداد ساختمان‌های فروریخته است. سپس برای هر ساختمان M1 تعداد ساکنان، M2 نرخ اشغال و M3 درصدی از ساکنان ساختمان است که به دلیل فروریختگی آن به دام افتاده‌اند. بنابراین، حاصل M1، M2، M3، تعداد افرادی است که در اثر زمین‌لرزه در ساختمان آسیب‌دیده گرفتار شده‌اند. در پایان، M4 و M5 پارامترهایی هستند که برای ارزیابی پراکنش فهرستی از تلفات استفاده شده است. برای هر دسته از تلفات، M4 درصد افراد گرفتار شده‌ای را به دست می‌دهد که متحمل هر نوع آسیب گردیده‌اند. M5 فقط در مورد افراد فوتی

از آنجایی که میانگین درجه آسیب شناخته شده است، DPM را می‌توان با استفاده از فرض توزیع آماری دوجمله‌ای بازبایی 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 رابطه ۳ به دست آمده است:

رابطه ۳

$$P_\beta(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(q)\Gamma(t-q)} \frac{(x-a)^{q-1}(b-x)^{t-q-1}}{(b-a)^{t-1}} \\ a \leq x < b$$

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، t و q پارامترهای توزیع بتا هستند. t مربوط به پراکنندگی توزیع است. مقدار $t = 8$ باعث می‌شود که توزیع بتا با توزیع دوجمله‌ای سازگار باشد. a و b که به درجات آسیب مربوط می‌گردند، براساس $a = 0$ و $b = 5$ تعیین می‌شوند، زیرا ۵ درجه آسیب غیر تهی در نظر گرفته شده است. در پایان، معادله رابطه ۴ میانگین درجه آسیب μ_D و پارامترهای q و t توزیع بتا را پیوند می‌دهد (Milutinovic and Trendafiloski, 2003).

رابطه ۴

$$q = t(0.007\mu_D^3 - 0.052\mu_D^2 + 0.2875\mu_D)$$

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 pdf رابطه ۱ تعیین می‌گردد؛ به این معنا که (رابطه ۵):

رابطه ۵

$$P_\beta(x) = \int_a^x P_\beta(\varepsilon) d\varepsilon$$

خانمان در یک ساختمان i با گونه‌شناسی (Nph_{it}) به شرح رابطه ۸ است.

رابطه ۸)

$$Nph_{it} = Npv_{it} \cdot Nviv_{it} [0.9P_{it}(Severe) + P_{it}(Complete)]$$

که در آن Npv_{it} تعداد افراد ساکن در ساختمان i با گونه-شناسی t است، $Nviv_{it}$ تعداد مساکن در ساختمان است و Pit (شدید) و Pit (کامل) به ترتیب احتمالات حالت‌های آسیب شدید و کامل را نشان می‌دهند. بنابراین، مقدار $[0.9Pit + Pit(شدید)]$ (کامل) تعداد مساکن در ساختمان i نوع t را تعریف می‌کند که غیرقابل استفاده شده اند. لازم به یادآوری است که برای استفاده از این مدل، تنها چهار حالت آسیب در نظر گرفته شده است، زیرا در رابطه 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.

مقادیر غیر از صفر را در برمی‌گیرد. در این حالت، M4 تعداد کشته‌شدگان ناشی از فروریختگی ساختمان را به‌طور مستقیم نشان می‌دهد و M5 نیز امکان مرگ‌ومیر پس از هر زمین‌لرزه را می‌پذیرد. برای ساختمان‌های بنایی و بتن آرمه، مقادیر (جدول ۳) براساس پیشنهادهای واکارنو و همکاران همکاران (Vacareanu et al, 2004) و کوبورن و اسپنس (۱۹۹۲) انتخاب گردید. این مقادیر مربوط به زمین‌لرزه‌ای است که در طول شب رخ داده است، با پیش-فرض 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 براساس مدل کوبورن و اسپنس (Coburn and Spence, 2002)، 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

جدول ۳: مقادیر انتخابی برای پارامترهای رابطه ۶

پارامترهای موردنیاز برای برآورد تلفات انسانی				گونه‌شناسی ساختمان		
M5 (%)	مرگ و میر	آسیب‌دیدگی های شدید	آسیب‌دیدگی‌هایی که مستلزم بستری شدن در بیمارستان هستند	آسیب‌دیدگی اندک	M3 (%)	M5 (%)
۶۰	۱۵	۲۵	۳۰	۳۰	۵	۸۰
۹۰	۴۰	۴۰	۴۰	۱۰	۵۰	۸۰

هزینه اقتصادی

برای ساختمان (j) از نوع (t) ، پارامترهای درگیر در ارزیابی احتمال هزینه تعمیر اقتصادی به شرح زیر است: (۱) هزینه Vc_t واحد (m^2) منطقه آسیب دیده، که برای همه ساختمان‌ها از یک نوع (t) یکسان فرض می‌گردد؛ (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 k (P_{jik}) و 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 رابطه ۹ است.

رابطه ۹)

$$cost = \sum_{t=1}^{Nt} \{ Vc_t \sum_{j=1}^{Net} [Area_{jt} \sum_{k=1}^{Ns} P_{jik} \cdot RC_{tk}] \}$$

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_{jik} احتمال وضعیت آسیب k در ساختمان j از نوع t است. 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 Vc_t هزینه برآورد شده بر حسب متر مربع برای ساختمان‌های نوع t است. مقدار Vc_t باید نزدیک به هزینه-های واقعی مواد و نیروی کار مورد نیاز برای بازیابی اموال آسیب دیده باشد، اما Vc_t قیمت زمین را شامل نمی‌شود. سرانجام، Nt تعداد انواع ساختمان‌هایی است که در مدل BTM در نظر گرفته شده است (جدول ۴). مدل ارائه شده در این پژوهش ساده بوده و مبتنی بر گزارش ATC-13

($Tcost$) عبارت است از مجموع هر دو مقادیر، یعنی ۱/۵ برابر ارزش به دست آمده در معادله رابطه ۹.

(۱۹۸۵) است. در این مدل فرض بر این است که مقدار محتویات ساختمان‌های مسکونی ۵۰٪ هزینه تعویض ساختمان است. کل هزینه‌های خسارت مستقیم اقتصادی

جدول ۴: ویژگی‌های کالبدی شهر اردبیل (تراکم جمعیت، تعداد ساختمان‌های مسکونی و میانگین سال ساخت)

مناطق	جمعیت	مساحت M ²	تراکم جمعیت		ساختمان‌های مسکونی		میانگین سال ساخت
			ساکنین / کیلومتر مربع	ساکنین در هر هکتار مسکونی	تعداد ساختمان	مساحت واحد مسکونی M ²	
۱	۱۱۳۴۷۶	۹۶۲۵۱۰۰	۱۱۷۸۹	۱۱۸	۸۹۷۵	۳۵۲۹۸۱۵	۴۰
۲	۱۱۰۵۸۹	۲۲۸۷۹۶۰۰	۴۸۳۳	۴۸	۸۷۵۰	۲۲۵۰۶۰۰۷	۳۰
۳	۱۰۰۵۰۴	۱۰۱۳۷۷۰۰	۹۲۰۸	۹۲	۷۹۱۰	۱۵۵۵۵۵۳	۲۵
۴	۱۰۳۸۱۲	۸۵۷۱۴۹۰	۱۲۱۱	۱۲۱	۸۶۱۰	۲۱۲۴۴۶۳	۲۵
۵	۱۰۰۹۹۳	۱۰۸۹۵۳۰۰	۹۲۶۹	۹۲	۸۶۲۵	۲۰۳۴۷۴۶	۲۰
کل شهر	۵۲۹۳۷۴	۶۲۱۰۹۱۹۰	۳۶۳۱۰		۴۲۸۷۰	۳۱۷۵۰۵۸۴	۲۸

رابطه (۱۱)

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

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؛ j 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. مدل‌های مورد استفاده در اینجا دو نوع ساختمان و دو نوع آوار را در نظر می‌گیرند. مقادیر پارامترها در معادلات ۱۰ و ۱۱ از واکارنو و همکاران (Vacareanu et al, 2004) گرفته شده است، که خود جزئی از مدل HAZUS 99 است (FEMA / NIBS 2002).

سناریوهای زمین‌لرزه

براساس 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 $\log N = a - b(M)$ براساس نگاشت‌های 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

آوار حاصله از تخریب بناها

در برآورد حجم آوار تولید شده هر دو روش HAZUS 99 (FEMA / NIBS, 2002) و دستورالعمل‌های مربوط به پروژه Risk-UE (Vacareanu et al, 2004) اهمیت و کارآمدی ویژه‌ای دارند. حجم آوارهای به جا 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 رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

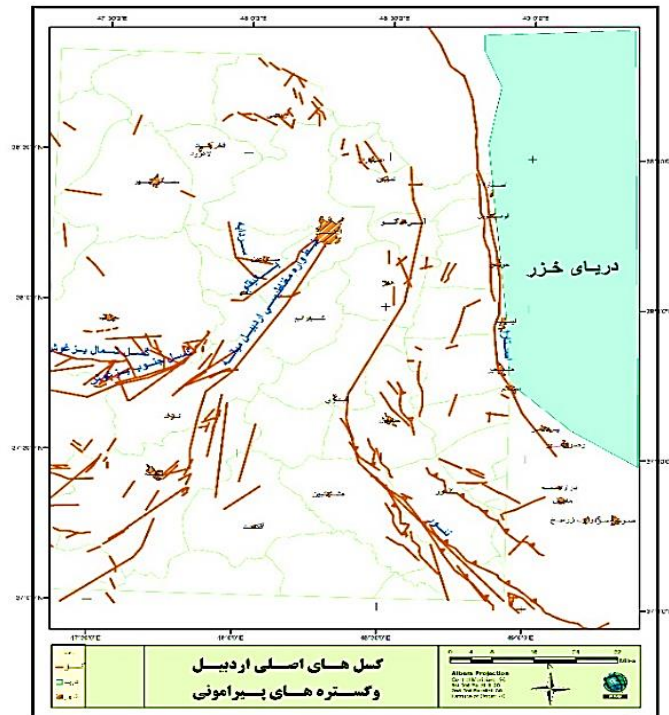
رابطه (۱۰)

$$De_{jtk} = A_{jt} \cdot W_{et} \cdot F_{etk}$$

که در آن De_{jtk} سهم وزن کل آوار نوع e حاصله از ساختمان j از نوع t است، وقتی که ساختمان دارای درجه آسیب K ؛ A_{jt} مساحت ساخته شده ساختمان j 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، به دست می‌دهد. برای یک سناریوی لرزه‌ای، فراوانی آوارها از حاصل ضرب بین این مقدار De_{jtk} و احتمال این که ساختمان j از نوع t متحمل درجه آسیب (P_{jtk}) K گردد.

معلم تا شهرک زرناس) استقرار یافته است. این نهشته‌های دریاچه ای و رودخانه‌ای در مجموع شهر را علاوه بر آسیب پذیری مستقیم در برابر خطر زمین‌لرزه برای پدیده‌های ثانوی آن همچون روانگرایی مستعد ساخته است). از طرف دیگر پیرامون شهر نیز گسل‌های متعددی امتداد یافته‌اند که بیانگر توان لرزه‌خیزی بالای شهر می‌باشد (شکل ۳).

بالا) قرار دارد (بیت‌اللهی و رزاقیان، ۱۳۹۷). 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 بالیقوچای از خیابان



شکل ۳: گسل‌های اصلی و فرعی دشت اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن تا شعاع ۷۰ کیلومتری (براساس داده‌های نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردبیل، آستارا، مشکین‌شهر، لاهرود، کیوی، ماسوله و مطالعات میدانی).

منطبق با شدت مهلرزهای VII است. یعنی شهر در پهنه با خطر لرزه‌ای متوسط تا بالا قرار دارد. آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ شتاب‌های پایه را با دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای همه شهرهای ایران تعیین کرده (g ۰/۰۴ برای شهر اردبیل) و معادله رابطه ۱۳ را برای محاسبه دوره‌های بازگشت شتاب‌های پایه دیگر پیشنهاد نموده است.

رابطه ۱۳)

$$a_b|_{PR=t} = a_b|_{PR=500} \left[\frac{t}{500} \right]^{-0.37}$$

که در آن $a_b|_{PR=t}$ شتاب پایه با دوره بازگشت t و $a_b|_{PR=500}$ شتاب پایه برای دوره بازگشت ۵۰۰ سال است.

آیین‌نامه لرزه‌ای کشور (۱۳۹۳، ویرایش ۴) برای تخمین شتاب‌های پایه (a_b) و دوره‌های بازگشت (RT) مربوط به شدت تعیین شده مهلرزهای استفاده می‌شود. برای پیدا کردن شتاب پایه مربوط به سناریوهای لرزه‌ای در نظر گرفته شده، از معادله رابطه ۱۲ (NCSE-94, 1994) استفاده شد. رابطه ۱۲)

$$\log_{10} a_b = 0.301030 I - 0.2321$$

که در آن a_b شتاب پایه است، که معمولاً به عنوان شتاب اوج موثر نیز شناخته می‌شود، و I نیز شدت EMS-98 مهلرز است. براساس معادله رابطه ۱۲، ارزش a_b (شتاب پایه) ۰/۰۴ g برای شهر اردبیل اختصاص داده شده، که

جدول ۵: سناریوهای لرزه‌ای بررسی شده، بر حسب شدت‌های مهله‌زهای، شتاب پایه، $ab(g)$ و دوره‌های بازگشت

دوره‌های بازگشت بر حسب سال (RT)	$ab(g)$	شدت زمین‌لرزه
۷۵	۰/۰۱۹	V
۱۷۵	۰/۰۲۷	V-VI
۵۰۰	۰/۰۴۰	VI
۱۱۳۰	۰/۰۵۴	VI-VII
۳۰۰۰	۰/۰۷۷	VII

جدول ۶: نمایه آسیب‌پذیری و میانگین درجه آسیب برای شدت‌های مختلف لرزه‌ای مناطق پنجگانه شهر اردبیل

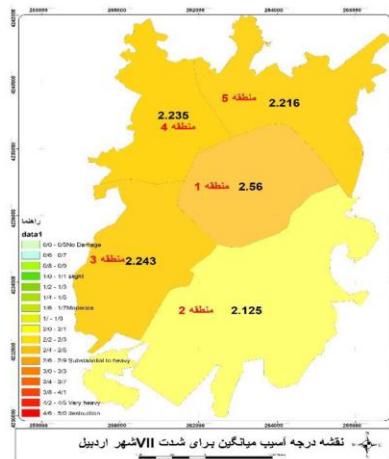
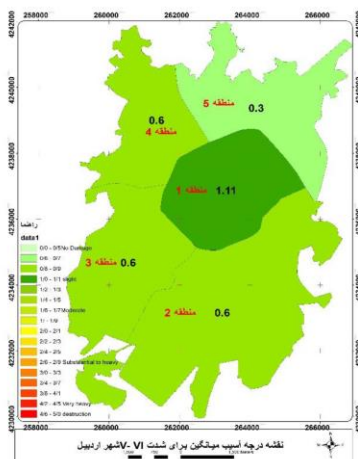
مناطق	نمایه آسیب‌پذیری	شدت لرزه‌ای
VII	۲/۵۶۰	VI-VII
۱	۰/۹۰۵	VI
۲	۰/۶۵۰	V-VI
۳	۰/۸۵۰	VI
۴	۰/۸۳۰	VI
۵	۰/۵۸۰	VI

بحث و نتایج

آسیب‌پذیری و آسیب فیزیکی

آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اردبیل نشانگر ارزش متوسط ۰/۵۹ برای ساختمان‌های بتونی و ۰/۹۳ برای ساختمان‌های بنایی است که آسیب‌پذیرترین آن‌ها هستند. بنابراین پیش‌بینی می‌شود ساختمان‌های بنایی از درجه آسیب بیشتری برخوردار باشند، زیرا الگوی آسیب‌پذیری به الگوی آسیب منتقل می‌شود. نمایه آسیب‌پذیری مناطق ۱ (۰/۹۵۰) و ۳ (۰/۸۵۰) نسبت به بقیه مناطق بیشتر است (عمدتاً به دلیل قدمت ساختمان‌ها).

معادلات ۶ و ۷ برای محاسبه شتاب‌های پایه و دوره‌های بازگشت مربوط به سناریوهای لرزه‌ای واکاوی شده استفاده گردیده است. جدول ۵ شدت مهله‌زهای 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 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.



شکل ۴: درجه آسیب میانگین برای شدت‌های لرزه‌ای VII و V-VI در مناطق پنجگانه شهر اردبیل

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 ۴).

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

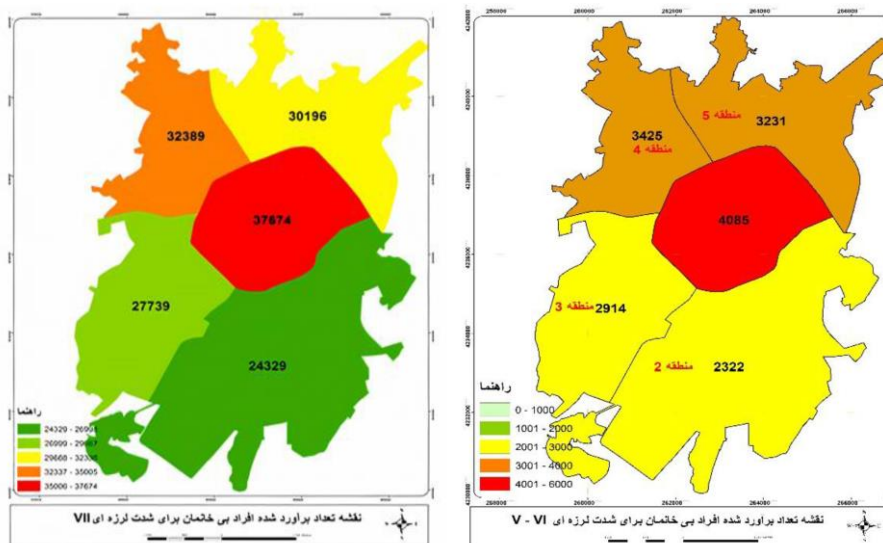
آسیب به جمعیت

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 در برمی‌گیرد.

الگوی ذکر شده در بالا، براساس معادله ۱ به منظور تعیین تعداد افرادی زخمی، کشته و یا بی‌خانمان شده، برای هر ساختمان به‌طور 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

جدول ۷: تعداد برآورد شده افراد بی‌خانمان (۰٪) برای شدت‌های مختلف لرزه‌ای شهر اردبیل

شدت لرزه‌ای		مناطق شهری	
VII	VI-VII	VI	V-VI
۳۷۶۷۴	۱۳۰۴۹	۱۰۰۹۹	۴۰۸۵
۲۴۳۲۹	۱۵۲۷۶	۵۹۷۱	۲۳۲۲
۲۷۷۳۹	۱۸۱۶۷	۷۱۳۵	۲۹۱۴
۳۲۳۸۹	۱۶۸۶۵	۸۵۱۲	۳۴۲۵
۳۰۱۹۶	۲۴۳۲۹	۷۹۷۸	۳۲۳۱
۱۵۲۳۲۷	۸۷۶۸۶	۳۹۶۹۵	۱۵۹۷۷



شکل ۵: تعداد برآورد شده افراد بی‌خانمان برای شدت‌های لرزه‌ای V-VI و VII در مناطق پنجگانه شهر اردبیل

۵). منطقه‌ای که در همه موارد بیشتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت "منطقه یک به عنوان هسته اولیه و مرکزی شهر اردبیل" است. این منطقه با ۱۱۳۴۷۶ نفر، پرجمعیت‌ترین منطقه شهری اردبیل محسوب می‌گردد. برای شدت VII، تعداد مورد انتظار افراد بی‌خانمان ۳۳۹۲۹ نفر خواهد بود (جدول ۷). به‌علاوه انتظار می‌رود تعداد ۱۴۰ (۰/۳٪) کشته و ۴۱۸ نفر نیز مجروح شوند (۸/۸٪).

در صورت وقوع زمین‌لرزه با شدت VII، در مجموع ۲۹۹ نفر به ازای هر هزار نفر عضو جمعیت مناطق پنجگانه بی‌خانمان می‌شوند، یعنی بیش از ۱۷۶۰۰۰ نفر. برای زمین‌لرزه‌هایی با شدت متوسط، هر چند که تعداد بی‌خانمان‌ها کاهش می‌یابد، اما هنوز هم قابل توجه خواهد بود که نشانگر یک وضعیت وخیم است. حتی برای زمین‌لرزه‌ای با شدت V-VI، احتمالاً ۳۲ نفر به ازای هر هزار نفر بی‌خانمان می‌شوند، یعنی ۱۶۵۳۰ نفر بی‌خانمان (جدول ۷ و شکل

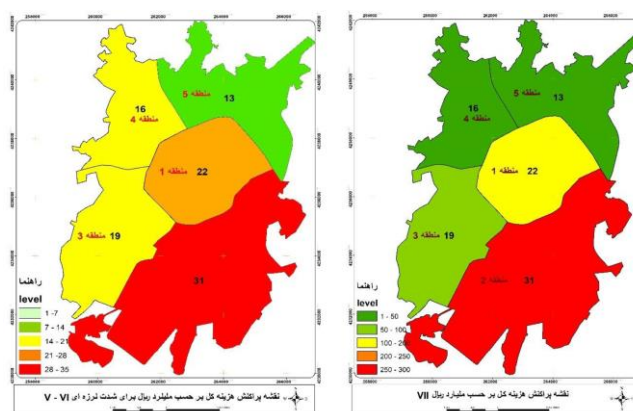
هزینه اقتصادی

خسارات اقتصادی مستقیم ناشی از آسیب مستقیم فیزیکی به ساختمان‌ها طبق مدل تعریف شده در معادله رابطه ۹ به عنوان هزینه مرمت ساختمان‌های آسیب‌دیده برآورد شده است. ارزش تعمیر مربوط به شرط آسیب k برای یک ساختمان z ، RCK ، z به عنوان یک درصد یا هزینه تغییر مکان (V_c) به ازای هر مترمربع مشخص شده است (Lantada et al, 2010). در این مطالعه، مقدار اتخاذ شده برای V_c 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 زمین‌لرزه‌ای با شدت V نمی‌تواند خسارت قابل توجهی ایجاد کند، یک زمین‌لرزه با شدت V - VI تقریباً ۱۰۱ میلیارد ریال برای 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 ۶).

جدول ۸: هزینه کل بر حسب میلیارد ریال

شدت لرزه‌ای				مناطق
VII	VI-VII	VI	V-VI	
۱۸۴	۱۰۸	۵۴	۲۲	۱
۲۶۱	۱۵۳	۷۶	۳۱	۲
۱۵۷	۹۲	۴۶	۱۹	۳
۱۳۳	۷۸	۳۹	۱۶	۴
۱۰۹	۶۴	۳۲	۱۳	۵
۸۴۴	۴۹۵	۲۴۷	۱۰۱	کل شهر



شکل ۶: پراکنش هزینه کل بر حسب میلیارد ریال (هزینه تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده و هزینه‌های داخلی)

مشاوران مالی شهرداری مرکزی اردبیل)، هزینه آسیب فیزیکی به ساختمان‌های این مناطق برای شدت VII (جدول ۸) فراتر از ۸۴ میلیارد تومان می‌رسد که بیش از ۳۰ درصد بودجه کل شهر (در سال ۱۳۹۹) خواهد بود.

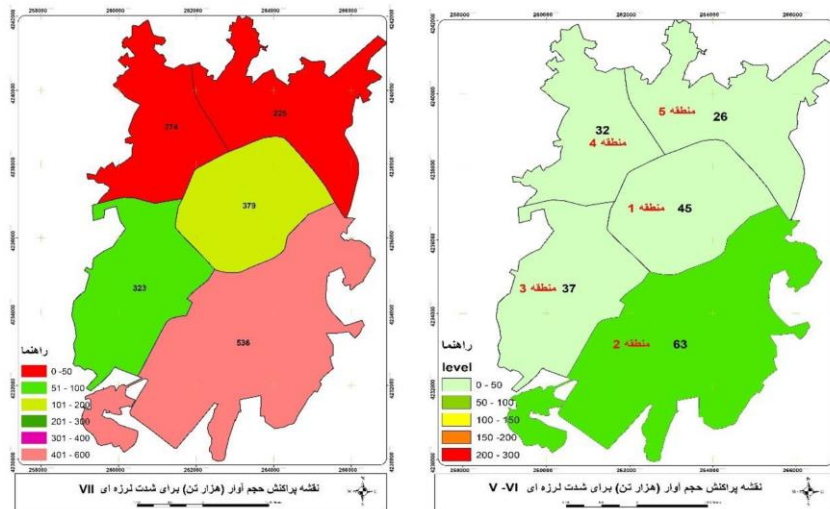
آوار

براساس معادلات روابط ۱۰ و ۱۱، وزن کل آوار یا برای سناریوهای مورد واکاوی با استفاده از GIS برای این مطالعه شبیه‌سازی شده است. احتمال حالت‌های خسارت برای هر ساختمان از ماتریس‌های احتمال آسیب (DPM) مربوط به

در بین مناطق پنجگانه شهری قابل ذکر است که منطقه ۲ به دلیل تراکم ارتفاعی بالا (با میانگین ۵ واحد مسکونی برای هر ساختمان)، بیشترین تأثیر اقتصادی را خواهد داشت، و هزینه تقریبی ۲۶۱ میلیارد ریال برای سناریوی با شدت VII در برخواهد داشت. علاوه بر این، با مقایسه بودجه کل ۵۲۶ میلیارد تومانی (۳۰ درصد جاری و ۷۰ درصد عمرانی) شهرداری اردبیل در سال ۱۳۹۹ که تقریباً در خوش‌بینانه‌ترین حالت وصول ۵۵ درصد آن (معادل ۲۸۹ میلیارد تومان) تحقق می‌یابد (گفتگو با مسولان و

(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. علاوه بر حجم زیادی از آوار، باریک بودن جاده‌های ورودی و خیابان‌های نواحی به شدت مانع مدیریت اضطراری می‌شود. به‌طور قابل توجهی، منطقه‌ای که بیشترین حجم آوار در آن انتظار می‌رود نیز منطقه ۲ شهری است.

سناریوهای تحلیل شده، گرفته شده است. برای زمین‌لرزه-های با شدت V، به دلیل احتمال کم آسیب، انتظار نمی‌رود که حجم قابل توجهی از آوار وجود داشته باشد. با این حال، در صورت وقوع زمین‌لرزه‌ای با شدت بالاتر، مقدار قابل توجهی آوار در شهر ایجاد می‌گردد، به عنوان مثال ۱۷۳۷ تن برای زمین‌لرزه‌ای با شدت VII (جدول ۹ و شکل ۷). به‌طور کلی، بقایای مورد انتظار عمدتاً چوب و آجر است



شکل ۷: حجم آوار تولید شده (برحسب هزار تن) برای شدت‌های لرزه‌ای V-VI و VII در مناطق پنجگانه شهر اردبیل

جدول ۹: آوار تولید شده برحسب هزار تن

شدت لرزه‌ای				مناطق
VII	VI-VII	VI	V-VI	
۳۷۹	۲۲۳	۱۱۱	۴۵	۱
۵۳۶	۳۱۵	۱۵۷	۶۳	۲
۳۲۳	۱۹۰	۹۵	۳۷	۳
۲۷۴	۱۶۱	۸۰	۳۲	۴
۲۲۵	۱۳۲	۶۵	۲۶	۵
۱۷۳۷	۱۰۲۱	۵۰۸	۲۰۳	کل شهر

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. در خصوص آسیب‌پذیری جمعیت در سناریوی بدترین حالت یعنی زمین‌لرزه‌ای با شدت VII حدود سه در هزار نفر (۰/۳٪) از مردم شهر می‌میرند و نه در هر هزار نفر (۰/۹٪) از مردم با شدت‌های مختلف آسیب می‌بینند. این درصدها رقم قابل توجهی است که هزاران نفر را دربرمی‌گیرد. علاوه بر این در صورت وقوع زمین‌لرزه با شدت VII، در مجموع ۲۹۹ نفر به ازای هر هزار نفر عضو جمعیت مناطق پنجگانه بی‌خانمان می‌شوند. برای زمین‌لرزه‌ای با شدت V-VI، احتمالاً ۳۲ نفر

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مولفه‌های آسیب‌پذیری فیزیکی، آسیب به جمعیت، هزینه اقتصادی و آوار حاصل از رویداد زمین‌لرزه در شهر اردبیل برای سناریوهای زمین‌لرزه‌ای با شدت VII و V-VI مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آسیب‌پذیری فیزیکی ساختمان‌های شهر اردبیل نشانگر ارزش متوسط ۰/۵۹ برای ساختمان‌های بتونی و ۰/۹۳ برای ساختمان‌های بنایی است که آسیب‌پذیرترین آن‌ها هستند. نمایه آسیب-پذیری مناطق ۱ (۰/۹۵۰) و ۳ (۰/۸۵۰) نسبت به بقیه مناطق بیشتر است (عمدتاً به دلیل قدمت ساختمان‌ها). برای سناریوی شدت VII درجه آسیب مناطق ۱ و ۳ نسبت

قابل توجهی، منطقه‌ای که بیشترین حجم آوار در آن انتظار می‌رود نیز منطقه ۲ شهری است. از طرف دیگر با توجه به افزایش زیرساخت‌ها و خدمات در مناطق یک تا چهار عناصر در معرض خطرپذیری به‌طور مداوم در حال افزایش هستند. با توجه به تأثیر یک بحران لرزه‌ای در خیابان و شریان‌های ارتباطی، حجم قابل‌توجهی از تولید آوارهای مورد انتظار وجود دارد. به دلیل اثرات ترکیبی حجم زیادی از آوارهای تولید شده و الگوی شهری از خیابان‌های باریک و نامنظم، هرگونه جابه‌جایی با مشکلات متعددی روبرو خواهد شد. به‌طور کلی هر چند که دشت اردبیل و شهرستان اردبیل به عنوان بخشی از این دشت هموار در منطقه با خطر نسبی بالا قرار گرفته است، ولی آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی این شهر، عمدتاً به دلیل ساخت آن‌ها، و نیز عدم دانش و آگاهی از خطر لرزه‌ای و در نظر نگرفتن اقدامات لرزه‌ای مورد انتظار در طراحی و ساخت ساختمان‌ها، زیاد است.

بنابراین، تنها راهکار برای کاهش خطر لرزه‌ای با رویکرد کاهش آسیب‌پذیری از طریق اقدامات سخت‌گیرانه مقررات لرزه‌ای و افزایش آگاهی مردم است. مدیریت اضطراری بعد از زمین‌لرزه و بازیابی بعدی فعالیت‌های عادی اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی شهر در میان مدت و طولانی مدت نیز نکته حائز اهمیت است.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح مطالعاتی با عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی بناهای شهر اردبیل در مقابل خطر زمین‌لرزه براساس آموزه‌های زمین لرزه کرمانشاه» است که بر پایه قرارداد شماره ۹۹/۸۴۸۴/ص تاریخ ۱۳۹۹/۰۳/۰۸ با حمایت مالی اداره کل راه و شهرسازی استان اردبیل انجام گردیده است. در این راستا از زحمات و حمایت‌های بی‌دریغ کلیه مسئولین و دست‌اندرکاران اداره یاد شده بی‌نهایت قدردانی می‌شود.

به ازای هر هزار نفر بی‌خانمان می‌شوند. منطقه‌ای که در همه موارد بیشتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت "منطقه یک به عنوان هسته اولیه و مرکزی شهر اردبیل" است. برای شدت VII، تعداد مورد انتظار افراد بی‌خانمان ۳۳۹۲۹ نفر خواهد بود. به علاوه انتظار می‌رود تعداد ۱۴۰ (۰/۳٪) کشته و ۴۱۸ نفر نیز مجروح شوند (۸/۸٪). از لحاظ ابعاد اقتصادی در حالی که زمین‌لرزه‌ای با شدت V نمی‌تواند خسارت قابل توجهی ایجاد کند، در خوش بینانه‌ترین سناریو روی داد زمین‌لرزه‌ای با شدت VI-VI تقریباً ۱۰۱ میلیارد ریال برای شهر اردبیل هزینه دارد. در بین مناطق پنجگانه شهری، منطقه ۲ به دلیل تراکم ارتفاعی بالا (به‌طور متوسط ۵ واحد مسکونی برای هر ساختمان)، بیشترین تأثیر اقتصادی را خواهد داشت. 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. در میان مناطق پنجگانه شهری، منطقه ۲ به دلیل تراکم ارتفاعی بالا بیشترین تأثیر اقتصادی را خواهد داشت، و برای سناریوی زمین‌لرزه‌ای با شدت VII هزینه تقریبی ۲۶۱ میلیارد ریال متحمل خواهد شد. هزینه آسیب فیزیکی به ساختمان‌های این مناطق برای شدت VII فراتر از ۸۴ میلیارد تومان می‌رسد که بیش از ۳۰ درصد بودجه کل شهر (در سال ۱۳۹۹) خواهد بود. برای زمین‌لرزه‌های با شدت V، به دلیل احتمال کم آسیب، انتظار نمی‌رود که حجم قابل توجهی از آوار وجود داشته باشد. با این حال، در صورت وقوع زمین‌لرزه‌ای با شدت بالاتر، مقدار قابل توجهی آوار در شهر ایجاد می‌گردد (برای سناریوهای VI-VI و VII، به ترتیب بین ۲۰۳ تا ۱،۷۳۷ هزار تن). به طور کلی، بقایای مورد انتظار عمدتاً چوب 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. علاوه بر حجم زیادی از آوار، باریک بودن جاده‌های ورودی و خیابان‌های نواحی به شدت مانع مدیریت اضطراری می‌شود. به طور

پانوشتها

- 1-L'Aquila
- 2-Bio-Bio
- 3-Manabí
- 4-Amatrice
- 5-Gandhidham

- 6-Adipur
- 7-Gujarat
- 8-Capacity spectrum-based methods
- 9-Seismic action
- 10-Macroseismic intensity

منابع (References)

- ATC-13., 1985. Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13, 492, Redwood City, California: Applied Technology Council, 121 p.
- Baitullah, A. and Razagian, G., 2018. Zoning of Iran based on changes in the ratio of seismicity coefficients a / b . Journal of Advanced Applied Geology, v. 29, p. 75-83.
- Belheouane, F.I. and Bensaibi, M., 2013. Assessment of Vulnerability Curves Using Vulnerability Index Method for Reinforced Concrete Structures, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Structural and Construction Engineering, v. 7(6), p. 485-488.
- Baitullah, A. and Razagian, G., 2018. Zoning of Iran based on changes in the ratio of seismicity coefficients a / b . Journal of Advanced Applied Geology, v. 29, p. 83-75 (in Persian).
- Coburn, A. and Spence, R., 1992. Earthquake Protection, 355, Chichester, England: John Wiley & Sons, 355 p.
- Coburn, A. and Spence, R., 2002. Earthquake Protection, 420. 2nd ed. Chichester, England: John Wiley & Sons, 436 p.
- Despotaki, V., Silva, V., Lagomarsino, S., Pavlova, I. and Torres, J., 2018. Evaluation of Seismic Risk on UNESCO Cultural Heritage sites in Europe, International Journal of Architectural Heritage, DOI: 10.1080/15583058.2018.1503374.
- Esfandiari, F., Ghafari, A. and Lotfi, K., 2013. Modeling the vulnerability coefficient of cities against earthquakes using the TOPSIS method in the GIS environment (case study: Ardabil city), scientific-research quarterly of quantitative geomorphology researches, second year, v. 2, p. 43-79.
- Esfandiari, F., Ghafari, A. and Lotfi, K., 2013. Modeling the vulnerability coefficient of cities against earthquakes using the TOPSIS method in the GIS environment (Case study: Ardabil city), scientific-research quarterly of quantitative geomorphology researches, second year, v. 2, p. 43-79 (in Persian).
- FEMA., 1997. NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, FEMA-273, Washington, DC: US Federal Emergency Management Agency.
- 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, v. 28(4), p. 31-49.
- Ghalamghash, J., Mousavi, S.Z., Hassanzadeh, J. and Schmitt, A.K., 2016. Geology, Zircon Geochronology, and Petrogenesis of Sabalan Volcano (Northwestern Iran), Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 327, p. 192-207.
- 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).
- 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.
- Imani, B. and Pourkhosravani, M., 2016. Spatial analysis of hazardous areas in Ardabil city, Scientific-Research Quarterly of Geography and Environmental Planning, v. 28, p. 128-109.
- Imani, B. and Pourkhosravani, M., 2016. Spatial analysis of hazardous areas in Ardabil city, Scientific-Research Quarterly of Geography and Environmental Planning, v. 28, p. 109-128 (in Persian).
- Lagomarsino, S. and Giovinazzi, S., 2006. Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings, Bulletin of Earthquake Engineering, v. 4(4), p. 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. and 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.
- 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*, v. 8, p. 201-29. Doi: 10.1007/s10518-009-9148-z.
- Lantada, N., Pujades, L.G. and Barbat, A.H., 2009a. Escenarios de riesgo sísmico para la Barcelona. Plad' Actuació d'Emergència Municipal (PAEM) en cas de sisme" en coordinació con el Plan de Emergencia SÍsmica de CATaluña (SISMICAT), UPC, Barcelona.
- Lantada, N., Pujades, L.G. and Barbat, A.H., 2009b. Vulnerability index and capacity spectrum-based methods for urban seismic risk evaluation, A comparison, *Natural Hazards*, v. 51, p. 15-24. Doi: 10.1007/s11069-007-9212-4.
- Lestuzzi, P., Podesta, 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*, v. 84, p. 249-69. Doi: 10.1007/s11069-016-2420-z.
- Maio, R., 2016. Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: Case study of the old city centre of Faro, Portugal *Journal of Risk Research*, v. 19(5), p. 551-80. doi:10.1080/13669877.2014.988285.
- 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.
- 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, Berlin: Springer.
- Mouroux, P. and Lebrun, B., 2006b. Presentation of RISK-UE Project. *Bull Earthq Eng. Special Issue: Earthquake Scenarios for European Cities*, v. 4(4), p. 323-339.
- Oliveira, V., 2016. Urban morphology. An introduction to the study of the physical form of cities, Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 192 p.
- Pilone, E., Mussini, P., Demichela, M. and Camuncoli, G., 2017. Reprint of: Municipal Emergency Plans in Italy: Requirements and drawbacks, *Safety Science*, v. 97, p. 43-50. Doi: 10.1016/j.ssci.2015.12.032.
- Rivas-Medina, A., Gaspar-Escribano, J.M., Benito, B. and Bernabe, 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*, v. 13(11), p. 12-27. Doi: 10.5194/nhess-13-2717-2013.
- Road, Housing and Urban Development Research Center., 2014. Earthquake Design Regulations for Buildings, Standard 2800.Tehran, Issue No. Z-253 (in Persian).
- Road, Housing and Urban Development Research Center., 2014. Earthquake Design Regulations for Buildings, Standard 2800.Tehran, Issue No. Z-253.
- Samadzadeh, R., 1398. Geomorphology of Iran, Samat Publishing, Tehran, 486 p (in Persian).
- Samadzadeh, R., 2014. The height of the ice and water balance line, a factor preventing the development of human settlements in the eastern slopes of Sablan, *Proceedings of the first national conference on sustainable rural physical-spatial development*, 2nd and 3rd of July, Tehran, Foundation Maskan Islamic Revolution, p. 207-223 (in Persian).
- Samadzadeh, R., Khayyam M. and Hosseini Amini, H., 2010. A New Isight to the Geomorphological Evolution of the Ardabil Tectonic Depression with a Landscaping Approach, *Journal of Geography and Environmental Planning*, v 21, p. 105-130 (in Persian).
- Samadzadeh, R., 1398. Geomorphology of Iran, Samat Publishing, Tehran, 486 p.
- Samadzadeh, R., 2014. The height of the ice and water balance line, a factor preventing the development of human settlements in the eastern slopes of Sablan, *Proceedings of the*

first national conference on sustainable rural physical-spatial development, 2nd and 3rd of July, Tehran, Foundation Maskan Islamic Revolution, p. 207-223.

-Samadzadeh, R., Khayyam, M. and Hosseini Amini, H., 2010. A New Insight to the Geomorphological Evolution of the Ardabil Tectonic Depression with a Landscaping Approach, *Journal of Geography and Environmental Planning*, v. 21, p. 105-130.

-Staniscia, S.E., Spacone, P. and Fabieteti, V., 2017. Performance based urban planning: framework and L'Aquila historic city center case study, *International Journal of Architectural Heritage*, v. 11(5), p. 1-28. doi:10.1080/15583058.2017.1287977.

-Srikanth, T., Kumar, R.P., Singh, A.P., Rastogi, B.K. and Kumar, S., 2010. Earthquake Vulnerability Assessment of Existing Buildings in Gandhidham and Adipur Cities Kachchh, Gujarat (India), *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X, v. 41, p. 336-353.

-Taffarel, S., Da Porto, F., Valluzzi, M.R. and Modena, C., 2018. Comparing expeditious procedures for the seismic vulnerability assessment on the European territorial context: reliability, feasibility, cost, and time consumption, *International Journal of*

Architectural Heritage, v. 12, p. 7-8, 1150-1161, DOI: 10.1080/15583058.2018.1503375.

-Tavakoli, B. and Ghafouri Ashtiani, M., 1999. Iran Seismic Hazard Map, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Scale: 1: 5,000,000, Tehran, First Edition (in Persian).

-Tavakoli, B. and Ghafouri Ashtiani, M., 1999. Iran Seismic Hazard Map, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Scale: 1: 5,000,000, Tehran, First Edition.

-Uva, G., Sanjust, C.A., Casolo, S. and Mezzina, M., 2016. ANTAEUS project for the regional vulnerability assessment of the current building stock in historical centers. *International Journal of Architectural Heritage*, v. 10(1), p. 20-43. doi:10.1080/15583058.2014.935983.

-Vacareanu, R., Lungu, D., Arion, C. and Aldea, A., 2004. WP07. Seismic risk scenarios handbook, Report, RiskUE Project, Bucharest, 52 p.

-Zare, M., 2016. Introduction to Applied Seismology, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, 350 p.