دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست و چهارم، شماره‌ی ۸۵
بهار ۱۴۰۳ صفحات ۱۵۷-۱۴۱

احمد خواجوی[۱]
رسول صمدزاده*[۲]
محمدتقی معصومی[۳]

# ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی لرزه‌ای ساختمان‌های شهر اردبیل با رویکرد مقاوم‌سازی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹ تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱

## چکیده

علی‌رغم پیشرفت‌های اخیر در واکاوی عملکرد لرزه‌ای انواع سازه‌های ساختمانی، راهبردهای مقاوم‌سازی سازه‌ای هنوز هم یکی از مباحث چالش برانگیز فنی است. هدف پژوهش حاضر رفع این خلاء مطالعاتی از طریق ارائهٔ یک روش-شناسی ساده برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های واقع در بافت‌های فرسودهٔ شهر اردبیل است. روش ارائه شده بر اساس مطالعات میدانی ۱٤٤۰ ساختمان مختلف، یک روش کیفی بوده است. نمایهٔ آسیب مربوط به تمامی ساختمان‌ها محاسبه و میانگین آن‌ها در زمین‌لرزه‌های با شدت‌های ۷ تا ۹ در مقیاس MSK، بر حسب شدت برای انواع مختلف ساختمان‌ها به صورت نمودارهای ستونی و PGA به صورت خطی ترسیم گردیده است. بر اساس نتایج به دست آمده، تقریباً ۳۰ درصد ساختمان‌های فولادی که قدمت آن‌ها کمتر از ۲۰ سال می‌باشد و به دلیل بازنگری در آئین-نامهٔ استاندارد ۲۸۰۰ نسبت به زمان ساخت‌شان در برابر زمین‌لرزه‌ای با شدت ۸ احتمال آسیب زیاد و در شدت ۹ احتمال ریزش و تخریب ساختمان وجود دارد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که این سیستم سازه‌ای نسبت به ساختمان‌های با مصالح بنایی وضعیت بهتری دارد. ساختمان‌های با اسکلت بتنی که قدمت آن‌ها کمتر از ۱۵ سال است در برابر زمین‌لرزه-ای با شدت ۸ احتمال آسیب متوسط و در شدت ۹ احتمال آسیب زیاد وجود دارد. در نهایت سیستم سازه‌ای بتنی نسبت به سیستم سازه‌ای فولادی و بنایی عملکرد بهتری داشته‌اند. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که بیشتر ساختمان‌های موجود در بافت‌های فرسوده و تاریخی در برابر یک زمین‌لرزهٔ با شدت ۸ در ردیف آسیب زیاد و شدت ۹ آسیب کلی و تخریب قرار دارند. ساختمان‌هایی که از آسیب‌پذیری بالایی برخوردارند، بیشتر در نقاط مرکزی شهر (مخصوصاً منطقهٔ یک) واقع شده‌اند.

واژگان کلیدی: نمایهٔ آسیب‌پذیری لرزه‌ای، سازوکارهای آسیب، سناریوهای آسیب، اردبیل

[۱] . دانشجوی دورهٔ دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیا، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران
[۲] . دانشیار گروه جغرافیا، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران ( نویسندهٔ مسئول) . Email:samadzadehr@gmail.com
[۳] . استادیار گروه جغرافیا، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

**مقدمه**

افزایش نمایی جمعیت جهان همراه با رشد شهرهای بزرگ که با توسعهٔ ناموزون کالبدی و تغییرات چشمگیر کاربری زمین نمود عینی می‌یابد، در آسیب‌های مرتبط با رویدادهای ناگهانی لرزه‌ای نقش آفرین هستند. تراکم بالای جمعیت، ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و دیگر محصولات مادی و معنوی انسان‌ساخت، این پهنه‌ها را به گستره‌های با خطرپذیری بالا تبدیل نموده است (Lantada et al., 2009: 502; Carren˜o et al., 2007:140) . در طول سدهٔ بیستم، رخداد بیشتر از ۱۱۰۰ زمین‌لرزهٔ شدید در سطح کرهٔ زمین ثبت گردیده که با تلفاتی فراتر از ۱,۵۰۰,۰۰۰ مورد همراه بوده است. بیشتر این تلفات به فروریزش ساختمان‌ها مربوط می‌گردد که عامل حدود ۹۰٪ از مرگ و میرهای مستقیم به شمار می‌آیند. پیشرفت در طراحی سازه‌ای بر روی سازه‌های جدید و، به میزان کمتری، بازسازی سازه‌های موجود اعمال گردیده است. با این وجود، سازه‌های قدیمی بسیار بیشتری نسبت به سازه‌های تازه ساخته شده وجود دارد. اصلی‌ترین و به احتمال زیاد تنها راه کاهش خطرات در مناطق شهری کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌ها است. (Lantada et al., 2009: 504; Carren˜o et al., 2007: 141). لذا در مناطق شهری مستعد لرزه‌ای متوسط / زیاد، خسارت‌های جانی و اقتصادی ناشی از آسیب شدید فیزیکی ساخت و ساز و فروریزش جزئی یا کلی ساختمان‌های مقاوم‌سازی شده و یا طراحی‌شدهٔ غیرلرزه‌ای انکارناپذیر است. نبود دستورالعمل‌های خاص، به شکل آئین‌نامه‌های تدوین شده، تنها دلیل چنین زمینه‌ای نیست، بلکه به عدم آمادگی جامعهٔ فنی و حرفه‌ای برای انجام اقدامات تقویت همراه با کنترل کیفیت و مهارت تخصصی نیز مربوط می‌گردد. از نظر مفهومی، خطر لرزه‌ای تابعی از سه مولفهٔ احتمالی است: خطر، در معرض قرارگیری و آسیب‌پذیری. در مورد سازه‌های مهندسی عمران، آخرین مولفه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا اقدامات مقاوم‌سازی ضمن کمک به کاهش آسیب‌پذیری ذاتی ساختمان‌ها، کاهش خطر لرزه‌ای را نیز به دنبال دارد. بنابراین، نیاز به تدوین رویه‌های ساده، به منظور کاهش نتایج چنین رویدادهای فرین، است که از پشتوانهٔ علمی برخوردار بوده و در عین حال برای جامعهٔ غیرفنی، مالکان و تصمیم گیرندگان نیز قابل درک هستند (Ferreira et al., 2020: 612; Maio et al., 2016: 56).

شهرها از لحاظ مورفولوژی و عملکرد، از سامانه‌های پیچیده‌ای تشکیل شده‌اند، زیرا آن‌ها متشکل از عناصر یا خرده-سامانه‌های مختلفی هستند که جهت تضمین عملکرد درست شبکه در تعامل با هم هستند (Oliveira, 2016:170). ساختمان‌های راهبردی و کلیدی، مراکز تاریخی، زیرساخت‌های حیانی و فضاهای باز، اجزای اصلی شبکهٔ شهری را تشکیل می‌دهند که بایستی در ارزیابی‌های لرزه‌ای بزرگ مقیاس موردتوجه قرار گیرند (Basaglia et al., 2018:1052)

به منظور ارزیابی آسیب پذیری سازه‌ای، استفاده از رویکردهای مناسب برای مقیاس ارزیابی موردنظر (در سطح ناحیه-ای، منطقهٔ شهری، ساختمان‌های منفرد و مجتمع‌های مسکونی) اساسی است. بنابراین، ماهیت کیفی یا کمی رویکرد اتخاذ شده بایستی توسط سطح جزئیات و اطلاعات ساختمان موجود تعیین گردد. رویکردهای تجربی مبتنی بر واکاوی پراکنش آسیب‌های پس از زمین‌لرزه در بین وضعیت‌های طبقه‌بندی شده مرتبط با گونه‌شناسی مختلف ساختمان و

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

شدت‌های مهلرزه‌ای، است. رویکردهای تحلیلی بر پایهٔ تلاش‌های محاسباتی و مدل‌سازی دقیق سازه‌ای استوار است که در بسیاری از موارد، باید نمایندهٔ گونه‌شناسی خاص ساختمان با استفاده از مقادیر میانه برای خصوصیات مکانیکی و طرح هندسی باشد. علاوه بر این، رویکردهای مختلفی وجود دارد، بر اساس روش تجربه یافت[4] که در آن‌ها آسیب پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها بر اساس نظر متخصص تعیین می گردد (Ferreira et al, 2020: 614). از بین چندین رویکرد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساده که می‌توان در اینجا ذکر کرد، روش "غربالگری عینی سریع ساختمان‌ها در مقابل خطرات احتمالی لرزه‌ای" ارائه شده از طرف انجمن فن‌آوری کاربردی شهر ردوود آمریکا ( ATC[5]-21, 1988)، و روش های پیشنهادی توسط (GNDT- SSN, 1994) و همچنین (Lantada et al., 2018) ارزشمند و درخور توجه هستند.

ایران در ردیف کشورهای با سطح آسیب‌پذیری بالا قرار دارد (Panahi and Abdollahzadeh, 2016:26) .در این میان بافت‌های فرسوده و ناکارآمد شهری به عنوان پهنه‌های آسیب‌پذیر در مقابله با مخاطرات طبیعی شناخته شده‌اند ( Fani et al: 2017: 73). از این‌رو در بیشتر شهرهای جهان و ایران به یکی از چالش‌های جدی در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری تبدیل شده‌اند که سالانه هزینه‌های زیادی را به شهرداری‌های تحمیل می‌نمایند (Molaei & Mohammadi., 2021: 38). لذا این بافت‌ها متناسب با شرایط طبیعی و انسانی در هر شهری مستلزم مداخله و اصلاح است.

گسترهٔ دشت اردبیل توسط گسل‌های لرزه‌زایی چون خطوارهٔ مغناطیسی اردبیل- میانه، گسل شمال بزقوش، گسل نئور، گسل‌های دامنه‌های سبلان و... محصور گردیده است. این گسل‌ها در پیشینهٔ 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 لرزهٔ روستای گلستان در تاریخ ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ با بزرگی $M_S$=6/5 است. لذا تاریخچهٔ لرزه‌خیزی منطقه گویای این واقعیت است که گسترهٔ اردبیل به دفعات رویداد زمین‌لرزه‌های متعدد و ویرانگری را تجربه نموده است. بنابراین می‌توان گفت که منطقه تـوان بـالقوهٔ ایجاد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ٦ تا ٦/٥ ریشتر را دارد (Samadzadeh et al., 2010:107). طبیعتاً در این میان نگرانی‌های ساکنین بافت‌های فرسودهٔ این شهر و متولیان مراکز تاریخی آن به مراتب بیشتر از دیگران خواهد بود. وجود ۱۵ محله تحت عنوان بافت فرسوده در شهر اردبیل به‌ویژه هستهٔ مرکزی آن، مناطق یک و چهار، با گونه‌شناسی ساختمان‌های متشکل از مصالح بنایی شدت درجهٔ آسیب‌پذیری این بافت‌ها را افزایش داده است. با توجه به این که شناسایی نمایه‌های آسیب‌پذیری در بافت‌های فرسوده امری اساسی و مهم برای نوسازی شهری است، برآورد کیفی آسیب مستقیم لرزه‌ای در ساختمان‌های مسکونی بافت‌های فرسودهٔ شهر اردبیل بحث اصلی مقالهٔ حاضر را تشکیل می‌دهد.

[4]. Heuristically based
[5] . Applied technology council

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

## داده‌ها و روش کار

### محدودهٔ مورد مطالعه

اردبیل سومین شهر بزرگ و پرجمعیت شمال باختری ایران است. این شهر در داخل یک چالهٔ ساختمانی موسوم به دشت اردبیل قرار گرفته است. مساحت این شهر ٦٢٨٨ هکتار و بر اساس سرشماری عمومی سال ۱۳۹۵ جمعیت آن ٥٢٩٣٧٤ نفر است. تراکم جمعیت شهر به ٨٤/١٨ 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).




**شکل ۱:موقعیت جغرافیایی شهر اردبیل در گوشهٔ شمال باختری ایران**

**Figure 1: Geographical location city of Ardabil in the northwestern corner of Iran**

### روش پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف از نوع کاربردی و از نظر ماهیت نیز از نوع توصیفی-تحلیلی است. قلمرو پژوهش بافت-های فرسودهٔ واقع در مناطق پنجگانهٔ شهر اردبیل می‌باشد. ساختمان‌های موجود در بافت‌های فرسوده 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

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

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.

برای ارزیابی کیفی، با توجه به متفاوت بودن قابلیت تغییر و سازگاری روش آریا با شرایط ساخت و ساز، از روش کیفی آسیب‌پذیری اصلاح شدهٔ آریا استفاده شده است. این روش بر اساس شدت‌های مختلف لرزه‌ای و برای هر پارامتر ساختمان، ضرایبی را ارائه نموده و در نهایت نسبت خسارت کل ساختمان از ترکیب این ضرایب جزئی محاسبه می‌شود. در این روش نخست پرسشنامهٔ مربوطه تکمیل می‌گردد. این پرسش‌نامه شامل پارامترهایی همانند: شیب زمین، جنس زمین، نوع سیستم سازه‌ای، کیفیت ساخت، ارتفاع ساختمان، سیستم کف طبقات و .... است. در مقابل هر کدام از این پارامترها به ازای شدت‌های لرزه‌ای ۷، ۸ و ۹ در مقیاس MSK[۶] یک ضریب آسیب در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از رابطهٔ ریاضی بین ضرایب آسیب، نسبت آسیب که عددی بین صفر و یک است، به دست می‌آید. با تقسیم‌بندی بین نسبت آسیب می‌توان میزان آسیب‌پذیری ساختمان را برآورد نمود (Saharkhiz and Bakhshi, 2015,2 ;2013:38; Zahraei,).

مقیاس MSK یا مقیاس مهلرزه‌ای اروپا یک مقیاس شدت مهلرزه‌ای است که برای سنجش میزان لرزش زمین بر پایهٔ اثرات مشاهده شده در منطقهٔ زلزله‌زده، در کشورهای اروپایی به کار می‌رود. این مقیاس تا حدودی شبیه مقیاس اصلاح شدهٔ مرکالی (MMI) است که دارای ۱۲ درجهٔ شدت بوده و با اعداد رومی بیان می‌گردد.

شدت زمین‌لرزه یک مقیاس کیفی است برای بیان مقدار قدرت تخریبی آن بر اساس آثار بجامانده با استفاده از مقیاس مرکالی. بزرگای زمین‌لرزه مقیاسی است برای اندازه‌گیری میزان انرژی آزاد شده در کانون زمین‌لرزه که به شکل یک تابع لگاریتمی بوده و با تغییرات انرژی آزاد شده متناسب است (Houg, 2007, 58).

در این پژوهش، برای هماهنگی با شرایط ساختمان‌های شهر اردبیل برخی اصلاحات تکمیلی در این روش صورت گرفته که پارامترهای این روش به همراه اصلاحات صورت گرفته در جدول 2 ارائه شده است. همچنین ضرائب آسیب Li و L'i و پارامترهای Fi در این جدول معرفی شده‌اند. علامت پرایم در بالای نمایه‌ها نشانگر اعمال اصلاحات بر روی آن نمایه است.با توجه به وضعیت ساخت و سازها در بافت‌های فرسودهٔ شهر اردبیل، سه نوع عمدهٔ ساختمان‌ها شامل: بنایی، فولادی و بتن آرمه (جدول ۱) که معرف جامعهٔ آماری بافت‌های فرسوده هستند انتخاب شده‌اند. بدین ترتیب پایگاه داده‌ها برای مطالعهٔ آسیب‌پذیری انواع سازه‌ها در اردبیل به دست آمده است.

[6] . Medvedev Sponheuer Karnik scale (مقیاس مدودف–شپونهویر–کارنیک یا اماس‌کی)

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

جدول ۱- طرح ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه (**Road, and Urban Development Research Center, 2014:80**)

**Table 1- Design of buildings against earthquakes (Road, and Urban Development Research Center, 2014:80)**

| گونه‌شناسی ساختمان | تعریف عملیاتی |
|---|---|
| ساختمان‌های بتن آرمه | ساختمان‌هایی است که در ساخت آن‌ها از بتن و فولاد به صورت میلگرد استفاده می‌شود. طول عمر و مقاومت سازهٔ بتن آرمه به نوع مصالح مورد استفاده در آن بستگی دارد ودر برابر حوادث طبیعی از جمله زمین‌لرزه وآتش‌سوزی مقاوم می‌باشند. |
| ساختمان‌های فولادی | ساختمان‌هایی است که مصالح اصلی آن برای تحمل بارها و انتقال آن‌ها از فولاد استفاده شده است که در ساخت آن‌ها در اتصالات از جوش، پرچ و پیچ و مهره بهره می‌گیرند این سازه سبک بوده واجرای آن در مدت زمان کمتری صورت می‌گیرد. |
| ساختمان‌های مصالح بنایی | منظور از آن ساختمان‌هایی است که با آجر، بلوک سیمانی و یا سنگ ساخته شوند و در آن تمام یا قسمتی از بارهای قائم و تمامی بارهای جانبی (ناشی از زمین‌لرزه ) در هر دو امتداد اصلی ساختمان توسط دیوارهای با مصالح بنایی غیرمسلح تحمل می‌شود. ساختمان های بنایی غیر مسلح به دو دسته تقسیم می شوند.<br>الف – ساختمان بنایی دارای کلاف افقی و قائم که برای یکپارچه عمل کردن ساختمان تعبیه می‌شود و در احداث این نوع ساختمان محدودیت ارتفاع (حداکثر دو طبقه) وجود دارد<br>ب – ساختمان بنایی دارای میلگرد انسجام بخش |

مراحل ارزیابی آسیب پذیری با استفاده از روش آریا به شرح زیر است:

ـ مرحلهٔ نخست: در این مرحلهٔ دوازدهٔ نمایه ای، اطلاعات دوازدگانهٔ پارامترها و ضرایب مربوط به آن ها از طریق مطالعات میدانی و تکمیل پرسشنامه جمع آوری گردیده است (جدول ۲).

**جدول ۲-جدول اصلاحی برای روش تکمیل شده آریا (Zahraei,2013:28)**

Table 2- Correction table for the completed Aria method (Zahraei, 2013: 28, with some changes and additions)

| نمایه | پارامتر و ضرایب آن | زیر پارامتر | ضریب خسارت (L) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | شدت۷ | شدت ۸ | شدت ۹ |
| ($L_1$) | شیب زمین | ۰-۱۵ | ۱ | ۱ | ۱ |
| | | ۱۶-۳۰ | ۱ | ۱ | ۱/۱ |
| | | >۳۰ | ۱ | ۱/۱ | ۱/۲ |
| ($L_2$) | جنس زمین | سخت (I) | ۱ | ۱ | ۱ |
| | | متوسط (II) | ۱ | ۱/۱ | ۱/۲ |
| | | نرم (III) | ۱/۱ | ۱/۲ | ۱/۳ |
| | | روان (IV) | ۱/۳ | ۱/۵ | ۲ |
| ($L_{A1}$) | پی‌ها و شناژها | پی و شناژ مناسب | ۱ | ۱ | ۱ |
| | | پی وشناژ نامناسب | ۱ | ۱ | ۱/۰۵ |
| | | عدم اجرای پی و شناژ | ۱/۰۵ | ۱/۱۰ | ۱/۱۵ |
| ($L_3$) | نوع سیستم سازه‌ای F3=0.6 (اگر روکش نما نداشته باشد | اسکلت فلزی با مهاربند و اسکلت بتن مسلح با دیوار برشی | ۰ | ۰/۵ | ۱ |
| | | اسکلت فلزی بدون مهاربند | ۱ | ۱/۲ | ۲ |
| | | اسکلت بتن مسلح بدون دیوار برشی | ۱ | ۱ | ۲ |

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | شاخص L9 حذف شود و (F3=0/63 | دیوار بنایی بدون کلاف با آجر | ۱/۵ | ۳ | ٤ |
| | | دیوار بنایی با کلاف افقی با آجر | ۱/۲ | ۲/۵ | ۳/۵ |
| | | دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با آجر با اجرای مناسب | ۱ | ۱/۵ | ۲/۵ |
| | | دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با آجر و اجرای ضعیف ( از نظرف یکپارچگی و کلاف بندی) | ۱/۵ | ۲ | ۳ |
| | | دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با بلوک سیمانی با اجرای مناسب | ۰ | ۱/۵ | ۲/۵ |
| | | دیوار بنایی با کلاف افقی با بلوک سیمانی | ۱ | ۲ | ۳ |
| | | دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با بلوک سیمانی با اجرای ضعیف (از نظر یکپارچگی و کلاف بندی) | ۱ | ۱/۷ | ۲/۷ |
| | | دیوار بنایی بدون کلاف با بلوک سیمانی | ۱/۵ | ۲/۵ | ۳/۵ |
| | | نیمه اسکلت | ۲/۵ | ۳/۵ | ٤ |
| (L4) | سیستم کف طبقات F4=0/33 (اگر پیش آمدگی مناسب است و یا وجود ندارد شاخص L7 حذف شود (F4=0/37 | طاق ضربی با تکیه گاه مناسب | ۱ | ۱/۵ | ۳ |
| | | طاق ضربی با تکیه گاه و پا طاق نامناسب | ۲ | ۳ | ٤ |
| | | تیرچه بلوک با شرایط عمومی و تکیه گاهی و پوشش میلگرد مناسب | ۱ | ۲ | ۳ |
| | | تیرچه بلوک با شرایط عمومی و تکیه گاهی و پوشش میگرد نامناسب | ۱/۵ | ۲/۵ | ۳/۵ |
| | | دال بتن مسلح | ۰ | ۰ | ۱ |
| | | سقف چوبی با پوشش سبک | ۰ | ۱ | ۱/۵ |
| | | سقف چوبی با مصالح بنایی | ۲ | ۳ | ٤ |
| | | سقف فلزی سبک یا مهاربند افقی | ۰ | ۱ | ۱/۵ |
| (L5) | ارتفاع ساختمان | یک طبقه ساختمان بنایی یا اسکلت فولادی و بتنی تا سه طبقه دو طبقه ساختمان بنایی یا اسکلت فولادی یا بتنی بالاتر از سه طبقه | ۱ | ۱ | ۱ |
| | | | ۱/۱ | ۱/۲ | ۱/۳ |
| (L6) | باشو در دیوار با مصالح بنایی | رضایت بخش | ۱ | ۱ | ۱ |
| | | متجاوز | ۱/۱ | ۱/۲ | ۱/۳ |
| (L7) | پیش آمدگی‌ها F7=0/04 | رضایت بخش | ۰ | ۰ | ۰ |
| | | متجاوز | ۱ | ۱ | ۱ |
| (L8) | نامنظمی در پلان یا ارتفاع | منظم | ۱ | ۱ | ۱ |
| | | نامنظم در پلان یا ارتفاع | ۱/۱ | ۱/۱ | ۱/۱ |
| | | نامنظم در پلان و ارتفاع | ۱/۲ | ۱/۲ | ۱/۲ |
| (L9) | نماF7=0/04 | (آجری/سنگی) ثابت | ۰ | ۰ | ۰ |
| | | (آجری/سنگی) غیرثابت | ۱ | ۱ | ۱ |
| | | نمای سیمان | ۰ | ۰ | ۰ |
| | | گل | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ |
| ($L_{10}$) | کیفیت ساختمان (با توجه به عمر ساختمان و شرایط اجرایی) | خوب (نیاز به تعمیرات جزئی) | ۰/٦ | ۰/٦ | ۰/٦ |
| | | متوسط (نیاز به مرمت زیاد) | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۸ |
| | | بد (نیاز به بازسازی و مقاوم‌سازی) | ۱ | ۱ | ۱ |
| ($L_{A2}$) | ملاحظات درز انقطاع و تاثیر متقابل سازه همسایه در رفتار ساختمان اصلی | زیاد | ۱/۳ | ۱/۵ | ۱/۷ |
| | | متوسط | ۱/۱ | ۱/۳ | ۱/۵ |
| | | کم | ۱ | ۱/۱ | ۱/۲ |
| | | بدون تاثیر | ۱ | ۱ | ۱ |

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

ـ مرحلهٔ دوم : بر اساس اطلاعاتی که در مرحلهٔ نخست به طور جداگانه برای هر ساختمان جمع‌آوری گردید و با استفاده از ضرایب پیشنهادی در جدول دو، نسبت آسیب کل هر ساختمان با استفاده از رابطهٔ زیر (رابطهٔ ۱) محاسبه گردیده است:

رابطهٔ ۱:

$$LR= l_1 \times l_2 \times l'_5 \times l_6 \times l'_8 \times l_{A1} \times l_{A2} \times l_{10} \times 0.25 \times [(F_3 \times l'_3) + (F_(4) \times [\![l']\!]_4) ] \leq 1$$

که در آن پارامترهای $l_1$ تا $l_{10}$ به ترتیب نمایهٔ آسیب مربوط به جدول( ۳) بوده که برای هر سطح زمین‌لرزه تعیین گردیده و ضرایب آن F3 ,F4 , F7 و F9 نیز از همان جدول به دست می‌آیند. نسبت آسیب LR قاعدتاً بایستی بین صفر و یک باشد، از این‌رو اگر نتیجهٔ محاسبه بیش از یک به دست آید باید همان عدد یک را برای آن در نظر گرفت. برای محاسبهٔ نسبت آسیب‌پذیری (LR) در روش اصلاح شده، از رابطهٔ ۲ استفاده شده است که در آن پارامترهای Fi و ضرایب آسیب Li و L'i از جدول (۲ )تعیین می‌شوند.

ـ مرحلهٔ سوم: در این مرحله ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها با استفاده از اندیس نسبت آسیب بعد از تعیین LR میزان آسیب‌پذیری ساختمان به کمک جدول ۳ به صورت کیفی ارزیابی گردیده است.

**جدول ۳ : معیارهای قضاوت در مورد میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای به روش اصلاح شدهٔ آریا (سحرخیز و بخشی، ۱۳۹٤: ٤؛ زهرائی، ۱۳۹۲: ۲۹).**

**Table3: Criteria for judging the seismic vulnerability of the modified Aria method (Saharkhiz and Bakhshi, 2015: 4; Zahraei, 2012: 29).**

| سطح آسیب‌پذیری | | دامنهٔ تغییرات |
|---|---|---|
| ۱ | احتمال ریزش ساختمان (نیاز به نوسازی) | LR≥ 0/75 |
| ۲ | آسیب زیاد (بازسازی و مقاوم‌سازی وسیع الزامی است) | 0/5≤ LR≤0/75 |
| ۳ | آسیب متوسط (نیاز به مرمت زیاد) | 0/25≤ LR≤0/5 |
| ٤ | آسیب کم (نیاز به تعمیرات جزئی) | LR≥ 0/25 |

ـ مرحلهٔ چهارم: این مرحله شامل نسبت آسیب و آسیب‌پذیری کل بافت فرسوده است. با توجه به اطلاعات موجود مربوط به تعداد زیادی از ساختمان‌های بافت فرسوده، نسبت آسیب برای کل ساختمان‌ها با میانگین‌گیری از نسبت‌های آن‌ها محاسبه گردیده است. در صورتی که اطلاعات جمع‌آوری شده در مورد نمونه‌هایی از هر ساختمان و تیپ سازه باشد، تعداد هرتیپ باید بر اساس رابطهٔ زیر در معادله گردد.

رابطهٔ ۲ :

$$VR - \left(\frac{1}{N}\right)[(\mathrm{N1}.\mathrm{LR1}) + (n^2.LR^2 + \cdots)]$$

VR: میزان آسیب در منطقهٔ مورد مطالعه. N: تعداد کل ساختمان‌های منطقه.

N1: تعداد ساختمان‌های دارای نوع سازه‌ای ۱.

LR۱: ضریب آسیب محاسبه شده برای سازهٔ نوع ۱.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

با توجه به موارد یادشده، ده پارامتر اساسی در محاسبهٔ نمایهٔ آسیب‌پذیری وارد می‌گردد که از این میان ٦ پارامتر (شیب زمین، جنس زمین، ارتفاع ساختمان، ابعاد بازشوها در دیواره، فرم پلان و کیفیت ساختمان) علی‌رغم این که پارامترهای اصلی و مستقیم ساختمان را تشکیل نمی‌دهند، ولی در طول زمین‌لرزه بر روی رفتار ساختمان اثر می‌گذارند. تاثیر این پارامترها به صورت مستقیم در محاسبهٔ نسبت آسیب اعمال می‌گردد. چهار پارامتر باقی مانده نوع سیستم سازه‌ای، سیستم کف طبقات، قسمت‌های پیش آمده (جان‌پناه‌ها) و بالکن‌ها و مصالح نما (روکش‌ها) به اجزایی از ساختمان‌ها ارتباط دارند که آسیب دیدن آن‌ها به معنی از دست رفتنشان است و در ضمن ممکن است باعث خرابی اجزای دیگر نیز گردند. وزن هر یک از پارامترها متفاوت بوده و با F مشخص می‌گردد و بیانگر هزینهٔ آن قسمت به هزینهٔ کل ساختمان می‌باشد. جمع کل ضرایب F برابر یک است.

**بحث و یافته‌ها**

در این پژوهش نخست پرسش‌نامه‌ای که منطبق با شرایط ایران و شهر اردبیل و دربرگیرندهٔ اطلاعات موردنیاز برای محاسبهٔ پارامترها تهیه گردید. اطلاعات لازم از طریق برداشت‌های میدانی برای ۱٤٤۰ ساختمان واقع در بافت‌های فرسودهٔ اردبیل ثبت شده است. با توجه به داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده نمایهٔ آسیب بافت‌های شهر اردبیل به صور زیر تعیین گردید.

**تعیین نمایهٔ آسیب**

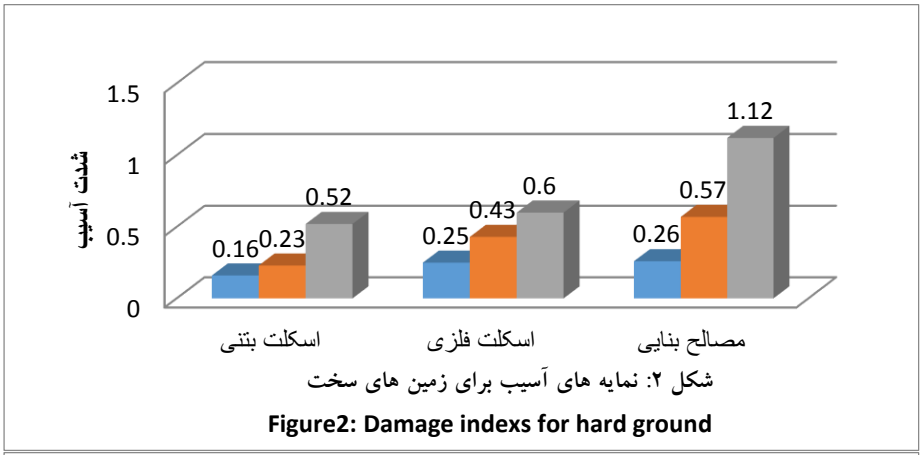
نتایج نمایهٔ آسیب بعد از محاسبه و واکاوی اطلاعات برداشت میدانی (جدول ٤)، به صورت نمودار ستونی (اشکال ۲ تا ٤) برای ساختمان‌های واقع در بافت‌های فرسودهٔ اردبیل ارائه گردیده است. در این نمودارها بر اساس نمایهٔ آسیب در زمین‌لرزه‌های با شدت MSK7, MSK8 و MSK9 تنظیم شده است. در این نمودارها محور قائم نشانگر نمایهٔ آسیب می‌باشد که بین صفر و یک قرار دارد. همچنین جهت داوری در مورد میزان آسیب‌پذیری هر ساختمان، محور قائم با توجه به معیارهای روش آریا به فواصل ۰/۲۵ تقسیم شده است. علاوه بر ارزیابی ساختمان‌ها بر اساس شدت زمین‌لرزه، می‌توان ارزیابی را بر اساس شتاب بیشینه به طور تقریبی نیز انجام داد.

**جدول ٤: متوسط نمایهٔ اسیب در ساختمان‌های بافت‌های فرسودهٔ شهر اردبیل**

**Table 4: Average damage index in dilapidated fabric buildings of Ardabil city**

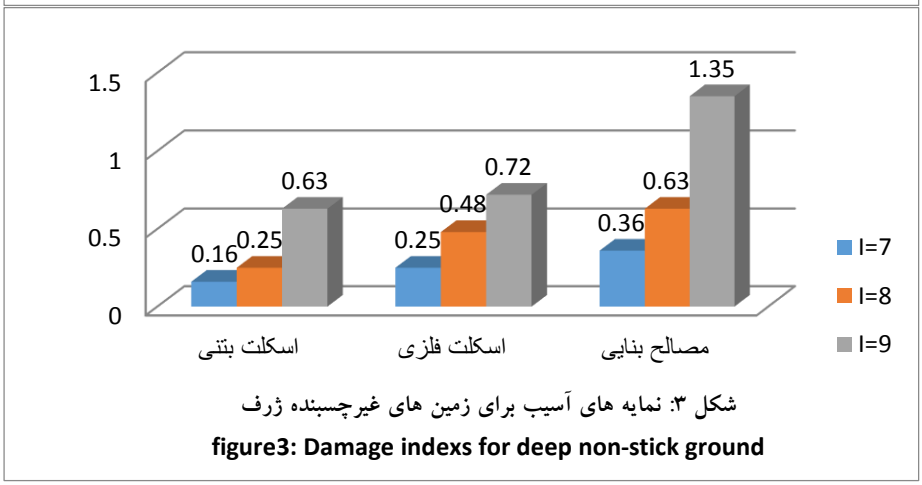
| گونه‌شناسی ساختمان | نمایهٔ آسیب برای زمین‌های نرم | | | نمایهٔ آسیب برای زمین‌های سخت | | | نمایهٔ آسیب برای زمین‌های غیرچسبنده ژرف | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | شدت ۷ | شدت ۸ | شدت ۹ | شدت ۷ | شدت ۸ | شدت ۹ | شدت ۷ | شدت ۸ | شدت ۹ |
| ساختمان‌های با اسکلت بتنی | ۰/۱۷ | ۰/۲۸ | ۰/٦۷ | ۰/۱٦ | ۰/۲۳ | ۰/۵۲ | ۰/۱٦ | ۰/۲۵ | ۰/٦۲ |
| ساختمان‌های با اسکلت فلزی | ۰/۲۸ | ۰/۵۲ | ۰/۷۸ | ۰/۲۵ | ۰/٤۳ | ۰/٦۰ | ۰/۲۵ | ۰/٤۸ | ۰/۷۲ |
| ساختمان‌های با مصالح بنایی | ۰/۳۹ | ۰/٦۸ | ۱/۲۱ | ۰/۳٦ | ۰/۵۷ | ۱/۱۲ | ۰/۳٦ | ۰/٦۳ | ۱/۳۵ |

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]



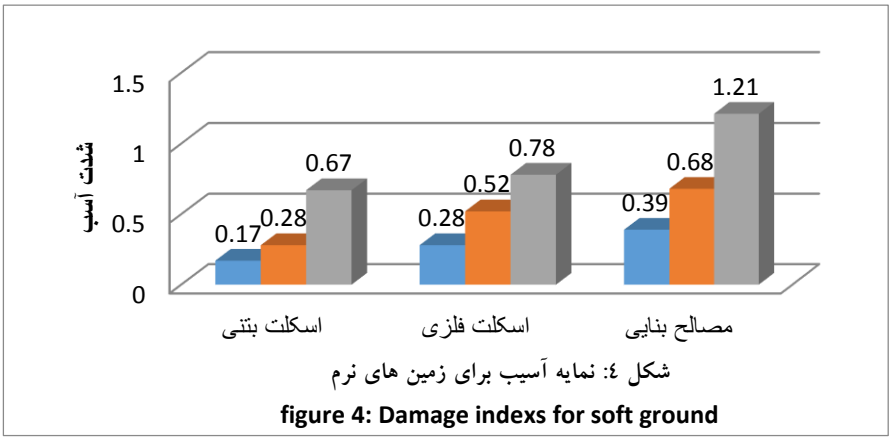

شکل ۲: نمایه های آسیب برای زمین های سخت

**Figure2: Damage indexs for hard ground**




شکل ۳: نمایه های آسیب برای زمین های غیرچسبنده ژرف

**figure3: Damage indexs for deep non-stick ground**




شکل ٤: نمایه آسیب برای زمین های نرم

**figure 4: Damage indexs for soft ground**

ارتباط بین شدت و شتاب که به ویژگی‌های سنگ‌شناختی و جنس زمین منطقه بستگی دارد برای پهنهٔ لرزهٔ زمین‌ساختی البرز به صورت زیر است (زارع، ۱۳۹۵: ۲۵۵):

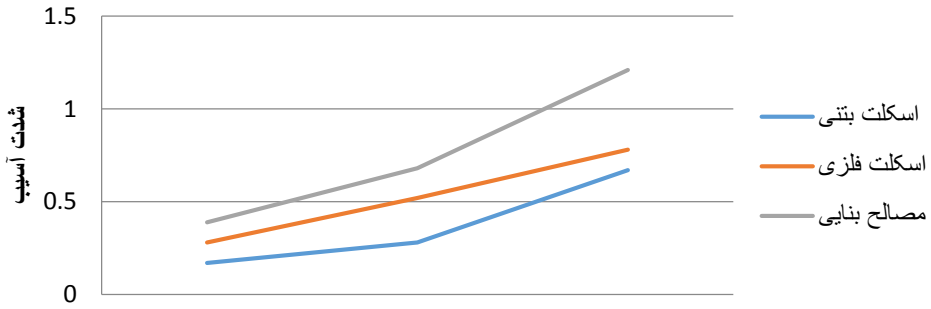
$$PGA = e^{-2.16T}(137.90I_{MSK} - 602.38$$ رابطهٔ ۳ )

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

که در آن فراسنج T، دورهٔ تناوب غالب زمین‌لرزه است و بر حسب فاصله و بزرگا برای خاک‌های مختلف تغییر می-کند. $I_{MSK}$ نیز شدت زمین‌لرزه در مقیاس MSK است. مقدار PGA برای شدت‌های لرزه‌ای ۷، ۸ و ۹ در جدول ۳ آورده شده است. برای محاسبهٔ T، با فرض فاصلهٔ متوسط ۵۰ کیلومتری از پهنهٔ آزاد انرژی، از نمودارهای مرجع (زارع، ۱۳۹۵) استفاده شده است. برای تبدیل شدت زمین‌لرزه به بزرگای گشتاوری $M_W$ از رابطه زیر (٤) استفاده شده است.

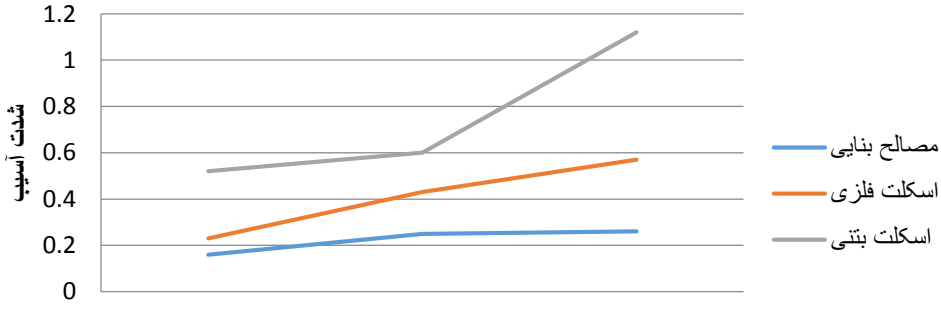
$$I = 1.37\ M_W - 1.12$$ (رابطهٔ ٤)

نتایج برداشت‌های میدانی بر حسب PGA زمین‌لرزه برای بافت‌های فرسودهٔ اردبیل در اشکال( ۵ تا ۷ )ارائه شده است.




**شکل ۵: نمایه آسیب برای زمین های نرم بر اساس شتاب بیشینه (PGA)**

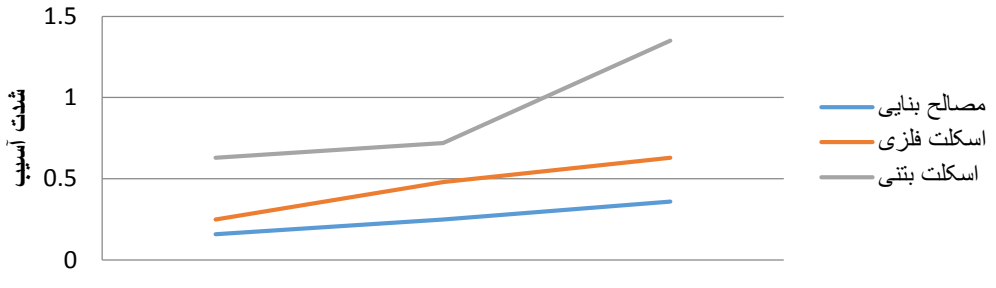
**Figure 5: Damage index for soft ground based maximum acceleration**




**شکل ٦: نمایه های آسیب برای زمین های سخت بر اساس شتاب بیشینه(PGA)**

**Figure 6: Damage index for hard ground based maximum acceleration**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]




**شکل ۷: نمایه های آسیب برای زمین های غیر چسبنده ژرف بر اساس شتاب بیشینه (PGA)**

**Figure 7: Damage index for deep non-stick grounds based maximum acceleration**

**جدول 5: مقدار PGA (شتاب بیشینه) بر اساس شدت برای منطقهٔ اردبیل**

**Table 5- PGA value (maximum acceleration) based on intensity for Ardabil region**

| جنس زمین | پریود (ثانیه) | | | PGA (g) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | شدت ۷ $M_W$ =۵/۹ | شدت ۸ $M_W$ =۶/۶ | شدت ۹ $M_W$ =۷/٤ | شدت ۷ $M_W$ =۵/۹ | شدت ۸ $M_W$ =۶/۶ | شدت ۹ $M_W$ =۷/٤ |
| زمین سخت | ۰/۱٤ | ۰/۱٦ | ۰/۲۲ | ۰/۳۹ | ۰/۵۱ | ۰/٤۰ |
| زمین غیرچسبندهٔ ژرف | ۰/۱۵ | ۰/۱۸ | ۰/۲۳ | ۰/۲٦ | ۰/۳٤ | ۰/۳۹ |
| زمین نرم | ۰/۱۵ | ۰/۱۹ | ۰/۲۵ | ۰/۲٦ | ۰/۳۳ | ۰/۳۷ |

در این نمودارها محور عمودی نشانگر نمایهٔ آسیب است که بین صفر و یک قرار دارد. همچنین جهت قضاوت در مورد میزان آسیب‌پذیری هر ساختمان، محورعمودی با توجه به معیارهای روش آریا به فواصل ۰/۲۵ تقسیم گردیده است. علاوه بر ارزیابی ساختمان‌ها بر اساس شدت زمین‌لرزه، می‌توان ارزیابی را بر اساس شتاب بیشنه به طور تقریبی نیز انجام داد. ارتباط بین شدت و شتاب که به نوع نهشته‌های منطقه نیز بستگی داد.

ساختمان‌های با مصالح بنایی، ساختمان‌های غالب بافت‌های فرسوده را تشکیل می‌دهد. بیشتر این ساختمان‌ها در برابر یک زمین‌لرزه با شدت V دارای LR = 0.58 هستند که در ردیف آسیب زیاد (بازسازی و مقاوم‌سازی وسیع الزامی است) قرار می‌گیرد. ساختمان‌های بنایی با کلاف بندی افقی و قائم که دارای کیفیت اجرای مناسب هستند در زمین‌لرزهٔ با شدت V بر اساس رابطهٔ یادشده دارای LR = 0.39 خواهد بود که در ردیف آسیب متوسط (نیاز به مرمت زیاد) قرار می‌گیرد. در زمین‌لرزهٔ با شدت VIII ساختمان‌های بنایی فاقد کلاف‌بندی، تخریب و ساختمان‌های بنایی با کلاف-بندی افقی و قائم در صورت اجرای مناسب در ردیف آسیب زیاد و در صورت اجرای نامناسب احتمال تخریب وجود دارد. ساختمان‌های بتنی و اسکلت فلزی اجرا شدهدر بافت‌های فرسوده در زمین‌لرزهٔ با شدتV دارای LR = 0.15خواهد بود که آسیب کمی می‌بیند و در زمین‌لرزه‌های با شدت VIII در ردیف آسیب متوسط واقع شده و از وضعیت مطلوبی برخوردارند. با استفاده از رابطهٔ نسبت آسیب ساختمان‌های موجود در بافت‌های فرسودهٔ شهر اردبیل به صورت زیر محاسبه گردید

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

**جدول ٦- نسبت آسیب‌پذیری برای ساختمان‌های با گونه‌شناسی مختلف شهر اردبیل**

Table 6- Vulnerability ratio for buildings with different typologies in Ardabil

| گونه‌شناسی ساختمان | | نسبت آسیب‌پذیری |
|---|---|---|
| ساختمان‌های بنایی | آسیب زیاد (بازسازی و مقاوم‌سازی وسیع الزامی است) | LR = ۰.۵۸ |
| ساختمان‌های بنایی با کلاف افقی و قائم | آسیب متوسط (نیاز به مرمت زیاد) | LR = 0.39 |
| ساختمان‌های فلزی و بتنی | آسیب اندک (نیاز به تعمیرات جزئی) | LR= 0.15 |

نتیجه‌گیری

شهر اردبیل در پهنهٔ خطر لرزه‌ای متوسط تا زیاد قرار دارد و از ۱۵ محله تحت عنوان بافت فرسوده تشکیل شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، سیستم غالب در محدودهٔ بافت فرسوده و تاریخی شهر به صورت ساختمان‌های بنایی (غیر مسلح) می‌باشد و جنس زمین و محل خاستگاه آن‌ها نرم (نهشته‌های دریاچه‌ای و رودخانه‌ای کواترنر) است.با توجه به محاسبات انجام شده (نسبت آسیب‌پذیری) از روش اصلاح شدهٔ آریا حدود ٦۰ درصد ساختمان‌های با مصالح بنایی در برابر زمین‌لرزه‌ای با شدت ۸ احتمال آسیب زیاد و با شدت ۹ احتمال ریزش و تخریب ساختمان وجود دارد. علاوه بر این، بیش از ۹۰ درصد ساختمان‌های بنایی فاقد کلاف‌بندی بوده و در برابر زمین‌لرزه‌ای با شدت ۸ تخریب می‌شوند.

تقریباً ۳۰ درصد ساختمان‌های فولادی که قدمت آن‌ها کمتر از ۲۰ سال می‌باشد و به دلیل بازنگری در آئین‌نامهٔ استاندارد ۲۸۰۰ نسبت به زمان ساخت‌شان در برابر زمین‌لرزه‌ای با شدت ۸ احتمال آسیب زیاد و در شدت ۹ احتمال ریزش و تخریب ساختمان وجود دارد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که این سیستم سازه‌ای نسبت به ساختمان‌های با مصالح بنایی وضعیت بهتری دارد.

ساختمان‌های با اسکلت بتنی که قدمت آن‌ها کمتر از ۱۵ سال است در برابر زمین‌لرزه‌ای با شدت ۸ احتمال آسیب متوسط و در شدت ۹ احتمال آسیب زیاد وجود دارد. در نهایت سیستم سازه‌ای بتنی نسبت به سیستم سازه‌ای فولادی و بنایی عملکرد بهتری داشته‌اند.

به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که بیشتر ساختمان‌های موجود در بافت‌های فرسوده و تاریخی در برابر یک زمین-لرزهٔ با شدت ۸ در ردیف آسیب زیاد و شدت ۹ آسیب کلی و تخریب وجود دارد. ساختمان‌هایی که از آسیب‌پذیری بالایی برخوردارند، بیشتر در نقاط مرکزی شهر (مخصوصاً منطقهٔ یک) واقع شده‌اند.

برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود در بافت‌های فرسودهٔ شهر اردبیل، روش‌های خاصی وجود دارد. آنچه در اولویت نخست قرار دارد ساختمان‌های با مصالح بنایی است. این ساختمان‌ها در زمین‌لرزه‌های با شدت ٦-۵ با انواع شکست و ترک‌خوردگی شدید، تخریب جزئی دیوارها و جداشدن دیوارها از هم مواجه گردیده و پایداری لازم را

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

ندارند. لذا استحکام و مقاوم‌سازی ساختمان‌های با مصالح بنایی از اولویت ویژه برخورداراست که از روش‌های متداول که معمولا با افزایش مقاومت و یا شکل‌پذیری دیوارها و انسجام بخشی از کل ساختمان صورت می‌گیرد. وزن زیاد ساختمان، ضعف مقاومتی ملات‌ها، کمبود نسبی دیوارهای بنایی، وجود بازشوهای بزرگ و نامنظم باعث ضعف مقاومتی بناهای آجری شده و ساختمان با وجود انسجام کافی ممکن است قابلیت عملکرد مورد نظر را نداشته باشد. نخستین گام در این زمینه ارزیابی رفتار ساختمان‌ها و سازه‌های آن‌ها و تشخیص حساسیت و عملکرد نامناسب بخش‌های مختلف آن‌ها است.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

## References


- ATC-13., (1985), "***Earthquake damage evaluation data for California***", 492. Redwook City, California: Applied Technology Council.pub.
- -Basaglia, A., Aprile, A., Spacone, E., Pilla, F., (2018), "Performance-based seismic risk assessment of urban systems", ***International Journal of Architectural Heritage***, 13(7-8),1131-1149, Doi: 10.1080/15583058.2018.1503371.
- Carren˜o, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H., (2007a), "Urban seismic risk evaluation: a holistic approach", ***Nat Hazards*** 40(1):137–172.
- Ferreira, T. M., Estêvão, J., Maio, R., Vicente, R., (2020), "The Use of Artificial Neural Networks to Estimate Seismic Damage and Derive Vulnerability Functions for Traditional Masonry". *Front. Struct. Civil Eng*. 14, 609–622. Doi:10.1007/s11709-020-0623-6.
- -GNDT-SSN., (1994), "Scheda di Esposizione e Vulnerabilità e di Rilevamento Danni di Primo e Secondo Livello (Murata e Cemento Armato)". ***Tech. rep.*****Rome, Italy**: GNDT-SSN.
- Hough, S. E. (2007), "***Richter's scale: measure of an earthquake, measure of a man***", Princeton University Press, ISBN 978-0-691-12807-8.
- 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***, 12(7-8): 1051-1062, DOI: 10.1080/15583058.2018.1503367.
- Lantada, N., Pujades, L. G., Barbat, A. H., (2009b), "Vulnerability index and capacity spectrum-based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison", ***Natural Hazards,*** 51:501–24. Doi:10.1007/s11069-007-9212-4.
- Maio, R., (2016), "Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: Case study of the old city centre of Faro", ***Portugal Journal of Risk Research,*** 19 (5): 51–80, Doi:10.1080/13669877.2014.988285.
- Molaei, V. F., Mohammadi, J., (2021), "A Study of Effective Criteria in Renovation of Dilapidated Urban Tissues (Case Study: Region 1 of Isfahan)", ***Iranian Journal of International Geographical Association***, 18(64): 36- 50 [In Persian].
- Oliveira, V., (2016), "***urban morphology***. ***An introduction to the study of the physical form of cities***", *192*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Panahi, A., Abdollahzadeh, A., (2016), "Investigation of Vulnerability of Urban Dilapidated Tissues to Earthquake Risk (Case Study: Tabriz Region 8)", ***Iranian Journal of Geographical Association***, 14(81):25-40 [In Persian].
- Road, Housing and Urban Development Research Center., (2014), "Earthquake Design Regulations for Buildings, Standard 2800", (Fourth Edition), Issue No. Z-253 [In Persian].
- Saharkhiz, M., Bakhshi, H., (2015), "Vulnerability assessment and seismic hazard determination of residential buildings in Sabzevar", ***the first annual conference on architecture, urban planning and urban management research***, Islamic Azad University, Meybod Branch, 1-19.
- Samadzadeh, R., Khayyam, M., Hosseini Amini, H., (2010), "A new approach to the Geomorphological Evolution of the Ardabil Tectonic depration with Land Management Approach", ***Journal of Geography and Environmental Planning***, University of Isfahan, 21 (1): 105- 130 [In Persian].


[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

- Zare, M., (2016), "***Introduction to applied seismology***", International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, First Edition [In Persian].
- Zahraei, S. M., (2013), "Qualitative assessment of seismic vulnerability of buildings in Bandar Abbas", ***Journal of Seismology and Earthquake Engineering***, 16(2), 34-23 [In Persian]


[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

# Qualitative assessment of seismic vulnerability of buildings in Ardabil City with retrofitting approach

**Ahmad Khajavy**[7]
**Rasoul samadzadeh***[8]
**Mohamadtaqi masoumi**[9]

Abstract

Despite the recent advances in the analysis of seismic performance of a variety of building structures, structural reinforcement strategies are still one of the most technically challenging topics. The aim of this study is to close this study gap by providing a simple methodology for assessing the seismic vulnerability of buildings located in the dilapidated structures of Ardabil. The proposed method is a qualitative method based on field studies of 1440 different buildings. Damage index for all buildings is calculated and their average in earthquakes with magnitudes 7 to 9 on MSK scale, in terms of intensity for different types of buildings are plotted in bar charts and PGA in linearly. Has been. According to the results, approximately 30% of steel buildings are less than 20 years old and due to the revision of Standard 2800 compared to the time of their construction against earthquakes with Intensity 8 has a high probability of damage and in intensity 9 there is a possibility of collapse and destruction of the building. The results show that this structural system is in a better condition than buildings with building materials. Buildings with concrete structures that are less than 15 years old are prone to moderate damage with a magnitude of 8 and high probability of damage at a magnitude of 9. Finally, concrete structures performed better than steel and masonry systems. In general, the results show that most of the buildings in dilapidated and historic structures are exposed to an earthquake with a magnitude of 8 in the row of high damage and a magnitude of 9 total damage and destruction. Highly vulnerable buildings are mostly located in central parts of the city (especially Zone One).

**Keywords:** seismic vulnerability index; damage mechanisms; damage scenarios

[7]. PhD Student Department of Geography and urban planning, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran
[8]. * Associate Prof., Department of Geography, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran (Correspoding auther:P. O. Box:56157-31567 - Tel 09143537735 Email: samadzadehr@gmail.com)
[9]. Assistant Prof., Department of Geography, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]