



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

اداره کل راه و شهرسازی
استان اردبیل

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه
(بر اساس آموزه‌های زمین لرزه کرمانشاه)

کارفرما:

اداره کل راه و شهرسازی استان اردبیل

مجری:

دکتر رسول صمدزاده

چکیده

پیش بینی تأثیر زمین لرزه بر ساختمان ها و بناهای انسان ساخت مستلزم شناخت پویایی رفتار آنهاست. رویه هایی که برای این منظور اتخاذ می شود از نظر هزینه ها، زمان و اجرا کاملاً پیچیده و طاقت فرسا است، بویژه هنگامی که مطالعات مربوط به قلمروهای پهنه ای باشد نه ساختمان های منفرد. ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای با استفاده از منابع موجود از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش نمایه آسیب پذیری و روش های مبتنی بر طیف ظرفیت مورد استفاده برای ارزیابی آسیب های فیزیکی مورد انتظار در واحدهای مسکونی مجدداً مرور شده و مزایا و کاستی های اصلی آن ها مورد واکاوی قرار گرفته است. سپس از یک روش مبتنی بر نمایه آسیب پذیری برای ارزیابی خسارت مورد انتظار در شهر اردبیل استفاده شده است. روش نمایه آسیب پذیری (VIM) پنج حالت آسیب غیر صفر را در نظر گرفته و رفتار را از نظر شدت مهلرزه ای و کیفیت لرزه ای ساختمان را توسط یک نمایه آسیب پذیری تعریف می نماید. درجه آسیب برآورد شده توسط توابع نیمه تجربی اندازه گیری می شود. اطلاعات دقیق در مورد طراحی ساختمان با جمع آوری، تنظیم، بهسازی و تکمیل پایگاه اطلاعاتی شهرداری به دست آمده است. واکاوی خطرپذیری برای سناریوهای زمین لرزه تعریف شده توسط شدت های مهلرزه ای V، VI-VI، VI، VI-VII و VII برای طراحی برنامه های اضطراری لرزه ای انجام شده است. طبق آیین نامه لرزه ای کشور، اوج شتاب اولیه زمین برای یک دوره بازگشت ۴۷۵ ساله $g_{0.04}$ است که مربوط به شدت VII است. بنابراین، ضمن کمی سازی آسیب فیزیکی، تأثیر آن بر جمعیت و سایر مقادیر مانند آوار، تعداد بی خانمان ها و هزینه اقتصادی بررسی شده است. علی رغم خطر لرزه ای متوسط تا زیاد در اردبیل، نتایج نشان می دهد که به دلیل قرار گرفتن در معرض خطرپذیری و آسیب پذیری محیط ساخته شده، خطر بسیار زیاد است. ساکنین شهر اردبیل، واقع در منطقه خطر لرزه ای کم تا متوسط، معمولاً نسبت به خطرپذیری لرزه ای بی اطلاع هستند. نقشه های خطرپذیری تفصیلی به دست آمده فرصتی مطلوب برای راهنمایی تصمیم گیری در زمینه پیشگیری و کاهش خطرپذیری لرزه ای در اردبیل و برنامه ریزی اضطراری در این شهر است.

واژگان کلیدی: سناریوی خطرپذیری، روش نمایه آسیب پذیری، آسیب پذیری سازه ای، اردبیل

این طرح مطالعاتی با حمایت مالی

اداره کل راه و شهرسازی استان اردبیل

تحت قرارداد شماره ۸۴۸/۹۹/ص تاریخ ۱۳۹۹/۰۳/۰۸ به انجام رسیده است

فهرست مطالب

۱-۱ بیان مساله	۱۱
۲-۱ اهمیت و ضرورت انجام تحقیق:	۱۵
۱-۳ مرور ادبیات و سوابق مربوطه	۱۵
۱-۳-۱ پیشینه خارجی	۱۵
۱-۳-۲ پیشینه داخلی	۱۸
۴-۱ اهداف تحقیق	۲۱
۵-۱ سؤالات تحقیق:	۲۱
۶-۱ فرضیه های تحقیق:	۲۲
۷-۱ روش پژوهش	۲۲
۱-۷-۱ متغیرهای مورد بررسی در قالب یک مدل مفهومی و شرح چگونگی بررسی و اندازه گیری متغیرها	۲۲
۲-۷-۱: شرح کامل روش (میدانی، کتابخانه ای) و ابزار (مشاهده و آزمون، پرسشنامه، مصاحبه، فیش برداری و غیره)	
گردآوری داده ها:	۲۳
فصل دوم	۲۷
تعاریف، مفاهیم و چارچوبهای	۲۷
نظری پژوهش	۲۷
۱-۲ تعریف واژه ها و اصطلاحات فنی و تخصصی:	۲۸
۱-۱-۲ آسیب پذیری:	۲۸
۱-۱-۲-۱ آسیب پذیری فیزیکی	۲۸
۲-۱-۲-۱ آسیب پذیری لرزه های	۳۱
۲-۱-۲ خطر	۳۲
۳-۱-۲ خطرپذیری	۳۲
۴-۱-۲ تعریف آسیب دیدگی سامانه سازه های	۳۳
۵-۱-۲ در معرض قرارگیری	۳۳
۶-۱-۲ ظرفیت مقابله	۳۴
۷-۱-۲ ظرفیت	۳۴
فصل سوم	۳۵

۳۵	زمین شناسی، زمین ساخت، لرزه زمین ساخت و پیشینه
۳۵	لرزه خیزی شهر اردبیل و گستره های پیرامونی آن
۳۶	۱-۳ جایگاه جغرافیایی دشت اردبیل
۳۷	۲-۳ تکامل زمین ساختی دشت اردبیل
۴۰	۳-۳ تکامل ژئومورفولوژیکی دشت اردبیل در کوتاه ترنر
۴۲	۴-۳ سیمای کنونی دشت اردبیل:
۴۴	۵-۳ گسل های اردبیل و گستره های پیرامونی آن
۴۴	۱-۵-۳ گسل آستارا
۴۴	۲-۵-۳ گسل نئور
۴۴	۳-۵-۳ گسل احتمالی بالیقلوچای
۴۵	۴-۵-۳ گسل های دامنه های سبلان
۴۶	۵-۵-۳ خطواره مغناطیسی میانه - اردبیل
۴۶	۶-۵-۳ راندگی جنوب بزغوش
۴۶	۷-۵-۳ راندگی شمال بزغوش
۴۷	۶-۳ زمین لرزه های تاریخی اردبیل و گستره های پیرامونی آن
۴۷	۱-۶-۳ زمین لرزه ۸۹۳ میلادی اردبیل
۴۸	۲-۶-۳ زمین لرزه ۱۵۹۳ میلادی سراب (۱۰۰۱ هجری قمری)
۴۸	۳-۶-۳ زمین لرزه ۱۸۴۴ میلادی میانه - گرم رود
۴۸	۴-۶-۳ زمین لرزه ۱۸۶۳ میلادی هیر- اردبیل
۴۸	۵-۶-۳ زمین لرزه ۱۸۷۹ میلادی بزغوش - گرم رود
۴۹	۷-۳ زمین لرزه های اخیر اردبیل و گستره های پیرامونی آن
۴۹	۱-۷-۳ زمین لرزه اسفند ۱۳۷۵ گلستان
۵۰	۲-۷-۳ زمین لرزه ۲۷ بهمن ۱۳۹۸ سرعین
۵۰	۸-۳ برآورد مقدماتی خطر زمین لرزه برای شهر های استان اردبیل
۵۱	۱-۸-۳ تهیه کاتالوگ زمین لرزه
۵۶	فصل چهارم
۵۶	واکاوی داده ها
۵۷	۱-۴ ویژگی های کلی کالبدی شهر اردبیل
۵۷	۱-۱-۴ جایگاه جغرافیای شهر اردبیل
۵۸	۲-۱-۴ سیر تحول تاریخی و کالبدی شهر قدیم اردبیل
۵۸	۱-۲-۱-۴ کالبد اردبیل طی یک سده اخیر
۵۹	۳-۱-۴ گونه شناسی اراضی و قطعات شهری

۵۹.....	۱-۳-۱-۴ انواع گونه های اصلی
۶۰.....	۴-۱-۴ گونه شناسی سکونت شهری (روند اسکان و تحرک گروههای اجتماعی در مناطق پنجگانه شهر اردبیل)
۶۳.....	۵-۱-۴ بافت شهری اردبیل
۶۳.....	۶-۱-۴ محلات شهر اردبیل
۶۴.....	۷-۱-۴ تراکم کلی ساختمانهای مسکونی در مناطق پنجگانه شهر اردبیل
۶۷.....	۸-۱-۴ وضعیت کلی ساختمانهای مسکونی در مناطق مختلف شهر، از نظر نوع مصالح و کیفیت ساختمان
۶۸.....	۸-۱-۴ انواع مصالح و کیفیت ساختمان (قابل استفاده، مرمتی، تخریبی) در شهر اردبیل
۶۸.....	۸-۱-۴ ۲ جنس مصالح واحدهای مسکونی
۶۹.....	۸-۱-۴ ۳ کیفیت بنای ساختمان
۷۰.....	۸-۱-۴ ۱-۳ کیفیت بنا با توجه به عمر شرایط اجرایی
۷۱.....	۸-۱-۴ ۲-۳ اسکلت واحدهای مسکونی
۷۲.....	۲-۴ پیشینه نظری سناریوهای خطرپذیری زمین لرزه در مناطق شهری و کاربرد آنها در شهر اردبیل
۷۲.....	۱-۲-۴ روش نمایه آسیب پذیری (VIM-LM1)
۷۳.....	۲-۲-۴ روش مبتنی بر طیف ظرفیت (CSBM-LM2)
۷۴.....	۳-۲-۴ LM1 یا LM2
۷۵.....	۳-۴ دادهها و روش کار
۷۵.....	۱-۳-۴ روش نمایه آسیب پذیری
۷۶.....	۲-۳-۴ رفتار لرزهای
۷۷.....	۳-۳-۴ آسیب پذیری
۸۱.....	۴-۳-۴ آسیب فیزیکی
۸۴.....	۱-۴-۳-۴ آسیب به جمعیت
۸۶.....	۲-۴-۳-۴ هزینه اقتصادی
۸۷.....	۳-۴-۳-۴ آوار حاصله از تخریب بناها
۸۹.....	۴-۴ یافته ها و کاربردهای عملی پژوهش برای شهر اردبیل
۹۰.....	۱-۴-۴ سناریوهای زمینلرزه
۹۱.....	۲-۴-۴ آسیب پذیری و آسیب فیزیکی
۹۴.....	۳-۴-۴ دیگر تاثیرات آسیبزا
۹۴.....	۱-۳-۴-۴ آسیب به جمعیت
۹۷.....	۲-۳-۴-۴ هزینه اقتصادی
۹۹.....	۳-۳-۴-۴ آوار حاصله از تخریب ساختمانها
۱۰۲.....	۴-۴-۴ ارزیابی کیفی آسیب پذیری بناهای شهری
۱۰۸.....	فصل پنجم

- ۱۰۸ توصیه ها و تمهیدات پیشنهادی آسیب پذیری لرزه های
- ۱۰۹ ۱-۵: آموزشهای زمین لرزه کرمانشاه.....
- ۱۱۰ ۱-۱-۵: آموزشهایی از زمین لرزه کرمانشاه در جهت بهینه سازی ساختمانها
- ۱۱۴ ۲-۱-۵: درس نخست زمین لرزه کرمانشاه: اهمیت توجه به پیش لرزهها و ریزلرزهها به عنوان هشدار احتمالی زمین لرزه
- ۱۱۴ بزرگتر آتی
- ۱۱۵ ۳-۱-۵: درس دوم زمین لرزه کرمانشاه: اهمیت تکمیل ایستگاههای لرزهنگاری و شتابنگاری
- ۱۱۵ ۴-۱-۵: درس سوم زمین لرزه کرمانشاه: مدیریت بحران و امداد و نجات سریع در لحظات اولیه وقوع زمین لرزه
- ۱۱۶ ۵-۱-۵: درس چهارم زمین لرزه کرمانشاه: بسته شدن جاده اصلی
- ۱۱۶ ۶-۱-۵: درس پنجم زلزله کرمانشاه؛ قطع شدن کابل برق اضطراری در اثر فروریزش دیوار بنایی اتاق تاسیسات برق
- ۱۱۶ بیمارستان سرپل ذهاب
- ۱۱۷ ۷-۱-۵: درس ششم زمین لرزه کرمانشاه؛ عدم توجه به ساختگاه و اثر خاک نرم و سست
- ۱۱۸ ۸-۱-۵: درس هفتم زمین لرزه کرمانشاه؛ اهمیت کنترل کیفیت بتن
- ۱۱۹ ۹-۱-۵: درس هشتم زمین لرزه کرمانشاه؛ توجه به استحکام دیوارهای جانبی و حائل و اجزای غیرسازهای
- ۱۲۰ ۱۰-۱-۵: درس نهم زمین لرزه کرمانشاه؛ توجه به اتصال مناسب سنگهای نما
- ۱۲۰ ۱۱-۱-۵: درس دهم زمین لرزه کرمانشاه؛ توجه و احساس مسئولیت در نظارت بر اجرای ساختمانها
- ۱۲۱ ۱۲-۱-۵: درس یازدهم زمین لرزه کرمانشاه؛ توجه جدی به عدم قطع برق و خطوط مخابرات
- ۱۲۱ ۱۳-۱-۵: درس دوازدهم زلزله کرمانشاه؛ تخریب محل نگهداری احشام، دام و طیور و تلف شدن آنها
- ۱۲۲ ۱۴-۱-۵: درس سیزدهم زمین لرزه کرمانشاه؛ آسیب پذیری بالای جمعیت زنان
- ۱۲۲ ۱۵-۱-۵: درس چهاردهم زمین لرزه کرمانشاه: توجه جدی به طرح های مناسب اسکان موقت
- ۱۲۳ ۱۶-۱-۵: درس پانزدهم زمین لرزه کرمانشاه؛ رعایت جدی و مسئولانه اخلاق حرفهای و وجدان کاری
- ۱۲۳ ۲-۵ جمع بندی و نتیجه گیری کلی
- ۱۲۵ منابع و ماخذ:

فهرست جداول

- جدول ۲-۱: فراسنجهای دادههای ورودی حاکم بر اندازهگیری آسیبپذیری فیزیکی (مسلم و لانگ، ۲۰۱۷)..... ۲۹
- جدول ۲-۲: چارچوب ماتریس احتمال آسیب که در ابتدا برای دادههای آسیب سازهای در ایالات متحده تهیه گردیده بود. ۳۱..... ۳۱
- جدول ۱-۳: فهرست زمینلرزههای تاریخی و سده بیستم با بزرگای بیش از ۵ درجه در پهنه استان اردبیل (پیش از رخداد زمین لرزه ۱۳۷۵/۱۲/۱۰)..... ۴۹
- جدول ۳-۳: زمین لرزههای تاریخی و نگاشتهای دستگاهی شهر اردبیل و گسترههای پیرامونی آن..... ۵۲
- جدول ۱-۴: گروههای تراکمی در سطح شهر..... ۶۴
- جدول ۲-۴ شکل ساده شده (EMS-98) یا مقیاس مهلزهای اروپا (Grunthal, 1998:14)..... ۷۵
- جدول ۳-۴ طبقه بندی مورد استفاده در مقیاس مهلزهای اروپا (EMS). تفکیک سازها (ساختمانها) به طبقه های آسیب پذیری (Grünthal, 1998: 14)..... ۷۷
- جدول ۴-۴ تعیین شدت بر اساس درصد خرابی و طبقه بندی آسیب پذیری ساختمانها بر اساس مقیاس EMS98..... ۷۸
- جدول ۵-۴ گونه شناسی سازهای و ردههای آسیب پذیری در شهر..... ۷۹
- جدول ۶-۴ اصلاح کنندههای رفتاری مورد استفاده برای ساختمانهای بتن آرمه و بنایی..... ۸۰
- جدول ۸-۴ ویژگیهای کلی کالبدی شهر اردبیل. پراکنش، بر اساس مناطق، ساکنین، تراکم جمعیت، تعداد ساختمانهای مسکونی، مساکن و ساکنین/مسکن. میانگین سال ساخت ساختمانها نیز نشان داده شده است..... ۸۹
- جدول ۹-۴ سناریوهای لرزهای بررسی شده، بر حسب شدتهای مهلزهای، شتاب پایه، $ab(g)$ و دورههای بازگشت..... ۹۱
- جدول ۱۰-۴ نمایه آسیب پذیری و میانگین درجه آسیب برای شدتهای مختلف لرزهای..... ۹۱
- جدول ۱۱-۴ تعداد برآورد شده افراد بیخانمان (%) برای شدتهای مختلف لرزهای..... ۹۴
- جدول ۱۲-۴ هزینه کل بر حسب میلیارد ریال..... ۹۷
- جدول ۱۳-۴ آوار تولید شده بر حسب هزار تن..... ۱۰۲
- جدول ۱۴-۴ جدول اصلاحی برای روش تکمیل شده آریا (زهرائی، ۱۳۹۱: ۲۸ با اندکی تغییر و اضافات)..... ۱۰۳
- جدول ۱۵-۴ معیارهای قضاوت در مورد میزان آسیب پذیری لرزهای رابه روش اصلاح شده آریا (بخشی و سحرخیز، ۱۳۹۴: ۴؛ زهرائی، ۱۳۹۱: ۲۹)..... ۱۰۴

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ چهارچوب مفهومی آسیب پذیری ۳۱
- شکل ۳-۱: تصویر ماهواره‌ای دشت اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن. خطوط قرمز رنگ گسل‌های اصلی محدوده مورد مطالعه هستند. ۳۶
- شکل ۳-۲: نقشه زمینشناسی دشت اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن ۳۸
- شکل ۳-۳ گسلها و نقش آنها در شکلگیری چاله زمینساختی اردبیل ۳۹
- شکل ۳-۴ مدل رقمی ارتفاعی دشت اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن ۴۱
- شکل ۳-۵ نهشته‌های دریاچه‌های واقع در ضلع باختری دشت اردبیل در روستای نوران ۴۳
- شکل ۳-۶ نهشته‌های دریاچه‌های واقع در زیر آبرفته‌های رودخانه‌های در ضلع جنوب خاوری روستای رویندوزق ۴۳
- شکل ۳-۹ پراکنش فضایی زمینلرزه‌های شهر اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن ۵۲
- شکل ۱-۴ جایگاه جغرافیایی شهر اردبیل و مناطق پنجگانه شهری آن (مساحت بر حسب مترمربع) در گوشه شمال باختری ایران و مرکز استان اردبیل ۵۷
- شکل ۴-۲ وضعیت تراکم ساخت موجود (۱۳۹۵) شهر اردبیل ۶۷
- شکل ۴-۳ بناهای شهر اردبیل از لحاظ نوع مصالح ۶۹
- شکل ۴-۴ کیفیت بناهای شهر اردبیل ۷۱
- شکل ۴-۵ 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 آسیب پذیری، مورد استفاده قرار گرفته است ۸۳
- شکل ۴-۶ نمودار تابع عضویت برای کمیتهای کم، متوسط و زیاد ساختمانهای شهر اردبیل ۸۳
- شکل ۴-۷ تابع عضویت شاخصهای آسیب پذیری ساختمانهای شهر اردبیل ۸۳
- شکل ۴-۸ قطعات تابع عضویت شاخصهای آسیب پذیری ساختمانهای شهر اردبیل ۸۴
- شکل ۴-۹ درجه آسیب میانگین برای شدت لرزه‌های VI-VI مناطق پنجگانه شهر اردبیل ۹۲
- شکل ۴-۱۰ درجه آسیب میانگین برای شدت لرزه‌های VII مناطق پنجگانه شهر اردبیل ۹۳
- شکل ۴-۱۱ تعداد برآورده شده افراد بیخانمان برای شدت لرزه‌های VI-VI در مناطق پنجگانه شهر اردبیل ۹۵
- شکل ۴-۱۲ تعداد برآورده شده افراد بیخانمان برای شدت لرزه‌های VII در مناطق پنجگانه شهر اردبیل ۹۶
- شکل ۴-۱۳ پراکنش هزینه کل بر حسب میلیارد ریال (هزینه تعمیر ساختمانهای آسیب دیده و هزینه‌های داخلی) برای شدت لرزه‌های VI-VI در مناطق پنجگانه شهر اردبیل ۹۸
- شکل ۴-۱۴ پراکنش هزینه کل بر حسب میلیارد ریال (هزینه تعمیر ساختمانهای آسیب دیده و هزینه‌های داخلی) برای شدت لرزه‌های VII در مناطق پنجگانه شهر اردبیل ۹۹
- شکل ۴-۱۵ حجم آوار تولید شده (بر حسب هزار تن) برای شدتهای لرزه‌های VI-VI در مناطق پنجگانه شهر اردبیل ... ۱۰۰
- شکل ۴-۱۶ حجم آوار تولید شده (بر حسب هزار تن) برای شدتهای لرزه‌های VII در مناطق پنجگانه شهر اردبیل ۱۰۱

فصل نخست

فرایند پژوهش

۱-۱ بیان مساله

در طول چند دهه اخیر وقوع بلایای طبیعی و پیامدهای ناشی از آن به یکی از دغدغه‌های اصلی رهبران و سازمان‌های سراسر جهان تبدیل شده است. آمار پایگاه داده‌های بین‌المللی (EMDAT^۱) نشان می‌دهد که در سده گذشته، خطرپذیری مرگومیر ناشی از مخاطرات اصلی مرتبط با آب‌وهوا در سطح جهانی کاهش یافته است، اما در معرض‌قارگیری سرمایه‌های اقتصادی در مقابل مخاطرات طبیعی روند فزاینده‌ای پیدا کرده است (سیورین و شروت^۲، ۲۰۱۲).

خطر بخشی از زندگی است. از این رو مستلزم تعریف چارچوب نظام‌مند و دربرگیرنده فراسنج‌های خطرپذیری و جامعه در معرض خطر است. همان‌طوری که برنامه‌ریزی در کلیت خود یکی از رشته‌های کاربردی دانشگاهی است، ساماندهی تحولات اجتماعی و ساخت - بازساخت فضا، باید چشم‌انداز مدیریت خطرپذیری را نیز به این مقوله اضافه نمود. این مفهوم در شهرهای مواجه با انواع تهدیدات طبیعی موضوعیت عینی پیدا می‌کند (سروی، ۲۰۰۴).

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، تاثیر می‌گذارد" (ویسنر و همکاران^۳، ۲۰۰۴). مفهوم آسیب‌پذیری به‌طور عمده در آن دسته از علوم اجتماعی ارائه گردید که به بررسی خطرپذیری و مخاطرات زیست-محیطی می‌پرداختند (کاپرسون و همکاران^۴، ۲۰۰۵؛ ویسنر و همکاران، ۲۰۰۴).

آسیب‌پذیری ریشه در پیشینه پژوهشی جغرافیا، مخاطرات طبیعی و فقر دارد. در آینده قابل پیش‌بینی تا حد زیادی بزرگ‌ترین عامل مرگومیر و خسارت‌های ناشی از رویدادهای ویرانگر طبیعی به‌ویژه زمین‌لرزه‌ها، رشد جمعیت و فضاهای کالبدی در مناطق مخاطره‌آمیز خواهد بود (عین‌الدین، ۲۰۱۲).

فراسنج‌های کلیدی مفهوم آسیب‌پذیری به‌منظور قانونمندی عبارت‌اند از: تنش‌هایی که سیستم در معرض آن قرار می‌گیرد، حساسیت و قابلیت سازگاری سیستم. لذا تعریف و چارچوب تحلیلی آسیب‌پذیری شامل در معرض قرار گرفتن، حساسیت و تاب‌آوری است (ترنر و همکاران، ۲۰۰۳). در این چارچوب مفهومی، قرارگیری در معرض خطر، واکنش مقابله‌ای، پاسخ به تاثیر و واکنش سازگاری بخش‌های آسیب‌پذیری لحاظ شده است (عین‌الدین، ۲۰۱۲).

آسیب‌پذیری فیزیکی، که در بسیاری از رشته‌های علمی دانشگاهی و زمینه‌های مختلف پژوهشی مورد استفاده قرار می‌گیرد، عبارت است از: «احتمال (یا توان) تاثیرپذیری و یا آسیب‌دیدگی یک مولفه یا عنصر فیزیکی مشخص تحت‌تأثیر نیروی محرک بیرونی خاص، برای مثال یک خطر طبیعی مانند زمین‌لرزه. از دیدگاه تحلیل خطرپذیری - لرزه‌ای، استفاده از مفهوم آسیب‌پذیری فیزیکی با توسعه رشته برآورد خسارت زمین‌لرزه^۵ (ELE) در اوایل دهه

1 . EMDAT International Disaster Database

2. Ciurean and Schroter

3. Wisner

4. Kasperson et al

5. Earthquake loss estimation

۱۹۸۰ آغاز گردید، که هدف آن پیش بینی پیامدهای زمین لرزه برای مجموعه‌ای از سازه‌ها یا امکانات زیرساختی بود (EERI, 1984). امروزه آسیب‌پذیری فیزیکی یکی از مولفه‌های اصلی کلیدی به‌عنوان داده‌های ورودی مدل توسط سازمان‌های متولی پیشگیری و تعدیل خطر، و تدوین آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های ساختمانی، مورد استفاده قرار می‌گیرد (مسلم و لانگ، ۲۰۱۷).

در این دیدگاه، و برای نوع خاصی از گونه‌شناسی ساختمانی، آسیب‌پذیری فیزیکی به‌عنوان احتمال تحمل سطح معینی از آسیب فیزیکی تعریف می‌گردد. به‌عبارت دیگر، تصویر روشنی از درک این که کدام نوع ساختار یا عنصر آسیب‌پذیرتر است، فراهم می‌کند. به‌عنوان مثال، احتمال تحمل خسارت و چگونگی تاثیرپذیری این آسیب‌پذیری به‌وسیله عوامل ساختاری و غیرساختاری مختلف یک سازه. علاوه‌براین، آسیب‌پذیری فیزیکی با اندازه‌گیری خسارت فیزیکی ناشی از سطح معینی از شدت حرکت زمین، تاثیرات شدیدی بر زیان‌های مالی و اجتماعی دارد (آژانس مدیریت اضطراری فدرال^۱، ۲۰۰۸).

تاکنون، واکنش جامعه بین‌المللی به بلایای طبیعی با توجه به محدود بودن بودجه در نظر گرفته شده برای پیشگیری، بیشتر انفعالی بوده است (پدوژی^۲، ۲۰۰۶). چالش اصلی در زمینه کاهش فاجعه تغییر ادراک مردم است، به‌طوری که آن‌ها بتوانند مفهوم بلایا را به‌عنوان محصولی از یک فرآیند توسعه تصور نمایند که به موجب آن جوامع به‌طور ضمنی آسیب‌پذیری‌ها و خطرپذیری‌ها را تولید می‌کنند که صرفاً در حین فاجعه آشکار می‌شود (ویلاگران دولئون^۳، ۲۰۰۶).

اهمیت شهرهای تاریخی و موارث فرهنگی و باستانی به‌جامانده در هسته اولیه کانون‌های مدنی به‌مراتب فراتر از سایر مناطق و سازه‌های شهری است. این قبیل شهرها و یا مراکز تاریخی موجود در بطن آن‌ها، بخشی از میراث فرهنگی شهری پیچیده و پویا هستند که با تعامل پیوسته مادی و معنوی و تکامل مداوم ساختارهای آن‌ها مشخص می‌شوند (یونسکو^۴، ۲۰۱۳). محیط‌های شهری از یک طبقه‌بندی تاریخی برخوردار هستند که در آن توپوگرافی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، محیط‌زیست و فضاهای باز، با هم همسو می‌شوند (یونسکو، ۲۰۱۲). مدیریت، حفاظت، بازسازی و بهسازی چنین موارث ارزشمندی مستلزم همکاری پژوهشگرانی با تخصص‌های مختلف و مهارت‌های گوناگون است. از دیدگاه مهندسی، رویه‌های قابل قبول شامل ارزیابی و تعدیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای موارث به‌جامانده، با روش‌های پیش بینی شده توسط استانداردهای مختلف (کمیته استانداردسازی اروپا، ۲۰۰۵؛ دولت ایتالیا، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱؛ سازمان بین‌المللی برای استانداردسازی، ۲۰۱۰) با اثرات کاهش هر دو آسیب ناشی از زمین‌لرزه و تلفات جانی است.

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، طرح‌های

¹ . Federal Emergency Management Agency

² . Peduzzi

³ Villagran de Leon

⁴ . UNESCO

واکنش اضطراری، تحلیل هزینه - سود برای برنامه‌های مقاوم‌سازی^۱ و دیگر اقدامات خطرپذیری، برآورد خسارات و ضررهای احتمالی ناشی از زمین لرزه‌ها در مناطق شهری بوده است (یامین و همکاران، ۲۰۱۲).

فجایع لرزه‌ای و پیامدهای احتمالی ناشی از آن، نگرانی‌های فزاینده‌ای در کانون‌های جمعیتی، به‌ویژه شهری را به دنبال داشته است (جیمز و همکاران، ۲۰۱۸). این نگرانی‌ها در کشورهای در حال توسعه و لرزه‌خیز که ایران نیز در ردیف این دسته از کشورهاست، نمود عینی و ملموس‌تری داشته است. نگاهی به تاریخ لرزه‌خیزی شهرهای ایران در کمتر از یکصد سال اخیر که با ویرانگری‌ها و تلفات جانی و مالی بی‌بازگشتی 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.

از سوی دیگر، فراوانی روی‌داد بلایای لرزه‌ای به ویژه با داده‌های بسیار محدود تاریخی، اندک است. با توجه به احتمال وقوع روی‌دادهای ویرانگر در آینده، برآورد خطرپذیری بایستی بر مبنای مدل‌های احتمالاتی استوار گردد که می‌توانند از اطلاعات محدود کنونی به منظور پیش‌بینی بهتر سناریوهای آینده استفاده کنند و عدم قطعیت بالای موجود در تجزیه و تحلیل‌ها را در نظر بگیرند. بنابراین، ارزیابی خطرپذیری باید آینده‌نگاری باشد، پیش‌بینی قابل اعتماد علمی روی‌دادهایی که ممکن است در آینده اتفاق بیفتد. چهارچوب‌های لرزه‌شناختی و مهندسی که برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی زمین لرزه مورد استفاده قرار می‌گیرد، ارزیابی خطرپذیری خسارت‌های ناشی از یک روی‌داد ناگهانی را امکان پذیر می‌سازد (یامین و همکاران، ۲۰۱۲).

منابع اصلی عدم قطعیت در تحلیل خطرپذیری عبارت‌اند از: برآورد خطرپذیری لرزه‌ای و ارزیابی آسیب‌پذیری هر یک از سازه‌های ساختمانی 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 تاثیر قرار دهند (جیمز و همکاران، ۲۰۱۸)

شهرها از لحاظ مورفولوژی و عملکرد، از سامانه‌های پیچیده‌ای تشکیل شده‌اند، زیرا آن‌ها متشکل از عناصر یا خرده‌سامانه‌های مختلفی هستند که جهت تضمین عملکرد درست شبکه در تعامل با هم هستند (اولی‌ویرا^۲، ۲۰۱۶). ساختمان‌های راهبردی و کلیدی، مراکز تاریخی، زیرساخت‌های حیاتی و فضاهای باز، اجزای اصلی شبکه شهری را تشکیل می‌دهند که بایستی در ارزیابی‌های لرزه‌ای بزرگ مقیاس مورد توجه قرار گیرند (باشاگلیا و همکاران^۳، ۲۰۱۸؛ کارا و همکاران^۴، ۲۰۱۸).

در منتهالیه ضلع خاوری فلات آتشفشانی آذربایجان و حفاصل ارتفاعات با غروداغ در خاور، عنبران در شمال، سبلان و بزغوش در باختر جنوب، دشت میان‌کوهی هموار و حاصل‌خیزی وجود دارد که در گوشه باختری آن سومین شهر پرجمعیت آذربایجان و مرکز استان اردبیل؛ یعنی شهر اردبیل جای گرفته که به دلیل موقعیت ممتازش از دیرباز به‌عنوان یکی از کانون‌های عمده جمعیتی بوده و در دوره کوتاهی از تاریخ

¹. Retrofitting programs

². Oliveira

³. Basaglia et al

⁴. Cara et al.

کشور نقش تعیین کننده‌ای را ایفا کرده است. مجموعه ارتفاعات یاد شده و به هم پیوستگی و امتداد آنها در عین حال که به این دشت استقلال جغرافیایی خاصی بخشیده، آن را نیز به صورت چالۀ بسته‌ای درآورده است که تنها به سمت شمال باختری؛ یعنی مشگین شهر و جلگۀ مغان باز می‌شود (صمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

در سرتاسر پیرامونی این دشت و شهر اردبیل گسل‌های متعددی گسترده شده‌اند. به موازات راستای تقریباً شمالی - جنوبی رشته کوه‌های باغرو داغ، گسل نئور با درازای بیش از ۵۰ کیلومتر امتداد یافته‌اند. کوه‌های عنبران در شمال خاوری دشت نیز در بطن خود گسل‌های اصلی و فرعی بسیاری را حای داده است. از سمت باختر در راستای جادۀ اردبیل - نیر، رودخانۀ بالیقلوچای مسیر خود را بر گسل بالیقلو تطبیق داده است. از سمت جنوب باختری یعنی مسیر اردبیل - فیروزآباد - میانۀ خطوارۀ معنایسی اردبیل - میانۀ امتداد یافته است (صمدزاده، ۱۳۹۸).

در دامنه‌های جنوب خاوری تودۀ آتشفشانی سبلان نیز دو گروه گسل به صورت خطی و کمانی وجود دارند. روند غالب گسل‌های خطی با فراوانی ۵۰ درصد در امتداد شمال باختری - جنوب خاوری است. ساختارهای کمانی نیز به صورت دو ساختمان یا گسل کمانی روی دامنه باختری و جنوب باختری کوچک سبلان مشخص است که کمان کوچک‌تر کم‌وبیش با نخستین کالدرای آتشفشان منطبق بوده و کمان بزرگ‌تر در چهارده کیلومتری جنوب باختری قلۀ سبلان قرار دارد. لذا این محدوده و مناطق پیرامونی آن در جایی قرار گرفته است که در آن روند ساختارها از خاوری - باختری تقریباً به طرف شمالی؛ یعنی در جهت کاملاً متفاوت تغییر می‌یابد، مخصوصاً این که بسیاری از زمین لرزه‌های تاریخی و ویرانگر منطقه نیز در این محدوده و در امتداد گسل‌های یاد شده روی داده است. برای نمونه می‌توان به قدیمی‌ترین آن‌ها؛ یعنی زمین لرزه‌های ۱۵۹۳ سراب با بزرگی $M_s=6/1$ که باعث ویرانی کامل شهر سراب گردیده و همچنین زمین لرزه هیر - اردبیل در ۳۰ دسامبر ۱۸۶۳ اشاره نمود. ویرانگرترین و در عین حال جدیدترین آن نیز زمین لرزه روستای گلستان در تاریخ ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ با بزرگی $M_s=6/1$ است، که ۹۵۴ کشته و ۲۵۰۰ نفر نیز مجروح و ویرانی‌های فراوانی نیز در سیزده روستای تابعه استان برجای گذاشت. با توجه به روند و ساختار زمین شناسی منطقه می‌توان یک مهاجرت زمین لرزه‌ای را از منطقۀ میانۀ تا گلستان اردبیل مشاهده نمود. به طوری که از لحاظ زمان وقوع زمین لرزه ۱۶۲۱/۰۵/۲۱ در جنوب میانۀ با بزرگی $M_s=6/2$ زمین لرزه ۱۸۴۴/۵/۱۳ با بزرگی $M_s=6/9$ ، و زمین لرزه ۱۸۷۹/۰۳/۲ با بزرگی $M_s=6/7$ در گرمرود و زمین لرزه ۱۹۹۷/۰۲/۲۸ با بزرگی $M_s=6/1$ در گلستان اردبیل یک مهاجرت زمانی و مکانی را با روند جنوب باختری، شمال خاوری نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت که منطقه توان بالقوۀ ایجاد زمین لرزه‌هایی با بزرگی ۶ تا ۶/۵ ریشتر را دارد (صمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

در این پژوهش، رویکرد تحلیلی برای هر یک از سنجه‌های لحاظ شده در مدل مفهومی اتخاذ شده است و همچنین رویکرد روش شناختی جدیدی برای ارزیابی آسیب پذیری هر سازه ساختاری ارائه شده است.

۲-۱ اهمیت و ضرورت انجام تحقیق:

– احاطه شدن شهر اردبیل توسط گسل‌های متعددی همچون نئور در خاور، سامانه‌های گسلی کوه‌های عنبران در شمال خاوری، بالیقلوچای در جنوب باختری و گسل‌های خطی و کمائی دامنه‌های جنوب خاوری توده آتش‌فشانی سیلان.

– روی داد زمین لرزه‌های ویرانگر در گستره‌های پیرامونی آن، از قبیل: زمین لرزه‌های ۱۵۹۳ سراب با بزرگی $M_s=6/1$ ، زمین لرزه هیر – اردبیل در ۳۰ دسامبر ۱۸۶۳ و جدیدترین آن نیز زمین لرزه روستای گلستان در تاریخ ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ با بزرگی $M_s=6/1$.

– قرارگیری مجموعه تاریخی بازار سرپوشیده بزرگ اردبیل در بطن بافت فرسوده و قدیمی شهر که بعد از بازار ثبت جهانی شده تبریز، بزرگ‌ترین مجموعه تاریخی – تجاری شمال غرب کشور محسوب می‌گردد. علاوه بر این مجموعه‌های تاریخی دیگری چون مسجد جمعه، مجموعه میراث جهانی شیخ‌صافی‌الدین اردبیلی نیز در داخل مین بافت‌های قدیمی و فرسوده قرار گرفته‌اند.

– فرسوده بودن بخش عمده‌ای از کانون اولیه شهر اردبیل، عمر بالای بناها، و همچنین سکونتگاه‌های غیررسمی شکل گرفته در گستره‌های پیرامونی شهر که در حال حاضر بخشی از حریم و مناطق پنجگانه شهرداری محسوب می‌گردند.

– وجود بافت ارگانیک در مناطق فرسوده که در صورت رویداد یک حادثه طبیعی به ویژه زمین لرزه تقریباً هرگونه دسترسی آسان و سریع برای امداد رسانی به محدوده‌های آسیب دیده را سلب می‌نماید.

۳-۱ مرور ادبیات و سوابق مربوطه

در بررسی پیشینه پژوهشی با توجه به محوریت موضوع انتخابی سعی گردیده تا برخی از منابع مطالعاتی خطرپذیری زمین لرزه در رابطه آسیب‌پذیری فیزیکی سکونتگاه‌های انسانی مخصوصاً سازه‌های آسیب‌پذیر مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۱-۱ پیشینه خارجی

شریکانث و همکاران^۱ (۲۰۱۰) با توجه به روی داد زمین لرزه (M6.9) ۲۶ ژانویه ۲۰۰۱ منطقه بهوج^۲ که با ۱۴۰۰۰ تلفات جانی همراه بود، آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود در شهرهای گاندھیدھام^۳ و ادیپور^۴ گجرات^۵ هند را مورد بررسی قرار داده‌اند. دلیل اصلی چنین تلفات عظیم، آگاهی اندک مردم در مورد زمین لرزه، ضعف در کنترل بر ساخت‌وسازها و کیفیت نامرغوب مصالح مورد استفاده، بوده است. براساس پیشرفت فناوری و

1. Srikanth
2. Bhuj
3. Gandhidham
4. Adipur
5. Gujarat

شناخت حاصله پس از روی داد زمین لرزه، آئین نامه های لرزه ای معمولاً مورد بازنگری قرار می گیرد. آخرین ویرایش استاندارد ۱۸۹۳ (معیاری برای طراحی سازه های مقاوم در برابر زمین لرزه) در سال ۲۰۰۲ پس از وقفه طولانی حدود ۱۸ ساله انجام گردیده است. در این استاندارد برخی بندهای جدید گنجانده شده و بعضی از مقررات قدیمی نیز به روز شده است. با فرض این که مقامات ذیربط اقدامات کافی را برای رعایت آئین نامه ها انجام داده و سازه هایی که ساخته می شوند مقاوم در برابر زمین لرزه باشند. با این دیدگاه، ایمنی ساختارهایی که پیش از تجدیدنظر آئین نامه ساخته شده اند، چه خواهد شد؟ این ساختارها درصد زیادی از ساختارهای آسیب پذیر موجود را به خود اختصاص داده اند. حتی اگر در صورت وجود یک سامانه کارآمد پاسخگویی به بلایا، بدون در نظر گرفتن ایمنی سازه های پیش از آئین نامه تجدیدنظر شده، نمی توان خسارت زمین لرزه را کاهش داد. در این رابطه، مطالعه جامع ارزیابی خطرپذیری لرزه ای ای گجرات ضروری است. لذا به عنوان یک مطالعه مقدماتی، شهرهای گاندیدهام و ادیپور متعلق به ایلات گجرات، به دلیل توان بالای لرزه خیزی، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور غربالگری دیداری سریع^۱ (RVS) بر روی ۱۶۰۰۰ ساختمان در شهرهای گاندیدهام و ادیپور انجام شده است. نتایج اولیه نشان می دهد که انواع زیادی از شیوه های ساخت و ساز وجود دارد، با این حال، برتری با ساختارهای RCC و بنایی بوده است. امتیاز RVS این سازه ها نشان می دهد که در کل ساختمان ها از کیفیت پایین برخوردار هستند و ارزیابی بیشتر و تقویت ساختمان ها توصیه شده است.

استانیسیا^۲، اسپاسون^۳ و فابیه ته تی^۴ (۲۰۱۷) یک روش شناسی مبتنی بر عملکرد را برای کاربرد در ارزیابی خطرپذیری لرزه ای پیشنهاد کردند. مطالعات آن ها ضمن معرفی مفهوم ساختار شهری کمینه^۵ را که پیش تر توسط فابیه ته تی (۱۹۹۹) مطرح شده بود، کمترین مقدار عناصری که بایستی پس از زمین لرزه های اصلی عملکردشان به منظور فعال نگه داشتن شهر به قوت خود باقی بماند، مدنظر قرار داده است. این مفهوم نیاز به ایجاد سلسله مراتب در اجزای سامانه شهری و تعریف سطح قابل پذیرش خطرپذیری (یا عملکرد) منطقه مورد مطالعه را بازشناسی می نماید.

مایو و همکاران (۲۰۱۷) کارائی تکنیک های مختلف ارزیابی واکنش لرزه ای ساختمان های واقع در مراکز تاریخی را مورد بررسی قرار داده اند. یک واقعیت انکارناپذیر این است که مراکز تاریخی با توجه به اهمیت شان از نظر فرهنگی و معماری، در رابطه با برنامه ریزی تعمیر و نگهداری، بررسی و ارزیابی ایمنی با چالش های متعددی مواجه هستند. تهیه یک طرح واره پژوهشی مناسب و ابعاد داده های جمع آوری شده به جنبه های زیادی، از قبیل فهرست سرمایه معماری، به عنوان مثال اهمیت مکان های یادمانی یا منابع موجود کاملاً وابسته است. ارزیابی واکنش لرزه ای سرمایه های موارث فرهنگی شهری واقع در مراکز تاریخی، به حجم و جزئیات داده های مربوط به مقاله مورد بحث، مقیاس ارزیابی و وضعیت فعلی حفاظت و تصرف آن ها، بستگی دارد. در این چارچوب، این مقاله مروری دارد بر وضعیت هنر تکنیک های بررسی که در حال حاضر در عملیات میدانی مورد استفاده قرار می گیرد،

1. Rapid Visual Screening

2. Staniscia

3. Spacone

4. Fabieteti

5. Minimum Urban Structure

بهبود سطح دانش کنونی سرمایه‌های موارث فرهنگی شهری واقع در مراکز تاریخی، و به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی برای ارزیابی پاسخ لرزه‌ای چنین سرمایه‌های منحصر بفرد. در نهایت، با اذعان به عدم دقت ارزیابی پاسخ لرزه‌ای یک سرمایه محصور شده توسط مجموعه‌ای از بناها به صورت یک ساختار جداگانه، این مقاله بر شناسایی خصوصیات اصلی ذاتی ساختمان‌های محصور در بین ساختمان‌های دیگر، متمرکز است.

آلام و همکارانش^۱ (۲۰۱۸) با مطالعه آسیب‌پذیری بافت شهری در برابر زمین لرزه با استفاده از مدل ترکیبی AHP و مدل TOPSIS شهر میمن سینگ بنگلادش به این نتیجه رسیده‌اند که مدل‌های مورد استفاده می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا به منظور کاهش خطرپذیری زمین لرزه برنامه‌های خاصی همچون پیش‌بینی و پیش‌گیری، آمادگی، مقابله و بازسازی و بازتوانی را اولویت بندی نمایند. روش مورد استفاده در این مقاله با دانش تجربی منطقه مورد مطالعه سازگار بوده و قادر است در شناسایی متغیرهای مداخله‌گر برای کاهش خطرپذیری زمین لرزه، مقامات محلی را یاری نماید. در این مقاله جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی آسیب پذیری نادیده گرفته شده است (آلام و همکاران، ۲۰۱۸، ۱۸۳-۱۶۵).

تافارل و همکاران (۲۰۱۸) روش‌های سریع ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در بافتار سرزمینی^۲ اروپا را با رویکرد قابلیت اطمینان، امکان‌سنجی و صرف هزینه و زمان، مورد مقایسه قرار داده‌اند. تعریف راهبردهای حفاظت و حمایت از موارث فرهنگی یکی از مسایل موضوعی امروزی را تشکیل می‌دهد، به‌ویژه با توجه به اهمیت فزاینده مقوله کاهش و تعدیل خطرپذیری لرزه‌ای. پیش‌بینی تأثیر زمین لرزه بر ساختمان‌های موجود، مستلزم شناخت رفتار پویای آن‌ها دارد. روشی که برای این منظور در پژوهش مورد بحث اتخاذ گردیده از نظر هزینه، زمان و اجراء، کاملاً پیچیده و سنگین است، به‌ویژه از آنجایی که این مطالعه مربوط به مناطق سرزمینی است نه ساختمان‌های منفرد. تعریف روش‌شناسی با هدف احترام به اصول پایداری اقتصادی و حفظ زندگی انسان و میراث‌های معماری برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از منابع موجود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های سریع برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، با هدف تعیین آسیب پذیری ساختمان‌ها و فهرست اولویت‌های مداخله، برای تضمین حفظ مراکز تاریخی باید اجرا شود. در این مقاله کاربرد برخی از مطالعات موردی از روش‌های مختلف با هدف ایجاد منحنی شکنندگی برای ارزیابی آسیب‌پذیری در بافتار سرزمینی اروپا توصیف شده است. مقایسه بین یک رویکرد قطعی و یک رویکرد احتمالی جدید برای کلیه مطالعات موردی انجام شده است تا مناسب‌ترین روش را از نظر قابلیت اطمینان و صرفه‌جویی در هزینه و زمان تعریف گردد.

دسپوتاکی و همکاران (۲۰۱۸) مکان‌های فرهنگی میراث جهانی یونسکو در سراسر اروپا را از لحاظ خطرپذیری لرزه‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند. زمین لرزه‌ها مسئول تخریب صدها اثر تاریخی در طول تاریخ بشر بوده‌اند. با توجه به وسعت، وضعیت حفاظت و عدم وجود مقررات لرزه‌ای، آثار تاریخی به‌ویژه در برابر اثرات مخاطرات زمین‌شناختی آسیب‌پذیر هستند. اولین قدم به منظور کاهش خطر زمین لرزه شامل درک خطرپذیری لرزه‌ای موجود و ارزیابی راهبردهای احتمالی برای کاهش آن است. این مطالعه یک ارزیابی ساده برای ارزیابی احتمال خسارت ناشی از

¹ .Alam et al

² . territorial context

لرزش زمین در مکان‌های فرهنگی میراث جهانی یونسکو در سراسر اروپا ارائه می دهد. از مدل خطر لرزه‌ای^۱ (SHARE) برای استخراج منحنی‌های خطر استفاده شده و برای محاسبه احتمال سالانه خسارت یا تخریب کامل با یک مدل شکنندگی ترکیب شده است. این محاسبات با فرض شرایط مختلف خاک انجام شده، و معیارهای خطرپذیری حاصله را می‌توان برای آگاهی از خطرپذیری استفاده نمود، و مکان‌های نیازمند به مداخلات ساختاری و پشتیبانی از واکاوی خطرپذیری اضافی را اولویت‌بندی نمود.

لانتادا و همکاران (۲۰۱۸) ضمن بررسی مجدد نمایه‌های آسیب‌پذیری و روش‌های مبتنی بر طیف ظرفیتی^۲ که برای ارزیابی آسیب‌های فیزیکی مورد انتظار در مسکن مورد استفاده قرار می‌گیرند، مزایا و کاستی‌های اصلی آن-ها را واکاوی و مورد بحث قرار داده‌اند. سپس از یک روش مبتنی بر نمایه آسیب‌پذیری برای ارزیابی خسارت مورد انتظار در قدیمی‌ترین منطقه شهر بارسلون اسپانیا استفاده نموده‌اند. واکاوی خطرپذیری برای سناریوهای زمین لرزه تعریف شده توسط شدت‌های مهلرزهای V، V-VI، VI، VI-VII و VII برای طراحی برنامه‌های اضطراری لرزه‌ای، انجام شده است. طبق آئین‌نامه لرزه‌ای اسپانیا، شتاب سطحی پایه^۳ بیشینه^۳ برای یک دوره بازگشت ۴۷۵ ساله ۰,۰۴ گرم مربوط به شدت VI است. بنابراین، خسارت فیزیکی مورد انتظار کمیت پذیر بوده و تأثیر آن بر جمعیت و موارد کمی دیگر، مانند خرابی‌ها و هزینه اقتصادی بررسی شده است. علی‌رغم خطر لرزه‌ای کم تا متوسط در بارسلونا، نتایج نشان می‌دهد که خطرپذیری به دلیل در معرض قرار گرفتن و آسیب‌پذیری زیاد در محیط ساخته شده، بالا است.

۲-۳-۱ پیشینه داخلی

ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) با بهره‌گیری از مدل‌های ارزیابی چند معیاره از جمله AHP، TOPSIS و VIKOR، سعی نموده‌اند تا برآورد متناسبی از آسیب‌پذیری محلات شهر پیرانشهر با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی اجزا و عناصر از جمله (قدمت ابنیه، نوع مصالح، تعداد طبقات، کاربری اراضی، عرض معبر، درجه محصوریت، ریزدانگی) به عمل آورند. در این پژوهش وزن‌های مولفه‌های مربوط به هر قلمرو با استفاده از مدل AHP استخراج و برای تعیین فواصل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی معیارها از مدل TOPSIS استفاده شده است. سپس به منظور استخراج شاخص نهایی آسیب‌پذیری در محلات پیرانشهر با استفاده از مدل vikor، با یکدیگر تلفیق و شاخص نهایی آسیب‌پذیری در سطح محلات استخراج و با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به تلفیق شاخص‌ها پرداخته شده و در نهایت محلات شهر به لحاظ آسیب‌پذیری رتبه‌بندی شده‌اند. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که در مجموع و با طیف‌های متفاوت، ۵۳/۳ درصد از محلات شهر پیرانشهر آسیب‌پذیر می‌باشند.

حبیبی و همکاران (۱۳۹۵) به منظور بررسی آسیب‌پذیری منطقه ۱۰ تبریز در برابر زلزله شاخص‌های کاربری زمین، عرض خیابان، تعداد طبقات، درجه محصوریت، تراکم جمعیتی، دانه بندی قطعات، سطح اشغال، تراکم

1. seismic hazard model

2. capacity spectrum-based methods

3. basic peak ground acceleration

ساختمانی، کیفیت ابنیه، نوع سازه، قدمت ابنیه، دسترسی به فضاهای باز و دوری و نزدیکی به گسل‌های اصلی انتخاب و با استفاده از مدل MIHWP و به‌کارگیری قابلیت‌های نرم‌افزار Arc GIS در محاسبه، تجمیع و روی هم‌گذاری داده‌ها و لایه نقشه‌های شاخص‌های منتخب، آسیب‌پذیری منطقه را در مقابل زلزله مشخص نموده‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که قطعاتی که دارای خیابان‌های کم عرض، تعداد طبقات و درجه محصوریت بالا، مساحت کم‌تر، سطح اشغال، تراکم‌های ساختمانی و جمعیتی بالا، کیفیت ابنیه پایین، نوع سازه کم‌دوام، عمر ابنیه قدیمی، فاصله زیاد تا فضاهای باز و فاصله نزدیکی به گسل‌های اصلی بوده‌اند، دارای امتیاز آسیب‌پذیری بالایی بوده و در نتیجه آسیب‌پذیر نشان داده شده‌اند. همچنین در محدوده منطقه، با حرکت از سمت شمال‌باختر به طرف مرکز و شمال‌خاور به میزان آسیب‌پذیری شهر افزوده می‌شود.

حیدری (۱۳۹۷) در رابطه با ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری زنجان سعی کرده تا با بکارگیری روش فرآیند سلسله مراتبی AHP برآورد مناسبی از آسیب‌پذیری بافت قدیم شهر زنجان در برابر زمین لرزه با در نظر گرفتن ویژگی‌های کالبدی و عناصر اصلی و رفتاری ساختمان‌ها و تعیین تاثیر هر کدام از آن‌ها در میزان آسیب‌پذیری ارائه نماید.

سرور و کاشانی اصل (۱۳۹۵) آسیب‌پذیری کالبدی شهر مراغه را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش با توجه به احتمال آسیب‌پذیری شهر اهر به دلیل موقعیت جغرافیایی آن، سعی شده است با بررسی وضعیت موجود و واکاوی آن، به ارزیابی آسیب‌پذیری فضاهای شهری اهر در برابر بحران زلزله پرداخته شود. نوع این پژوهش از نظر هدف کاربردی و روش تحقیق توصیفی-تحلیلی می‌باشد. برای سنجش آسیب‌پذیری فضاهای کالبدی شهر در برابر زمین لرزه از شاخص‌های ۵۱ گانه در سه طیف شاخص‌های سازه‌ای، برنامه‌ریزی و طبیعی استفاده شده است. پس از تعیین وزن شاخص‌ها با توابع چند متغیره، با استفاده از مدل AHP به این موضوع پرداخته شده است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که حدود ۳۰ درصد از فضاهای ساخته شده شهری اهر در برابر زلزله، آسیب‌پذیری متوسط به بالایی دارند و ساختار کالبدی مطلوبی برای مدیریت بحران ناشی از زلزله را ارائه نمی‌نمایند.

حیدری (۱۳۹۷) سعی نموده است تا با بکارگیری روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، برآورد مناسبی از آسیب‌پذیری بافت قدیم شهر زنجان در برابر زلزله با استفاده از ویژگی‌های کالبدی و عناصر اصلی و رفتاری ساختمانی و تعیین تاثیر هر کدام از آن‌ها در میزان آسیب‌پذیری را ارائه نماید. نتایج به دست آمده، نشان می‌دهد که حدود ۶۷/۱ درصد از واحدهای ساختمانی بافت قدیم شهر زنجان دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۹/۷ درصد زیاد، ۱/۱۵ درصد متوسط، ۲۲/۱۶ درصد کم و ۴/۵۹ درصد دارای آسیب‌پذیری خیلی کم در برابر زلزله هستند.

عظیم‌زاده ایرانی (۱۳۹۸) الگوی بهسازی بافت‌های تاریخی شهری در مقابله با مخاطرات انسانی را به صورت موردی در منطقه ۱۲ تهران مورد بررسی قرار داده است. آنچه که پژوهش حاضر را از پژوهش‌های پیشین متفاوت می‌سازد؛ از یک طرف، نوع مخاطرات مورد مطالعه و پرداختن به جنبه‌هایی از مخاطرات انسانی است که تاکنون به آن‌ها پرداخته نشده است و از طرف دیگر، انتخاب و تلفیق دو نوع رویکرد (پدافند غیرعامل و توسعه پایدار شهری) جهت تحلیل و ارائه الگوی مناسب بهسازی بافت‌های تاریخی در مقابله با مخاطرات انسانی است. قابل اهمیت این است که دو رویکرد یادشده، با یکدیگر دارای تضاد مفهومی و عملکردی بوده و الگوهای ارائه شده پیشین، این دو

رویکرد را در تقابل یا تعامل با یکدیگر مورد ملاحظه قرار نداده‌اند. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که بافت-های تاریخی شهری در منطقه ۱۲ تهران به شدت در برابر مخاطرات انسانی آسیب‌پذیر هستند و الگوهای بهسازی مناسبی که می‌تواند بافت تاریخی ارزشمند این منطقه را ضمن ساختن محیطی زیست‌پذیر و امن، تا حدودی از گزند انواع تهدیدات و مخاطرات انسان‌ساز محفوظ نگاه دارد، الگویی است که از تلفیق الزامات «پدافند غیرعامل» و اصول «توسعه پایدار شهری» حاصل می‌شود.

در رابطه با منطقه مورد مطالعه نیز می‌توان به پیشینه پژوهشی زیر اشاره نمود:

اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۲) ضریب آسیب‌پذیری شهر اردبیل را صرفاً با استفاده از مدل TOPSIS مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج حاصل از تحلیل درجات آسیب‌پذیری در مناطق چهارگانه شهر اردبیل، نشان می‌دهد که میزان آسیب وارده در منطقه ۳ بیشتر از سایر مناطق است، به گونه‌ای که ۳۷/۴ درصد از مساحت این منطقه (۳۲/۶۷ هکتار)، رتبه آسیب‌پذیری ۷ را دارد. بر اساس نتایجی که از تحلیل درجات آسیب در سطح شهر به تفکیک محلات، به دست آمد، محله ۲ از منطقه ۳ شهر، آسیب‌پذیرترین محدوده شهر شناسایی شد.

ایمانی و پورخسروانی (۱۳۹۶) با استفاده از منطق فازی، مناطق مخاطره‌آمیز شهرستان اردبیل را پهنه‌بندی نموده‌اند. نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی خطر لرزه‌خیزی، نشان می‌دهد مناطق خطرناک عمدتاً در نزدیکی گسل‌ها و سنگ‌هایی با مقاومت اندک در برابر زمین‌لرزه، قرار گرفته‌اند. نکته جالب توجه این است که تقریباً بخش‌های وسیعی از منطقه در شمال و جنوب، به‌ویژه بخش هیر، در پهنه بسیار خطرناک قرار دارد؛ فقط بخش‌های کوچکی در غرب منطقه در پهنه کم‌خطر قرار گرفته است. همچنین بر مبنای نقشه به دست آمده، بخش‌های غربی و جنوب شرقی منطقه با داشتن ویژگی‌هایی از قبیل شیب‌های تند و آبراهه‌های متراکم، بیشترین میزان آسیب‌پذیری ناشی از حرکات دامنه‌ای را دارد. نتایج نشان می‌دهد بیشترین خطر سیل‌خیزی و فرسایش در حوالی شمال غربی تا غرب و تا حدودی جنوب شرق منطقه در محدوده بخش هیر است. به طور کلی نقشه نهایی پهنه‌بندی مخاطرات در منطقه مطالعاتی حاکی از آن است که بخش‌های شمال غربی و جنوب شرقی منطقه در پهنه‌های بسیار خطرناک قرار دارد.

هدف اصلی پژوهش حاضر تدوین اطلاعات جامعی در مورد آسیب‌پذیری فیزیکی بناها، و کاربردهای آن در زمینه مهندسی زلزله و کاهش خطرپذیری در راستای برنامه‌ریزی شهری است که در هیچ‌کدام از پیشینه‌های پژوهشی بررسی شده مدنظر قرار نگرفته است. در این پژوهش توسعه و تکامل روش‌های مختلفی را که به‌عنوان پیشینه پژوهشی برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری فیزیکی معرفی گردیده است، با تاکید بر تفاوت‌هایی که از لحاظ پیش‌فرض‌ها و رویکردهایی که در آن‌ها وجود دارد و چالش‌هایی که در اجرای هر یک از این روش‌ها وجود دارد، توصیف شده است. در نهایت نتایج به دست آمده از این پژوهش همراه با بازنگری آموزه‌های زمین‌لرزه‌های کرمانشاه، به صورت موردی در شهر اردبیل مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

۴-۱ اهداف تحقیق

در این مقاله، تأثیر سناریوهای لرزه‌ای بر روی سکونتگاه‌ها و ساکنین یکی از کهن‌ترین شهرهای ایران یعنی اردبیل، مورد ارزیابی قرار گرفته است. هرچند که این کانون مدنی در منطقه‌ای با خطر لرزه‌ای کم تا متوسط قرار دارد و بیش از ۹۰٪ ساختمان‌ها قدیمی، سنگی تقویت نشده یا عمارت‌های بنایی هستند. هدف نهایی این مطالعه فراهم ساختن اطلاعات کارآمد در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر اردبیل است، به طوری که برنامه عملیاتی شهری بتواند 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.

رفتار لرزه‌ای^۱ از نظر شدت مه‌لرزه‌ای^۲ با توجه به مقیاس اروپایی (EMS-98) (گروتال، ۱۹۹۸) در نظر گرفته می‌شود (جدول ۳-۲) و ساختمان‌ها نیز با استفاده از نمایه‌های آسیب‌پذیری (LM1) مشخص می‌شوند. به عبارت دیگر روش LM1 که به عنوان بخشی از پروژه EU-Risk (خطرپذیری اروپا) تدوین گردیده (لاتادا، ۲۰۰۷؛ میلوتینوویچ و ترندافیلوسکی^۳، ۲۰۰۳؛ موروکس و لبران^۴، ۲۰۰۶a، ۲۰۰۶b) مورد استفاده قرار گرفته است. در حقیقت، روش LM1 به دلیل سادگی، روان و آسان بودن درک شدت رفتارهای لرزه‌ای و تفسیر نتایج آسیب‌پذیری و زیان‌های مورد انتظار، مورد استقبال مسئولان شهری اروپا قرار گرفته است. علاوه بر این، کاربردهای LM2 به مناطق شهری معمولاً با گروه‌بندی سازه‌ها به تعداد اندکی از رده‌های ساختمانی انجام می‌گیرد، که نتایج به دست آمده را کاملاً ساده نشان می‌دهد. اگر سازه‌ها طبقه‌بندی نشوند، استفاده از روش LM2 مستلزم محاسبات بیشتری است تا ظرفیت و شکنندگی هر ساختمان جداگانه را به طور کامل نشان دهد. به همین دلیل، کاربرد CSBM مورد توجه قرار نگرفت.

هر چند که تمام ساختمان‌ها به نوبت در محیط GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند، اما نتایج آن در سطح محله و شعاع همسایگی ارائه گردیده است. واکاوی در چنین مقیاس محلی به دلیل دسترسی به پایگاه داده‌ای شهرداری از انواع سازه‌ها و همچنین جمعیت شهر اردبیل، صورت گرفته است. علاوه بر قابلیت‌های GIS برای کمک به مدیریت و نمایش این قبیل پایگاه داده‌ای، ابزارهای سفارشی GIS برای به دست آوردن پارامترهای فضایی از ویژگی‌های هندسی ساختمان‌ها و محاسبه برخی تغییردهنده‌های رفتاری نمایه آسیب‌پذیری، توسعه یافته است. نتایج شامل برآورد آسیب-پذیری ساختمان، آسیب فیزیکی مستقیم، آوارهای تولید شده، هزینه اقتصادی و اثرات آن بر جمعیت، از جمله تعداد مصدومین و درگذشتگان و افراد بی‌خانمان است. سپس نتایج برای یک ارزیابی جامع خطرپذیری لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است.

۱-۵ سوالات تحقیق:

این پژوهش در راستای پاسخ‌گویی به سوالات زیر طراحی و ساماندهی شده است:

1. Seismic action
2. macroseismic intensity
3. Milutinovic and Trendafiloski
4. Mouroux and Lebrun

- احتمال رویداد خطر زمین لرزه در شهر اردبیل و گستره‌های پیرامونی تا چه اندازه‌ای بوده و خطرات مستقیم و همچنین ثانویه ناشی از آن کدامها بوده و بزرگی آنها در چه حدی می‌تواند باشد.
- فراوانی وقوع روی داد زمین لرزه‌های با بزرگی مشخص به چه صورتی است.
- عناصر در معرض خطر کدامها هستند.
- صدمات احتمالی عناصر در معرض خطرپذیری تا چه حدی است.
- احتمال خسارت تا چه اندازه‌ای است.
- اهمیت خطرپذیری برآورد شده چیست.
- آنچه که بایستی انجام شود.

۶-۱ فرضیه‌های تحقیق:

با توجه به ماهیت اکتشافی پژوهش حاضر که در آن جنبه‌های مختلف آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اردبیل بررسی و تبیین شده است، لذا فرضیه محور نبوده و فرایند پژوهش در راستای پاسخ‌گویی به سوالات طرح شده در بالا ساماندهی شده است.

۷-۱ روش پژوهش

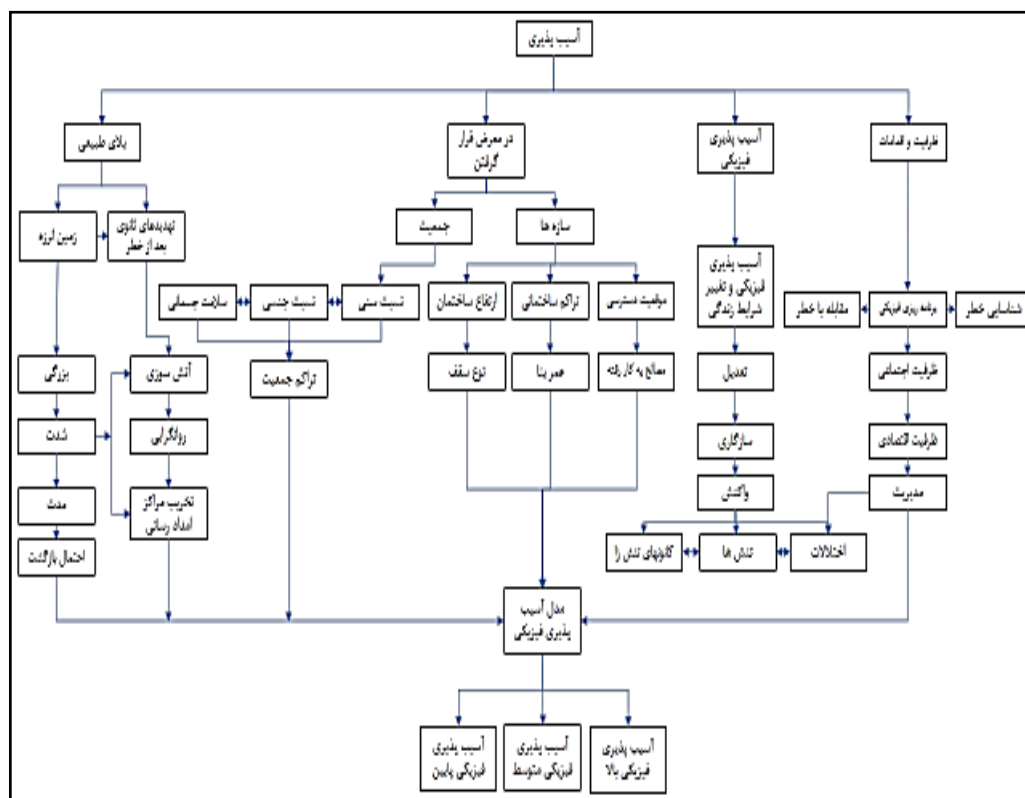
۱-۷-۱ متغیرهای مورد بررسی در قالب یک مدل مفهومی و شرح چگونگی بررسی

و اندازه‌گیری متغیرها:

انجمن خطرپذیری بلایا آسیب‌پذیری را به‌عنوان یک مولفه در متن خطر و خطرپذیری تعریف نموده است (سیورین و همکاران، ۲۰۱۳). در مدل مفهومی ارائه شده خطرپذیری به‌عنوان مجموع بلا، در معرض قرار گرفتن، آسیب‌پذیری و ظرفیت و اقدامات در نظر گرفته شده است. بلا به‌وسیله احتمال و شدت و در معرض قرارگیری نیز توسط ساختار، جمعیت و اقتصاد مشخص می‌شود، در حالی که آسیب‌پذیری دارای ابعاد فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی است. ظرفیت و اقدامات مربوط به برنامه‌ریزی فیزیکی، مدیریت و همچنین ظرفیت اجتماعی و اقتصادی است.

در معرض قرارگیری شامل مجموعه‌ای از مولفه‌های (به‌عنوان مثال عوامل در معرض تهدید: افراد، خانواده‌ها، اکوسیستم، و غیره) در معرض آسیب و ویژگی‌های تهدید (فراوانی، مدت، شدت) است. حساسیت توسط شرایط انسانی (سرمایه و استعدادهای اجتماعی) و محیطی (سرمایه طبیعی یا استعدادهای زیست‌فیزیکی) تعیین می‌شود که بر تاب‌آوری آن تأثیر می‌گذارد. آخرین مولفه پیشبرد از طریق تعدیل و سازگاری است.

آسیب پذیری یک سامانه در برابر مخاطرات شامل: (I) هم پیوندی با شرایط گسترده تر انسانی و زیست فیزیکی (محیطی) و فرآیندهای موجود در سامانه مورد نظر. (II) اختلالات و تنش ها / کانون های تنش^۱ که از این شرایط و فرایندها به وجود می آیند؛ و (III) سامانه به هم پیوسته انسانی - زیست محیطی مربوطه که آسیب پذیری در بطن آن قرار دارد، از جمله در معرض قرار گرفتن و واکنش ها (به عنوان مثال مقابله، تاثیرات، تطبیق و سازگاری) (سیورین و شروتز، ۲۰۱۳)



شکل ۱-۱: مدل مفهومی پژوهش

۱-۷-۲: شرح کامل روش (میدانی، کتابخانه ای) و ابزار (مشاهده و آزمون، پرسشنامه،

مصاحبه، فیش برداری و غیره) گردآوری داده ها:

الف - روش جمع آوری داده ها و اطلاعات

اساسی این پژوهش بر پایه مطالعات میدانی استوار بوده که شامل مراحل زیر است:

^۱ تنش عبارت است از فشار فزاینده پیوسته و آرام در قلمرو دامنه ای از تغییرپذیری بهنجار. تنش اغلب از خود سامانه نشات گرفته و خاستگاه تنش (منابع تنش) اغلب در داخل سامانه باقی می ماند (ترنر و همکاران، ۲۰۰۳).

- شناسایی محدوده‌های دقیق مناطق آسیب‌پذیر موجود در هسته اولیه شهر و همچنین سکونتگاه‌های غیررسمی پیرامونی آن جهت پیاده‌سازی بر روی نقشه

- تعیین ویژگی‌های ساختاری سازه‌های موجود در مناطق آسیب‌پذیر از قبیل نوع مصالح به‌کاررفته، تعداد طبقات، عمر بنا و ... جهت ارزیابی‌های توان آسیب‌پذیری بعدی
بخش کتابخانه‌ای و اسنادی نیز به شرح ذیل است:

- جمع‌آوری شیپ‌فایل نقشه‌های موجود شهر اردبیل به‌منظور پیاده‌سازی در محیط GIS.
- جمع‌آوری و بررسی کلیه مطالعات انجام شده در مورد شهر اردبیل، از جمله طرح‌های جامع و تفصیلی.
- استخراج و مطالعه مقالات خارجی و داخلی مرتبط با موضوع انتخابی به‌منظور تهیه و تدوین چارچوب‌های نظری و پیشینه پژوهشی.
- بهینه‌سازی اطلاعات موجود، و همچنین کسب اطلاعات جدید از طریق پردازش داده‌های جمع‌آوری شده برای اهداف دیگر.

ب - ابزار جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

با توجه به تخصصی بودن موضوع مهم‌ترین ابزار جمع‌آوری اطلاعات عمدتاً از طریق مصاحبه، مشاهده و برداشت‌های میدانی خواهد بود.

ج - جامعه آماری، روش نمونه‌گیری و حجم نمونه (در صورت وجود و امکان):

جامعه آماری این پژوهش را بناهای شهر اردبیل تشکیل می‌دهد که به طور کلی به چهار دسته عمده تقسیم شده است:

- ساختمان‌های بنایی تقویت نشده (غیرمسلح) این بناها خود شامل تقسیمات فرعی: دال‌های چوبی، تاق‌های بنایی و دال‌های چوبی مسلح است.
- ساختمان‌های بتن آرمه با قاب‌های نامنظم (RC)
- ساختمان‌های با قاب فولادی و دیوارهای میانقابی بنایی غیرمسلح
- شبکه مختلط فولادی و RC

د - روش‌ها و ابزار واکاوی داده‌ها:

درخصوص مفهوم «خطرپذیری زمین‌لرزه» مبنی بر خسارت‌های مورد انتظار برای یک عنصر در معرض خطرپذیری در طول دوره زمانی مشخصی در آینده، تقریباً اتفاق نظر همگانی وجود دارد. از اواخر دهه ۱۹۹۰، برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری فیزیکی روش‌های متعددی معرفی شده‌اند. این روش‌های پژوهشی از رویه‌ها و پیش‌فرض‌های مختلفی استفاده می‌کنند که بر اساس رویکردهای: تجربی (روستو^۱، یوانو^۱،

^۱. Rossetto

گرانت^۲ و مقصود^۳، ۲۰۱۴)، تحلیلی (دایالا^۴، وامواتسیکوس^۵، پورتر^۶، مسلم^۷ و روستو، ۲۰۱۵) و قضاوت کارشناس استوار هستند. یکی از چالش‌های اصلی در مواجهه با اغلب اندازه‌گیری‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای، اندازه‌گیری و مدل‌سازی عدم قطعیت (تصادفی و معرفتی) است که در هر مرحله از فرآیند ساخت مدل آسیب‌پذیری دخیل هستند. در بسیاری از موارد، برخی از روش‌ها با استفاده از پیش‌فرض‌های ساده به منظور کاهش جمع‌آوری داده‌ها و تلاش‌های محاسباتی به دلایل مختلف انجام شده است. با این حال، این پیش‌فرض‌ها و ساده‌سازی‌ها می‌تواند به میزان قابل توجهی پایایی و دقت نتایج حاصله را کاهش داده و عدم قطعیت‌های قابل توجهی را در فرآیند ساخت مدل آسیب‌پذیری ایجاد نماید.

علاوه بر این، مطالعات ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای و مطالعات مدل‌سازی که در بسیاری از نقاط مختلف دنیا انجام شده و طیف وسیعی از گونه‌شناسی سازه‌ای را پوشش می‌دهند، منجر به غنابخشی پیشینه پژوهشی مدل‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای شده که می‌تواند در آینده مورد استفاده قرار گیرد؛ از قبیل: برنامه‌های کاربردی مانند توابع شکنندگی برای طبقات گونه‌شناسی ساختمانی آمریکای شمالی در مدل HAZUS-MH (آژانس مدیریت اضطراری فدرال - موسسه ملی علوم سازه‌ای^۸، ۲۰۰۳) ، پایگاه داده‌های آسیب‌پذیری اروپا تحت عنوان SYNER-G (۲۰۱۱A و ۲۰۱۱B) یا پایگاه داده‌های آسیب‌پذیری جهانی لحاظ شده در چارچوب مدل زمین-لرزه جهانی (GEM) (روستو، یوانوا، گرانت، و مقصود، ۲۰۱۴؛ دایالا و مسلم، ۲۰۱۳). دسترس‌پذیری این مدل‌های آسیب‌پذیری، تحلیلگران خطرپذیری (به عنوان مثال، دانشگاهیان، مهندسان، بیمه‌گران) را به استفاده از آن‌ها برای برنامه‌های آینده، به جای توسعه مدل‌های سفارشی (به عنوان مثال، برای تحلیل‌های آسیب‌پذیری و اندازه‌گیری آسیب‌پذیری فیزیکی) که ویژگی‌های ساختاری و غیرساختاری خاص ساختمان‌های موجود را مورد توجه قرار می‌دهد، رهنمون می‌سازد.

با این حال، انتخاب مدل‌های آسیب‌پذیری که در ابتدا برای گونه‌شناسی سازه‌های مشابه در سایر نقاط جهان ایجاد شده بود، به نسبت اطمینان از ارزیابی و مدل‌سازی قابل اعتماد تلفات زمین‌لرزه، با توجه به تفاوت معنی‌دار در تکنیک‌های ساخت‌وساز و جزئیات ساختاری بین کشورهای مختلف، حتی زمانی که ساختمان‌ها بر اساس دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های مشابه طراحی شده‌اند، می‌تواند فرآیند چالش برانگیزی باشد (مسلم و لانگ، ۲۰۱۷). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از یک مدل آسیب‌پذیری فیزیکی لرزه‌ای ممکن است بر نتایج برآوردهای خسارت زمین‌لرزه تاثیر به‌سزایی داشته باشد. در زمینه حرکت به سمت استفاده از راهبردهای پیشرفته‌تر مدل‌سازی در راستای انعطاف‌پذیر نمودن پیش‌بینی‌ها و پیش‌فرض‌های غالباً غیرواقعی مربوط به پیش‌فرض‌های

1. Ioannou

2. Grant

3. Maqsood

4. D'Ayala

5. Vamvatsikos

6. Porter

7. Meslem

8. National Institute of Building Sciences

ساده‌شده‌ای که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند، توافق و درک روشنی در میان جوامع مهندسی و علمی وجود دارد.

تقریباً از آغاز دههٔ ۲۰۱۰ میلادی، به منظور اتخاذ راهبردی بهینه مبنی بر فراهم ساختن امکان مدل‌سازی قابل اطمینان از روی داده‌های محتمل (عدم قطعیت) و همچنین مدل‌سازی آسیب‌پذیری فیزیکی لرزه‌ای ساختارهای منحصربه‌فرد یا مجموعه‌ای از سازه‌ها و امکانات زیرساختی، چارچوب‌ها و ابتکارات نوین پیشرفته‌ای به منصفه ظهور رسیده‌اند (مسلم ولانگ، ۲۰۱۷).

در این پژوهش برای ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی از روش نمایهٔ آسیب‌پذیری استفاده شده است که جزئیات آن در فصل چهارم توضیح داده شده است.

فصل دوم

تعاریف، مفاهیم و چارچوب‌های نظری پژوهش

۱-۲ تعریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی و تخصصی:

۱-۱-۲ آسیب پذیری:

با توجه به گستردگی مفهوم آسیب پذیری، تعاریف متعددی از آن ارائه شده است که برای نمونه به چند مورد زیر می‌توان اشاره نمود:

- درجه‌ای از آسیب یک عنصر مشخص در معرض خطرپذیری یا مجموعه‌ای از عناصر در معرض خطرپذیری ناشی از وقوع یک پدیده طبیعی با بزرگی مشخص که براساس مقیاسی از ۰ (بدون آسیب) تا ۱ (آسیب کلی) بیان می‌گردد (UNDRO،^۱ ۱۹۷۹)

- خصوصیات یک فرد یا گروه از لحاظ ظرفیت آن‌ها برای پیش‌بینی، مقابله، مقاومت بازبایی از اثرات یک خطر (بلیکی،^۲ ۱۹۹۴).

- شرایطی که توسط عوامل فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی یا فرایندهایی تعیین می‌شود که حساسیت یک جامعه به تاثیر مخاطرات را افزایش می‌دهد (UNISDR،^۳ ۲۰۰۴)

- نمود ذاتی و پویایی یک عنصر در معرض خطرپذیری است که آسیب/ خسارت موردانتظار ناشی از یک روی-داد مخاطره‌آمیز را تعیین می‌کند و اغلب حتی از خود روی‌داد آسیب‌رسان نیز تاثیر می‌پذیرد. آسیب‌پذیری به طور مداوم در طول زمان تغییر یافته و از عوامل فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی متاثر می‌گردد (بیرکمن،^۴ ۲۰۰۶)

- درجه‌ای از حساسیت تاثیرپذیری سامانه‌های ژئوفیزیکی، زیست‌شناختی و اجتماعی - اقتصادی به اثرات نامطلوب تغییرات آب‌وهوایی که قادر به مقابله با آن نیستند (اشنایدر و همکاران،^۵ ۲۰۰۷؛ فوسل و کلین،^۶ ۲۰۰۷).

۱-۱-۱-۲ آسیب پذیری فیزیکی^۷

آسیب‌پذیری فیزیکی ساختمان در مقابل زمین‌لرزه بیانگر حساسیت آن به آسیب است که می‌تواند با اندازه‌گیری شدت^۸ حرکت زمین معین (IM) صورت گیرد. هدف از ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه، برآورد سطح آسیب (در یک روش قطعی یا احتمالی) به یک گونه‌شناسی سازه‌ای ناشی از سطح مشخصی از لرزش زمین است.

تحلیل آسیب‌پذیری عموماً در سه مرحله انجام می‌شود: (۱) تعریف سامانه ساختاری ساختمان؛ (۲) تخمین آسیب فیزیکی به دلیل شدت حرکت زمین؛ و (۳) ارزیابی عملکرد کلی لرزه‌ای، یعنی سطح آسیب‌پذیری، با توجه به شدت حرکت زمین. فرآیند کلی برای شناسایی آسیب‌پذیری فیزیکی ساختمان در شکل ۱ نشان داده شده است.

انواع مختلف آسیب‌پذیری فیزیکی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

1. Natural disasters and vulnerability analysis: report of Expert Group Meeting. Geneva.

2. Blaikie

3. UN International Strategy for Disaster Reduction

4. Birkmann

5. Schneider

6. Füssel & Klein

7. physical vulnerability

8. Intensity Measure

- آسیب پذیری ناشی از قدمت ساختمان - عمر مفید ساختمان در ایران ۳۰ سال برآورد شده است هرچه عمر ساختمان بیشتر باشد میزان آن آسیب پذیری بیشتر خواهد بود (حاتمی نژاد و همکاران ، ۱۳۸۸)

- آسیب پذیری ناشی از تعداد طبقات - در صورت وقوع زمین لرزه که موجب تخریب ساختمان ها شود، افزایش تعداد طبقات ساختمان ها برابر با افزایش آسیب پذیری خواهد بود. حتی اگر افزایش ارتفاع با رعایت ضوابط ومحاسبات انجام گیرد ، هنگام تخلیه و جست و جو و نجات، کار امداد رسانی به سختی انجام خواهد شد (حبیبی و همکاران ، ۱۳۸۷).

- آسیب پذیری ناشی از عدم دسترسی به شبکه معابر - هرچه معابر دارای پهنای مناسب تری با توجه به سلسله مراتب عملکردهای شهری باشند آسیب پذیری نیز به همین میزان کاهش می یابد.

- آسیب پذیری ناشی از مساحت قطعات تفکیکی - قطعات کوچک تر به علت خرد کردن فضاهای باز و افزایش میزان آسیب پذیری می شود (رنج آزمای، ۱۳۹۰) از سویی، هرچه سطح این قطعات بیشتر باشد آوار ناشی از تخریب ساختمان، کمتر به ساختمان ها و معابر مجاور آسیب می زند (حبیبی و همکاران ، ۱۳۸۷).

- آسیب پذیری ناشی از دوری از فضای باز - فضاهای باز شامل فضاهایی نظیر پارکها، باغها و زمین های بایرند که ظرفیت تجمع و پناه گیری را دارند. با افزایش میزان دسترسی به چنین کاربری هایی، آسیب پذیری نیز کمتر خواهد بود (احد نژاد و همکاران، ۱۳۸۶)

- آسیب پذیری ناشی از تراکم جمعیتی - اهمیت تراکم جمعیت در آخرین مرحله از بحران زمین لرزه تعیین کننده می باشد. تراکم جمعیت زیاد باعث تلفات بیشتر خواهد شد (بحرینی و همکاران، ۱۳۷۵).

- آسیب پذیری ناشی از جنس زمین - یکی از مهم ترین فراسنجهای محیطی در رخداد زمین لرزه جنس زمین است، به گونه ای که هرچه لایه های زمین سخت تر باشد، باعث کم شدن توان انتقال موج زمین لرزه و در نتیجه تضعیف قدرت تخریبی زمین لرزه می شود (کوبرن و اسپنس^۱، ۲۰۰۳).

اجزای ساختاری، عناصر اصلی هستند که در رفتار واکنش ساختمان نقش آفرین بوده و پیامدهای واکنش از لحاظ خسارت های مالی، به تعمیر آسیب های ساختاری یا جایگزینی ساختمان مربوط می گردد. اجزای غیرساختاری را می توان به دو دسته تقسیم کرد: آنهایی که ممکن است در رفتار پاسخ ساختار (و بدین ترتیب زیان های مالی مرتبط با آسیب) نقش داشته باشند، و اجزایی که در رفتار واکنش ساختار نقشی ندارند، اما از لحاظ بررسی نقش آن ها در هزینه های بازسازی حائز اهمیت هستند.

جدول ۲-۱: فراسنجهای داده های ورودی حاکم بر اندازه گیری آسیب پذیری فیزیکی (مسلم و لانگ، ۲۰۱۷)

مدل سازی ایجابی برای ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی						فراسنجه (داده ورودی)
ارزیابی تجزیه محور		ارزیابی کارشناس محور		ارزیابی تحلیل محور		
مورد نیاز	مطلوب	مورد نیاز	مطلوب	مورد نیاز	مطلوب	
۲		۲		۲		نوع عناصر برابر (ساختاری و غیرساختاری)
	۲		۲		۲	نوع عناصر غیربرابر

^۱ . Coburn & Spence

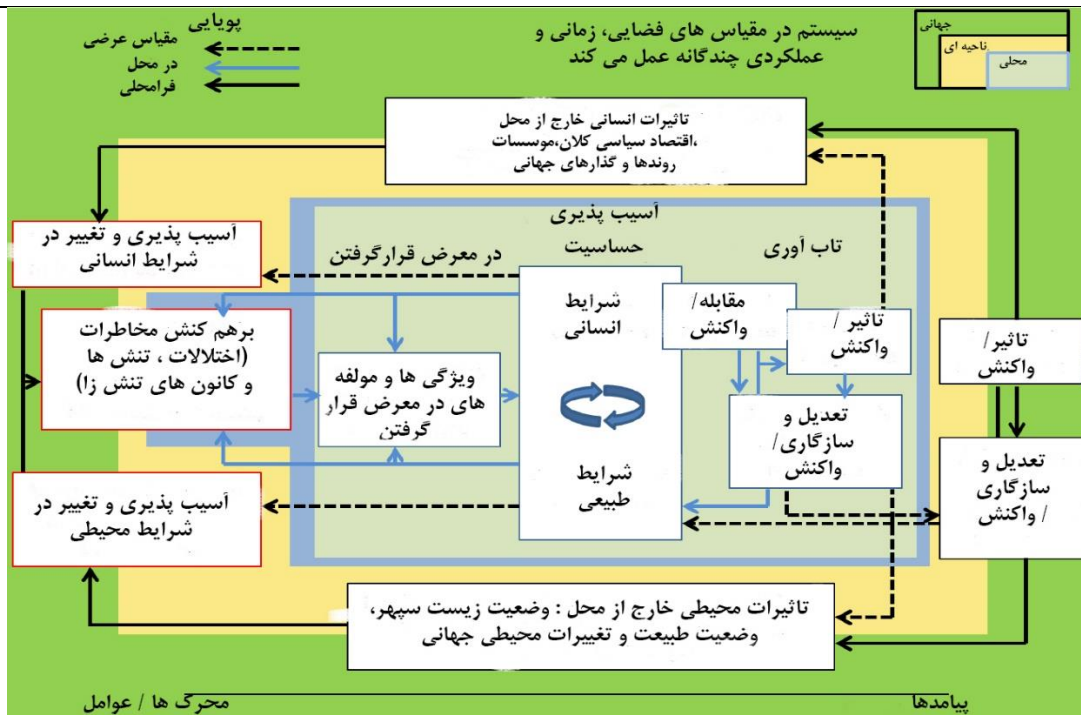
ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

			۲	۲	دامنه ارتفاعی (ارزیابی کمی)	ویژگی های ابعادی
	۲				تعداد طبقات (ارزیابی کمی)	
	۲				ابعاد عناصر برابر (ارزیابی کمی)	
	۲				ابعاد عناصر غیربرابر (ارزیابی کمی)	
	۲				عناصر برابر (ارزیابی کمی)	ویژگی های مکانیکی مواد مورد استفاده در سازه
۲					عناصر غیربرابر (ارزیابی کمی)	
	۲				عناصر برابر (ارزیابی کمی)	جزئیات ساختاری
۲					عناصر غیربرابر (ارزیابی کمی)	
			۲	۲	ترکیب هندسی و بی نظمی ساختاری (تخصیص کمی)	
			۲	۲	سطح طراحی آئین نامه و / یا دوره ساخت (تخصیص کمی)	
				۲	داده های آسیب مشاهده شده از زمین لرزه های گذشته (تخصیص کمی / کیفی)	

علاوه بر فراسنج های یادشده، یعنی ارتفاع کلی ساختمان، سطح طراحی آئین نامه های ساختمانی یا دوره ساخت (در مواردی سن ساختمان به عنوان نمایه غیرمستقیم سطح طراحی لرزه ای، به ویژه در مناطقی که آئین نامه های لرزه ای تدوین شده اند، همچنین می تواند شیوه های ساخت و ساز معمول در یک ناحیه مشخص را نشان دهد) می تواند در آسیب پذیری سازه ای شدیداً تاثیرگذار باشد (FEMA-177, 1989).

شمار نقاط داده ای دخیل و سطح جزئیات آن ها برای تحلیل آسیب پذیری / ارزیابی عمدتاً بسته به نوع روش انتخابی برای تحلیل، می تواند از تفاوت گسترده ای برخوردار باشد. بر این اساس، داده های ورودی می توانند به صورت کیفی یا کمی ارائه شوند. جدول شماره ۱ نوع تخصیص برای فراسنج های حاکم بر اندازه گیری آسیب پذیری را با توجه به نوع روش ارزیابی آسیب پذیری نشان می دهد.

هنگام ارزیابی خطرپذیری زمین لرزه برای یک منطقه یا ناحیه ای با صدها، و اغلب هزاران ساختمان مجزا، اگرچه تعریف سامانه ساختاری هر ساختمان با خصوصیات ساختاری و غیرساختاری جداگانه، غیرممکن نیست، ولی هزینه بر و غیرعملی است. معمولاً، تقسیم وضعیت ساختمان مربوطه به تعداد مشخصی از طبقات گونه شناسی ساختمان، گزینه مناسبی را به منظور مطالعه مدیریت پذیر و در نتیجه کارآمد، فراهم می کند. طبقه بندی بر اساس گروه بندی گونه شناسی های ساختمان ها یا یک ساختمان صورت می گیرد که عملکرد کلی را در طول لرزش های زمین لرزه نشان می دهد، یعنی نشانگر آسیب پذیری مشابه است.



شکل ۱-۲. چهارچوب مفهومی آسیب پذیری

با توجه به طبقه بندی ارتفاع ساختمان ها، ارتفاع ساختمان اغلب به وسیله تعداد طبقات و یا دامنه ارتفاعی تعریف می گردد، مورد اخیر به انواع ساختمان های کم، متوسط و بلندمرتبه قابل تقسیم است که به ترتیب عبارتند از: ۳-۱، ۴-۶ و بالاتر از ۷ طبقه. به طور کلی، طبقه بندی ساختمان ها بایستی دربرگیرنده همه انواع ساختمان های همگانی باشد که در دسترس بوده و نماینده ای برای منطقه هدف باشد.

۲-۱-۱-۲ آسیب پذیری لرزه ای^۱

ارزیابی خطرپذیری لرزه ای در مقیاس شهری به منظور برآورد پیامدهای احتمالی ناشی از روی داد زمین لرزه های بزرگ ضروری است. این فرایند شامل مجموعه ای نظام مند از مراحل پژوهشی است که با شناسایی خطر لرزه ای آغاز، ارزیابی آسیب پذیری دنبال گردیده و با توسعه نقشه های خطرپذیری و نقشه های بزرگ مقیاس کامل کاهش خطرپذیری خاتمه می یابد. تهیه نقشه توان خطرپذیری در طرح های شهری می تواند به توسعه راهبردهای مورد نیاز برای کاهش و مدیریت خطرپذیری لرزه ای کمک کند. هدف اصلی چنین راهبردهایی کاهش توان تاثیرات زمین-لرزه ها و حفاظت از شبکه های حیاتی مناطق شهری است (جیمنز و همکاران، ۲۰۱۸، ۱).

جدول ۲-۲: چارچوب ماتریس احتمال آسیب که در ابتدا برای داده های آسیب سازه ای در ایالات متحده تهیه گردیده بود. مجموع درصد آسیب برای هر شدت لرزه ای بایستی به صددرد صد برسد. به منظور نمایش پراکنش انواع آسیب، مقادیر به صورت کیفی ارائه شده است.

^۱ seismic vulnerability

شدت لرزه‌ای					نسبت آسیب (%)	آسیب غیرسازه‌ای	آسیب سازه‌ای	وضعیت آسیب
IX	VIII	VII	VI	V				
۰	۶	۳۳	۷۹	۹۲	۰ - ۰/۰۵	بدون آسیب	بدون آسیب	۰
۶	۱۷	۳۴	۱۸	۸	۰/۰۵ - ۰/۳	جزیی	بدون آسیب	۱
۱۸	۳۹	۲۰	۳	۰	۰/۳ - ۱/۲۵	محلی	بدون آسیب	۲
۲۲	۱۱	۱۰	۰	۰	۳/۵ - ۱/۲۵	گسترده	غیرقابل ملاحظه	۳
۲۷	۵	۳	۰	۰	۷/۵ - ۳/۵	قابل توجه	جزیی	۴
۱۲	۱۱	۰	۰	۰	۲۰ - ۷/۵	وسیع	قابل توجه	۵
۱۰	۶	۰	۰	۰	۲۰ - ۶۵	تقریباً کامل	عمده	۶
۴	۵	۰	۰	۰	۱۰۰		غیرقابل استفاده شدن ساختمان	۷
۱	۰	۰	۰	۰	۱۰۰		فروریزش	۸

سنجۀ خطر، فراوانی و شدت خطر در یک مکان خاص را تعریف می‌کند. این کار با تحلیل فراوانی رویدادهای تاریخی و بررسی و بازنگری مطالعات علمی انجام شده بر روی شدت و فراوانی در منطقه مورد مطالعه صورت می‌گیرد. با تعیین فراسنج‌های خطر، مجموعه‌ای از روی داده‌های تصادفی تولید می‌شوند که پراکنش فراوانی و شدت روی داده‌های تصادفی متعددی را تعریف می‌کند. مدل خطر لرزه‌ای شامل میرایی روی داد از محل وقوع تا مکان مورد نظر و همچنین آمادگی شرایط محلی مکان برای تقویت یا کاهش شدت خطر می‌باشد (یامین و همکاران، ۲۰۱۲، ۳).

۲-۱-۲ خطر

خطر عبارت است از: "یک پدیده، ماده، فعالیت یا وضعیت انسانی آسیب‌رسان، که ممکن است به تلفات جانی، صدمه و یا سایر تاثیرات سلامتی، خسارت مالی، آسیب خدمات و امکانات گذران زندگی، آشفتگی اجتماعی و اقتصادی یا آسیب زیست‌محیطی منجر گردد" (گزارش راهبرد بین‌المللی سازمان ملل متحد در خصوص کاهش بلایا، ۲۰۱۲).

۳-۱-۲ خطرپذیری

براساس گزارش راهبرد بین‌المللی سازمان ملل متحد در خصوص کاهش بلایا (UNISDR)، در فرمول‌بندی خطرپذیری (معادله ۱) دو عنصر ضروری وجود دارد: یک رویداد بالقوه - خطر و درجه حساسیت عناصر در معرض خطر به منبع خطر - آسیب‌پذیری:

$$\text{خطرپذیری} = \text{خطر} \times \text{آسیب‌پذیری} \quad \text{معادله مفهومی (کیفی) ۱:}$$

در واژگان UNISDR کاهش خطرپذیری فاجعه، "خطرپذیری" به عنوان ترکیبی از احتمال یک روی داد و پیامدهای منفی آن تعریف شده است."

۲-۱-۴ تعریف آسیب دیدگی سامانه سازه‌ای^۱

برآورد آسیب فیزیکی در مقیاس محلی و جهانی برای یک ساختمان یا زیرساخت، با توجه به سطح مشخصی از شدت حرکت زمین گام اصلی بعدی در ارزیابی آسیب پذیری است. به طور معمول ساده سازی واقع گرایانه^۲ مورد استفاده، بر اساس طبقه بندی آسیب ساختمان به طبقات آسیب گسسته صورت می گیرد. طبقات آسیب گسسته به طور جداگانه برای هر دو مولفه ساختاری و غیرساختاری یک ساختمان تعریف می شود. مفاهیم مختلفی برای طبقه بندی آسیب وجود دارد، که دقیقاً بر اساس تعداد مختلفی از سطوح شدت خسارت استوار است. به طور کلی، طبقه بندی آسیب دیدگی ساختمان می تواند با روش توصیفی کیفی با توصیف اثرات آسیب رسان به ساختمان و یا به صورت کمی با اختصاص آستانه های ظرفیتی (به عنوان مثال، تعریف تجربی از وضعیت خسارت آستانه ها) به یک عنصر ساختاری جداگانه یا کل ساختمان، صورت گیرد (مسلم و لانگ، ۲۰۱۷). طبقه بندی های زیادی وجود دارد که اساس آنها بر توصیف کیفی اثرات آسیب به یک ساختمان متکی است، اما از مفهوم حالت های آسیب دیدگی ساختمان، مانند روش شناسی پیش بینی تلفات زمین لرزه که توسط FEMA و NIBS توسعه یافته و معمولاً تحت عنوان HAZUS-MH شناخته می شود (FEMA-NIBS, 1999, 2003). در این روش شناسی طبقه بندی خسارت ساختمان، عملکرد لرزه ای مورد انتظار ساختمانها (اری، ۱۹۹۴) چهار حالت آسیب را مشخص می کند: ملایم، متوسط، گسترده و کامل. با توجه به این که طبقه بندی خسارات ساختمانی که به توصیف کلی اثرات آسیب دیدگی به یک ساختمان متکی هستند، تفاوت عمده آنها به فراسنج های مورد استفاده برای تشخیص آستانه خسارت و به علاوه تعداد موارد آسیب دیده در نظر گرفته شده، بازمی گردد. این رویکرد معمولاً در ارزیابی آسیب پذیری تحلیل محور، مورد استفاده قرار می گیرد (مسلم و لانگ، ۲۰۱۷).

۲-۱-۵ در معرض قرار گیری^۴

در معرض قرار گرفتن عبارت است از کلیه افراد، اموال، سامانه ها و یا دیگر عناصر موجود در مناطق خطر است که در معرض زیان های بالقوه قرار دارند (UNISDR, 2004).

1. Defining Damage to the Structural System

2. pragmatic simplification

3. EERI

4. Exposure

۶-۱-۲ ظرفیت مقابله^۱

ظرفیت مقابله عبارت است از توانایی افراد، سازمان‌ها و سامانه‌ها، استفاده از مهارت‌ها و منابع موجود برای مقابله با شرایط نامساعد، اضطراری و یا بلایا (UNISDR, 2004).

۷-۱-۲ ظرفیت^۲

ظرفیت ترکیبی از تمام ویژگی‌های قابلیت و منابع موجود در یک جامعه، اجتماع یا سازمان است که می‌تواند برای دستیابی به اهداف مورد توافق مورد استفاده قرار گیرد (UNISDR, 2004).

^۱ . Coping capacity

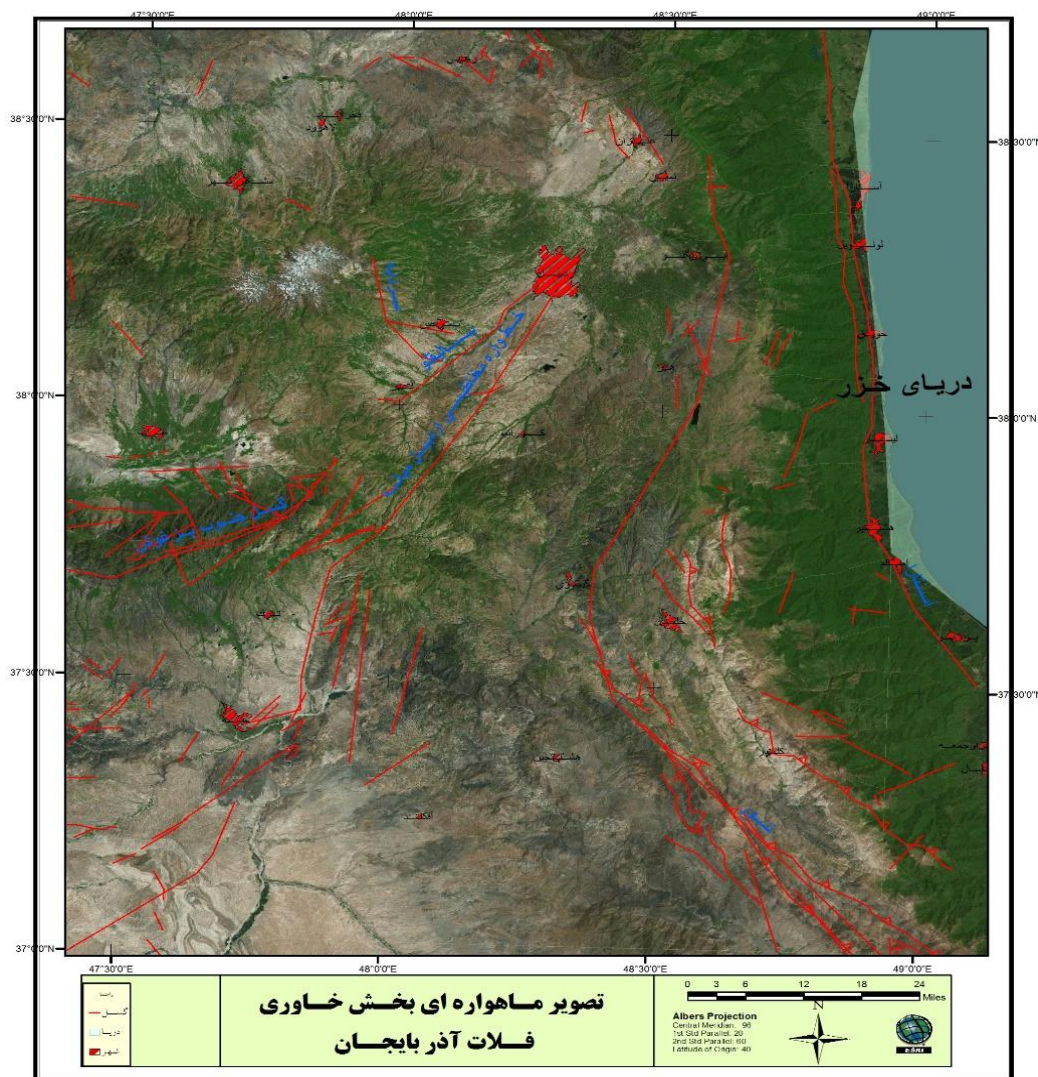
^۲ .Capacity

فصل سوم

زمین شناسی، زمین ساخت، لرزه زمین ساخت
و پیشینه لرزه خیزی شهر اردبیل و گستره های پیرامونی آن

۳-۱ جایگاه جغرافیایی دشت اردبیل

در منتهی الیه ضلع خاوری فلات آتشفشانی آذربایجان و حد فاصل ارتفاعات با غروداغ در خاور، عنبران در شمال، سیلان و بزغوش در باختر و جنوب، بین $5^{\circ} 38'$ تا $28^{\circ} 38'$ عرض شمالی و $10^{\circ} 48'$ تا $41^{\circ} 48'$ طول خاوری، دشت میان کوهی هموار و حاصل خیزی وجود دارد که در گوشه باختری آن سومین شهر پر جمعیت آذربایجان و مرکز استان اردبیل یعنی شهر اردبیل جای گرفته که به دلیل موقعیت ممتازش از دیرباز به عنوان یکی از کانون-های عمده جمعیتی بوده و در دوره کوتاهی از تاریخ کشور نقش تعیین کننده‌ای را ایفا کرده و به نوبه خود توانمندی‌ها و قابلیت‌های بی نظیری را برای منطقه پدیده آورده است.



شکل ۳-۱: تصویر ماهواره‌ای دشت اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن. خطوط قرمز رنگ گسل‌های اصلی محدوده مورد مطالعه هستند.

مجموعه ارتفاعات یاد شده و به هم پیوستگی و امتداد آن‌ها در عین حال که به این دشت استقلال جغرافیایی خاصی بخشیده، آن را نیز به صورت چاله بسته‌ای در آورده است که تنها به سمت شمال باختری یعنی مشکین شهر و جلگه مغان باز می‌شود.

درازای تقریبی این دشت ۴۰ کیلومتر، پهنای آن ۲۵ کیلومتر و ارتفاع متوسط آن نیز در شهر اردبیل ۱۳۵۰ متر می باشد. کمترین نقطه ارتفاعی دشت در حوالی پل سامیان (در گوشه شمال باختری دشت) به ۱۲۹۶ متر کاهش می یابد. مساحت این دشت تقریباً بیضوی شکل در حدود ۹۰۰ کیلومتر مربع است. این دشت از خاور توسط گردنه حیران با استان گیلان و از باختر به وسیله دره بالیقلوچای و گردنه صائین با استان آذربایجان شرقی ارتباط مستقیمی پیدا می کند. هر چند که وجود این گردنه ها و صعب العبور بودن آن ها در گذشته یکی از موانع عمده توسعه این شهر و استان بوده است، ولی در حال حاضر به عنوان یکی از کانون های عمده گردشگری محسوب می گردند (صمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۳ تکامل زمین ساختی دشت اردبیل

با توجه به اطلاعات نقشه های زمین شناسی منطقه^۱، به استثناء محدوده ی کوچکی در شمال باختری نمین و در هسته تاقدیس عنبران که قدیمی ترین نهشته های دریایی متعلق به پرکامبرین بالایی متشکل از شیل، ماسه سنگ (سازند بایندر) و دولومیت های (سلطانیه) رخنمون دارد. دشت اردبیل و مناطق پیرامونی آن به عنوان بخشی از پلاتفرم پالئوزوئیک ایران در طول دوران اول خارج از آب بوده است. این وضعیت در دوران دوم تقریباً تا آخر تریاس کماکان ادامه داشت. در ژوراسیک دوباره محدوده کنونی تاقدیس عنبران به زیر آب می رود که برآیند آن ترسیب و شکل گیری نهشته های آواری و دریاکناری سازند شمشک (ماسه سنگ های آهکی و آهک های ماسه ای) است که بطور دگرشیب بر روی رسوب های قدیمی تر قرار گرفته است. این دگرشیبی احتمالاً نتیجه رخدادی معادل کیمبرین پیشین است (خدابنده و امینی فضل، ۱۹۹۷)

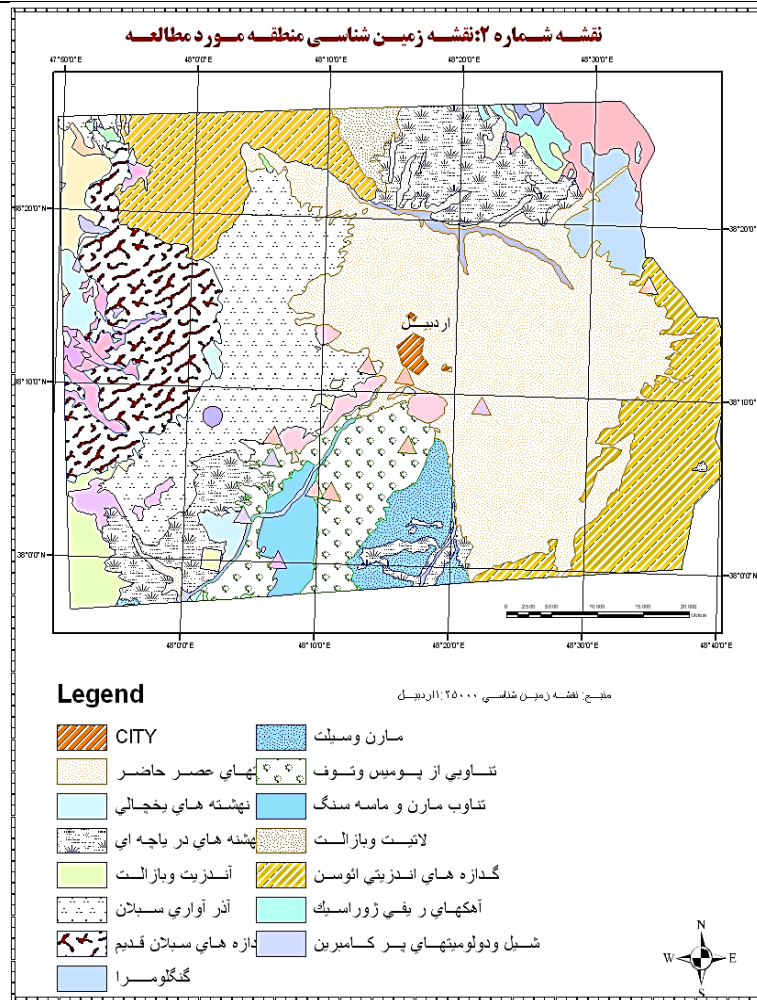
در اواخر ژوراسیک به دنبال عملکرد فاز فشاری هم ارز کیمبرین پسین این حوضه رسوبی بالا می آید. در طول کرتاسه بالایی، دو حوضه رسوبی کاملاً متفاوت در منطقه شکل می گیرد، یکی حوضه باختر آستارا که نشان دهنده ردیف ستبری از رسوب های آواری همراه با فعالیت آتش فشانی است و دیگری حوضه باختر نمین که شامل رسوب های عمدتاً کربناتی و همراه با فعالیت آتش فشانی کمتر، می باشد (باباخانی و رحیم زاده، ۱۳۶۷).

در طول دوران سوم بخش عمده ای از منطقه زیر پوشش دریا های این دوران قرار می گیرد، اما در ارتباط با زمان از خاور به باختر از عمق این دریا کاسته می شده است. قدیمی ترین نهشته های این دوران نهشته های آذر آواری ائوسن به ستبرای حدود ۲۰۰۰ متر می باشد. این مجموعه در اثر فاز کوه زائی لارامید و آلپ میانی که در کرتاسه بالایی و اوایل پالئوژن رویداده بالا آمده و بخشی از دامنه های باختری ارتفاعات باغرو داغ را تشکیل داده اند.

در طول پالئوژن به واسطه فعالیت شدید آتش فشانی زیر دریایی ستبرای زیادی از سنگ های آتش فشانی عمدتاً متشکل از مگاپرفیرهای آندزیتی و لاتیتی شکل می گیرد.

این مجموعه تحت تاثیر جنبش های آلپی جوان چین خورده و با شیب کم با راستای شمال باختری - جنوب خاوری که به پیروی از کوه های باغرو داغ راستای شمالی - جنوبی به خود گرفته اند، دامنه های باختری ارتفاعات باغرو داغ و بخشی از ارتفاعات شمال و باختری دشت اردبیل را تشکیل می دهند (شکل ۲-۳).

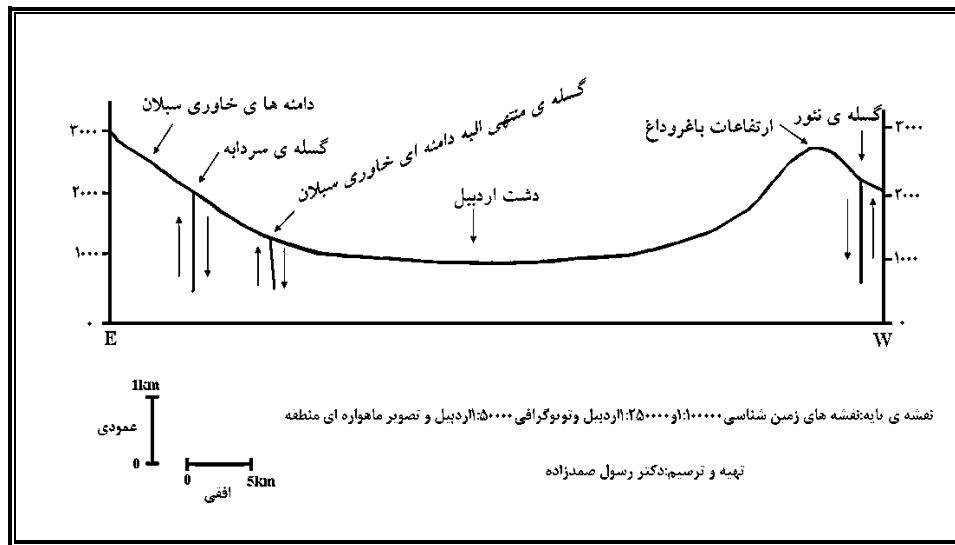
۱- نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ اردبیل و آستارا و ۱:۲۵۰۰۰۰ اردبیل



شکل ۳-۲: نقشه زمین شناسی دشت اردبیل و گستره های پیرامونی آن

پس از شکل گیری ارتفاعات حاشیه ای دشت بر اثر عملکرد نیروهای درونی، گسله های عمیقی شکل می گیرد که مهم ترین آن ها، یکی گسل آستارا در دامنه خاوری و دیگری گسل نئور در دامنه باختری ارتفاعات باغروداغ هستند. در سمت باختر دشت نیز ساختارهای خطی متعددی وجود دارد که می توان به گسل احتمالی بالیقلوچای در امتداد رودخانه بالیقلو اشاره نمود. در محدوده توده آتش فشانی سیلان و دامنه های آن، سری گسل های شمالی- جنوبی و خاوری- باختری به صورت یک پهنه گسلی و در دامنه باختری و جنوب باختری سیلان نیز دو ساختار کمانی وجود دارد (سبحانی ۱۳۷۸). یکی از مهم ترین این ساختارهای خطی، گسلی است که از دره سردابه تا نزدیکی بيله- درق با راستای شمالی- جنوبی امتداد یافته که در این پژوهش تحت عنوان «گسل سردابه» نام گذاری شده است. گسل دیگری تقریباً به موازات و در ضلع خاوری گسل سردابه امتداد یافته که در تصویر ماهواره ای منطقه حرکت امتداد لغزی را نشان می دهد. این گسل نیز تحت عنوان گسل دامنه خاوری سیلان نام گذاری شده است. این گسل ها در مجموع به صورت پلکانی عمل نموده و باعث فرارفت ارتفاعات باغروداغ (هورست) و فروافتادگی جلگه هموار گیلان در خاور و دشت اردبیل و حوضه رسوبی نئوژن (ضلع جنوب باختری دشت اردبیل) به صورت گرابن در باختر شده اند. (اشکال ۳-۳ و ۳-۴)

به دنبال پیدایش حوضه رسوبی نئوژن در گوشه جنوب باختری منطقه، مواد تخریبی حاصل از فرسایش ارتفاعات پیرامونی در آن نهشته شده‌اند. وجود ناهمسازی دگرشیب بین نهشته‌های میوسن و پلیوسن به احتمال وابسته به جنبش‌های آتیکان در طی واپسین جنبش‌های کوهزائی آپی در اواخر میوسن و پلیوسن است (باباخانی و رحیمزاده، ۱۳۶۷) که طی آن نهشته‌های میوسن چین خوردگی‌های شدیدی یافته و چین‌هایی با راستای شمالی - جنوبی در آن پدید آمده و در مواردی نیز بر اثر عملکرد گسل‌ها چاله‌هایی در داخل آن‌ها شکل می‌گیرد که دریاچه شورابیل نمونه مشخص آن در محدوده مورد مطالعه است. بدین ترتیب به دنبال این جنبش‌ها اسکلت کنونی دشت اردبیل و مناطق پیرامونی آن شکل می‌گیرد.



شکل ۳-۳ گسل‌ها و نقش آن‌ها در شکل‌گیری چاله زمین‌ساختی اردبیل

بر پایه اطلاعات نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ اردبیل جنبش‌های کوهزایی آپی جوان (آتیکان) در پلیوسن و میوسن پیشین با فازهای کششی در سطح زمین همراه بوده است. برایند این جنبش‌ها، فعالیت‌های آتش‌فشانی به صورت محلی و موضعی و خروج گدازه‌های آتش‌فشانی از نوع داسیت، در این محدوده می‌باشد که کانون و هسته آن بین روستاهای ملا محمدحسن و رویندوزق با امتداد شمال باختری - جنوبی به درازای بیشتر از ۵ کیلومتر واقع گردیده است. این گدازه‌ها پس از قطع سنگ‌های آتش‌فشانی ائوسن به سمت دره رود قره‌سو جریان یافته و در نهایت در شمال روستای رویندوزق مسیر رود قره‌سو را سد نموده و پشت این سد دریاچه‌ای دیرینه اردبیل پدید می‌آید. بدین ترتیب خاستگاه این دریاچه از نوع سدی می‌باشد. با توجه به تعلق این گدازه‌ها به پلیوسن قطعاً شکل‌گیری کهن دریاچه اردبیل نیز به این دوره مربوط می‌گردد. طبیعتاً در طول حاکمیت دوره‌های سرد که همواره با افت دما و تبخیر و تعرق و افزایش رطوبت نسبی و بارندگی نسبت به میانگین کنونی بوده، این دریاچه از وسعت و ابعاد بیشتری برخوردار بوده است. پراکنش نهشته‌های دریاچه‌ای در سطح دشت و نواحی پیرامونی آن گویای این واقعیت است. به طوری که حد نهائی گسترش آن‌ها از سمت شمال تا ضلع شمالی روستای تک‌دیزی، از جنوب تا نزدیکی‌های هیر، از خاور تا پای کوه‌های باغ‌وداغ و از باختر نیز تا ضلع خاوری روستای آلاجیق امتداد یافته است. ستبرای نهشته‌های متعلق به این دریاچه در ضلع باختری دشت و انتهای دامنه‌های خاوری سبلان بیشتر از محدوده خاوری دشت است. به طوری که در چاه اکتشافی شماره ۴ واقع در ۱/۵ کیلومتری روستای ایمچه (دامنه -

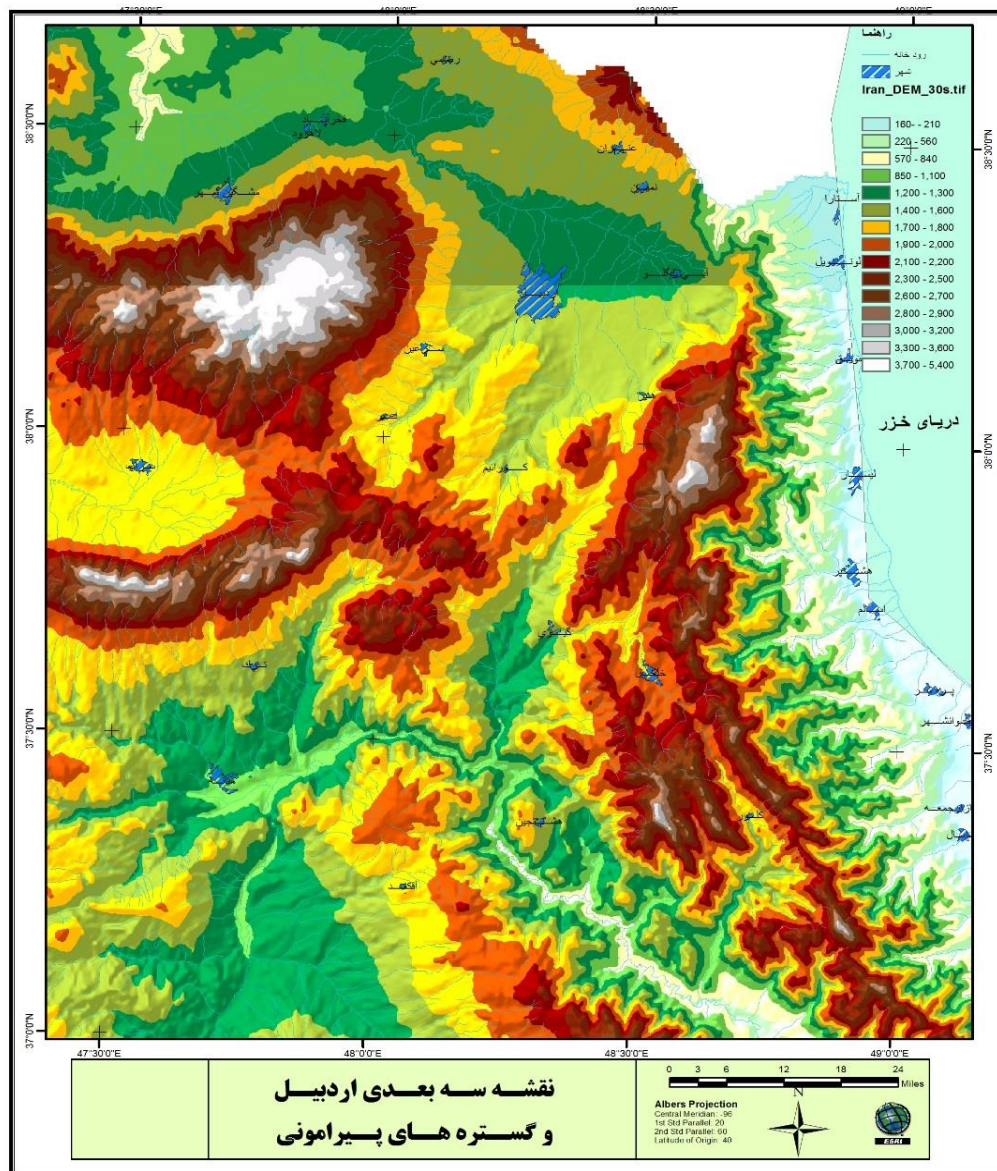
های خاوری سبلان) ستبرای این نهشته‌ها متشکل از لایه‌های مختلف شن، ماسه و رس به ۲۱۳ متر و در ضلع خاوری دشت یعنی پای کوه های باغروداغ در روستای گلی به ۳۹ متر می‌رسد.^۱

۳-۳ تکامل ژئومورفولوژیکی دشت اردبیل در کوتاه‌تر

با توجه به سرگذشت زمین‌ساختی، دشت اردبیل به اعتبار پشت سرگذاردن جنبش‌های کوهزائی آلیپی در اواخر دوران سوم و کوتاه‌تر پیشین به صورت یک چاله زمین‌ساختی بسته‌ای شکل گرفته است. به لحاظ این ویژگی و همچنین تسلط ارتفاعات حاشیه‌ای بر آن، تمامی جریان‌های سطحی دامنه‌های باختری باغروداغ، خاوری و جنوبی سبلان، عنبران و بزغوش به داخل آن زهکشی می‌شده و از طریق رود قره‌سو به بیرون از دشت تخلیه می‌گردید. رود قره‌سو در این محدوده یعنی منتهی‌الیه شمال باختری دشت پس از ضمیمه کردن تمامی جریان‌های سطحی دشت، سنگ‌های آندزیتی و تراکی بازالت ائوسن و همچنین داسیتی پلیوسن را با دیوارهای تند و شیب‌دار و بستر صاف و هموار به شکل یک کانیون بریده و ضمن جریان در بستر این کانیون، دشت اردبیل را به دامنه‌های شمال خاوری سبلان و چاله‌های پرشده لاهرود و مشکین شهر وصل کرده است.

تقریباً در آغاز پلیستوسن پسین (حدود ۱۱۰ هزار سال پیش) و همزمان با حاکمیت یخچال‌ها (دوره یخچالی وورم) در محدوده‌های ارتفاعی بیش از ۲۰۰۰ متری سبلان و به دنبال آخرین فعالیت انفجاری توده آتش‌فشانی سبلان و خروج پرتابه‌های آتش‌فشانی به همراه حرکت ابرهای سوزان در ۱۱۰ هزار سال پیش، ضمن ذوب سریع یخ‌ها به صورت روانه‌های گلی آتش‌فشانی یا لاهار سرتاسر دره‌ها و کوهپایه‌های شمالی، خاوری و جنوبی سبلان (از مشکین شهر در شمال تا نیر در جنوب) را پر می‌کنند. در بسیاری از ترانشه‌ها و همچنین بریدگی‌های طبیعی دیواره‌های رودخانه‌ها و دره‌ها (جاده اردبیل به ارجستان، سردابه، ثمرین، آبش احمد و...) این روانه‌ها با قلوه‌سنگ و قطعه‌سنگ‌های درشت و فراوان گدازه‌های سبلان در یک زمینه آرژیلی که با لایه‌های خاکستری در تناوب هستند دیده می‌شوند، که بر روی نهشته‌های دریاچه‌ای قرار گرفته‌اند و پای کوه‌های سبلان را تشکیل می‌دهند. طبیعتاً نفوذ این روانه‌های گلی به داخل دریاچه باعث بالا آمدن سطح آب دریاچه موجود در دشت اردبیل شده و در نتیجه سبب سرریزی آب دریاچه از منتهی‌الیه شمال باختری محدوده مورد مطالعه به سمت قره‌سو گردیده است که در نهایت خشک شدگی دریاچه مزبور را به دنبال داشته است.

۱- وزارت نیرو، سازمان آب و برق آذربایجان- امور بررسی منابع آب و خاک اداره آب‌های زیرزمینی، ۱۳۵۰.



شکل ۳-۴ مدل رقومی ارتفاعی دشت اردبیل و گستره های پیرامونی آن

از طرف دیگر سطح اساس تمامی رودخانه های استان و محدوده مورد مطالعه، دریای خزر می باشد که ارتباط آن با دریای سیاه و مدیترانه حدود ۱۱ هزار سال پیش قطع شده است (شهرابی، ۱۳۷۲، ۸). بر این اساس تا آغاز هولوسن که این ارتباط برقرار بود، بخشی هایی از منتهی الیه ضلع شمالی استان اردبیل یعنی جلگه مغان زیر پوشش این دریا بود، و قاعدتا رودخانه ارس در محل خروج از کوهستان قره داغ-قفقاز کوچک بعد از خداآفرین و نرسیده به اصلاندوز به این دریا وارد می شد. قطع تدریجی ارتباط خزر با دریای سیاه از ۱۱ هزار سال پیش به سبب فرونشست چاله خزر جنوبی و متعاقب آن فرورفتگی کورا که میزان آن بیش از ۴ میلی متر در سال در نظر گرفته شده است (پالوسکا و دیکنز، ۱۹۹۲، ۷۲) شروع و تا عصر حاضر تداوم یافته است. به همراه این فرونشست و بیرون آمدن جلگه مغان به عنوان منتهی الیه جنوبی فرورفتگی کورا از زیر آب، رودخانه ارس نیز برای رسیدن به سطح اساس جدید به

تدریج بستر خود را حفر کرده و به عمق برده است که آثار بستر اولیه آن به صورت ۳ پادگانه در جلگه مغان وجود دارد که جدیدترین آن متعلق به هولوسن و قدیمی ترین آن نیز آپشرون میانی و بالایی است. با پیشرفت فرسایش پسروده به سمت قسمت های فرادست زیرحوضه های ارس از جمله رود قره سو و سرشاخه های آن در دامنه های سبلان و دشت اردبیل به تدریج بستر آن نیز حفر شده و پایین افتاده و پادگانه هایی آبرفتی (۲ الی ۳ پادگانه) در اطراف تمامی رودخانه های منطقه تشکیل شده است و در سطح دامنه های متشکل از جریان های گلی آتش فشانی و مواد آبرفتی رودخانه ای، ناهمواری های پلکانی شکل، پدید می آید. همزمان با این تحولات، پسروری یخچال و جایگزینی شرایط آب و هوایی بین یخچالی به دنبال حذف یخچال های وورم پسین (IV) از دامنه های سبلان و افزایش دبی رودخانه ها، فرایند حفر بستر و شکل گیری پادگانه های آبرفتی را همراهی کرده است. قدیمی ترین این پادگانه ها در حوضه های رودخانه درویش (جنوب و باختر سرعین)، بیله درق، رشیدعلی چای و بالیقلوچای در محدوده ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ متری گسترش دارند. در حاشیه تمامی دره های یاد شده پادگانه های جدید به چشم می خورد که به دلیل حاصل خیزی و دسترسی راحت به آب، کاربری کشاورزی دارند. در فصل مشترک کوهستان با دشت (از محدوده ارتفاعی ۱۷۰۰ تا ۱۵۰۰ متری) نیز مخروط افکنه های متعددی تشکیل شده که حاکی از فعالیت های جریان های سیلابی و رودخانه ای در هولوسن می باشد.

۳-۴ سیمای کنونی دشت اردبیل:

در حال حاضر این دشت نسبتاً هموار با شیب مقعر مرکزی که مقدار آن به کمتر از ۵ درصد می رسد با راستای عمومی شمال و شمال باختری از توپوگرافی نسبتاً ساده ای برخوردار می باشد. جریان های سطحی از قبیل بالیقلوچای، هیرچای و نمین چای که تماماً از زیرحوضه های رودخانه قره سو می باشند، با سرعت کم در سطح دشت جریان داشته و در نهایت به قره سو می ریزند. در فصل مشترک دامنه های پای کوهی با دشت به ویژه دامنه های سبلان که از نهشته های نامقاوم دریاچه ای و روانه های گلی آتش فشانی تشکیل یافته اند به دلیل اثرگذاری فرسایش رودخانه ای بر بستر خود، تورفتگی هایی به داخل نواحی کوهپایه ای کشیده شده است. همواری و هماهنگی نسبی دشت را چندین عارضه کم ارتفاع توپوگرافیک بر هم می زند. از جمله در قسمت جنوبی دشت اردبیل تپه شاهدا و برآمدگی های منفرد متعددی دیده می شود که در باختر روستای بنفشه درق تپه-هایی با ارتفاع ۱۵۱۷ متر و ۱۵۰۶ متر و در جنوب دریاچه شورابیل به ارتفاع ۱۳۸۴ متر گسترده شده اند. در سرتاسر دامنه های باختری منتهی به دشت اردبیل که از روانه های گلی آتش فشانی و نهشته های دریاچه ای و مخروط افکنه ای تشکیل شده اند (شکل ۳- و ۳-)، تحت تاثیر فرسایش آب های روان، دره های کم عمقی به موازات هم شکل گرفته اند و در بستر آن ها رودخانه هایی از جمله رشیدعلی چای، کمال آباد، یدی بلوک چای، بیله درق، درویش چای و ... جریان دارند. قاعده مخروط افکنه ها به دشت اردبیل ختم می گردد. بهترین نمونه آن مخروط افکنه بالیقلوچای است که در راس آن شهر اردبیل و قاعده آن نیز زمین های کشاورزی درجه یک قرار دارد.



شکل ۳-۵ نهشته‌های دریاچه‌ای واقع در ضلع باختری دشت اردبیل در روستای نوران

سطح این دشت از عناصر و مواد نرم و ریزبافتی متشکل از سیلت و رس حاصل از تخریب رسوب‌های پالئوژن، نئوژن و نهشته‌های دریاچه‌ای پوشیده شده است که توسط سیستم‌های آبراهه‌ای دامنه‌های باختری ارتفاعات باغروداغ و خاوری سبلان به سمت دشت جابجا شده‌اند. این روند هنوز هم توسط رودخانه‌های قره‌سو و بالیقلوچای ادامه دارد و نهشته‌های ماسه‌ای را در بستر این رودخانه‌ها و آبراهه‌های بزرگ در حال جابه‌جایی و ترسیب هستند.



شکل ۳-۶ نهشته‌های دریاچه‌ای واقع در زیر آبرفت‌های رودخانه‌ای در ضلع جنوب خاوری روستای رویندوزق

در ضلع خاوری دشت اربیل و در شمال روستای دولت آباد و جنوب انزاب تپه‌های منفردی دیده می‌شود که ارتفاع آن‌ها از دشت نزدیک به ۲ تا ۳ متر است و بیشتر شامل رس و سیلت می‌باشد. در لابلای این رسوب‌ها کوزه‌های سفالی و تکه‌های استخوان انسان به مقدار زیادی یافت شده است. این تپه‌ها به نظر می‌رسد قدیمی‌تر از رسوب‌های دشت

اردبیل می‌باشند و به کمک نقش‌های روی کوزه‌ها سن آن‌ها حدود چهار هزار سال تعیین شده است. بدین ترتیب سن رسوب‌های دشت اردبیل باید جوان‌تر از چهار هزار سال باشد (باباخانی و رحیم‌زاده ۱۳۶۷).

۳-۵-۳ گسل‌های اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن

پس از پی‌ریزی اسکلت کنونی ناهمواری‌ها و چین‌خوردگی ملایم آن‌ها که جهت آن از اطراف به سمت قسمت مرکزی محدوده مورد مطالعه بود، 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 با راستای شمال خاوری - جنوب باختری احاطه شده است. مهم‌ترین گسل‌های اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن را می‌توان به شرح زیر مطرح نمود:

۳-۵-۳-۱ گسل آستارا

در البرز باختری یعنی ارتفاعات تالش که بخش عمده استان گیلان را در برمی‌گیرد اختلاف ارتفاع ناگهانی و آشکاری بین کوهستان و جلگه ساحلی دیده می‌شود. مرز جداکننده این دو واحد توپوگرافی گسله آستارا است که از دره سفیدرود تا قلمرو سرزمینی جمهوری آذربایجان به درازای ۴۰۰ کیلومتر کشیده شده است. زمین‌لرزه تاریخ ۱۳۷۰/۱۰/۷ منطقه آستارا را که باعث وارد آمدن خسارات زیادی به روستاهای منطقه شد، به بازپسین حرکات بخش شمالی این گسل مرتبط می‌دانند.

۳-۵-۳-۲ گسل نئور

به موازات گسل آستارا در مرز بلافصل دامنه‌های خاوری ارتفاعات تالش و جلگه ساحلی در بطن ارتفاعات تالش، گسل دیگری به نام گسل نئور امتداد یافته است. عملکرد این دو گسل باعث گردیده تا ارتفاعات تالش در محدوده‌هایی که بر چاله اردبیل مسلط می‌باشند، به صورت یک فرازمین (هورست) و چاله زمین‌ساختی اردبیل در باختر و فرونشست کاسپین جنوبی نیز در خاور به صورت یک فروزمین (گرابن) شکل بگیرند. به طور کلیدر مرز خاوری فلات آذربایجان و کوه‌های تالش در امتداد گسل نئور تا ساحل خزر یک سامانه راندگی با راستای شمالی- جنوبی این محدوده را به طور چیره و به صورت گسل‌های رانده، انباشتگی ایجاد کرده است و این گونه کوه‌های تالش را با روند تقریبی شمالی - جنوبی بوجود آورده است. این انباشتگی سبب شده است که گسل‌های رانده و ریخت‌شناسی ناشی از آن‌ها به روشنی در امتداد کوه‌های تالش قابل مشاهده شوند. بربریان (۱۹۷۷) نیز این راندگی‌ها را با نام گسل جنوب تالش معرفی کرده است (شریفی و زمانی، ۱۳۸۹).

۳-۵-۳-۳ گسل احتمالی بالیقلوچای

رودخانه بالیقلوچای از شهر نیر تا ورودی آن به دشت اردبیل به درازای تقریبی ۳۰ کیلومتر به صورت خطی با راستای کلی باختری - خاوری امتداد یافته است. این رودخانه در قسمت میانی مسیر خود ساختار تاقدیسی شمال - جنوبی متشکل از مارن، ماسه‌سنگ و آهک‌های نتوزن را به صورت عرضی بریده و ضمن ایجاد یک کلوز بستر خود را به عمق برده است. از طرف دیگر وجود لایه‌های عمودی با زاویه ۹۰ درجه در کرانه شمالی رودخانه و

تفاوت در نوع و آرایش چینه‌های دو کرانه رودخانه نشانگر جابجایی آن‌ها بر اثر فرایند گسل خوردگی است. علاوه بر این در ترانشه‌های رخنمون یافته در سمت راست جاده اردبیل - سرعین نهشته‌های رودخانه‌ای به سبب برای بیشینه یک متری بر روی نهشته‌های تکتونیزه دریاچه‌ای و زیر نهشته‌های افقی کوتاه‌تر نقش گسلش را در آرایش این لایه‌ها بیشتر مشخص می‌سازد. این گسل در این پژوهش تحت عنوان گسل بالیقلوچای نام‌گذاری گردیده است. اختلاف ارتفاع ناگهانی فاز سه شهرک کارشناسان با شهرک‌های ساحلی و اداری واقع بر روی تراس‌های جوان رودخانه بالیقلوچای (با توجه به سن‌یابی تراس‌های جوان رودخانه‌های ایران در مناطق مختلف به ویژه رودخانه کر، احتمالاً متعلق به هولوسن یا ۱۲ هزار سال پیش) می‌تواند با امتداد این گسل تا دشت اردبیل قابل توجیه باشد.

۳-۵-۴ گسل‌های دامنه‌های سبلان

در دامنه‌های توده آتشفشانی سبلان دو گروه گسل به صورت خطی و کمانی وجود دارند. روند غالب گسل‌های خطی با فراوانی ۵۰ درصد در امتداد شمال باختری - جنوب خاوری است. ساختارهای کمانی نیز به صورت دو ساختمان یا گسل کمانی روی دامنه باختری و جنوب باختری سبلان مشخص است که کمان کوچک‌تر کم و بیش منطبق با نخستین کالدرای آتشفشان بوده و کمان بزرگ‌تر در ۱۴ کیلومتری جنوب باختری قله سبلان قرار دارد. لذا این محدوده و مناطق پیرامونی آن در جایی قرار گرفته است که در آن روند ساختارها از خاوری - باختری تقریباً به طرف شمالی یعنی در جهت کاملاً متفاوت تغییر می‌یابد، مخصوصاً این که 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 بزرگی $M_s=6/1$ که باعث ویرانی کامل شهر سراب گردیده و هم چنین زمین لرزه هیر- اردبیل در ۳۰ دسامبر ۱۸۶۳ اشاره نمود. جدیدترین و در عین حال مخرب‌ترین آن نیز زمین‌لرزه روستای گلستان در تاریخ ۱۳۷۵/۱۲/۱۰ با بزرگی $M_s=6/1$ می‌باشد که ۹۵۴ نفر کشته، ۲۵۰۰ نفر نیز مجروح و ویرانی‌های فراوانی نیز در ۱۳ روستای تابعه استان بر جای گذاشت (تیو و همکاران، ۱۳۷۶، ۲۵).



شکل ۳-۷ گسل خوردگی لایه‌ها در سنگ‌های رسوبی چین خورده حوضه نتوزن در جاده اردبیل-سرعین

این گسل ها علاوه بر خلق محدودیت های یادشده، نقش بسیار مهمی را در ایجاد تراوایی در سطح سنگ های آتش فشانی دامنه های سبلان ایفا نموده و شرایط لازم را برای دگرسانی شیمیایی و شکل گیری کانی های ثانوی (سبحانی، ۱۳۷۸) از جمله کائولینیت (فرایند کائولینیزاسیون یا رسی شدن) در شمال باختری روستای سردابه شده که به عنوان ماده اولیه صنعتی در حال بهره برداری است. در گوشه جنوب باختری دشت و در منتهی الیه حاشیه شمال باختری رسوب های چین خورده نئوژن عملکرد نیروهای درونی در قالب گسل، شکل گیری دریاچه شورابیل را به دنبال داشته که از لحاظ پتاس و همچنین نمک های معدنی در خور بررسی بوده و از نظر تفرجگاهی و گردشگری فوق العاده توانمند می باشد.

۳-۵-۵ خطواره مغناطیسی میانه - اردبیل

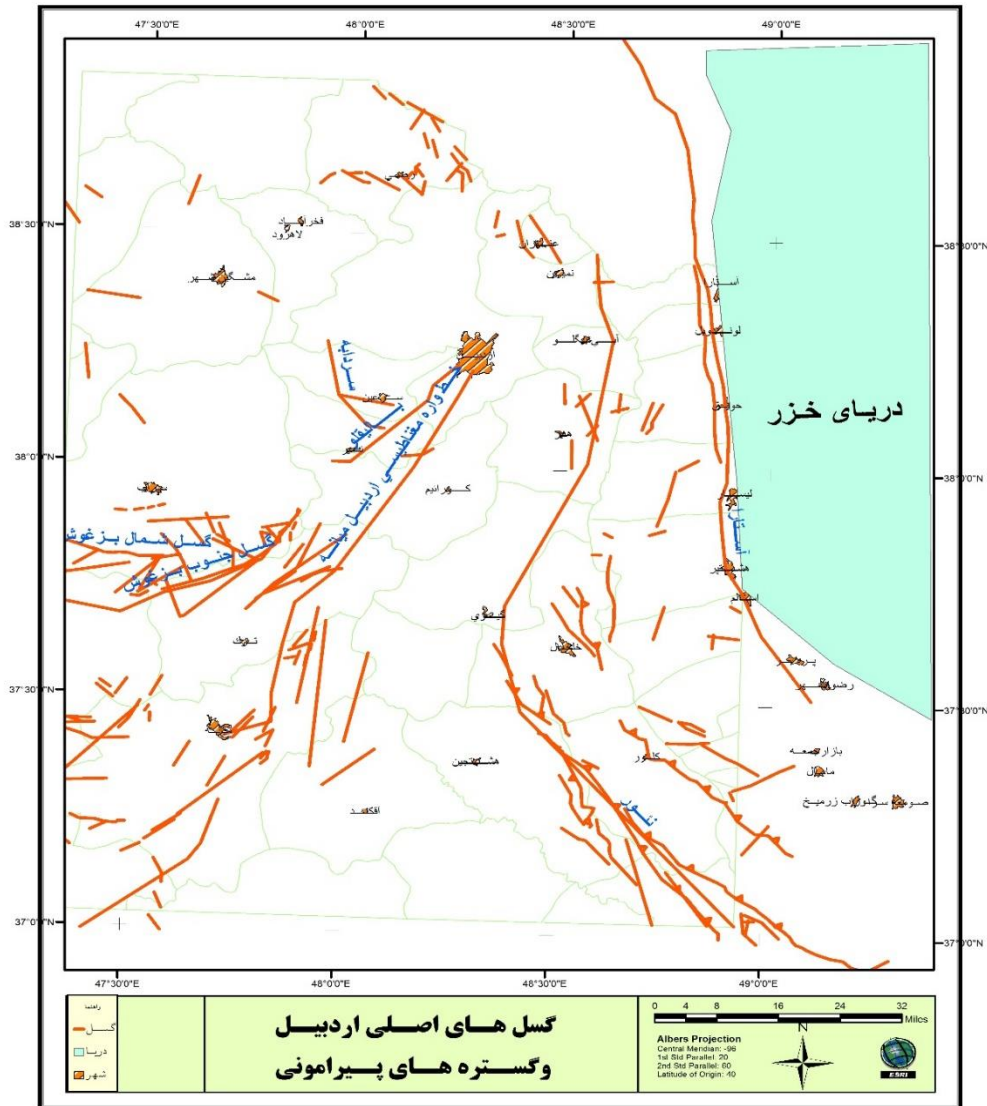
این گسل که از خاور میانه می گذرد و تا اردبیل ادامه دارد، به نام گسل میانه- اردبیل معرفی شده است. بر اساس نقشه خطواره های مغناطیسی ایران آثار ریخت زمین ساختی و جابه جایی این خطواره در تصاویر دورسنجی قابل ردیابی است.

۳-۵-۶ راندگی جنوب بزغوش

در بخش شمال شهر میانه گسل جنوب بزکش که بربریان (۱۹۹۷) نیز به آن اشاره کرده، هم راستا با روند کلی ارتفاعات بزغوش امتداد یافته و به سمت دشت اردبیل کشیده شده است. این گسل توسط زمانی و همکاران (۱۳۹۶) به عنوان راندگی پیش رو در این منطقه معرفی شده است. بررسی های انجام شده در محدوده روستای آوین در شمال شهر میانه نشانگر رانده شدن سازندهای کهن دوران اول بر روی سازندهای جوان تر مانند کنگلومرای فجن در این ناحیه است. بررسی های میدانی نشان می دهد سوی حرکت این سامانه رانده رو به شمال است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۶، ۲۵).

۳-۵-۷ راندگی شمال بزغوش

در جنوب شهر سراب و در محدوده روستای دامباران راندگی سنگ های آهکی سازند زیارت (اوسن) روی سنگ های رسوبی سازند سرخ بالایی (میوسن) صورت گرفته است. شیب این راندگی ها به نسبت کم (۱۰ تا ۳۰ درجه) و شدت انباشتگی به حدی است که در بخش های مختلف منطقه سنگ های آهکی سازند زیارت نیز روی هم انباشته شده اند. بررسی های میدانی نشان می دهد که سوی حرکت این راندگی ها به سمت جنوب است. در نقشه های تهیه شده توسط بربریان (۱۹۹۷) به چنین راندگی در شمال بزغوش اشاره شده است.



شکل ۸-۳ گسل‌های اصلی لرزه‌زا و ساختارهای خطی دشت اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن. گسل خوردگی امتدادلغز راست‌گرد و چپ‌گرد در طول روندهای گسلی شمال باختری- جنوب خاوری در شمال باختری ایران و بطن ارتفاع‌های تالش در باختر دریای خزر اتفاق افتاده است. کمر بند چین‌ها و روراندها، و گسل خوردگی نرمال که با آتشفشان‌های فعال (سهند و سبلان) ارتباط دارند، نشان‌دهنده نیروهای فشاری شمالی- جنوبی و تنشی خاوری- باختری هستند.
(منبع: نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردبیل، کیوی، سراب، ماسوله و آستارا، تصویر ماهواره‌ای منطقه، نقشه خطواره‌های مغناطیسی ایران و مشاهدات و مطالعات میدانی)

۶-۳ زمین لرزه‌های تاریخی اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن

۶-۳-۱ زمین لرزه ۸۹۳ میلادی اردبیل

در تاریخ ۴ فروردین ۲۷۲ خورشیدی (۱ محرم ۲۸۰ هجری قمری، ۲۳ مارس ۸۹۳ میلادی) زمین لرزه ویرانگری در شهر اردبیل، ایران رخ داد. این زمین لرزه که شدت آن معلوم نیست با ۱۵۰،۰۰۰ نفر کشته در رتبه نهم پرتلاطم‌ترین زمین لرزه‌ها در طول تاریخ بشر قرار گرفته است. این رتبه‌بندی توسط آژانس زمین‌شناسی ایالات متحده صورت گرفته است. در طی این

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

زمین لرزه شهر اردبیل که یکی از بزرگترین شهرهای شمال باختری ایران در آن زمان بود (و در حال حاضر نیز سومین شهر بزرگ شمال باختری ایران محسوب می گردد) به طور کل با خاک یکسان شد و از بین رفت، این زمین لرزه به لحاظ تعداد تلفات و میزان خرابی ها به عنوان یکی از تراژدی های کل تاریخ بشریت محسوب می شود^۱.

۲-۶۳ زمین لرزه ۱۵۹۳ میلادی سراب (۱۰۰۱ هجری قمری)

در تابستان این سال سراب کاملا ویران شد. خسارت ها تا منطقه میانه گسترش یافت تا جایی که دو روستا بر اثر زمین لغزش مدفون شدند.

۳-۶۳ زمین لرزه ۱۸۴۴ میلادی میانه - گرمرو

در این زلزله بخش قابل ملاحظه ای از نواحی سراب و گرمرو تخریب شد. میانه و روستاهای پیرامونی آن نیز ویران شدند. این زمین لرزه با آسیب هایی در خاور فلات آذربایجان همراه بود.

۴-۶۳ زمین لرزه ۱۸۶۳ میلادی هیر - اردبیل

در این زمین لرزه شهرستان اردبیل و نیمی از بخش هیر امروزی و دلیلر کاملا تخریب شد. ۱۰۸ نفر در هیر و ۵۰۰ نفر در نیارق کشته شدند. در کل حدود ۱۰۰۰ نفر از مردم جان باختند. در اردبیل هیچ خسارت جدی رخ نداد؛ ولی، همه خانه ها تقریباً ترک برداشتند. در لنکران در ۸۰ کیلومتری رو مرکز زمین لرزه، چراغ های آویزان به مدت چند ثانیه تا ۶۰ ثانیه نوسان داشت. این زمین لرزه با زمین لغزش های فراوان و فروریزش های زمین همراه بود.

۵-۶۳ زمین لرزه ۱۸۷۹ میلادی بزقوش - گرمرو

این زمین لرزه در بخش جنوب باختری اردبیل و همچنین ناحیه گرمرو، که در سال ۱۸۴۴ یک زمین لرزه دیگر را تحمل کرده بود، رخ داد. بین سقزچی و موناک در جنوب خاوری شیب های کوه بزقوش و در امتداد گرمرو کلیه روستاها ویران شد و در بیشتر منطقه هیچ کس زنده نماند. سنگ لغزش در ناحیه تارک، دیزج و یانگیجه بر وسعت خرابی ها افزود. این زمین لرزه با ۲۰۰۰ نفر کشته همراه بود و ۴۰۰۰ راس دام تلف شدند. پس لرزه های این زمین لرزه تا دو هفته ادامه داشت.

1. Catalog of Damaging Earthquakes in the World (Through 2008). Archived from the original on 21 July 2010. Retrieved 27 August 2010.

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

جدول ۳-۱: فهرست زمین لرزه های تاریخی و سده بیستم با بزرگای بیش از ۵ درجه در پهنه استان اردبیل (پیش از رخداد زمین لرزه ۱۳۷۵/۱۲/۱۰)

تاریخ	زمان	مختصات جغرافیایی		ژرفای کانونی		بزرگا	گسل	مرجع	محل وقوع	مسافت از اردبیل (کیلومتر)
		عرض شمالی	طول شرقی	M _s	m _b					
۱۵۹۳		۳۷°/۸۰'	۴۷°/۵۰'			۶/۱		Amb	سراب	۸۷/۳۷
۱۷۲۱/۰۴/۲۶	۰۷	۳۷°/۹۰'	۴۶°/۷۰'			۷/۷	*	Amb	تبریز	۱۴۹/۰۵
۱۸۴۴/۰۵/۱۳	۱۹	۳۷°/۴۰'	۴۸°/۰۰'			۶/۹		Amb	میانه	۹۷/۳۲
۱۸۵۴/۱۰/۰۱	۱۵	۳۸°/۰۰'	۵۰°/۰۰'			۵/۹		Am?	خزر	۱۵۵/۴۵
۱۸۶۳/۱۲/۳۰	۲۲	۳۸°/۲۰'	۴۸°/۶۰'			۶/۱		Amb	هیر	۲۷/۵۵
۱۸۷۹/۰۳/۲۲	۰۴	۳۷°/۸۰'	۴۶°/۹۰'			۶/۷	*	Amb	بزنوش	۶۱/۲۰
۱۸۸۳/۰۵/۰۳	۱۲	۳۷°/۹۰'	۴۷°/۲۰'			۶/۲		Amb		۱۰۶/۲۲
۱۸۹۶/۰۱/۰۴	۱۶	۳۷°/۸۰'	۴۸°/۴۰'			۶/۷			خلخال	۵۰/۳۱
۱۹۰۳/۰۶/۲۴	۱۶:۵۶	۳۷°/۴۸'	۴۸°/۴۰'			۶/۷		Amb		۱۰۳/۸۰
۱۹۲۴/۰۲/۲۹	۰۷:۰۱	۳۹°/۰۰'	۴۸°/۳۲'			۵/۹	۶/۸	Amb		۴۱/۵۰
۱۹۷۸/۱۱/۰۴	۱۵:۲۲:۲۰	۳۷°/۶۷'	۴۸°/۹۰'	۳۴		۶/۰	۶/۲	Amb		۸۳/۳۰
۱۹۸۰/۰۵/۰۴	۱۸:۳۵:۲۰	۳۸°/۰۵'	۴۸°/۹۸'	۴۶		۶/۲	۵/۴			۶۵/۳۴
۱۹۸۱/۰۸/۰۴	۱۸:۳۵:۴۰	۳۸°/۰۷'	۴۹°/۳۴'	۲۷		۵/۶	۵/۵	NEIC		۹۵/۶۲

۳-۷ زمین لرزه های اخیر اردبیل و گستره های پیرامونی آن

۳-۷-۱ زمین لرزه اسفند ۱۳۷۵ گلستان

این زمین لرزه در تاریخ ۲۸ فوریه ۱۹۹۷ میلادی، برابر با ۱۰ اسفند ۱۳۷۵، ساعت ۱۲:۵۷:۱۸ به زمان یوتی سی و ۱۶:۲۷:۱۸ به زمان محلی در شهر نیر استان اردبیل رخ داد. ژرفای این زمین لرزه ۱۰ کیلومتر بود، و بزرگی آن ۶٫۱ در مقیاس MW اعلام شده است. زمین لرزه به وقت محلی در روز جمعه، ساعت ۱۶:۲۷:۱۸ روی داده و منطقه زمانی آن یوتی سی ۳+ بوده است.

این زمین لرزه باعث تخریب کامل منازل و تأسیسات زیربنایی تعداد ۱۳۶ روستای شهرستان های سرعین، نیر و همچنین بخش هیر گردیده و حدود ۱۴۰ روستای شهرستان های اردبیل، گرمی و مشگین شهر نیز دچار آسیب شدند. در حدود ۱۰ هزار راس احشام نیز در این حادثه کشته شده اند. شدت زمین لرزه به حدی بود که در بیشتر شهرهای استان های اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی، گیلان و زنجان احساس شد و در شهر اردبیل باعث وحشت مردم گردید.

شمار کشتگان زلزله حدود ۱۱۰۰ نفر بوده است. تعداد زخمی ها ۲۶۰۰ نفر برآورده شده است. بی خانمان شدگان نیز ۳۶۰۰۰ نفر اعلام شده است. خانه های خشتی و گلی اطراف اردبیل تاب تحمل زمین لرزه ۶٫۱ ریشتری را نداشتند و به شعاع ۳۵ کیلومتر تمام روستاهای اطراف مرکز زمین لرزه کاملاً تخریب گردیدند.^۱ با توجه به موقعیت رومرکز این زمین لرزه (مختصات ۳۸°۰۷' شمالی ۴۸°۰۵' شرقی و ژرفای ۱۰ کیلومتر) گسل امتدادلغز سردابه را می توان به عنوان عامل اصلی آن معرفی نمود.

¹ . Allen TI, Marano KD, Earle PS, Wald DJ (2009). PAGER-CAT Earthquake Catalog "PAGER-CAT: A composite earthquake catalog for calibrating global fatality models" Check |url= value (help). Seism. Res. Lett. 80 (1): 57-62.

۳-۲-۲ زمین لرزه ۲۷ بهمن ۱۳۹۸ سرعین

این زمین لرزه در ساعت ۰۱:۱۵:۴۱ بامداد یکشنبه ۱۳۹۸/۱۱/۲۷ و در عمق ۶ کیلومتری زمین، شهر سرعین در ۱۰ کیلومتری شهر اردبیل، مرکز استان اردبیل، به وقوع پیوست. محل دقیق این زمین لرزه، ۷ کیلومتری سرعین، ۱۱ کیلومتری ایردموسی و ۱۲ کیلومتری نیر در استان اردبیل بوده است. این زمین لرزه در شهرهای آستارا، تالش، رضوان شهر، ماسال و برخی مناطق مجاور گیلان با استان اردبیل نیز احساس شد.

این زمین لرزه در ۲۷ بهمن ماه ساعت ۱:۱۵ دقیقه نیمه شب در فاصله ۷ کیلومتری جنوب شرق سرعین منطبق بر جاده نیر - اردبیل در عمق حدود ۶ کیلومتری روی داد. رومرکز این زمین لرزه از شهر نیر ۱۳ کیلومتر و در شمال خاوری آن، از شهر اسلام آباد ۱۶ کیلومتر، از شهر کورائیم ۱۹ کیلومتر فاصله داشته و در فاصله ۲۳ کیلومتری جنوب باختری اردبیل قرار دارد. بر اساس برآوردهای تحلیلی خسارتی برای این زمین لرزه در این منطقه ارزیابی نمی شود. بر اساس آمار ۱۳۹۵، کیفیت واحدهای روستائی اطراف زمین لرزه تا شعاع ۳۲ کیلومتری نیز نسبت به سایر نقاط مناسب تر بوده و ۸۰ درصد این واحدها دارای اسکلت هستند.

موقعیت رومرکز زمین لرزه ۴,۴ در امتداد شاخه انتهائی شمال خاوری گسل دامنه های شمالی بزقوش قرار می گیرد. این قطعه گسلی را در این ناحیه بنام گسل یامچی نامگذاری شده است. همچنین در فاصله ۲ درجه از رومرکز زمین لرزه ۴,۴ سرعین، زمین لرزه های تاریخی رخ داده است. در پیرامون این زمین لرزه واقع در شمال باختری ایران ۴۰ زمین لرزه تاریخی رخ داده است که بزرگی آن ها از ۵,۶ تا ۷,۷ (جنوب خاور تبریز) است.

در فاصله ۱۰۰ کیلومتری اطراف آن ۲۶ زلزله دستگاهی با بزرگی ۵ و بالاتر واقع شده اند. علاوه بر این در مدت ۱۳ سال اخیر (از سال ۲۰۰۶ تا زمان رخداد)، ۱۱۴۷ زمین لرزه با بزرگی ۲,۵ و بالاتر در فاصله یک درجه از اطراف رومرکز زمین لرزه ۴,۴ سرعین رخ داده است که ۴ زمین لرزه با بزرگی ۵ و بالاتر، ۴۱ زمین لرزه با بزرگی ۴ تا ۵ و ۱۱۰۱ زمین لرزه با بزرگی بین ۴ تا ۲,۵ بوده است

احتمالا ۱۸۶ آبادی تا فاصله ۳۲ کیلومتری شدت بین ۵ و ۴ این زمین لرزه را احساس کرده اند. از این تعداد سه آبادی چای سقرلو، رضاقلی قشلاق و ویندکلخوران شدت ۵ و مابقی شدت ۴ زمین لرزه را احساس می کنند. جمعیت این تعداد از آبادی های تا شعاع ۳۲ کیلومتری از رومرکز زلزله، ۶۸۲۹۸ نفر (آمار ۱۳۹۵) است. این تعداد از آبادی ها دارای ۱۷۰۰۵ واحد مسکونی بوده که ۱۳۶۸۶ واحد روستائی اسکلت دار و ۳۳۱۹ واحد روستائی فاقد اسکلت هستند. تعداد بالای واحدهای اسکلتی روستائی احتمالا نتیجه بازسازی زمین لرزه ۱۹۹۷ میلادی سرعین با بزرگی ۶,۱ است.

۳-۸ برآورد مقدماتی خطر زمین لرزه برای شهرهای استان اردبیل

در این قسمت گزارش خطر زمین لرزه به صورت مقدماتی که در پژوهشکده زلزله شناسی برای شهرهای استان اردبیل (جدول ۲) انجام شده T ارائه گردیده است.

جدول ۳-۲: سرچشمه های خطی لرزه زا و میزان خطر برآورده شده برای شهرهای مختلف استان اردبیل با استفاده از رابطه های آماری به دست آمده برای البرز و ایران مرکزی

بیشینه پارامترهای جنبش شدید زمین در محل شهر (رهیافت تعیینی)		سرچشمه خطی لرزه زا (مهمترین سرچشمه لرزه زا نسبت به شهر)						
بیشینه شتاب PGA (g)	فاصله از گسل	زمین لرزه متناسب	بزرگای گشتاوری (M _w)	طول گسیختگی (کیلومتر)	طول (کیلومتر)	گسل	شهر	ردیف
٪۱۶	۱۸		۶/۷	۲۹/۶	۸۰	خطواره جنوب اردبیل	اردبیل	۱
٪۱۹	۱۸		۶/۹	۳۷	۱۰۰	نور	خلخال	۲
٪۳	۶۳	۴۱۸۸۳،۵۹۳	۶/۴	۲۲/۲	۶۰	خطواره جنوب سراب	مشکین شهر	۳
٪۱۷	۲۰		۶/۹	۳۷	۱۰۰	گسل دشت مغان	گرمی	۴
٪۶۳	۵		۶/۹	۳۴/۸	۹۴	خطواره ارس	پارس آباد	۵

همانطور که در جدول ۲-۳ مشاهده می‌گردد مقدار بیشینه شتاب زمین (PGA^2) برای شهر اردبیل برابر $0.16g$ بدست آمده است که بیشتر در مدل آسیب‌پذیری LM2 مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۱-۸ تهیه کاتالوگ زمین لرزه

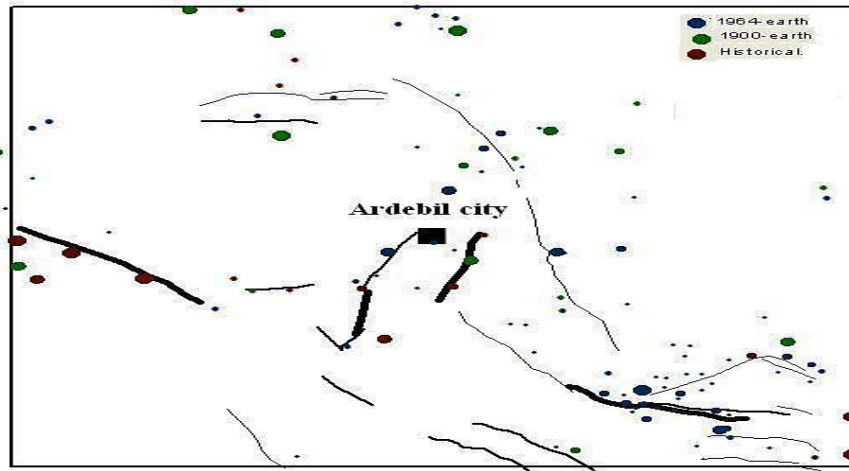
بر اساس پایگاه اطلاعات پژوهشکده زلزله‌شناسی و مرکز ژئو فیزیک دانشگاه تهران کاتالوگ زمین‌لرزه تقریباً کاملی برای گستره اردبیل تهیه گردید. این کاتالوگ را به نرم‌افزار GIS وارد گردیده و پراکنش فضایی زمین‌لرزه‌های شهر اردبیل و گستره‌های پیرامونی آن نمایش داده شده است. ناحیه مورد نظر به شعاع ۷۰ کیلومتری شهر اردبیل طوری انتخاب شده که همه گسل‌های ذکر شده در آن گنجانده شود و زمین‌لرزه‌های مهم را در بر گیرد.

۱. به نرخ افزایش سرعت در واحد زمان، شتاب گفته می‌شود و واحد آن به صورت واحد طول، تقسیم بر مجذور زمان می‌باشد. برای مثال، زمانی که سرعت یک متحرک از ۱۰ متر بر ثانیه (m/s) در طول ۱ ثانیه به ۱۲ متر بر ثانیه (m/s) می‌رسد، به عبارتی شتاب این متحرک ۲ متر بر مجذور ثانیه (m/s²) خواهد بود.

برای طراحی ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه، احتیاج به شتاب زمین‌لرزه است. آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان در برابر زمین‌لرزه، محتمل‌ترین شتابی که در آینده و در عمر مفید هر سازه ممکن است در اثر وقوع یک زمین‌لرزه ایجاد شود را در اختیار طراح قرار می‌دهند. بدین منظور آیین‌نامه ایران، کشور را به چهار منطقه مختلف با سطوح خطر لرزه‌ای متفاوت تقسیم کرده است. این مناطق عبارتند از: مناطق با خطر نسبی کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد. در جدول ۲-۱ شتاب طراحی برای هر یک از این مناطق نشان داده شده است که در واقع شتاب مبنای طرح شهرهای ایران است. شتاب طراحی که در آیین‌نامه با نام شتاب مبنای طرح معرفی می‌شود، در جدول ذیل به صورت نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل بیان شده که بیانگر این است که این شتاب، ضریبی از شتاب ثقل (g) می‌باشد.

متنطقه	توصیف	نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل
۱	بهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	۰/۳۵
۲	بهنه با خطر نسبی زیاد	۰/۳۰
۳	بهنه با خطر نسبی متوسط	۰/۲۵
۴	بهنه با خطر نسبی کم	۰/۲۰

شکل ۹-۳ پراکنش فضایی زمین لرزه های شهر اردبیل و گستره های پیرامونی آن



کاتالوگ زمین لرزه های تهیه شده سه دوره تاریخی را در بر می گیرد: نخست زمین لرزه های تاریخی تا سال 1900 میلادی که فقط زمین لرزه های با بزرگای ۸~۶ را شامل می شود. دوم زمین لرزه های بین سال های 1900~1964 میلادی که شامل زمین لرزه های با بزرگای ۵ به بالا می گردد و بالاخره زمین لرزه های از 20~1964 میلادی که همه زمین لرزه ها را در بر می گیرد.

جدول ۳-۳: زمین لرزه های تاریخی و نگاشت های دستگاهی شهر اردبیل و گستره های پیرامونی آن
کل زلزله های موجود در منطقه

Date	T(utc)	T(local)	lat	Lon	Depth	M	Mw
858			38.10	46.30		6.0	6.039
1042			38.10	46.30		7.6	7.54524
1485			36.70	50.50		7.2	7.11396
1593			37.80	47.50		6.1	6.11604
1608			36.40	50.50		7.6	7.54524
1641			37.90	46.10		6.8	6.71916
1678			37.20	50.00		6.5	6.44700
1717			38.10	46.30		5.9	5.96424
1721			37.90	46.70		7.7	7.65876
1780			38.20	46.00		7.7	7.65876
1808			36.40	50.30		5.9	5.96424
1844			37.40	48.00		6.9	6.81444
1851			40.00	47.30		6.2	6.19536
1861			39.40	47.50		6.0	6.03900
1862			39.30	47.80		6.1	6.11604
1863			38.20	48.60		6.1	6.11604
1868			39.60	47.60		6.0	6.03900
1879			37.80	47.90		6.7	6.62616
1880			36.50	47.50		5.6	5.75364
1883			37.90	47.20		6.2	6.19536
1896			37.80	48.40		6.7	6.62616
1903/06/24	16:56:00	20:26:00	39.00	49.00		Mb:5.5	5.70075

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

1905/01/09	06:17:00	09:47:00	38.00	46.00		Mb:5.5	5.70075
1910/12/04	14:02:00	17:32:00	38.80	48.80		Mb:5.1	5.27339
1913/04/16	06:00:00	09:30:00	38.75	48.50		Mb:5.2	5.37516
1917/06/02	00:28:12	03:58:12	38.00	48.50		Mb:5.5	5.70075
1919/01/08	10:12:00	13:42:00	40.00	47.00		Mb:5.4	5.58884
1924/02/19	06:59:45	10:29:45	39.00	47.50		Mb:5.7	5.93471
1928/03/24	10:53:16	14:23:16	37.80	47.30		Mb:5.0	5.175
1931/07/05	17:57:22	21:27:22	39.00	47.50		Mb:4.7	4.90011
1932/05/24	23:29:26	02:59:26	37.80	48.20		Mb:4.7	4.90011
1932/05/24	23:31:51	03:01:51	37.80	48.20		Mb:4.7	4.90011
1932/06/16	12:09:31	15:39:31	38.70	46.10		Mb:4.7	4.90011
1934/10/29	16:15:48	19:45:48	39.80	47.50		Mb:5.5	5.70075
1948/06/17	14:08:22	17:38:22	36.50	49.00		Mb:5.2	5.37516
1948/06/30	19:31:39	23:01:39	36.50	49.00		Mb:5.2	5.37516
1951/01/16	17:53:50	21:23:50	39.20	49.50		Mb:5.0	5.175
1951/03/12	15:45:36	19:15:36	39.30	48.50		Mb:4.7	4.90011
1952/07/18	00:43:51	04:13:51	37.50	50.10		Mb:4.7	4.90011
1956/04/12	22:34:46	02:04:46	37.30	50.20		Mb:5.5	5.70075
1959/05/31	13:01:44	16:31:44	37.70	48.99		Mb:5.5	5.70075
1959/07/31	10:28:02	13:58:02	38.83	49.38		Mb:5.2	5.37516
1959/08/13	00:33:08	04:03:08	39.80	48.53		Mb:5.7	5.93471
1961/12/17	14:33:24	18:03:24	38.50	50.50		Mb:5.0	5.175

Date	T(utc)	T(local)	lat	Lon	Depth	M	Mw
1964/11/09	08:05:47	11:35:47	39.90	48.52	50	Mb:5.0	5.175
1965/02/10	16:09:54	19:39:54	37.66	47.09	45	Mb:5.0	5.175
1968/06/09	00:56:32	04:26:32	39.09	46.10	31	Mb:5.0	5.175
1968/08/02	03:59:27	07:29:27	36.85	49.33	36	Mb:4.7	4.90011
1968/09/01	05:39:45	09:09:45	39.14	46.20	24	Mb:5.0	5.175
1970/04/16	01:26:52	04:56:52	38.70	48.60	78	Mb:4.9	5.07999
1968/06/09	00:56:32	04:26:32	39.09	46.10	31	Mb:5.0	5.175
1968/08/02	03:59:27	07:29:27	36.85	49.33	36	Mb:4.7	4.90011
1968/09/01	05:39:45	09:09:45	39.14	46.20	24	Mb:5.0	5.175
1970/04/16	01:26:52	04:56:52	38.70	48.60	78	Mb:4.9	5.07999
1970/07/11	22:41:15	02:11:15	37.60	49.00	65	Mb:5.1	5.27339
1972/01/18	21:12:01	00:42:01	37.50	48.70		Mb:4.9	5.07999
1976/02/03	16:40:40	20:10:40	39.93	48.41	58	Mb:5.2	5.37516
1979/11/08	05:21:59	08:51:59	38.73	48.83	33	Mb:4.7	4.90011
1980/01/13	05:51:35	09:21:35	37.12	50.33	33	Mb:5.0	5.175
1980/05/04	18:35:20	22:05:20	38.05	48.98	46	Ms:6.2	6.19536
1980/07/22	05:17:10	08:47:10	37.19	50.20	62	Mb:5.4	5.58884
1980/01/13	05:51:35	09:21:35	37.12	50.33	33	Mb:5.0	5.175
1980/05/04	18:35:20	22:05:20	38.05	48.98	46	Ms:6.2	6.19536
1980/07/22	05:17:10	08:47:10	37.19	50.20	62	Mb:5.4	5.58884
1980/01/13	05:51:35	09:21:35	37.12	50.33	33	Mb:5.0	5.175
1980/05/04	18:35:20	22:05:20	38.05	48.98	46	Ms:6.2	6.19536
1980/07/22	05:17:10	08:47:10	37.19	50.20	62	Mb:5.4	5.58884
1980/01/13	05:51:35	09:21:35	37.12	50.33	33	Mb:5.0	5.175
1980/05/04	18:35:20	22:05:20	38.05	48.98	46	Ms:6.2	6.19536
1980/07/22	05:17:10	08:47:10	37.19	50.20	62	Mb:5.4	5.58884
1980/01/13	05:51:35	09:21:35	37.12	50.33	33	Mb:5.0	5.175

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

1980/05/04	18:35:20	22:05:20	38.05	48.98	46	Ms:6.2	6.19536
1980/07/22	05:17:10	08:47:10	37.19	50.20	62	Mb:5.4	5.58884
1980/01/13	05:51:35	09:21:35	37.12	50.33	33	Mb:5.0	5.175
1980/05/04	18:35:20	22:05:20	38.05	48.98	46	Ms:6.2	6.19536
1980/07/22	05:17:10	08:47:10	37.19	50.20	62	Mb:5.4	5.58884
1980/01/13	05:51:35	09:21:35	37.12	50.33	33	Mb:5.0	5.175
1980/05/04	18:35:20	22:05:20	38.05	48.98	46	Ms:6.2	6.19536
1980/07/22	05:17:10	08:47:10	37.19	50.20	62	Mb:5.4	5.58884
1980/01/13	05:51:35	09:21:35	37.12	50.33	33	Mb:5.0	5.175
1980/05/04	18:35:20	22:05:20	38.05	48.98	46	Ms:6.2	6.19536
1980/07/22	05:17:10	08:47:10	37.19	50.20	62	Mb:5.4	5.58884
1980/01/13	05:51:35	09:21:35	37.12	50.33	33	Mb:5.0	5.175
1980/05/04	18:35:20	22:05:20	38.05	48.98	46	Ms:6.2	6.19536
1980/07/22	05:17:10	08:47:10	37.19	50.20	62	Mb:5.4	5.58884
1980/12/03	04:26:15	07:56:15	37.07	50.38	46	Mb:5.1	5.27339
1981/08/04	18:35:41	22:05:41	38.07	49.34	27	Ms:5.6	5.75364
1983/07/22	02:41:00	06:11:00	36.94	49.18	41	Mb:5.6	5.81604
1985/04/03	01:44:26	05:14:26	38.09	48.42	26	Mb:4.7	4.90011
1986/01/27	16:35:52	20:05:52	38.88	48.62	71	Mb:5.3	5.48031
1986/04/29	22:07:55	01:37:55	38.05	49.03	33	Mb:4.7	4.90011
Date	T(utc)	T(local)	lat	Lon	Depth	M	Mw
1990/06/20	21:00:09	00:30:09	36.95	49.40	19	Ms:7.7	7.65876
1990/06/20	21:30:12	01:00:12	37.49	48.79	10	Mb:4.7	4.90011
1990/06/20	22:58:51	02:28:51	36.82	49.47	19	Mb:4.9	5.07999
1990/06/20	23:00:36	02:30:36	36.89	49.59	15	Mb:4.9	5.07999
1990/06/20	23:27:43	02:57:43	36.99	50.31	10	Mb:4.7	4.90011
1990/06/20	23:48:44	03:18:44	36.64	49.83	16	Ms:5.1	5.44824
1990/06/21	00:52:35	04:22:35	36.80	49.56	10	Mb:4.8	4.98836
1990/06/21	02:08:51	05:38:51	36.78	49.78	10	Mb:5.4	5.58884
1990/06/21	07:50:23	11:20:23	36.98	49.52	10	Mb:4.9	5.07999
1990/06/21	09:02:14	12:32:14	36.63	49.79	15	Mb:5.8	6.05676
1990/06/21	12:17:27	15:47:27	36.73	49.40	10	Mb:5.3	5.48031
1990/06/21	21:27:39	00:57:39	36.51	49.66	10	Mb:4.9	5.07999
1990/06/21	21:31:07	01:01:07	36.79	49.33	10	Mb:4.8	4.98836
1990/06/22	03:32:48	07:02:48	37.07	49.73	10	Mb:4.7	4.90011
1990/06/22	06:21:51	09:51:51	36.82	49.35	10	Mb:4.9	5.07999
1990/06/24	09:45:57	13:15:57	36.86	49.40	10	Mb:5.1	5.27339
1990/06/24	19:05:21	22:35:21	37.22	49.64	10	Mb:4.8	4.98836
1990/06/27	03:56:20	07:26:20	37.00	49.78	10	Mb:4.8	4.98836
1990/06/28	03:20:35	06:50:35	37.08	49.64	10	Mb:4.8	4.98836
1990/06/28	17:21:03	20:51:03	36.75	49.85	10	Mb:4.7	4.90011
1990/06/30	03:42:01	07:12:01	37.07	50.14	10	Mb:4.7	4.90011
1990/07/01	12:24:57	15:54:57	37.18	49.88	10	Mb:4.8	4.98836
1990/07/01	21:16:48	00:46:48	37.28	48.82	10	Mb:4.7	4.90011
1990/07/06	19:34:52	23:04:52	36.86	49.30	35	Mb:5.3	5.48031
1990/07/13	13:04:10	16:34:10	36.48	50.06	33	Mb:4.7	4.90011
1990/07/27	05:31:00	09:01:00	37.31	49.58	10	Mb:4.8	4.98836
1990/08/20	12:20:11	15:50:11	36.95	49.72	33	Mb:4.8	4.98836
1990/08/21	03:47:26	07:17:26	37.30	49.68	10	Mb:4.8	4.98836
1990/09/25	12:12:15	15:42:15	36.79	49.85	10	Mb:4.8	4.98836

Date	T(utc)	T(local)	lat	Lon	Depth	M	Mw
1990/10/22	03:50:20	07:20:20	36.93	49.29	10	Mb:4.7	4.90011
1990/12/27	13:26:57	16:56:57	36.53	48.90	10	Mb:4.7	4.90011
1990/12/28	04:03:53	07:33:53	37.10	49.22	10	Mb:5.0	5.175
1991/01/01	19:18:56	22:48:56	39.82	48.43	61	Mb:4.9	5.07999
1991/11/28	17:19:55	20:49:55	36.92	49.60	16	Mb:5.6	5.81604
1992/10/06	08:57:17	12:27:17	38.42	50.51	10	Ms:4.8	5.29236
1993/04/08	09:48:03	14:18:03	37.90	47.98	10	Mb:4.7	4.90011
1994/11/02	12:31:01	16:01:01	38.15	48.31	10	Mb:5.0	5.175
1994/12/03	01:35:51	05:05:51	37.64	49.35	33	Mb:4.8	4.98836
1995/04/26	11:46:12	16:16:12	37.05	49.53	33	Mb:4.8	4.98836
1995/05/15	00:16:52	04:46:52	38.47	49.44	26	Mb:4.8	4.98836
1995/05/27	21:21:31	01:51:31	39.03	48.94	33	Mb:4.8	4.98836
1995/10/15	06:56:34	10:26:34	37.06	49.48	33	Mb:4.9	5.07999
1996/01/03	08:42:25	12:12:25	38.99	48.72	56	Mb:5.4	5.58884
1996/04/22	14:42:32	19:12:32	39.17	47.37	29	Mb:5.0	5.175
1997/02/28	12:57:18	16:27:18	38.08	48.05	10	Ms:6.1	6.11604
1997/03/02	18:29:42	21:59:42	37.86	47.87	10	Mb:5.1	5.27339
1998/07/09	14:19:19	18:49:19	38.55	48.41	33	Mb:6.0	6.311
1999/08/19	04:33:15	09:03:15	38.27	46.51	33	Mb:4.7	4.90011
1999/10/12	15:41:12	19:11:12	38.90	48.25	33	Mb:4.7	4.90011
2000/03/21	14:07:40	18:37:40	39.87	48.19	57	Mb:5.0	5.175
2002/04/19	13:46:49	18:16:49	36.57	49.85	33	Mb:5.1	5.27339
2005/09/26	18:57:04	22:27:04	37.35	47.80	16	ML:4.8	5.23600

جدول فوق کل زمین لرزه‌های موجود (همراه با پس لرزه و پیش لرزه‌ها) می‌باشد. در کاتالوگ فوق به دلیل اینکه زمین-لرزه‌ها با واحدهای مختلف بزرگی ثبت شده‌اند برای تبدیل آن‌ها به یک بزرگی از روابط زیر استفاده شده است:

$$M_w = 5.589 - 0.609 * M_s + 0.114 * M_s^2 \quad M_s \geq 4.0$$

$$M_w = 4.656 - 0.723 * M_b + 0.169 * M_b^2 \quad 4.7 = < M_b \leq 6.1$$

$$M_w = 0.97 * M_L + 0.58 \quad 4.5 = < M_L \leq 6.0$$

$$M_w = 0.97 * M_D + 0.58 \quad 4.5 = < M_L \leq 6.0$$

جمع بندی کلی

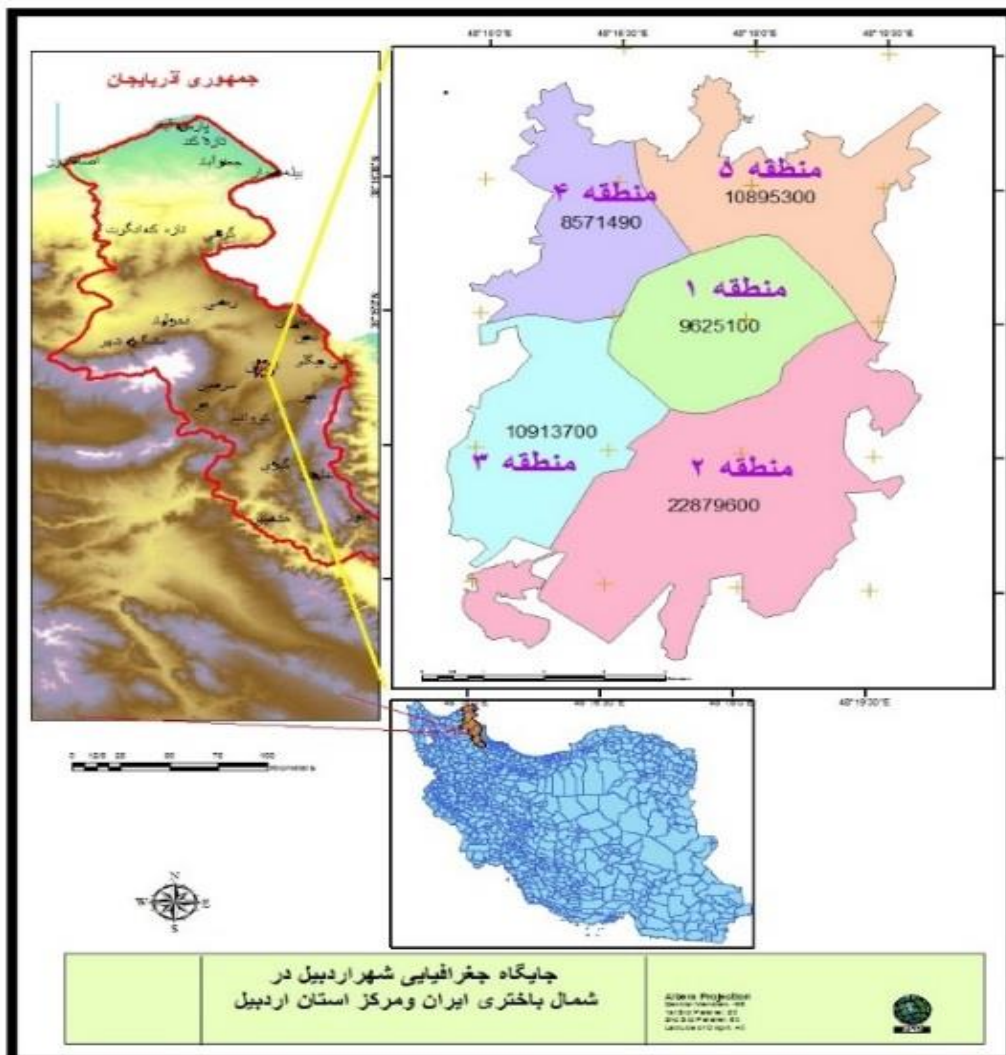
با توجه به روند و ساختار زمین شناسی منطقه می‌توان یک مهاجرت زمین لرزه ای را از منطقه میانه تا گلستان اردبیل مشاهده نمود. به طوری که از لحاظ زمان وقوع، زمین لرزه ۱۶۲۱/۵/۲۱ در جنوب میانه با بزرگی $M_s=6/2$ ، زمین لرزه ۱۸۴۴/۵/۱۳ با بزرگی $M_s=6/9$ و زمین لرزه ۱۸۷۹/۳/۲ با بزرگی $M_s=6/7$ در گرم رود و زمین لرزه ۱۹۹۷/۲/۲۸ با بزرگی $M_s=6/1$ در گلستان اردبیل یک مهاجرت زمانی و مکانی را با روند جنوب باختری، شمال خاوری نشان می‌دهد (تیو و همکاران، ۱۳۷۶، ۲۶). بنابراین می‌توان گفت که منطقه توان بالقوه ایجاد زمین لرزه-هایی با بزرگای ۶ تا ۶/۵ درجه را دارد. از طرف دیگر با توجه به جوان بودن مواد آتشفشانی احتمال وجود مواد پرتوزا در داخل آن‌ها بعید نیست. جنس غالب نهشته‌های دریاچه‌ای بستر دشت اردبیل، آن را در مواقع روی داد زمین لرزه مستعد پدیده روانگرایی ساخته است.

فصل چهارم واکاوی داده‌ها

۱-۴ ویژگی های کلی کالبدی شهر اردبیل

۱-۱-۴ جایگاه جغرافیای شهر اردبیل

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 می رسد. همانند دیگر شهرها و مراکز استانی بزرگ ایران، شهر اردبیل نیز شامل نواحی و کانون های جمعیتی متعددی در پیرامون بوده که بخشی از تقسیمات محلی اداری شهر را تشکیل می دهد. این مناطق برآیند رشد و تکامل شهر و گروه بندی های تاریخی جمعیت آن است. شهر اردبیل از ۵ منطقه و ۱۵ ناحیه تشکیل شده که قدیمی ترین آن ناحیه یک واقع در منطقه یک است.



شکل ۱-۴ جایگاه جغرافیایی شهر اردبیل و مناطق پنجگانه شهری آن (مساحت برحسب مترمربع) در گوشه شمال باختری ایران و مرکز استان اردبیل

۴-۱-۲ سیر تحول تاریخی و کالبدی شهر قدیم اردبیل

اردبیل به عنوان یکی از کانون‌های مدنی شمال باختری ایران است که هویت مکانی آن در بستر کهن دریاچه پلیو - کوآترنری دشت اردبیل تبلور یافته است. موقعیت کوهستانی، تعلق آن به سیستم کوهستانی آلپ - هیمالیا و محل برخورد صفحه‌های اوراسیا - عربی، باعث گردیده تا این کانون مدنی از دیرباز انواع مخاطرات طبیعی به‌ویژه زمین‌لرزه‌ها و فرین‌های آب و هوایی را تجربه نماید.

هسته اولیه و امروزی شهر میان دو رودخانه بالیقلوچای در جنوب و نوران چای در شمال و توأم با بنای ارگ حکومتی، که به نارین‌قلعه معروف است، شکل گرفته است. وجود آتشکده در محل بنای مسجد جمعه نیز نشانگر موضع اعتقادی و دیانت حاکمان و مردم وقت بوده است.

۴-۱-۲-۱ کالبد اردبیل طی یک سده اخیر

تحولاتی که در دوران معاصر (حدود یک قرن اخیر) صورت پذیرفته، عبارت است از:

- ایجاد خیابان با مقیاس قراردادن ماشین که این خیابان‌ها اعتبار و جایگاه بازار را نادیده گرفته و منجر به تخریب و تقسیم قسمتی از بازار به بخش‌هایی در طرفین خیابان شده‌اند؛
- تخریب حصار، بارو و دروازه؛
- هدف قرار گرفتن توسعه کمی شهر و نه گسترش کیفی و ارگانیک آن که در این روند شتابزده، لایه‌بندی شهر بر اساس ساختار پیشین، جای خویش را به ساخت و سازهای ناندیشیده و درآمدزا واگذار کرده است؛
- سرانجام، متروکه شدن نظری و عملی بافت‌های کالبدی شهر و عناصر و فضاهای آن از جمله جایگزین کردن شکل و عملکرد میدان‌های شهری با فلکه که صرفاً حرکت و ایمنی تردد ماشین و به اصطلاح ایجاد ترافیک روان را هدف قرار می‌دهد.

علاوه بر موارد یادشده، ایجاد بناهایی که بدون رعایت جوانب و ضوابط محیطی، منظری، سیمایی و فضایی برای رفع نیازهای روزمره برقرار می‌شوند، در واقع بدون زمینه فکری، تاریخی و فقط به صورت شکلی از غرب اقتباس شده‌اند.

مراحل توسعه شهر اردبیل در طول زمان را می‌توان به‌صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- منطقه مرکزی شهر (به عنوان هسته اولیه کانون مدنی به نام اردبیل) گستره‌ای با توسعه آرام تا سال ۱۳۵۴. در این دوره مساحت شهر از ۷۱۲/۶۵ هکتار در سال ۱۳۳۵ به ۱۳۸۹/۶۳ هکتار افزایش می‌یابد.
- نخستین توسعه گسسته و پیوسته چهارساله شهر بین سال‌های ۵۹-۱۳۵۵. در این فاصله زمانی مساحت شهر به ۱۶۵۶ هکتار افزایش می‌یابد.
- توسعه دوم گسسته و پیوسته شهر بین سال‌های ۷۲-۱۳۵۹. در این فاصله زمانی مساحت شهر تقریباً به دو برابر یعنی ۳۱۲۲/۵ هکتار توسعه می‌یابد.
- توسعه فزاینده شهر بعد از سال ۱۳۷۲ (تشکیل استان اردبیل و انتخاب شهر اردبیل به عنوان مرکز استان جدید و تفکیک آن از استان آذربایجان شرقی). در این دوره ۲۷ ساله مساحت شهر دو برابر شده و به ۶۲۸۸ هکتار افزایش می‌یابد.

۳-۱-۴ گونه‌شناسی اراضی و قطعات شهری

"گونه‌شناسی اراضی" یعنی شناخت زمین و آنچه بر آن واقع شده است. جهت شناخت بهتر و واقعی‌تر از پتانسیل زمین اراضی و قطعات شهر به سه دسته اصلی تقسیم گردیده و براین مبنا به شناسائی وضع موجود شهر اقدام گردیده است.

۱-۳-۱-۴ انواع گونه‌های اصلی

(الف) زمین بدون بنا با عناصر طبیعی

این گونه از اراضی بیشتر شامل عناصر و عوارض طبیعی در سطح شهر می‌شود. در این گونه از عناصر یا قطعات، عوارض مصنوعی و یا انسانساخت دیده نمی‌شوند. مانند اراضی بایر، دارای درخت، رودخانه، مسیل، دریاچه، پارک، فضای سبز، کشت، جنگل و موارد مشابه.

(ب) زمین بدون بنا با عناصر مصنوع

اینگونه از اراضی نیز مانند گونه اول بدون بنا بوده و احداثی عمده‌ای بر آن واقع نشده است، لیکن تفاوت آن با گونه نخست در این است که بجای عنصر طبیعی، عنصر مصنوعی قرار می‌گیرد یعنی فضای باز یا تسطیح شده‌ای که به صورت مصنوعی ایجاد شده است. مانند شبکه معابر شهر که فضای آزاد محسوب شده اما ساخته شده دست انسان است، پارکینگ‌ها و گورستان‌ها نیز در این دسته قرار می‌گیرند و می‌توان گفت حدود ۲۵ درصد از مساحت شهر در این گروه قرار دارد.

(ج) زمین با بنا

این گونه از اراضی شامل قطعاتی است که احداث بنا در آن‌ها صورت گرفته و از یک حجم یا توده قابل تشخیص در فضا تشکیل شده است. بر این اساس و باتوجه به بررسی‌های میدانی، شهر اردبیل به گونه‌های متفاوت، ابنیه تاریخی و با ارزش، بناهای غیر قابل تغییر یا قابل تغییر با اشکالات زیاد، مراکز ویژه (نظامی و انتظامی)، کارکردهای تجاری (بزرگ مقیاس) کارکرد مغازه‌ای (تجاری، صنعتی، خدماتی) کارکرد مختلط (تجاری مسکونی) و ابنیه قابل تغییر تقسیم شده است.

در زیر توضیح مختصر هر یک از گونه‌های یادشده ارائه گردیده است:

- ابنیه تاریخی و با ارزش این گروه شامل بناها و مکان‌های تاریخی و فرهنگی شهر، مانند بقعه شیخ صفی، شیخ کلخوران، جمعه مسجد و بازار قدیمی می‌شود.

- ابنیه غیرقابل تغییر یا قابل تغییر با اشکالات زیاد؛ این گروه که عمدتاً شامل کاربری‌های عمومی و نسبتاً بزرگ مانند کاربری‌های درمانی، ورزشی، آموزشی، مذهبی، اداری می‌شود. تغییر این گونه از کاربری‌ها به کاربری‌های دیگر به راحتی صورت نمی‌گیرد، مانند تبدیل کاربری ورزشی به مسکونی و...

- مراکز ویژه (نظامی و انتظامی)؛ در این گروه می‌توان به پادگان‌ها و مراکز نظامی و انتظامی سطح شهر مانند پادگان اطراف میدان بسیج و ایستگاه سرعین اشاره نمود.

- کارکرد تجاری (بزرگ مقیاس)؛ این گونه از کاربری‌ها عمدتاً شامل کاربری‌هایی می‌شود که کارکرد شهری داشته و اندازه آن‌ها نیز نسبتاً بزرگ می‌باشد، مانند میدان میوه و تره‌بار واقع در ضلع باختری میدان آزادگان، بازار روز میوه و تره‌بار میدان مبارزان، بازار آهن در میدان بعثت و پاساژهای بزرگ سطح شهر.

- **کارکرد مغازه‌های (تجاری، صنعتی، خدماتی)؛** این گروه عمدتاً شامل کاربری‌ها و اراضی تجاری، صنعتی و خدماتی نسبتاً بزرگ در سطح شهر شده و کاربری مسکونی در آن‌ها کمتر دیده می‌شود و بیشتر در اطراف میدان وحدت و میدان آزادگان مستقر گردیده‌اند.

- **کارکرد مختلط (مسکونی، مغازه‌ای)؛** کاربری‌های مسکونی و تجاری (مغازه‌ای) که به صورت مختلط عمل می‌نمایند و بیشتر در اطراف معابر اصلی شهر قرار گرفته است، در این گروه از کاربری‌ها قرار می‌گیرد.

- **ابنیه قابل تغییر به کاربری‌های دیگر؛** این گونه از کاربری‌ها شامل کاربری‌های مسکونی، تجاری، خدماتی و ... می‌شود، که بیشترین مساحت کاربری را این گروه از کاربری‌ها به خود اختصاص می‌دهد و تفاوت آن‌ها با کاربری‌های دیگر در این است که امکان تغییر آن‌ها به کاربری‌های دیگر وجود دارد، مانند تغییر کاربری مسکونی به درمانی یا آموزشی و

۴-۱-۴ گونه‌شناسی سکونت شهری (روند اسکان و تحرک گروه‌های اجتماعی در مناطق پنجگانه شهر اردبیل)

به منظور دستیابی به چگونگی اسکان مناطق و محلات مختلف شهر اردبیل از جانب گروه‌های گوناگون اجتماعی، نگاه به ساختار کلی شهر در گذشته‌های دور الزامی می‌باشد.

ساختار شهری، شهرهای شرق اسلامی به‌ویژه شهرهای ایران، عمدتاً از سه عنصر اساسی تشکیل شده بود که سه عنصر کهن دژ، شارستان و بیرون (ربض) استخوان‌بندی این شهرها را شامل می‌شدند و از آنجا که شهر اردبیل نیز از چنین ویژگی برخوردار بوده، لذا می‌توان گفت که ساختار اجتماعی شهر از نظر اسکان گروه‌های گوناگون شهری در مناطق مختلف آن در ارتباط با چنین ساختار شهری می‌باشد.

می‌توان گفت که ساکنین اولیه و ابتدایی شهر (عمدتاً ارگ حکومتی که شامل نارین‌قلعه و شارستان آن) در مناطقی همچون اطراف بازار و محلات ششگانه را عمدتاً شارستان شهر قدیم اردبیل شکل داده‌اند. بنابراین شارستان که در درون دیوار شهر جای گرفته بود، ساکنان اصلی اردبیل قدیم و فعلی را شامل می‌شوند. حدود دیوار شهر قدیم با بررسی دقیق و شناسایی دروازه‌های شهر قدیم قابل دستیابی است، این دروازه‌ها شامل چهار دروازه قنبلان (حوالی تازه میدان یا میدان امام حسین) نوشهر (انتهای معبر و محله پیرشمس‌الدین یا پیرعبدالملک)، تاوار (چهارراه فعلی) و دروازه عالی‌قاپو بوده‌اند.

این دروازه‌ها رینگ صفر اردبیل را شکل می‌دادند، البته در اثر رشد طبیعی جمعیت ساکنان اولیه شهر معمولاً مناطقی از نقاط پیرامونی شهر که عمدتاً بیرون شهر را شامل می‌شدند به بافت کالبدی اضافه شده‌اند.

تا قبل از آغاز اصلاحات اراضی روند کند مهاجرت از روستاهای پیرامونی بر ساختار اجتماعی و کالبدی شهر حاکم بوده است و پس از آغاز اصلاحات ارضی که روستاها دچار تحولات گسترده اجتماعی شدند، تغییرات و تحرکات جمعیتی شهر نیز آغاز گردید و سیل مهاجران روستایی به سمت شهر وسعت قابل توجهی یافت.

این روند ابتدا از جانب روستاهای شمالی شهرستان اردبیل صورت گرفت و در نتیجه مناطق شمالی شهر اردبیل گسترش کالبدی چشمگیری یافت که شکل‌گیری محلات جدیدی همچون خاتم‌النبین، قاسمیه، آقا

کاظم، صاحب‌زمان، حسینیه و ... در شهر اردبیل را به دنبال داشت. از سوی دیگر روند تحولات اجتماعی در شهر اردبیل نیز به صورت بطئی و آرام آغاز شده بود و عمدتاً مهاجرانی از روستاهای جنوب شهرستان اردبیل را در خود پذیرا شده بودند.

به دنبال افزایش قیمت نفت در دهه پنجاه و دور ماندن روستاها در برنامه‌ریزی و عدم توجه کافی به روستاها و شهرهای کوچک روند مهاجرت از شهرها و روستاهای کوچک به شهرهای بزرگ گسترش قابل توجهی یافت و در نتیجه در این دوران شاهد شکل‌گیری حاشیه‌نشینی در شهر اردبیل بوده و مناطقی از شهر به صورت حاشیه‌نشینی در آمده که عمدتاً مربوط به نقاط شمالی شهر می‌شود. ساکنین این بخش از شهر اکثراً از روستاهای اطراف و شهرهای شمالی شهرستان به‌ویژه مغان، مشگین‌شهر و ... می‌باشند.

به دنبال استان شدن اردبیل و اهمیت یافتن اقتصادی، اجتماعی و سیاسی شهر، تحولات اجتماعی شهر اردبیل دو بعد متفاوت به خود می‌گیرد، اول آنکه روند مهاجرت به شهر اردبیل کماکان گسترش می‌یابد و شهر به رشد فیزیکی خود از جوانب مختلف ادامه می‌دهد. بعد دوم قضیه مربوط به شکل‌گیری و گسترش شهرک‌های مختلف در پیکره شهر می‌باشد که این شهرک‌ها از لحاظ اجتماعی در دو زمینه متفاوت قابل بررسی است، اولین بعد مربوط به شهرک‌هایی است که نقاط مرفه‌نشین شهر را شکل می‌دهند، این شهرک‌ها عمدتاً به خاطر تغییرات و تحولات اجتماعی بافت قدیم شهر اردبیل و همچنین سایر مناطق شهری شکل یافته‌اند. در نتیجه بافت ارگانیک و نیمه ارگانیک شهر کم‌کم جمعیت خود را به نفع بافت جدید و مدرن شهر از دست می‌دهد و در نهایت بافت قدیم شهر به تدریج روند تخلیه جمعیت خود را آغاز می‌کند و این حالت کماکان ادامه دارد، بنابراین جمعیت مهاجر از بافت قدیم شهر اردبیل که ساکنین اولیه شهر را شامل می‌شدند سبب شکل‌گیری بافت جدید شهری در پیکره اردبیل می‌گردند و شهرک‌هایی همچون رضوان، حافظ، مناطقی از حاشیه رودخانه بالخلو و ... بر پیکره شهر اردبیل اضافه می‌گردند. دومین بعد مربوط به شهرک‌هایی است که عمدتاً قشر متوسط شهر را شامل می‌شوند، جمعیت ساکن این شهرک‌ها نه از بافت قدیم بلکه از سایر مناطق شهر و همچنین روستاها و شهرهای اطراف در این گونه شهرک‌ها استقرار می‌یابند، از نظر ساختار اقتصادی این شهرک‌ها مربوط به کارکنان دولت هستند و نامگذاری آن‌ها نیز عمدتاً نشان‌دهنده سکونت این قشر از جمعیت شهری است، چنانچه شهرک‌هایی مانند شهرک اداری و کارشناسان، مخابرات، کشاورزی و ... توسط قشر متوسط جامعه شهری شکل یافته‌اند.

تغییر و تحولات قیمت زمین و مسکن در دهه هفتاد که عمدتاً ناشی از تبدیل شهر اردبیل به عنوان مرکز استان بوده، سبب شد تا عمده سرمایه‌گذاری‌های شهری به این بخش سرازیر گردد. بنابراین ارزش افزوده ناشی از تزریق بخش ملی به بخش اداری شهر و فعالیت‌های مختلف به‌ویژه کشاورزی در چنین زمینه‌هایی هزینه شد. در نتیجه در این دهه شاهد شکل‌گیری برخی از مناطق شهری هستیم که عمدتاً توسط مهاجران نسبتاً مرفه روستایی شکل یافته‌اند، براین اساس می‌توان گفت شهرک‌هایی مانند سیلان براساس چنین ویژگی‌هایی شکل یافته‌اند هر چند که ساکنین اولیه شهر اردبیل در چنین شهرک‌هایی یافت می‌شود ولی غلبه اصلی با مهاجران روستایی و شهری می‌باشد.

بخش دیگری از گسترش کالبدی و فیزیکی شهر اردبیل مربوط به جنوب غربی شهر و عمدتاً نواحی اطراف دریاچه شورابیل می باشد که به صورت شهرک های مختلف و بر اساس طرح های آماده سازی زمین شکل می یابند که ساکنین عمده و اصلی آن ها کارکنان دولت هستند.

گسترش فیزیکی شهر اردبیل در طول زمان سبب شده تا روستاهای اطراف شهر نیز بر پیکره آن افزوده شده و این روستاها در حال حاضر نیز به صورت محلات مسکونی شهری در بافت شهر نمایان شده اند. با توجه به پیشینه تاریخی شهر، تعدادی از محلات کنونی شهر، روستاهایی بوده اند که عمدتاً در آن سوی دیوار تاریخی شهر که اکنون هیچ آثاری از آن نیست به حیات خود ادامه میدادند و اکنون به صورت یک محله شهری در پیکره شهر ظاهر شده اند، از آنچه که از اسناد و مدارک تاریخی برمی آید محلاتی مانند جیرال، ججین و ... در گذشته روستاهایی بوده اند که در حال حاضر جزء محلات شهری محسوب می شوند. توسعه دوران معاصر شهر اردبیل نیز سبب شده تا همچنان روستاهایی به بافت کالبدی شهر اضافه شوند و هم اکنون یکی از محلات شهری به حساب می آید. مناطقی مانند نیار، ملاباشی، گلغان و ... از جمله مناطقی هستند که در گذشته به صورت روستا در مناطقی پیرامون شهر اردبیل قرار داشته اند، در حال حاضر نیز روند توسعه فیزیکی شهر اردبیل نشان می دهد که ممکن است روستاهایی در آینده به بافت کالبدی شهر اردبیل اضافه شوند. این روستاها عبارتند از: شام اسبی (جنوب غربی شهر اردبیل)، حمل آباد (شمال غربی شهر اردبیل) و ..

از آنچه گفته شد می توان نتایج زیر را حاصل نمود:

- بافت قدیم شهر و محلات نزدیک به آن مانند معمار، پیرمادر، باغمیشه زینال و ... کماکان ساکنین اصلی شهر را در خود جای داده اند، بنابراین می توان گفت که رینگ صفر اردبیل ساکنین اولیه و ثانویه شهر را همچنان در خود پذیرا شده اند.

- احتمال سکونت مهاجران روستایی در بافت قدیم شهر به ویژه محلات ششگانه و نواحی اطراف بازار بسیار ضعیف می باشد.

- روند تاریخی مهاجرت روستایی نشان می دهد که نواحی شمالی شهر قدیم اردبیل اولین جاذب جمعیت بوده اند.

- مناطق شکل یافته توسط مهاجران روستایی تا قبل از انقلاب اسلامی عمدتاً به صورت یک روند اکولوژیک انسانی شکل یافته اند.

- تقابل بافت قدیم و جدید شهری سبب شده تا دوره تخلیه و تحرک جمعیت از بافت قدیم به سوی بافت جدید به ویژه پس از مکزیت استان شهر اردبیل آغاز شود.

- توسعه شهرک سازی عمدتاً ناشی از سرمایه گذاری های قابل توجه دهه هفتاد بوده که به صورت مختلط گروه های مختلف اجتماعی را در خود پذیرا شده اند.

- روند کنونی توسعه فیزیکی شهر اردبیل نشان می دهد که احتمالاً در سال های آتی روستاهایی بر بافت شهر افزوده خواهند شد.

- بافت های حاشیه نشینی شهر اردبیل قطعاً دارای ریشه اجتماعی روستایی و مهاجرتی هستند.

۴-۱-۵ بافت شهری اردبیل

به طور کلی در شهر اردبیل چهار نوع بافت قابل تشخیص است:

- بافت ارگانیک (بافت قدیمی و مرکزی شهر)
- بافت نیمه ارگانیک و نیمه منظم شهری
- بافت آماده سازی و شهرک ها یا بافت منظم
- بافت های حاشیه ای و روستائی

۴-۱-۶ محلات شهر اردبیل

به طور کلی می توان گفت که شهر اردبیل بدور هسته مرکزی و در راستای محورهای تبریز، آستارا و خلخال، مشکین در حال رشد است، هرچند این رشد به طرف جنوب و جنوب غربی بیشتر بوده است. لذا محلات به عنوان یکی از عناصر عمده و شاخص در شکل گیری بافت و سازمان شهری مؤثر بوده است. لذا موضوع تقسیمات کالبدی شهر و چگونگی انجام سلسله مراتب آن، یکی از مباحث عمده است که ارتباط مستقیم با نحوه کاربری زمین، توزیع فعالیت ها و ... دارد. شهر یک نظام پیچیده اجتماعی - کالبدی است که از خرده نظام های متعدد تشکیل شده که هماهنگی و تعادل در روابط سیستمی و برون سیستمی برای کارایی و پویایی آن ضروری است. در واقع می توان گفت در شهرسازی جدید به دلیل تسلط اقتصاد و وسایل حمل و نقل ماشینی و گسترش ابعاد کالبدی شهر، مقیاس های استانی و مفهوم محله تا حدود زیادی کارکرد خود را از دست داده است.

در واقع با پیدایش اتومبیل، مفهوم محله که اساس شکل گیری شهرهای قدیم بود درهم ریخته است. چرا که ذات محله با تجمع و اشتراک و روحیه جمعی عجین است درحالی که اتومبیل طالب حرکت بدون مانع در سطح شهر و استقلال از موانع کالبدی است. در نتیجه نظام محله بندی با آشفتگی و عوارض نامطلوب روبرو شده و ضرورت های جدیدی شکل گرفته است.

لازم به یادآوری است که در این شهر میادین و فضاهای شهری مشابه به ندرت یافت می شود و به عنوان محدود نقاط باقیمانده می توان به مراکز محلات قدیمی طوی یا تاوار، اوچ دکان و پیرزرگر اشاره کرد. از دیرباز تاکنون محور راه های ارتباطی محلات با سایر نقاط منطقه شهری تعیین کننده و شکل دهنده جهت اصلی توسعه بافت های خودرو یا ارگانیک شهر بوده اند. برای مثال از بوجود آمدن محلات سلمان آباد و ساخت و سازهای مسیرهای آستارا، تبریز، مشکین شهر و نیز خلخال نام برد که رشد ستاره ای شهر را موجب شده اند، اما آماده سازی های زناس، سیلان، کوی سینا، رضوان، بعثت و ... از این قاعده مستثنی هستند که نشانگر رشد برنامه ریزی شده شهر می باشد. امروزه در اردبیل سلسله مراتب دسترسی ها و محلات قدیمی شهر دچار تغییرات شده و نظم ارگانیک قبلی بافت تضعیف گردیده و ارتباطاتی که از طریق محلات برقرار بوده توسط خیابان های اتومبیل رو شعاعی و حلقوی، مانند امام خمینی، کاشانی، شهداء و بسیج از هم گسسته شده و سازمان فضائی شهر که براساس روابط محلات با مراکز محل های و شهری و نیز با یکدیگر که به طور عمده برپایه تردد و پیاده استوار بوده دیگر نمی تواند عمل کند.

لذا باتوجه به موارد ذکر شده اردبیل در گذشته به شش محله بزرگ و اصلی بنامهای طوی، اوچ دکان، پیرعبدالملک، گازران، قنبلان و عالی قاپو تقسیم گردیده بود که هرکدام از این محلات خود از ترکیب محلات کوچکتری شکل گرفته بودند. در محل برخورد راسته‌های اصلی با یکدیگر و با راسته‌های فرعی‌تر مراکز مخصوص و متناسب با اهمیت هر محله مانند مسجد، حمام، تکیه، واحدهای تجاری، گورستان، فضاهای باز، قهوه‌خانه، سقاخانه بوجود آمده و شکل می‌گرفته است. مراکز محله‌ها، محل برخورد ارتباط افراد محله، مرکز خرید و فروش نیازمندی‌های ساکنین و بازی بچه‌ها و از مجموع چند محله کوچک یک محله بزرگتر به وجود می‌آمده که دارای مراکز مهم‌تری بوده و شعاع سرویس‌رسانی و عملکرد بیشتری نسبت به مراکز فرعی‌تر دارا بوده است. این مراکز عمده در کنار یک فضای باز بزرگ قرار داشته و راسته‌های مربوط به آن‌ها رابط بین دروازه‌های شهر و نهایتاً بازار بوده‌اند. لازم به یادآوری آوری است که قدیمی‌ترین محلات و بناهای شهر نیز در اطراف همین مسیرها استقرار یافته‌اند. برای مثال راسته‌های اصلی محله‌های اوچ دکان، پیرشمس‌الدین و ..

۴-۱-۷ تراکم کلی ساختمان‌های مسکونی در مناطق پنجگانه شهر اردبیل

تراکم ساخت در شهر یعنی نسبت زیربنای سرپوشیده کل طبقات و یا ساختمان‌های موجود در سطح شهر به مساحت شهر، به طوری که با توجه به نحوه پراکندگی و استقرار احداثی‌ها اعم از مسکونی و غیر مسکونی و تراکم جمعیتی سطح ساخته شده.

ارائه هرگونه واکاوی وضع موجود تراکم ساختمانی شهر اردبیل مستلزم تقسیم شهر به حوزه‌های مختلف به منظور مطالعه و بررسی تراکم ساختمانی و دیگر ویژگی‌هایی وابسته به زمین و ساختمان در سطح شهر است. به طور کلی ساختمان‌های شهر اردبیل به پنج گروه تراکمی تقسیم گردید که در جدول زیر گروه‌های تراکمی و کمینه و بیشینه تراکم برداشت شده نشان داده شده است.

جدول ۴-۱ گروه‌های تراکمی در سطح شهر

گروه‌های تراکمی	کمینه %	بیشینه %
تراکم کم	۳۸	۵۵
تراکم نسبتاً کم	۵۶	۷۹
تراکم متوسط	۸۰	۱۰۴
تراکم نسبتاً زیاد	۱۰۵	۱۰۵
تراکم زیاد	۱۳۴	۱۹۷

الف) تراکم ساختمانی کم :

این گروه که تراکم ساختمانی ۳۸ تا ۵۶ درصد نامیده می‌شود، بیشتر مناطق حاشیه‌ای شمال و غرب شهر و روستاهائی مانند کلخوران، نیار، ملایوسف، گل مغان و غیره را در برمی‌گیرد که این مناطق اکثراً از بافت حاشیه‌ای و روستائی برخوردارند. دیگر مشخصات عمومی این گروه تراکمی به قرار زیر است:

میانگین مساحت قطعات ۳۰۲ متر، میانگین زیر بنا ۱۳۲ متر، میانگین فضای باز قطعات برداشتی ۱۷۰ متر، متوسط طبقات یک طبقه، کیفیت بنا در این مناطق در گروه قابل استفاده قرار می‌گیرد اما در کل از سطح کیفی نازلی برخوردار است. ضمناً میانگین تراکم در این مناطق و حوزه‌ها ۴۶ درصد بوده که انحراف معیار آن ۶ واحد است. همچنین می‌توان گفت مساحتی که این تراکم ساختمانی به خود اختصاص داده حدود ۳۰ درصد از مساحت شهر را تشکیل می‌دهد.

ب) تراکم ساختمانی نسبتاً کم :

این گروه تراکم ۵۶ تا ۷۹ درصد را شامل می‌شود و همانند گروه اول از جمله رایج‌ترین گروه‌های تراکمی در سطح شهر است به طوری که این دسته نیز حدود ۳۰ درصد از مساحت شهر را به خود اختصاص می‌دهد. این تراکم در حد فاصل کمربندی اول و دوم و نیز حد فاصل رینگ صفر و کمربندی اول دیده می‌شود. ضمناً این تراکم دارای مشخصاتی به شرح زیر می‌باشد:

میانگین مساحت قطعات ۲۴۶ متر، میانگین زیر بنا ۱۳۸ متر، میانگین فضای باز قطعات ۱۰۹ متر است. این گروه نیز مانند گروه تراکمی قبل ساختمان‌های آن اکثراً یک طبقه بوده و مصالحی که در آن به کار رفته است عمدتاً همان آجر و آهن می‌باشد و از نظر کیفیت بنا می‌توان گفت قابل استفاده بوده لیکن نسبت به گروه قبل از سطح نسبتاً بالاتری برخوردار است. ضمناً میانگین تراکم در این محدوده ۶۷ درصد با انحراف معیار ۶ واحد است.

ج) تراکم ساختمانی متوسط

این گروه که شامل تراکم ۸۰ تا ۱۰۴ درصد می‌باشد حدود ۲۰ درصد از مساحت شهر را دربرمی‌گیرد. از نظر نحوه پراکندگی این تراکم بیشتر در نواحی مرکزی شهر به خصوص اطراف بازار، جنوب و شمال خیابان امام و نیز در محلاتی مانند پیرزرگر، طوی، گازران، سرچشمه و غیره که قسمتی از آن جزء بافت قدیمی شهر است دیده می‌شود. مناطقی که در این دامنه تراکمی قرار گرفته‌اند، میانگین مساحت قطعات، زیر بنا و فضای باز آن‌ها به ترتیب ۱۰۴، ۱۹۶ و ۹۲ متر بوده و متوسط تعداد طبقه آن نیز می‌توان گفت ۱/۵ طبقه است. مصالح به کار رفته در این مناطق عمدتاً آجر و آهن بوده لیکن از نظر کیفی در سطح نسبتاً پایینی قرار دارد. میانگین تراکم ساختمانی در این محدوده ۹۰ درصد با انحراف معیار ۶ واحد می‌باشد.

د) تراکم ساختمانی نسبتاً زیاد

این گروه که شامل تراکم ۱۰۵ تا ۱۳۳ درصد می‌باشد حدود ۱۵ درصد از مساحت کل شهر را پوشش می‌دهد. از حوزه‌هایی که عمدتاً در این محدوده تراکمی هستند می‌توان به حوزه‌های ۴۰، ۳۹، ۷۸ و ۳۶ اشاره کرد که بیشتر در مناطق جنوبی شهر قرار دارند. از دیگر مشخصات این گروه تراکمی می‌توان به میانگین مساحت قطعات، زیر بنا و فضای باز اشاره کرد که به ترتیب عبارتند از ۱۰۶، ۲۵۶ و ۱۵۰ متر. متوسط تعداد طبقه در این محدوده ۳ طبقه بوده و از نظر کیفیت ساخت و ساز نسبت به دیگر مناطق از سطح نسبتاً بالاتری برخوردار می‌باشد و بیشتر خانه‌ها نوساز بوده و

مصالحی که در آن‌ها به کار رفته نیز بیشتر اسکلت فلزی یا بتونی است. این مناطق بیشتر شامل آماده‌سازی‌ها و شهرک‌های احداث شده و یا در حال احداث می‌باشد. میانگین تراکم ساختمانی در این محدوده ۱۲۳ درصد با انحراف معیار ۷ واحد بوده است.

چ) تراکم ساختمانی زیاد

این گروه که شامل تراکم ۱۳۴ تا ۱۹۷ درصد می‌باشد در حدود ۵ درصد از مساحت کل شهر را به خود اختصاص داده است. این تراکم بیشتر در مناطقی که دارای آماده‌سازی بوده و مجتمع‌سازی در آن‌ها صورت گرفته است دیده می‌شود. میانگین تراکم در این مناطق ۱۸۱ درصد و انحراف معیار آن حدود ۱۵ واحد است. در این مناطق بیشتر واحدها ۳ یا ۴ طبقه بوده و باتوجه به اینکه نوساز هستند و مصالحی هم که در آن‌ها به کار رفته عمدتاً اسکلت فلزی و بتونی است از کیفیت بالایی برخوردار می‌باشد. از دیگر مشخصات ساختمانی مربوط به این تراکم می‌توان به متوسط مساحت قطعات، زیربنا و فضای باز اشاره نمود که به ترتیب عبارتند از ۱۳۰، ۲۲۶ و ۹۵ متر.

وضعیت تراکم در مناطق پنجگانه شهر اردبیل نیز بدین صورت می‌باشد:

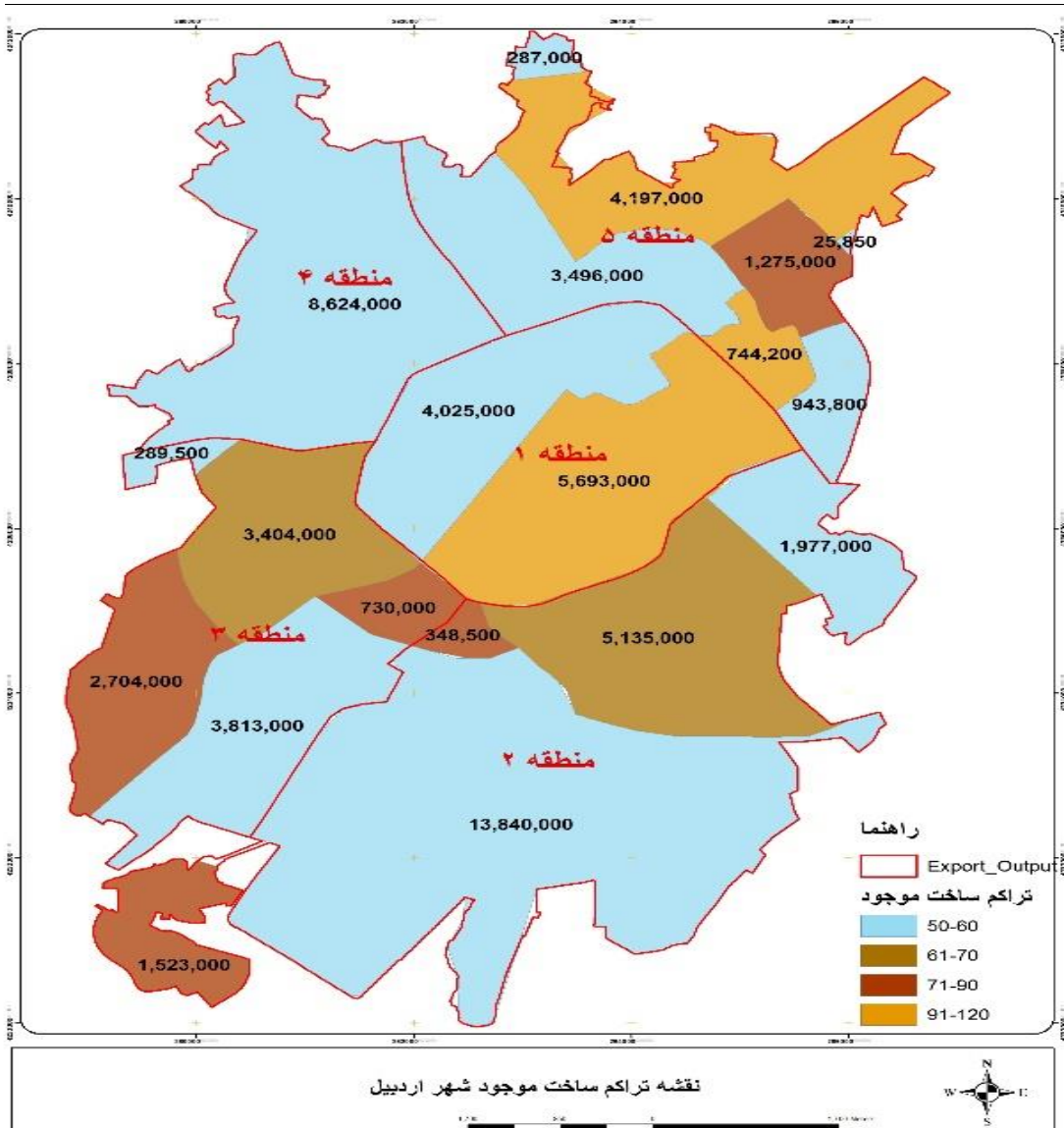
- منطقه یک با سطح اشغال ۳۷ درصد در مجموع ۳۵۹۵۶۶۰ مترمربع که از این مقدار ۱۴۸۹۲۵۰ مترمربع با تراکم ساخت ۵۰ الی ۶۰ و ۲۱۰۶۴۱۰ مترمربع با تراکم ساخت ۹۱ الی ۱۲۰ می‌باشد

منطقه دو با سطح اشغال ۱۱ درصد در مجموع ۲۴۷۰۹۸۵ مترمربع که از این مقدار ۱۷۰۰۲۷۰ مترمربع با تراکم ساخت ۵۰ الی ۶۰ و ۵۶۴۸۵۰ مترمربع با تراکم ساخت ۶۱ الی ۷۰ می‌باشد و ۲۰۵۸۶۵ مترمربع با تراکم ساخت ۷۱ الی ۹۰

منطقه سه با سطح اشغال ۱۵ درصد در مجموع ۱۶۴۱۰۷۵ مترمربع که از این مقدار ۶۱۵۳۷۵ مترمربع با تراکم ساخت ۵۰ الی ۶۰ و ۵۱۰۶۰۰ مترمربع با تراکم ساخت ۶۱ الی ۷۰ می‌باشد و ۵۱۵۱۰۰ مترمربع با تراکم ساخت ۷۱ الی ۹۰

منطقه چهار با سطح اشغال ۲۵ درصد در مجموع ۲۱۵۶۰۰۰ مترمربع که مترمربع با تراکم ساخت ۵۰ الی ۶۰ منطقه پنج با سطح اشغال ۱۹ درصد در مجموع ۲۰۷۹۱۷۰ مترمربع که از این مقدار ۸۹۸۰۹۲ مترمربع با تراکم ساخت

۵۰ الی ۶۰ و ۲۴۲۲۵۰ مترمربع با تراکم ساخت ۷۱ الی ۹۰ می‌باشد و ۹۳۸۸۲۸ مترمربع با تراکم ساخت ۹۱ الی ۱۲۰ از تراکم ساخت شهر می‌توان به تعداد جمعیت آن پی برد و نیز با تعیین تراکم برای نقاط مختلف شهر نسبت به کنترل جمعیت و ساخت و ساز اقدام نمود و یکی از مهمترین اهداف شاخص تراکم، برقراری توازن بین فضاهای تولید شده با فضاهای شهری و خارجی است.



شکل ۴-۲ وضعیت تراکم ساخت موجود (۱۳۹۵) شهر اردبیل

۴-۱-۸ وضعیت کلی ساختمان‌های مسکونی در مناطق مختلف شهر، از نظر نوع مصالح و کیفیت ساختمان

- شاخص‌های مورد بررسی در این بخش از مسکن شهر اردبیل عبارتند از:
- جنس مصالح ساختمانی به کار رفته
 - کیفیت مسکن از نظر نوساز بودن، قابل استفاده، مرمتی و غیره
 - کیفیت مسکن از نظر دسترسی به خدمات آب، برق، گاز و ...
 - وضعیت واحدهای مسکونی از نظر نوع اسکلت بنا، مصالح عمده و تعداد اتاق و غیره
 - وضعیت واحدهای مسکونی برحسب سال اتمام بنا و تعداد اتاق و غیره
 - کیفیت مسکن از نظر سلامت و بهداشت.

۴-۱-۸-۱-۴-۱ نوع مصالح و کیفیت ساختمان (قابل استفاده، مرمتی، تخریبی) در شهر اردبیل

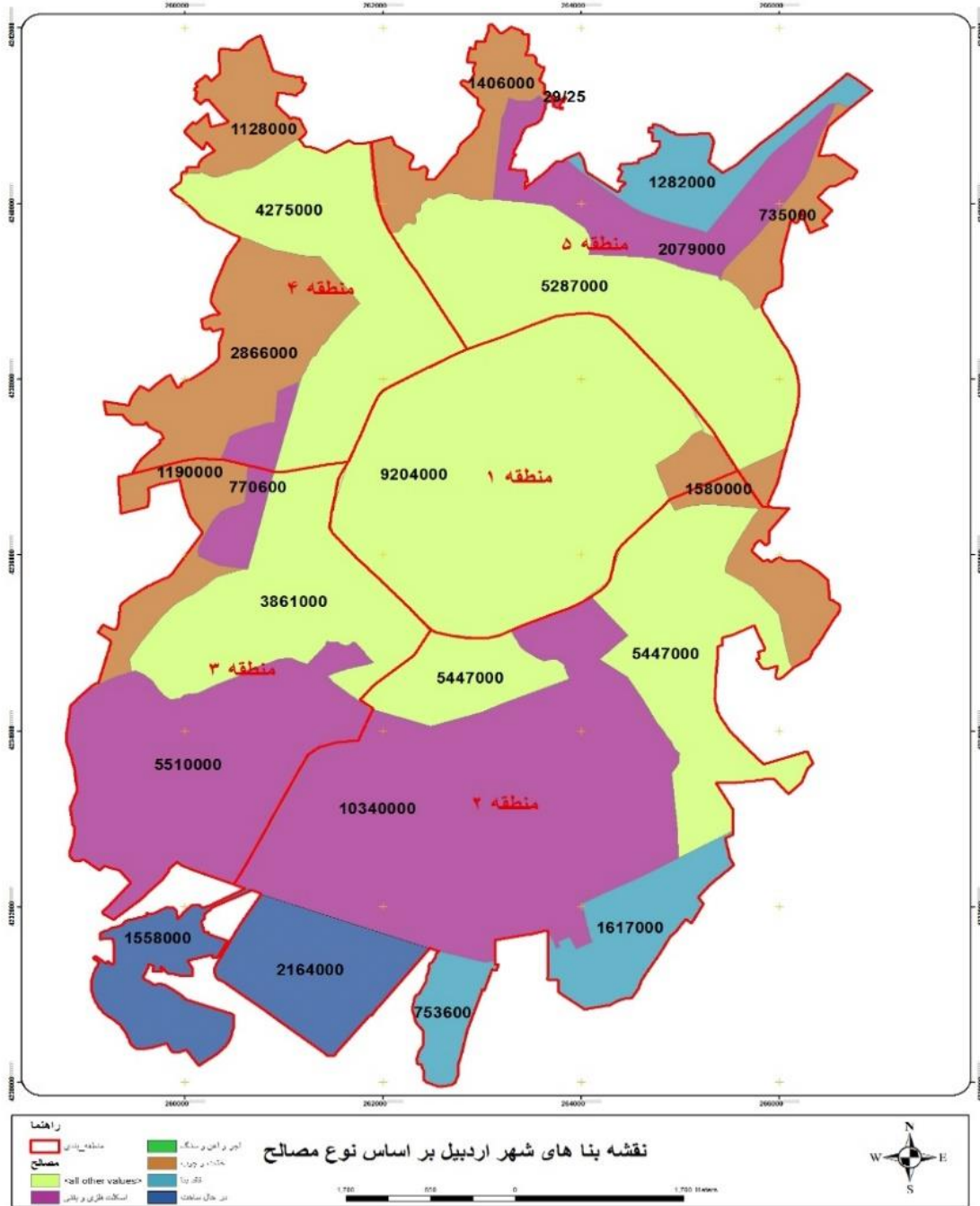
از جمله شاخص های مسکن که نمود عینی و بیرونی دارد، نوع مصالح مورد استفاده در ساخت مسکن و بررسی کیفیت ساختمان می باشد. به طور کلی ساختمان های شهر اردبیل از نظر کیفیت در سطح متوسطی قرار دارد و در دهه های گذشته بعد از مرکزیت استان قرار گرفتن، کیفیت ساخت و ساز در شهر اردبیل از سطح بالایی برخوردار گردیده است. به گونه ای که باتوجه آمار و اطلاعات شهرداری مرکزی در سال ۱۳۹۵ و نیز نمونه گیری و برداشت های میدانی، ساختمان های با کیفیت آلونک اندک بوده لیکن در بعضی از مناطق به خصوص مناطق حاشیه ای شهر مصالح و کیفیت بنا در حد قابل قبولی نمی باشد. از جمله این مناطق می توان به بخش شمال و شمال خاوری شهر به طرف سلمان آباد، میراشرف و کلخوران اشاره کرد.

۴-۱-۸-۱-۲ جنس مصالح واحدهای مسکونی

از کل واحدهای مسکونی معمولی در شهر اردبیل (۱۶۸۶۳۱ واحد در سال ۱۳۹۵) ۳۴۹۱۰ واحد مسکونی (۲۱ درصد) با آجر و آهن یا سنگ و آهن و همچنین ۶۹۴۶۳ واحد مسکونی (۴۱ درصد) از اسکلت فلزی و در ۶۴۲۵۸ واحد مسکونی (۳۸ درصد) از اسکلت بتون آرمه استفاده شده است.

بدین ترتیب مشاهده می گردد که واحدهای مسکونی ساخته شده از آجر و آهن یا سنگ و آهن در شهر اردبیل در اکثریت هستند.

لذا می توان گفت که در طول زمان عمده مصالح مصرفی برای ساخت واحدهای مسکونی در شهر اردبیل که ۲۱ درصد از ساخت واحدها را شامل می شود از جنس آجر و آهن یا سنگ و آهن بوده است. با توجه به نقشه وضعیت مصالح به کار رفته در بخش مرکزی شهر و در محلات طوی، پیرزرگر، سرچشمه و محلات اطراف خیابان امام و طالقانی مصالح عمده به کار رفته آجر و آهن و سنگ و آهن می باشد که در حدود ۲۷۰۰ مساحت (۴۶ درصد) از بافت پر شهر را شامل می شود. واحدهای مسکونی با اسکلت فلزی و بتونی بیشتر در نواحی جنوبی، جنوب باختر و جنوب خاور که بیشتر نوساز بوده و طبق طرح های آماده سازی در آنها وجود دارد. این نواحی که شامل اطراف دریاچه شورابیل، شهرک های کارشناسان، سیلان و غیره دیده می شود مساحتی در حدود ۱۶۰۰ هکتار (۲۸ درصد) را شامل می شوند. در نواحی حاشیه شهر که بیشتر بافت روستایی داشته و با گسترش شهر در دوره های گذشته و در توسعه های ناپیوسته به شهر متصل شده اند مصالح عمده به کار رفته اغلب آجر و چوب می باشد که در حدود ۱۵۰۰ هکتار بافت پر ساختمانی (۲۶ درصد) را شامل می شود.



شکل ۳-۴ بناهای شهر اردبیل از لحاظ نوع مصالح

۴-۱-۳-۸ کیفیت بنای ساختمان

در شهر اردبیل آب و هوای کوهستانی و سرد موجب شده که در ساخت مسکن شهر بیشتر از مصالح با دوام نظیر آجر و سنگ استفاده شود و کمتر از مصالح بی دوام و کم دوامی نظیر چوب و خشت استفاده گردد. طبق نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۷۷ درصد واحدهای مسکونی شهر اردبیل از مصالح بادوام (آجر و آهن یا سنگ و آهن و

اسکلت فلزی) ساخته شده‌اند که نسبت به سرشماری‌های قبلی تعداد واحدهای مسکونی بادوام افزایش داشته است. حدود ۱۸ درصد واحدهای مسکونی شهر اردبیل از مصالح کم‌دوام (آجر و چوب یا سنگ و چوب و بلوک سیمانی و تمام آجر یا سنگ آجر) و ۲ درصد نیز بی‌دوام (خشت و چوب یا تمام چوب) و بقیه نیز در آمارگیری اظهار نشده‌اند) باتوجه به نمونه-گیری و برداشت میدانی که در تابستان ۱۳۹۹ صورت گرفت، کیفیت این‌ها در شهر به ۳ دسته کلی تقسیم گردید:

الف) واحدهای مسکونی نوساز

ب) واحدهای مسکونی قابل استفاده

ج) واحدهای مسکونی فرسوده

کیفیت بنای ساختمان‌های شهر که نوساز هستند بیشتر در نواحی جنوبی شهر شامل نواحی آماده‌سازی شده از جمله شهرک کارشناسان، سیلان، شهرک آزادی، حافظ، مخابرات، دادگستری و غیره مشاهده می‌شود که مساحتی در حدود ۲۲۳۶ هکتار که ۳۸ درصد از کل شهر را در بر گرفته است. کیفیت این‌هاهایی که قابل استفاده بوده مساحتی در حدود ۳۲۳۹ هکتار (۵۵درصد) از بافت پر کل شهر را شامل می‌شود و در محلات مرکزی شهر از جمله محلات پیرزرگر، هفت‌تن، قاسمیه، بازار، طوی، حسینیه، حسینعلی، زینبیه و غیره مشاهده می‌شود. گروه سوم که واحدهای مسکونی فرسوده هستند تنها ۷ درصد از مساحت بافت پر شهر را شامل می‌شوند و در محلات عالی‌آباد، خیرآباد، یوسف‌آباد، نیار، بهارآباد و ... دیده می‌شوند.

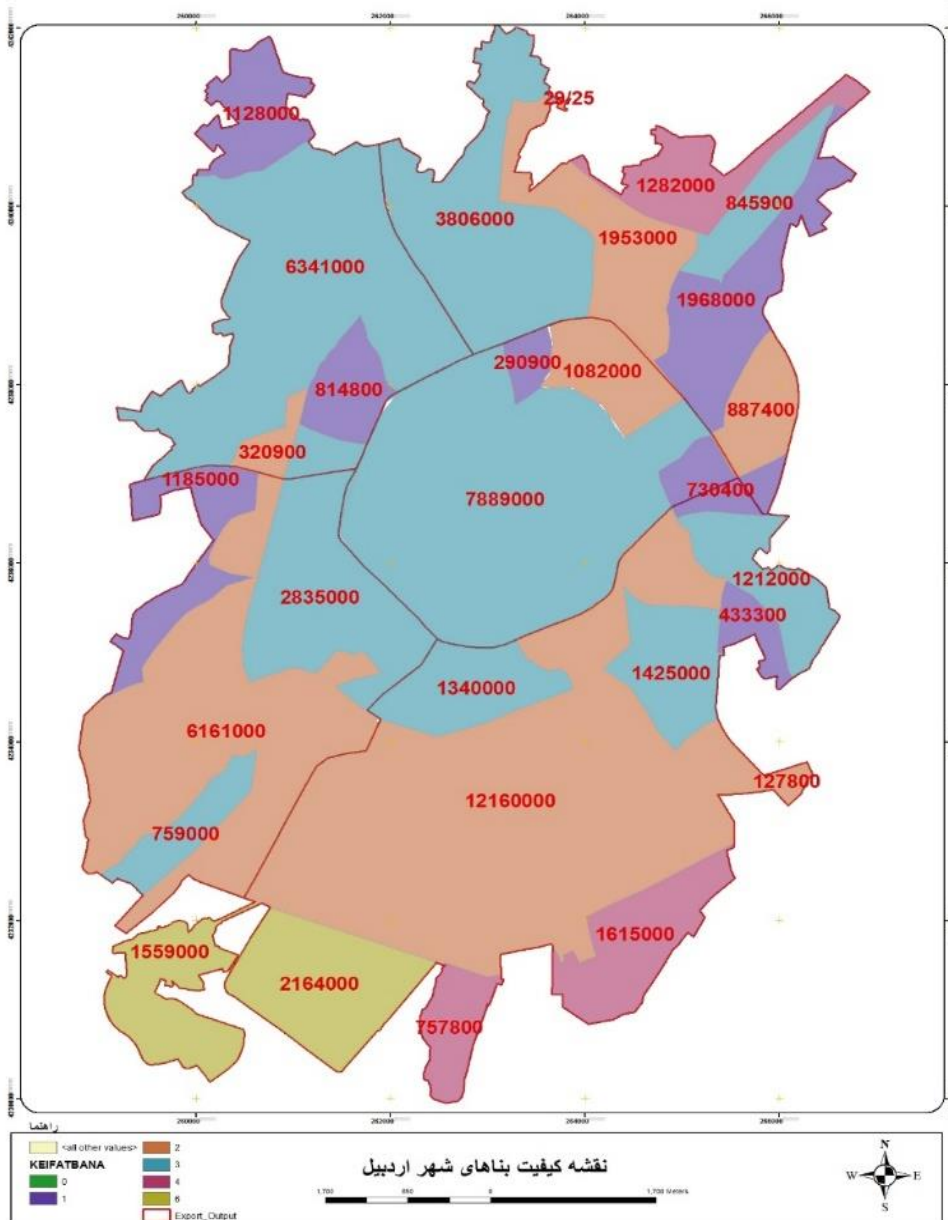
۴-۱-۱-۳-۱ کیفیت بنا با توجه به عمر شرایط اجرایی

کیفیت بنا و یا به عبارتی مقاومت فیزیکی بافت‌های فرسوده در محلات دارای قدمتی بیش از ۵۰ سال و یا در ۵۰ سال اخیر ساخته شده‌اند و از حداقل استانداردهای فنی برخوردار نیستند و عمدتاً قدرت مقاومت در برابر زمین لرزه با شدت متوسط را ندارند کیفیت بنا در مناطق پنج گانه شهر اردبیل چنین ارزیابی گردید:

- منطقه یک ۱۰۲۷۳۰۰ مترمربع بناها دارای وضعیت بد که نیاز به بازسازی و مقاوم سازی وسیع و ۷۸۸۹۰۰۰ مترمربع دارای وضعیت متوسط (نیاز به مرمت زیاد) و ۱۰۸۲۰۰۰ مترمربع دارای وضعیت خوب (قابل نگهداری) است.
 - منطقه دو ۳۹۷۷۰۰۰ مترمربع دارای وضعیت بد و ۴۳۳۳۰۰۰ مترمربع متوسط و ۱۲۲۸۷۸۰۰ مترمربع خوب است
 - منطقه سه ۳۵۹۴۰۰۰ مترمربع دارای وضعیت بد و ۱۱۸۵۰۰۰ مترمربع متوسط و ۶۱۶۱۰۰۰ مترمربع خوب است
 - منطقه چهار ۶۳۴۱۰۰۰ مترمربع دارای وضعیت بد و ۱۹۴۲۸۰۰۰ مترمربع متوسط و ۶۱۶۱۰۰۰ مترمربع خوب است
 - منطقه پنج ۴۶۵۱۹۰۰ مترمربع دارای وضعیت بد و ۲۸۴۰۴۰۰ مترمربع متوسط و ۱۹۶۸۰۰۰ مترمربع خوب است.
- ملاحظه می‌شود با توجه به میزان فرسودگی، عمر بالا، تخریب پذیری بناها، نحوه ساخت و ساز شهری، آسیب پذیری این بناها در برابر زمین لرزه متوسط و شدید احتمال خسارت جدی سازه‌ای دارند و باید نسبت به مقاوم سازی و با زسازی آنها اقدام فوری صورت گیرد تا از تلفات و خسارت‌های زیاد آتی جلوگیری به عمل آید (شکل ۴-۴).

۴-۱-۳-۲ اسکلت واحدهای مسکونی

ساختمان‌های مسکونی موجود در شهر از نظر مصالح ساختمانی براساس نتایج تفصیلی سرشماری عمومی در سال ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفته است. با در نظر گرفتن بتن، اسکلت فلزی و همچنین آجر و آهن به عنوان مصالح بادوام ۷۹ درصد ساختمان‌های موجود در شهر از مصالح بادوام و ۲۱ درصد ساختمان‌ها از نوع کم دوام تا بی-دوام (آجر و چوب با سنگ و چوب و همچنین خشت و چوب)



شکل ۴-۴ کیفیت بناهای شهر اردبیل

۴-۲ پیشینه نظری سناریوهای خطرپذیری زمین لرزه در مناطق شهری و کاربرد آنها در

شهر اردبیل

نخستین روش‌های مبتنی بر نمایه‌های آسیب‌پذیری به وسیله بنه‌دتی^۱ و پترینی^۲ (۱۹۸۴) پیشنهاد گردید، که داده‌های پیمایشی خسارت‌های گسترده ناشی از زمین‌لرزه‌های شدید در ایتالیا را مورد استفاده قرار دادند. در این روش‌ها، ساختمان‌های با نوع سازه یکسان به وسیله یک نمایه آسیب‌پذیری (VI) تفکیک می‌گردد. ATC-13 (۱۹۸۵) ساختمان‌ها را بر اساس نوع مواد یا سال ساخت آنها طبقه‌بندی نموده است. سپس گروه ملی برای دفاع در برابر زمین-لرزه^۳ (برنادینی^۴، ۲۰۰۰؛ GNDT، ۱۹۹۴) روشی را توسعه دادند که ضمن مشخص نمودن نوع ساختمان، رده آسیب-پذیری (به عنوان مثال A، B، C) آن را نیز تعریف می‌نماید (جیوینازی و لاگومارسینو^۵، ۲۰۰۲). متعاقباً، پروژه خطرپذیری اروپا (Risk-UE): "روشی پیشرفته برای سناریوهای خطرپذیری زمین‌لرزه با کاربرد در شهرهای مختلف اروپا" (موروکس و لبران^۶، ۲۰۰۶b، ۲۰۰۶a) روش‌های واکاوی خطرپذیری ویژه‌ای را برای اروپا توسعه دادند که در شهرهای بارسلون، بیتولا، بخارست، کاتانیا، نیس، صوفیه و تسالونیک پیاده گردید. اگرچه این روش‌ها جنبه‌های مشترکی دارند، اما با سایر روش‌های ترویج و پیشنهاد شده در سایر مناطق و کشورها از قبیل، مانند Hazus 99 (FEMA 1997; FEMA / NIBS 2002)، که برای استفاده در ایالات متحده طراحی گردیده، متفاوت است.

پروژه Risk-UE دو روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ارائه داده است: روش سطح ۱ (LM1)، که سناریوی لرزه‌ای را از نظر شدت مهلرزهای و مقاومت ساختمان‌ها را از نظر نمایه‌های آسیب‌پذیری V_I مورد بررسی قرار می‌دهد؛ روش سطح ۲ (LM2)، که رفتار لرزه‌ای را از نظر طیف پاسخ و مقاومت ساختمان‌ها را از نظر ظرفیت و منحنی‌های شکنندگی در نظر می‌گیرد. LM1، به نام روش نمایه آسیب‌پذیری^۷ (VIM) در این مقاله، تجربه مطالعات مربوط به خطرپذیری لرزه‌ای را بر اساس نمایه‌های آسیب‌پذیری، عوامل آسیب و ماتریس‌های احتمال خسارت جمع‌آوری می‌کند (DPM). این روش با الهام از و بر اساس مقیاس مهلرزهای اروپا (EMS-98) (گرونثال^۸، ۱۹۹۸) و مطالعه سناریوهای خطرپذیری را به روشی نسبتاً ساده امکان‌پذیر می‌سازد. VIM روش مورد استفاده در این مطالعه است که به طور خلاصه در زیر شرح داده می‌شود.

۴-۲-۱ روش نمایه آسیب‌پذیری (VIM-LM1)

بعد از پیشنهاد روش (LM1) VIM (لاگومارسینو و جیوینازی، ۲۰۰۶؛ موروکس و لبران، ۲۰۰۶a، ۲۰۰۶b) این روش در بسیاری از مناطق شهری در مقیاس منطقه‌ای و محلی اعمال گردیده است. به ویژه، در شمال خاوری اسپانیا، این روش در ناحیه سردانیا^۹ (گولا و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۸؛ ایزارد^{۱۱}، ۲۰۰۸) و کشور آندورا (گونزالز-دیزا^{۱۰}، ۲۰۱۰) به عنوان

1. Benedetti

2. Petrini

3. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti
(<https://emidius.mi.ingv.it/GNDT2/Menutree/Home.htm>).

4. Bernardini

5. Giovinazzi and Lagomarsino

6. Mouroux and Lebrun

7. vulnerability index method

8. Grünthal

9. Cerdanya

10. Goula et al.

11. ISARD (Información Sísmica Automática Regional de Daños)

بخشی از تحقیق در پروژه ISARD پیاده گردید. هر دو منطقه در حوزه پیرنه واقع شده‌اند. به طور عمده، روش VIM در شهرهای اروپایی و آفریقایی حوزه مدیریتانه انجام شده است. برخی از نمونه‌ها عبارت‌اند از: ارزیابی‌های انجام شده در شهرهای الحسیما و ایمزورن^۲ در مراکش (شریف و همکاران^۳، ۲۰۱۷)، شهرهای لورکا (توماس^۴، رودناس^۵، و گارسیا-آیلون^۶، ۲۰۱۷)، بارسلون (لاتتادا، پوجادس^۷، و باربات^۸، ۲۰۰۹a)، والنسیا (گواردیولا ویلورا^۹ و باست-سالوم^{۱۰}، ۲۰۱۵) و گرانا و ولز در جنوب اسپانیا (فریچ، ۲۰۱۲؛ فریچ و همکاران^{۱۱}، ۲۰۰۹). به علاوه، روش VIM در ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های فعلی موجود در مراکز تاریخی، مانند پروژه آنتائوس^{۱۲} (یووا و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۹) در استان فوجا^{۱۴} (پوگلیا، جنوب ایتالیا) و برای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های قدیمی بنایی واقع در مرکز تاریخی فارو (مایو^{۱۵}، ۲۰۱۶) و لیسبون (سیموئس و همکاران، ۲۰۱۶) در پرتغال استفاده شده است.

این مطالعات آسیب‌پذیری ساختمان‌ها را بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده توسط پیمایش‌های میدانی یا برگرفته از پایگاه داده‌های کاداستر برآورد نموده‌اند. این اطلاعات معمولاً شامل نوع سازه ساختمان، تعداد طبقات، نظم در هندسه افقی، ارتفاع و موقعیت ساختمان در مصالح دانه‌ای و کف نرم است. همچنین می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای/عکس‌های هوایی با وضوح بالا اطلاعات را استخراج نمود (دلاکوا^{۱۶}، لانز^{۱۷}، و پولی^{۱۸}، ۲۰۱۳). اخیراً توماس و همکاران (۲۰۱۱) بر اساس آسیب مشاهده شده در زمین لرزه ۲۰۱۱ لورکا (اسپانیا) اصلاح‌کننده‌های رفتاری جدیدی را پیشنهاد نموده‌اند. این ارزیابی‌ها منبع ارزشمندی از اطلاعات است که سرویس‌های حفاظت عمرانی ممکن است برای طراحی و بهبود برنامه‌های اضطراری خود در صورت وقوع زمین لرزه استفاده کنند.

۴-۲-۲ روش مبتنی بر طیف ظرفیت (CSBM-LM2)

سایر روش‌های ارزیابی آسیب لرزه‌ای مورد انتظار در ساختمان‌های موجود مبتنی بر روش طیف ظرفیت (CSM)^{۱۹} است (فریمن^{۲۰}، ۲۰۰۴). این روش رفتار لرزه‌ای را از نظر ۰.۵٪ طیف پاسخ میرایی؛ و کیفیت لرزه‌ای ساختمان‌ها، یعنی آسیب‌پذیری آن‌ها، با استفاده از طیف ظرفیت را در نظر می‌گیرد. طیف ظرفیت عبارت است از قالب شتاب-جابجایی

1. González-Díaz
2. Hoceima and Imzouren
3. Cherif et al
4. Tomas
5. Rodenas
6. Garcia-Ayllon
7. Pujades
8. Barbat
9. Guardiola-Víllora
10. Basset-Salom
11. Feriche et al
12. ANTAEUS
13. Uva et al
14. Foggia
15. Maio
16. Dell'Acqua
17. Lanese
18. Polli
19. capacity spectrum method
20. Freeman

منحنی‌های ظرفیت که با استفاده از تحلیل فشار شناخته شده بدست می‌آید. به طور خلاصه، این روش ضمن فراهم ساختن ارزیابی ساده و آسان از جابجایی طیفی یک زمین لرزه، با تعریف ۰.۵٪ طیف پاسخ میرایی، که در یک ساختمان معین تولید می‌شود، توسط طیف ظرفیت آن تعریف گردد. به علاوه، طیف ظرفیت اغلب برای تعریف منحنی‌های شکنندگی استفاده می‌شود (FEMA / NIBS 2002)، کمی‌سازی آسیب لرزه‌ای و خطر احتمالی را امکان‌پذیر می‌سازد. روش سطح ۲ (LM2) چهار حالت آسیب غیر تهی را در نظر می‌گیرد: کم، متوسط، گسترده و کامل. روش LM2 که در چارچوب پروژه Risk-UE اروپا ایجاد شده است مبتنی بر CSM است که در آن منحنی‌های شکنندگی به یک روش ساده از طیف ظرفیت دو خطی بدست می‌آیند (میلوتینویچ و ترندافیلوسکی ۲۰۰۳)، که با استفاده از نقاط بازده و ظرفیت نهایی تعریف می‌شوند (باربات و همکاران، ۲۰۰۶؛ لاگومارسینو و جیوینازی، ۲۰۰۶). این روش به دفعات برای ایجاد منحنی‌های شکنندگی برای ساختمان‌های شمال اروپا (لستوزی و همکاران^۱، ۲۰۱۷)، انواع مختلف ساختمان‌های جنوب اروپا، مطالعات در بارسلونا (باربات و همکاران، ۲۰۰۸) و مطالعه اخیر سیموئس و همکاران^۲ (۲۰۱۷) برای سه نوع ساختمان قدیمی بنایی در لیسبون مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۲-۴ LM2 یا LM1

روش‌های LM1 و LM2 به ترتیب به عنوان روش‌های تجربی و مکانیکی شناخته می‌شوند (لاگومارسینو و جیوینازی، ۲۰۰۶). روش تجربی LM1 در توصیف رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها، به عنوان نمایه آسیب‌پذیری معرف را می‌تواند برای هر ساختمان جداگانه، با استفاده از اصلاح کننده‌های ناحیه‌ای و ساختمان تعدیل نماید. بنابراین، یک کلاس اساسی خاص از ساختمان می‌تواند طیف گسترده‌ای از نمایه‌ها را پوشش دهد و از این رو، با توجه به مقیاس مهلرزه‌ای EMS-98، طیف گسترده‌ای از آسیب‌پذیری‌ها را دربرمی‌گیرد. روش LM1 می‌تواند به سرعت و به آسانی در مناطق وسیع شهری اعمال گردیده و در صورت تفسیر از دیدگاه احتمالی، سناریوهای بسیار معتبری تولید می‌کند. این روش به اطلاعات کمتری احتیاج دارد و ساده‌سازی‌های تقریبی ورودی لرزه‌ای و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد.

روش LM2 روشی است که در روش‌شناسی Hazus (FEMA / NIBS 2002) نیز به کار رفته و می‌تواند یک روش پیشرفته در نظر گرفته شود که شامل روش‌شناسی‌های جدید برای تجزیه و تحلیل آسیب‌ها و خطرپذیری لرزه‌ای در محله‌های بزرگ است. با این حال، LM2 مستلزم اطلاعات بیشتر و با کیفیت بالاتر در مورد رفتارهای لرزه‌ای و جزئیات ساختاری ساختمان‌ها است. برای بررسی رفتارهای لرزه‌ای، داده‌های شتاب مورد نیاز است. مدل‌های مکانیکی دقیق و برنامه‌های تحلیلی سازه‌ای ایستا غیرخطی در ساختمان‌ها نیز مورد نیاز است، که دبرگیرنده ساده‌سازی‌های مناسبی هستند. بنابراین، اگرچه LM2 یک روش توانمندی است، اما به مقدار زیادی داده با کیفیت بالا نیاز داشته و از نظر زمان محاسبه نیز گران است.

برای تصمیم‌گیری در مورد استفاده از LM1 یا LM2 در ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای یک منطقه لرزه‌ای شهری معین، در نظر گرفتن این موضوع که هر دو روش نتایجی با سطوح دقت مشابه ارائه نمایند که علی‌رغم اختلافات با هم

¹. Lestuzzi et al

². Simoes et al

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

ارتباط تنگاتنگی دارند، حائز اهمیت است. از لحاظ کاربرد عملی و اساسی، هر دو روش می‌توانند آسیب‌پذیرترین نقاط یک شهر و آسیب‌پذیرترین شهر را در میان گروهی از شهرها شناسایی کنند. با این حال، هنگام ارزیابی یک ساختمان واحد، LM2 ترجیح داده می‌شود، به خصوص در مورد بناهای حساس و میراث‌های فرهنگی.

در مورد سازگاری روش‌های LM1 و LM2، لانتادا، پوجانس و باربات (Pujades, Barbat, Lantada, 2009b) نتایج استفاده از هر دو روش را در بارسلون (اسپانیا) که در یک پهنه خطر لرزه‌ای کم تا متوسط واقع گردیده مقایسه نموده‌اند. تفاوت بین هر دو سناریو بسیار ناچیز بود، اما برای سناریوهای شدیدتر ممکن است تفاوت‌ها قابل توجه باشد (Lantada 2007). لستوزی و همکاران (Lestuzzi et al, 2016) همچنین نتایج را برای دو شهر در کانتون وال، که بالاترین لرزه‌خیزی را در داخل سوئیس دارد، مقایسه نمودند. اختلاف در نتایج نشان می‌دهد که ممکن است خسارت با استفاده از روش LM2 بیش از حد تخمین زده شود. برای شناسایی علل واقعی این اختلاف، با تمرکز بر کاربردها در مناطق با لرزه‌خیزی متوسط، تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. این دو مطالعه اتفاق نظر دارند که هر دو روش می‌توانند آسیب‌پذیرترین قسمت‌های یک شهر را شناسایی کنند، و هر دو نتایج کلی مطلوبی ارائه می‌دهند که همبستگی منطقی خوبی با ویژگی‌های اصلی محیط ساخته شده منطقه شهری مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۳-۴ داده‌ها و روش کار

۳-۴-۱ روش نمایه آسیب پذیری

روش LM1 تجربه مطالعات خطر لرزه‌ای را بر اساس نمایه‌های آسیب‌پذیری، توابع آسیب و ماتریس‌های احتمال خسارت (DPM) جمع‌آوری می‌کند، به طوری که سناریوهای خطر را می‌توان با روشی نسبتاً ساده بررسی نمود. لازم به یادآوری است که روش VIM رفتار لرزه‌ای را با استفاده از شدت کهلرزه‌ای تعریف می‌کند، یعنی با استفاده از یک پارامتر واحد.

جدول ۲-۴ شکل ساده‌شده (EMS-98) یا مقیاس مهلزهای اروپا (Grunthal, 1998:14)

شدت EMS	تعریف	خلاصه شرح اثرات مشاهده شده معمول
I	نامحسوس	احساس نمی‌شود حتی در مساعدترین شرایط
II	به سختی محسوس	فقط تعداد کمی از افرادی که در خانه در حال استراحت‌اند احساس می‌شود.
III	ضعیف	در داخل خانه توسط افراد معدودی احساس می‌شود. افراد در حالت استراحت تاب خوردگی یا لرزش خفیفی را احساس می‌کنند.
IV	تا حد زیادی قابل فهم	بسیاری از افراد در داخل خانه و اندک معدودی نیز در فضای باز احساس می‌کنند. شمار اندکی از افراد داخل ساختمان از خواب برمی‌خیزند. پنجره‌ها، درها و ظروف جرینگ جرینگ می‌کنند. اشیای آویزان نوسان پیدا می‌کنند.
V	شدید	بیشتر افراد در داخل خانه و تعداد اندکی در فضای باز احساس می‌کنند. شمار زیادی از افراد از خواب بیدار می‌شوند. تعداد کمی از مردم به بیرون فرار می‌کنند. ساختمان‌ها به کلی می‌لرزند. اشیای آویزان به طور قابل ملاحظه‌ای تاب می‌خورند. اشیای کوچک جابجا می‌شوند. درها و پنجره‌ها باز یا بسته می‌شوند.
VI	نسبتاً آسیب‌زا	بسیاری از افراد داخل ساختمان ترسیده و به بیرون فرار می‌کنند. بعضی از اشیای می‌افتند. آسیب‌های سطحی به بسیاری از ساختمان‌های معمولی وارد می‌گردد؛ برای مثال ترک‌های ریز بر روی گچ‌ها پدید می‌آید و قطعات کوچکی از گچ فرو می‌ریزد.

VII	آسیب‌زا	بیشتر افراد می‌ترسند و به بیرون فرار می‌کنند. اسباب اثاثیه جابه‌جا می‌شوند و تعداد زیادی از اشیاء از قفسه‌ها می‌افتند. بسیاری از ساختمان‌های معمولی آسیب‌های ملایمی می‌بینند: ترک‌های کوچک بر روی دیوارها، ریزش نسبی دودکش‌ها، ریزش گچ؛ بسیاری از آنها به خوبی ساخته شده‌اند؛ در ساختمان‌های قدیمی‌تر ممکن است ترک‌های بزرگی در دیوارها پدید آمده و دیوارهای میانقابی تخریب گردند.
VIII	شدیداً آسیب‌زا	ایستادن برای بسیاری از افراد دشوار است. در بیشتر خانه‌ها ترک‌های بزرگی در دیوارها پدید می‌آید. ترک‌های بزرگ بر روی دیوارهای معدود ساختمان‌های معمولی خوب ساخته شده پدید می‌آید، در حالی که سازه‌های ضعیف قدیمی‌تر ممکن است فرو بریزند.
IX	مخرب	وحشت عمومی. بسیاری از سازه‌های ضعیف فرو می‌ریزند. حتی بر ساختمان‌های معمولی خوب ساخته شده آسیب بسیار سنگینی وارد می‌گردد: شکست جدی دیوارها و خرابی جزئی سازه‌ای.
X	بسیار مخرب	بسیاری از ساختمان‌های معمولی خوب ساخته شده فرو می‌ریزند.
XI	ویرانگر	بیشتر ساختمان‌های معمولی خوب ساخته شده فرو می‌ریزند، حتی بعضی از ساختمان‌های با طراحی مقاوم در برابر زمین‌لرزه ویران می‌گردند.
XII	کاملاً ویرانگر	تقریباً همه ساختمان‌ها تخریب می‌شوند.

روش VIM به منظور نمایش و تعیین این که آیا یک ساختمان متعلق به یک طبقه آسیب‌پذیری خاص است یا نه، یک نمایه آسیب‌پذیری را معرفی می‌نماید. این روش از میانگین توابع آسیب‌پذیری نیمه‌تجربی استفاده می‌کند، که برای یک نمایه آسیب‌پذیری معین، به شدت مهلرزهای و خسارت مورد انتظار مربوط می‌گردد. به عبارت دیگر، این توابع آسیب به درجه میانگین آسیب به انواع آسیب‌پذیری، بر اساس شدت مهلرزهای و نمایه آسیب‌پذیری مربوط می‌گردد. روش DPM احتمال وقوع یک درجه آسیب مشخصی را تعریف می‌کند. در این روش، ماتریس‌های کیفی ارائه شده در EMS-98 با مدل‌سازی هر نوع آسیب‌پذیری از طریق توزیع بتا تولید می‌گردد، که به گونه‌ای تنظیم شده‌اند تا معادل توزیع دو جمله‌ای باشند.

۲-۳-۴ رفتار لرزه‌ای

رفتار لرزه‌ای با توجه به مقیاس مهلرزهای اروپا (EMS-98) در نظر گرفته شده است (جدول ۲-۱). سناریوهای زمین‌لرزه را می‌توان بر اساس زمین‌لرزه‌های احتمالی در منطقه مورد مطالعه انتخاب کرد. سناریوهای زمین‌لرزه قطعی یا احتمالی ممکن است مورد واکاوی قرار گیرند. 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، اما سناریوهای زمین‌لرزه‌ای دیگری نیز ممکن است انتخاب شوند. سناریوهای احتمالی به زمین‌لرزه‌های با احتمال رویداد از پیش تعریف شده مربوط می‌گردد. معمولاً زمین‌لرزه‌های با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله انتخاب می‌گردد، یعنی شدت مهلرز-ای با احتمال رویداد ۱۰٪ در هر ۵۰ سال. این زمین‌لرزه مشخصه اغلب در طراحی لرزه‌ای و ارزیابی خطرپذیری مورد استفاده قرار می‌گیرد و معمولاً در مقررات لرزه‌ای تعریف می‌شود.

برای هر دو نوع سناریو، قطعی و احتمالی، زمانی که مرکز زمین‌لرزه بیرون و یا دور از منطقه مورد مطالعه است، تاثیر میرایی شدت لرزه‌ای با فاصله بایستی مورد توجه قرار گیرد. خاک یا دیگر تاثیرات تقویتی نیز باید در نظر گرفته شود (لاتادا و همکاران، ۲۰۱۸، ۵).

۳-۳-۴ آسیب پذیری

روش های مبتنی بر نمایه آسیب پذیری در مقیاس های شدت مهلرزه ای ترسیم می گردند. در این پژوهش، روش VIM مبتنی بر مقیاس شدت EMS - 98 است (گرونهال، ۱۹۹۸). در مقیاس EMS-98، ساختمان ها با توجه به ویژگی های اصلی سازه ای شان طبقه بندی می شوند. چهار نوع ساختمان اصلی در نظر گرفته شده است: ساختمان های با مصالح بنایی، بتون آرمه (RC)، فولادی و سازه های چوبی. با توجه به نبود سازه های چوبی در شهر اردبیل، در این جا سه نوع سازه در نظر گرفته شده است (جدول ۴-۵).

آسیب پذیری نیز به شش رده آسیب پذیری، از حروف A تا F، تنظیم گردیده که در آن کلاس A آسیب پذیرترین و F نیز کم آسیب ترین رده محسوب می گردد. ساختمان های مختلف از یک نوع ممکن است بسته به نوع مواد خاص، سازه و یا کیفیت ساخت و ساز، به رده های آسیب پذیری مختلفی تعلق داشته باشند. محتمل ترین رده و احتمال و کم احتمال ترین دامنه آسیب پذیری نیز تهیه شده است. درجات آسیب نیز بدین صورت در نظر گرفته شده است: ۰. بدون آسیب، ۱. اندک، ۲. متوسط، ۳. شدید، ۴. خیلی شدید، و ۵. ویرانی. سپس، آسیب مورد انتظار به روشی مبهم و نادرست توصیف می شود. به عنوان نمونه، یک جمله نوعی در مقیاس EMS-98، برای شدت VIII، که با آسیب دیدگی شدید مشخص می گردد، عبارت است از: "بسیاری از ساختمان های رده آسیب پذیری C که آسیب درجه ۲ را متحمل می شوند؛ اندکی از درجه ۳". از آنجا که خسارت مورد انتظار در تمام شدت ها و همه رده های آسیب پذیری مشخص نشده است و تعاریف کمیت به روشنی ارائه نگردیده، در مقیاس EMS-98 آسیب پذیری و آسیب های مورد انتظار در یک مقیاس کیفی، و روش پراکنده و ناقص تعیین می گردد (جدول ۴-۳ و ۴-۴).

جدول ۳-۴ طبقه بندی مورداستفاده در مقیاس مهلرزه ای اروپا (EMS). تفکیک سازه ها (ساختمان ها) به طبقه های آسیب پذیری (Grünthal, 1998: 14)

طبقه بندی آسیب پذیری						نوع سازه
F	E	D	C	B	A	
					0	قلوه سنگ تراشیده
					— 0	خشتی
					0.....	سنگ ساده
			..... 0			سنگ حجیم
			..... 0			غیر مسلح، همراه با قطعه های سنگی تراشیده شده
			— 0			غیر مسلح، همراه با کف های اتاق های بتنی مسلح
			..... 0			مسلح شده با اسکلتی
			..... 0	.....		قاب بتنی مسلح، بدون طراحی برای مقاومت در برابر زمین لرزه
			— 0	.....		قاب بتنی مسلح با سطح متوسطی از ERD
			— 0	.....		قاب بتنی مسلح با سطح بالایی از ERD
			— 0	.....		دیوارهای بتنی مسلح بدون ERD
			— 0	.....		دیوارهای بتنی مسلح با سطح متوسطی از ERD
			— 0	.....		دیوارهای بتنی مسلح با سطح بالایی از ERD

¹. reinforced concrete

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

— 0 —.....	سازه های فولادی	فولادی
— 0 —.....	سازه های چوبی	چوبی

0 محتمل ترین طبقه آسیب پذیری؛ — دامنه احتمال؛ دامنه با احتمال کمتر، موارد استثنائی

جدول ۴-۴ تعیین شدت بر اساس درصد خرابی و طبقه بندی آسیب پذیری ساختمان ها بر اساس مقیاس EMS98

شدت	آسیب	رده A (درصد)	رده B (درصد)	رده C (درصد)	رده D (درصد)	رده E (درصد)
VI	درجه ۱	۶۰-۲۰	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-	-
	درجه ۲	۲۰-۰	۲۰-۰	-	-	-
VII	درجه ۱	-	-	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-
	درجه ۲	-	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-	-
	درجه ۳	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-	-	-
	درجه ۴	۲۰-۰	-	-	-	-
VIII	درجه ۲	-	-	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-
	درجه ۳	-	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-	-
	درجه ۴	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-	-	-
	درجه ۵	۲۰-۰	-	-	-	-
	درجه ۲	-	-	-	۶۰-۲۰	۲۰-۰
IX	درجه ۳	-	-	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-
	درجه ۴	-	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-	-
	درجه ۵	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-	-	-
	درجه ۲	-	-	-	-	۶۰-۲۰
	درجه ۳	-	-	-	-	۲۰-۰
X	درجه ۴	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-	-	-
	درجه ۵	۱۰۰-۶۰	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-	-
	درجه ۲	-	-	-	-	۶۰-۲۰
	درجه ۳	-	-	-	-	۲۰-۰
	درجه ۴	-	-	-	-	۶۰-۲۰
XI	درجه ۲	-	-	-	-	۶۰-۲۰
	درجه ۳	-	-	-	-	۲۰-۰
	درجه ۴	-	-	۱۰۰-۶۰	۶۰-۲۰	-
	درجه ۵	-	۱۰۰-۶۰	۶۰-۲۰	۲۰-۰	-
XII	درجه ۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰

بر اساس این پیش زمینه (گرانفال، ۱۹۹۸) و مطالعات تکمیل شده به عنوان بخشی از پروژ خطرپذیری اروپا (Risk-UE)، (گیوینازی^۱، ۲۰۰۵؛ گیوینازی و لاگومارسینو^۲، ۲۰۰۲؛ میلوتینوویچ و ترندافیلوسکی، ۲۰۰۳)، لاگومارسینو و گیوینازی (۲۰۰۶) روش VIM را پیشنهاد نمودند که روشی توانمند برای ارزیابی خسارت و خطرپذیری لرزه ای مورد انتظار در مناطق شهری به روش ساده است. پیش فرض پیروی آسیب مورد انتظار از توزیع دوجمله ای، مسئله ناتمام و ناقص را حل نموده و تهیه ماتریس های احتمال خسارت (DMP) برای هر رده ساختمان و هر شدت مهلرزه ای را می-

^۱. Giovinazzi
^۲. Lagomarsino

تواند کامل نماید. علاوه بر این، نظریه فازی عناصر امکان کنترل جهت های پخش را فراهم می سازد. رده آسیب پذیری ویژه که یک ساختمان خاص به آن تعلق دارد، اکنون توسط یک نمایه آسیب پذیری تعریف شده است. این نمایه آسیب-پذیری به گونه ای بهنجار شده است که مقادیر بین صفر (کمترین آسیب پذیری) و ۱ (بیشترین آسیب پذیری) را به خود می گیرد. مقادیر فرین زیر صفر و بالای ۱ برای ساختمان های آسیب پذیر یا تقویت شده ویژه مجاز است. کتابچه های راهنمای فنی Risk-UE (میلوتینوویچ و ترندافیلوسکی، ۲۰۰۳) و برنامه های کاربردی عملی VIM (لاتنادا، ۲۰۰۷) مقادیر کافی از نمایه های آسیب پذیری را برای ساختمان های موجود در ماتریس های گونه شناسی ساختمان های ویژه (BTMs) پیشنهاد نموده اند. در حقیقت، این نمایه های آسیب پذیری به مقادیر یک پارامتر عضویت، χ ، از رده های آسیب پذیری مقیاس EMS-98 مربوط می شود: χ شامل مقادیر بین ۱، کل عضویت؛ و صفر، عدم عضویت؛ را دربر می گیرد.

جدول ۵-۴ این نمایه های آسیب پذیری (VI) را برای ساختمان های شهر اردبیل را نشان می دهد BTM^{VI} *
 $(\chi = 1)$ محتمل ترین مقدار است، $(\chi = 0.5)$ $[-BTM^{VI} + BTM^{VI}]$ ، فاصله ای را نشان می دهد که در آن نمایه های آسیب پذیری احتمالی یافت می شود، و $(\chi = 0.2)$ $[min, BTM^{VI} \max, BTM^{VI}]$ کمینه و بیشینه مقادیر ممکن را تعریف می کند. نکته جالب توجه این است که این روش طرح ها و دستورالعمل هایی را برای شش محدوده نمایه آسیب پذیری، همانطور که در اینجا پیشنهاد شده است، ارائه می دهد و یا برای واسنجی موارد جدید، کمیت و کیفیت اطلاعات موجود، و همچنین ویژگی های خاص ساختمان هایی که مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند را بررسی می نماید. بنابراین، هر ساختمان با استفاده از یک نمایه آسیب پذیری خاص، که از یک نمایه اصلی، BTM^{VI} * در جدول ۵-۴، به دست می آید، و اصلاح کننده های مناسب مشخص می شود، به گونه ای که می توان این مقدار مرکزی را با قدمت، ویژگی های هندسی، موقعیت و سایر خصوصیات مکانیکی خاص ساختمان، در محدوده مقادیر مجاز محتمل و ممکن تطبیق داد. به طور خاص، در این مطالعه، اصلاح کننده های ناحیه ای و رفتاری در نظر گرفته شده است.

جدول ۵-۴ گونه شناسی سازه ای و رده های آسیب پذیری در شهر

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

اصلاح کننده نخست اجازه می دهد تا آیین نامه های ساخت و دستورالعمل های لرزه ای در ناحیه در زمان ساخت ساختمان، لازم الاجرا گردد، در حالی که اصلاح کننده رفتاری، سهم نمایه آسیب پذیری ویژگی های مخصوص ساختمان (اصلاح کننده ساختمان) و سایر ویژگی های مربوط به موقعیت آن در یک بلوک یا مجتمع (اصلاح کننده مکانی) را در نظر می گیرد. اصلاحات بیشتر نمایه آسیب پذیری VI از اصلاح کننده های رفتاری حاصل می شود، که برای ارزیابی نمایه آسیب پذیری جهانی هر ساختمان به شرح زیر استفاده می شود:

$$V_I^{building} = V_I^{class} + \Delta M_R + \sum_{j=1}^n V m_j \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن V_I^{class} نمایه آسیب پذیری مربوط به رده ساختمان است، ΔM_R یک اصلاح کننده ناحیه ای است که ویژگی های ناحیه یا دوره ساختمان را در نظر می گیرد، در حالی که V_{mj} عوامل آسیب پذیری یا اصلاح کننده های رفتاری هستند که دیگر جنبه های ساختمان تأثیرگذار بر رفتار لرزه ای آن را شامل می شود و $V_I^{building}$ نمایه آسیب پذیری نهایی ساختمان است (لانتادا، ۲۰۰۷). جدول ۲ نمایه آسیب پذیری V_I^{class} اصلاح شده با ΔM_R مبتنی بر ملاحظات مقاومت در برابر زمین لرزه و تغییرات آئین نامه های لرزه ای کشور را نشان می دهد. این ساختمان ها به دوره های مختلف سنی طبقه بندی شده اند. لازم به یادآوری است که تقریباً ۲۱٪ ساختمان های شهر اردبیل پیش از نخستین آئین نامه لرزه ای کشور (PGS-1 1968) ساخته شده است. متوسط سال ساخت ساختمان ها برای کل شهر ۲۸ سال تعیین گردیده است. در معادله ۱ دو نوع اصلاح کننده رفتاری V_{mj} در نظر گرفته شده است: ۱: اصلاح کننده های ساختمان و اصلاح کننده های مکانی. اصلاح کننده های ساختمان به ساختمان مجزا اشاره می کنند و خصوصیات کمی از قبیل تعداد طبقات، طول نما، وضعیت حفاظت، بی نظمی افقی را که بر اساس نسبت فشردگی ساختمان بنا شده است، تعیین می کنند (Udwin, 1981)، و بی نظمی عمودی که به مناطقی با تعداد طبقه مختلف در ساختمان بستگی دارد. اصلاح کننده های مکانی ویژگی های ساختمان را با توجه به مجموعه ای که به آن تعلق دارند، در نظر می گیرند. بنابراین، به عنوان مثال، اختلاف ارتفاع بین ساختمان های مجاور، و همچنین موقعیت آن ها در مجموعه یا بلوک هایی را که به آن ها تعلق دارند، در نظر گرفته می شود. به ویژه، این اصلاح کننده با تحت تاثیر قرار دادن ساختمان های نبشی و ساختمان هایی را که در انتهای یک مجموعه قرار دارند، نمایه آسیب پذیری آن ها را به ترتیب بین واحدهای ۰،۰۴ و ۰،۰۶ افزایش می دهد. نمایه های آسیب پذیری ساختمان های بنایی مقادیر مختلفی از ۰،۷ تا تقریباً واحد را نشان می دهند، با میانگین ۰،۸۷، در حالی که در ساختمان های بتن آرمه کوچکتر بوده و از ۰،۴ تا ۰،۸۵ (مقدار میانگین ۰،۶۵) متغیر هستند.

جدول ۴-۶ اصلاح کننده های رفتاری مورد استفاده برای ساختمان های بتن آرمه و بنایی

عوامل رفتاری	پارامترها	گستره
- ارتفاع یا	بنایی	-۰/۰۲
تعداد طبقات		+۰/۰۲
		+۰/۰۶
	بتن آرمه	-۰/۰۴
		۰
		+۰/۰۸
- میزان حفاظت		-۰/۰۴
		+۰/۰۴
- بی نظمی های افقی	.....	+۰/۰۴
- بی نظمی های عمودی	.....	+۰/۰۲
- تعدیل کننده مکانی:	میانی	-۰/۰۴
موقعیت	گوشه ای	+۰/۰۴
	نبش	+۰/۰۶
- تعدیل کننده مکانی:	تفاوت در ارتفاع	+۰/۰۲
ارتفاع	کمتر از ۲ طبقه	-
	تفاوت در ارتفاع	-۰/۰۴
	۲ طبقه و بیشتر	+۰/۰۴

جدول ۴-۶ اصلاح کننده‌های رفتاری اتخاذ شده برای ساختمان‌های بتن آرمه و بنایی در این پژوهش را نشان می‌دهد، که ساختمان‌های غالب شهر اردبیل را نشان می‌دهند. اصلاح‌کننده‌ها و مقادیر و دامنه‌های ویژه‌شان پس از اعمال نظرات کارشناسان، بعد از بحث و تبادل نظر با متخصصانی همچون معماران و مهندسان عمران صاحب‌نظر در محیط ساخت و ساز 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 ۱۹۴۰، و ۰/۰۸۸ - برای ساختمان‌های ساخته شده بعد از ۱۹۹۴ اختیار می‌کند. اصلاح‌کننده رفتاری شامل اصلاح‌کننده ساختمان و اصلاح‌کننده مکانی است. اصلاح‌کننده رفتاری ویژگی‌های خاص ساختمان، از جمله مواردی که مربوط به تعداد طبقات، ارتفاع و بی‌نظمی‌های پلان و وضعیت حفظ یا نگهداری آن است. به دلیل این که این اصلاح‌کننده، نمایه آسیب‌پذیری 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 دارند، یک ساختمان نبش فقط یک ساختمان مجاور دارد.

۴-۳-۴ آسیب فیزیکی

در مورد آسیب فیزیکی مورد انتظار، به محض تکمیل ماتریس‌های احتمال آسیب (DPM)، اگر:

$$p_j = P(j | I, VI) \text{ احتمال درجه آسیب } j \text{ باشد، برای یک شدت مشخص، } I, \text{ و یک نمایه آسیب پذیری } VI.$$

در این صورت میانگین درجه آسیب به شکل رابطه

زیر تعریف می‌گردد:

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

گیویننازی (۲۰۰۵) یک تابع آسیب نیمه تجربی مرتبط با شدت مهلهزه‌ای (I)، نمایه آسیب‌پذیری (VI)، و میانگین درجه آسیب (μD) را تنظیم نموده است. معادله زیر این توابع آسیب را تعریف می‌کند:

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

شکل ۴-۵ چند نمونه از این تابع را برای انواع ساختمان‌های شهر اردبیل نشان می‌دهد. مقدار متوسط، یعنی محتمل‌ترین نمایه آسیب‌پذیری برای ترسیم این منحنی‌ها استفاده شده است (جدول ۴-۵).

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 بود. تابع چگالی احتمالی (pdf) توسط معادله زیر به دست آمده است:

$$P_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(q)\Gamma(t-q)} \frac{(x-a)^{q-1}(b-x)^{t-q-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x < b \quad \text{رابطه ۳:}$$

در این معادله $\Gamma(\cdot)$ تابع گاما و 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 q و t توزیع بتا را پیوند می‌دهد (ترندافیلوسکی و میلوتینویچ، ۲۰۰۳).

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

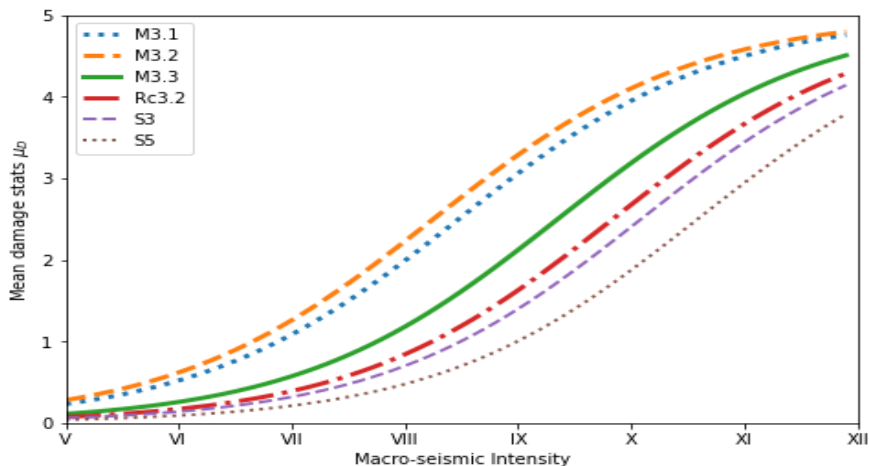
احتمال، $P_{\beta}(x)$ ، که در آن مقدار آسیب کمتر یا برابر با x است به وسیله انتگرال بین a و x تعریف شده در pdf معادله (۱) تعیین می‌گردد؛ به این معنا که:

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

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

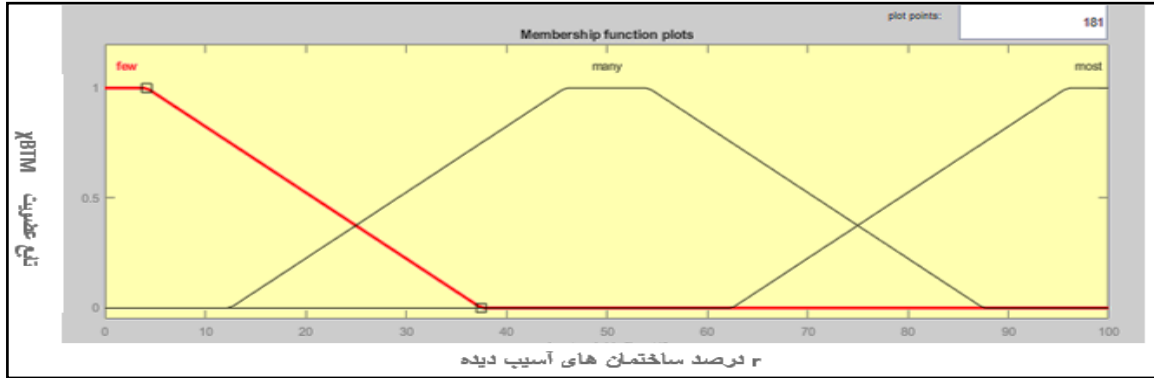
$$P_k = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k) \quad k = 0, \dots, 5 \quad \text{رابطه ۶:}$$

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

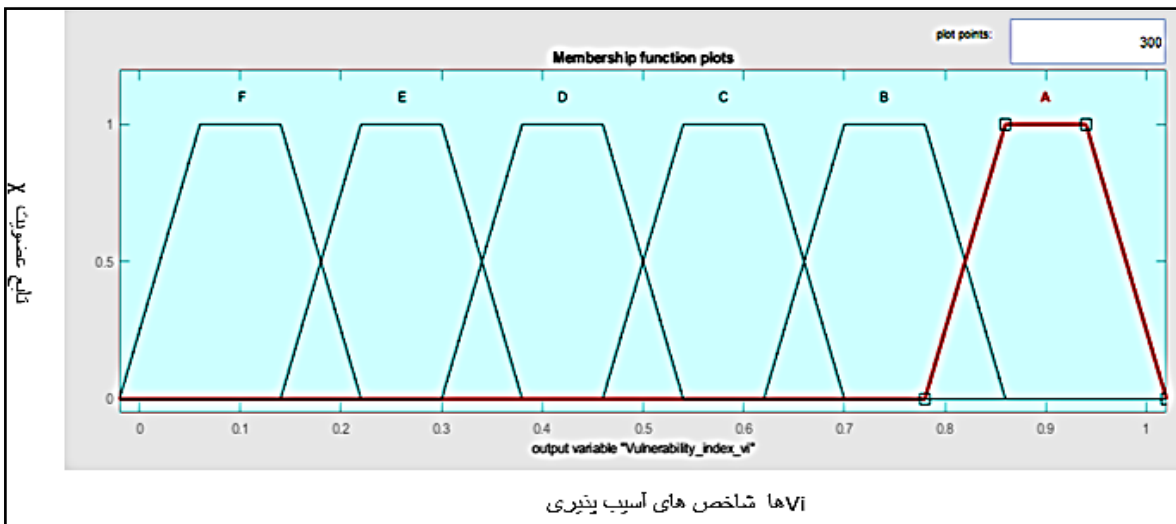


ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

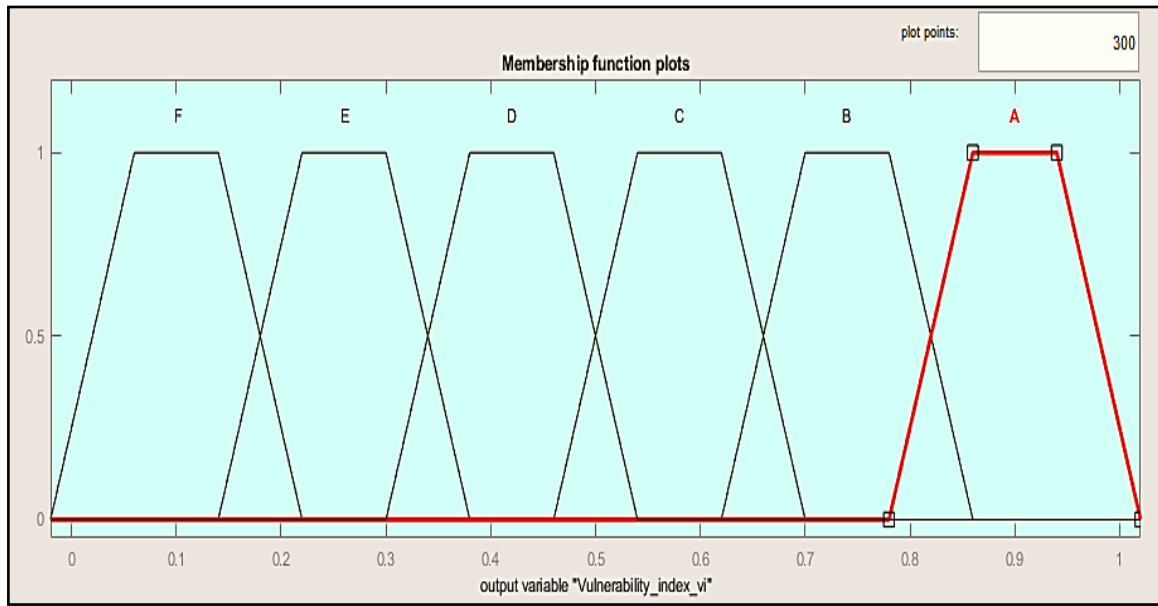
شکل ۴-۵: توابع آسیب نیمه تجربی برای انواع ساختمان های شهر اردبیل که با استفاده از رابطه ۲ ترسیم گردیده است. برای ترسیم این منحنی، مقدار مرکزی (BTMVI*)، محتمل ترین نمایه آسیب پذیری، مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۴-۵).



شکل ۴-۶: نمودار تابع عضویت برای کمیت های کم، متوسط و زیاد ساختمان های شهر اردبیل



شکل ۴-۷: تابع عضویت شاخص های آسیب پذیری ساختمان های شهر اردبیل



شکل ۴-۸ قطعات تابع عضویت شاخص های آسیب پذیری ساختمان های شهر اردبیل

به غیر از جنبه آسیب فیزیکی، در این پژوهش دیگر جنبه های آسیب پذیری زیر عنوان **اثرات آسیب رسان دیگر** مورد بررسی قرار گرفته است که در زیر به این جنبه ها اشاره می گردد. احتمالات درجات آسیب، ۳، ۴ و ۵، که با عناوین شدید، بسیار شدید و ویران مشخص گردیده اند، برای ارزیابی سایر اثرات ناشی از آن مانند آسیب به جمعیت، حجم آوار و هزینه اقتصادی آسیب های فیزیکی ضروری است. توجه داشته باشید که هزینه اقتصادی در اینجا به عنوان هزینه تعمیر تعریف شده است. بدیهی است که برای برنامه ریزی و مدیریت اضطراری شناختن این قبیل اثرات حاصله بسیار حیاتی است. در ادامه به تشریح چگونگی ارزیابی این عوامل اصلی پرداخته شده است.

۴-۳-۱ آسیب به جمعیت

تعداد تلفات انسانی در بین جمعیت، از جمله، آسیب دیده گان، جانبخته گان و یا بی خانمان ها در اثر زمین لرزه، به طور مستقیم به آسیب فیزیکی متحمل شده بر ساختمان هایی مسکونی دارای سکنه، مربوط می گردد. در این مطالعه از برای برآورد این قبیل موارد حساس از مدل تلفات استفاده شده است. داده های اصلی مورد نیاز عبارتند از: احتمال وقوع یک حالت آسیب، تراکم و پراکنش جمعیت در زمان وقوع زمین لرزه است. شناخت یا برآورد تعداد افراد در هر ساختمان آسیب دیده بسیار مهم است. این تعداد نه تنها به تعداد ساکنان و تعداد سکونتگاه ها بستگی دارد، بلکه به فصل سال، روز هفته و زمان وقوع زمین لرزه نیز بستگی دارد. جزئیات مربوط به برآورد پراکنش تلفات انسانی با توجه به نوع ساختمان، نوع زمین لرزه و زمان وقوع آن توسط واکارایانو و همکاران^۱ به روشنی شرح داده شده است. (۲۰۰۴)

^۱. Vacareanu et al

با توجه به نوع ساختمان و فهرستی از تلفات، کوبورن^۱ و اسپنس^۲ (۱۹۹۲، ۲۰۰۲)، تعداد مربوط به تلفات (KS) را به صورت زیر مدل سازی نموده اند:

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

رابطه ۷:

که در آن C تعداد ساختمان های فروریخته است که حاصل ضرب تعداد ساختمان های رده در نظر گرفته شده با احتمال مربوط به حالت آسیب کامل است. توجه داشته باشید که برای اهداف برآورد تلفات، قابل درک است که آسیب کامل مربوط به درجه ۴، بسیار شدید، و درجه ۵، ویران، به گونه ای است که احتمال مورد استفاده برای برآورد تعداد ساختمان های ویران شده، مجموع احتمالات آسیب درجات ۴ و ۵ 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 افتاده اند. بنابراین، حاصل M1، M2، M3، تعداد افرادی است که در اثر زمین لرزه در ساختمان آسیب دیده گرفتار شده اند. 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 شده ای را به دست می دهد که متحل هر نوع آسیب گردیده اند. M5 فقط در مورد افراد متوفی مقادیر غیر از صفر را در نظر می گیرد. در این حالت، M4 تعداد کشته شدگان ناشی از فروریختگی ساختمان را به طور مستقیم نشان می دهد و M5 نیز امکان مرگ و میر پس از هر زمین لرزه را می پذیرد.

برای ساختمان های بنایی و بتن آرمه، مقادیر (جدول ۳) بر اساس پیشنهاد های واکارنو و همکاران (۲۰۰۴) و کوبورن و اسپنس (۱۹۹۲) انتخاب گردید. این مقادیر مربوط به زمین لرزه ای است که در طول شب یکی از روزهای هفته رخ داده است، با پیش فرض همزمانی با بیشترین نرخ اشغال ساختمان های مسکونی. توجه داشته باشید که مقادیر مختلف M4 را با توجه به شدت جراحات و همچنین توان آسیب زیاد ساختمان های بتون آرمه در مقایسه با ساختمان های بنایی تعیین گردیده است.

جدول ۴-۷ مقادیر انتخابی برای پارامترهای معادله ۱

پارامترهای مورد نیاز برای برآورد تلفات انسانی						
M4 (%)						
گونه شناسی ساختمان	M2 (%)	M3 (%)	آسیب دیدگی اندک	آسیب دیدگی هایی که مستلزم بستری شدن در بیمارستان هستند	آسیب دیدگی - مرگ و میر	M5 (%)
بنایی تقویت نشده	۸۰	۵	۳۰	۳۰	۲۵	۱۵
بتون آرمه	۸۰	۵۰	۱۰	۴۰	۴۰	۹۰

علاوه بر تعداد افرادی که ممکن است جان خود را از دست بدهند یا انواع مختلفی از جراحات را متحمل شوند، جنبه مهم دیگر یک خطر تعداد افرادی است که خانه های خود را از دست می دهند. این تعداد رقمی است که هنگام طراحی

^۱ . Coburn

^۲ . Spence

برنامه‌های اضطراری و راهبردهای بازیابی بایستی در نظر گرفته شود، زیرا باید مکان‌هایی برای اسکان این افراد برای یک دوره خاص، گاه طولانی، فراهم شود. هنگامی که سطح تخریب یک ساختمان به گونه‌ای باشد که قابلیت کاربری عادی به عنوان یک خانه مسکونی را از دست بدهد، در چنین حالتی ویران و یا غیرمسکونی در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه مدل پیشنهادی، بر اساس مدل کوبورن و اسپنس، (۲۰۰۲)، هنگامی که درجات آسیب ساختمان برابر یا بیشتر از ۳ باشد (آسیب سنگین یا شدید) به عنوان قابل سکونت مدنظر قرار گرفته است، زیرا فرض بر این است که این درجه آسیب، کاربری ساختمان را به عنوان یک مسکن و سرپناه از کار می‌اندازد. به طور خاص فرض بر این است که ۹۰ درصد مسکن در ساختمان‌هایی که دچار خسارت سنگین می‌شوند، درجه ۳، و ۱۰۰ درصد از آن‌هایی که متعلق به ساختمان‌هایی با خسارت کامل هستند (نمرات ۴ + ۵) قابل سکونت نیستند. تعداد افراد بی خانمان در یک ساختمان i با گونه‌شناسی t (Nph_{it}) به شرح زیر است:

$$Nph_{it} = Npv_{it} \cdot Nviv_{it} [0.9P_{it}(Severe) + P_{it}(Complete)] \quad \text{رابطه ۸:}$$

که در آن Npv_{it} تعداد افراد ساکن در ساختمان i با گونه‌شناسی t است، $Nviv_{it}$ تعداد مسکن در ساختمان است و P_{it} (شدید) و P_{it} (کامل) به ترتیب احتمالات حالت‌های آسیب شدید و کامل را نشان می‌دهند. بنابراین، مقدار $[Nviv_{it} (0.9P_{it} + P_{it})]$ (شدید) (کامل) تعداد مسکن در ساختمان i نوع t را تعریف می‌کند که غیرقابل استفاده شده‌اند. لازم به یادآوری است که برای استفاده از این مدل، تنها چهار حالت آسیب در نظر گرفته شده است، زیرا در معادله (۸) 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. علاوه بر این، این چهار حالت آسیب در روش‌های CSBM یا LM2 استفاده می‌شود.

۴-۳-۲ هزینه اقتصادی

هزینه اقتصادی یک بلا، پارامتر مهم دیگری است که ارزیابی آن چندان آسان به نظر نمی‌رسد. بدیهی است که تأثیر مالی بلایی همانند زمین لرزه فراتر از هزینه جایگزینی کالاهای آسیب دیده است و شامل، در میان بسیاری از عوامل دیگر، تأثیر بحران‌های لرزه‌ای بر فعالیت‌های تولیدی، بهبود وضعیت عملکرد شرکت‌ها و مؤسسات مالی و احیای نرخ رشد اقتصادی پیش از بحران است. با این حال، علی‌رغم نرخ‌هایی که توسط شرکت‌های بیمه به عنوان جبران آسیب فیزیکی به افراد، از جمله مرگومیر، تعیین شده است، ارزیابی هزینه اقتصادی بهبودی مصدومین و به ویژه هزینه اقتصادی مرگومیرها مناسب نیست. با این وجود، این اجماع گسترده وجود دارد که ابعاد یک بلا مستقیماً به هزینه اقتصادی آن مربوط می‌گردد. در این بخش، رویکردی برای برآورد مالی ارائه شده است. رویکرد کمی تنها هزینه جابجایی ساختمان‌های آسیب دیده از جمله سازه و محتویات را ارزیابی می‌کند. حتی این ساده‌سازی موثر در ارزیابی ارزش مالی سناریوی زمین لرزه بدون مشکل نیست، زیرا این امر بر اساس آنچه که به عنوان "هزینه جایگزینی" شناخته می‌شود، استوار است.

هزینه مقاومت سازی ساختمان های آسیب دیده به میزان تخریب آن ها بستگی دارد. کلیه درجات یا حالت های آسیب، به غیر از صفر، کم و بیش در برآورد ابعاد تخریب ساختمان ها نقش دارند و از این رو، در ضرر اقتصادی نیز تأثیرگذار هستند. بنابراین، 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 ساختمان ها از یک نوع (t) یکسان فرض می گردد؛ 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 متر معادل آن در هزینه تعمیر هر درجه آسیب (RC_{tk}) بستگی دارد. بدیهی است که باید سهم همه حالت های آسیب به یکدیگر اضافه گردد. علاوه بر این، هنگامی که برای تعداد زیادی از ساختمان ها استفاده می شود، این اعداد باید برای کلیه ساختمانها (j) از هر نوع، و برای تمامی انواع (t) ساختمان ها جمع گردد، که خروجی آن مدل ارزیابی زیر است:

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

که در آن RC_{tk} هزینه خسارت ناشی از درجه آسیب k در ساختمان های نوع t است و به عنوان درصد هزینه واحد m^2 تعریف می گردد. P_{jtk} احتمال وضعیت آسیب k در ساختمان j از نوع t است و از ماتریس احتمال آسیب مربوطه به دست می آید. Ns تعداد حالت های آسیب وضعیت آسیب صفر است. $Area_{jt}$ مساحت ساخته شده بر حسب متر مربع یک ساختمان j از نوع t است. Net تعداد ساختمان های 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 بازسازی املاک آسیب دیده باشد، اما Vc_t قیمت زمین را شامل نمی شود. سرانجام، Nt تعداد انواع ساختمان هایی است که در مدل BTM در نظر گرفته شده است.

علاوه بر ضررهای اقتصادی مربوط به خرابی ساختمان، ضررهای اقتصادی ناشی از خسارت به محتویات نیز در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده در این پژوهش ساده بوده و مبتنی بر گزارش ATC-13 (۱۹۸۵) است. در این مدل فرض بر این است که مقدار محتویات ساختمان های مسکونی ۵۰٪ هزینه تعویض ساختمان است. کل هزینه های خسارت مستقیم اقتصادی ($Tcost$) عبارت است از مجموع هر دو مقادیر، یعنی ۱/۵ برابر ارزش به دست آمده در معادله (۹).

معمولاً پیش فرض مطرح این است که تقریب Vc_t در معادله (۹) برای همه نوع ساختمان یکسان است، زیرا امروزه مصالح، تکنیک ها و نیروی کار مورد استفاده هزینه های بسیار مشابهی دارند. این پیش فرض که برای ساختمان های معمولی مسکونی بسیار معقول است، در موارد دیگری مانند ساختمان های میراث های فرهنگی و یا خاص مناسب نخواهد بود.

۴-۳-۴-۳ آوار حاصله از تخریب بناها

علاوه بر تاثیر اقتصادی، آسیب فیزیکی مستقیم باعث ایجاد آوارهایی می گردد که می تواند از سطح آسیب دیده ای که نیاز به تعمیر، بازسازی و یا مقاومت سازی دارد، تخمین زده شود. این اثرات حاصله به طور مستقیم به نمایه های آسیب پذیری یا

میانگین درجه آسیب مربوط نمی‌گردد، بلکه به اندازه و تعداد ساختمان‌های آسیب دیده در هر شعاع همسایگی و همچنین به بزرگی کل منطقه تخریب یافته یا فرسوده بستگی دارند.

هر دو روش HAZUS 99 (FEMA / NIBS, 2002) و دستورالعمل‌های مربوط به پروژه Risk-UE (واکارنو و همکاران، ۲۰۰۴) اهمیت و کارآمدی ویژه‌ای در برآورد حجم آوار تولید شده دارند. این برآورد به ویژه در مناطق قدیمی و پایین شهر که در آن تراکم بالایی از بافت شهری، خیابان‌ها و معابر اصلی باریک وجود دارد، کارآمد است. حتی در شرایط عادی، جابه‌جایی با ماشین دشوار است و همچنین عبور از این خیابان‌ها با نوع وسایل نقلیه مورد استفاده در مراقبت‌های اضطراری دشوارتر است. بنابراین، پیش‌بینی حجم آوارهای تولید شده در سناریوها و روش‌های مختلفی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته به یک عامل اساسی برای برنامه‌ریزی دسترسی به جمعیت آسیب دیده، ترسیم مسیرهای تخلیه و حتی تعیین مناطقی برای استقرار اردوگاه‌هایی مختص آسیب‌دیدگان و بی‌خانمان‌ها، تبدیل می‌شود.

مدل تخمین آوار انواع مختلفی از ویرانی‌ها را در نظر می‌گیرد. به عنوان مثال، یک ساختمان خشتی به طور واضح آوارهایی را تولید می‌کند که بسیار متفاوت از سازه‌های فلزی یا سایر سازه‌های مدرن است. علاوه بر این، یک ساختمان بتون آرمه معمولی شامل عناصر بنایی است و به تبع آن، همین نوع ساختمان می‌تواند انواع مختلفی از آوارهایی را ایجاد کند که به طور مستقیم با مصالح ساختمانی مورد استفاده در ساختمان مرتبط باشد. حجم آوارهای بجا مانده از یک ساختمان مواجه با زمین لرزه، 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 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 ماده 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 که در زمانی رخ می‌دهد که ساختمان دارای درجه آسیب k باشد. برای یک سناریوی لرزه‌ای، فراوانی آوارها از حاصلضرب بین این مقدار $Dejtk$ و احتمال این که ساختمان j از نوع t متحمل درجه آسیب $K (P_{jtk})$ گردد.

به عنوان مثال، یک ساختمان بنایی را در نظر می‌گیریم که شامل مواد مختلفی مانند دیوارهای بارگذاری آجری و ملاتی، ستون‌های فلزی و صفحات بتونی مسلح است. تخمین زده می‌شود که وزن آجر و ملات به ازای هر متر مربع از مساحت قابل استفاده ۰/۵ تن است و در صورت تحمل ساختمان از درجه خسارت متوسط، ۱۰٪ از این مواد باعث تولید آوار از این نوع می‌گردد. اگر این ساختمان از ۴۰۰ متر مربع مساحت مفید تشکیل شده باشد، احتمالاً مقدار آوارهایی از این نوع، در صورتی که ساختمان در سناریویی با احتمال خسارت متوسط ۳۰٪، عبارت خواهد بود: $۰/۳۰ \times ۰/۱۰ \times ۴۰۰ \times ۰/۵ = ۶$ آوار آجر و ملات.

در حالت کلی مجموعه‌ای از انواع مختلف ساختمان‌ها که می‌توانند طیفی از آوار ایجاد کنند، در مکان‌هایی با احتمال‌های مختلف حالت‌های خسارت قرار دارند، انتگرال یا جمع عناصر تعریف شده در معادله (۱۰) باید محاسبه گردد، بر احتمال وقوع خسارت مربوطه، برای همه نوع آوار، و برای همه نوع ساختمان

ها و برای همه نوع حالت‌های خسارت ضرب گردد. یعنی حجم کل آوار (ES_{Total}) توسط معادله زیر تعریف شده است:

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

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

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؛ 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 ساده شده و تنها دو نوع ساختمان و دو نوع آوار را در نظر می‌گیرند. مقادیر پارامترها در معادلات ۱۰ و ۱۱ از واکارنو و همکاران (۲۰۰۴) گرفته شده است، که به نوبه خود، از HAZUS 99 گرفته شده است (FEMA / NIBS 2002). از آنجا که این منابع طیف وسیعی از تغییرپذیری را ارائه می‌نمایند، میانگین ارزش پذیرفته شده است.

۴-۴ یافته‌ها و کاربردهای عملی پژوهش برای شهر اردبیل

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. همانند دیگر شهرها و مراکز استانی بزرگ ایران، شهر اردبیل نیز شامل نواحی و کانون‌های جمعیتی متعددی در پیرامون بوده که بخشی از تقسیمات محلی اداری شهر را تشکیل می‌دهد. این مناطق برآیند رشد و تکامل شهر و گروه‌بندی‌های تاریخی جمعیت آن است. شهر اردبیل از ۵ منطقه و ۱۵ ناحیه تشکیل شده که قدیمی‌ترین آن ناحیه یک واقع در منطقه یک است.

جدول ۸۴ ویژگی‌های کلی کالبدی شهر اردبیل. پراکنش، بر اساس مناطق، ساکنین، تراکم جمعیت، تعداد ساختمان‌های مسکونی، مسکن و ساکنین/مسکن. میانگین سال ساخت ساختمان‌ها نیز نشان داده شده است.

مناطق	تراکم جمعیت		ساختمان‌های مسکونی			جمعیت	مساحت M ²	ساکنین/ کیلومتر مربع	ساکنین در هر هکتار مسکونی	تعداد ساختمان مسکونی	واحد مسکونی	مساحت ساخته شده M ²	نسبت ساخته شده به کل منطقه %	میانگین سال ساخت
	تراکم جمعیت	مساحت												
۱	۱۱۳۴۷۶	۹۶۲۵۱۰۰	۱۱۷۸۹	۱۱۸	۸۵۰۰	۳۱۷۰۰	۴۵۲۹۸۱۵	۳۷	۴۰					
۲	۱۱۰۵۸۹	۲۲۸۷۹۶۰۰	۴۸۳۳	۴۸	۸۴۰۰	۳۱۱۱۰	۳۲۵۰۶۰۰۷	۱۱	۳۰					
۳	۱۰۰۵۰۴	۱۰۱۳۷۷۰۰	۹۲۰۸	۹۲	۷۷۰۰	۲۸۴۳۲	۲۵۵۵۵۵۳	۱۵	۲۵					
۴	۱۰۳۸۱۲	۸۵۷۱۴۹۰	۱۲۱۱	۱۲۱	۷۹۰۰	۲۹۷۶۰	۳۱۲۴۴۶۳	۲۵	۲۵					
۵	۱۰۰۹۹۳	۱۰۸۹۵۳۰۰	۹۲۶۹	۹۲	۷۷۰۰	۲۹۲۰۰	۳۰۳۴۷۴۶	۱۹	۲۰					
کل شهر	۵۲۹۳۷۴	۶۲۱۰۹۱۹۰	۳۶۳۱۰		۱۵۰۲۰۲		۴۵۷۵۰۵۸۴		۲۸					

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 شهرداری اردبیل استخراج گردیده است. این

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

اطلاعات شامل طول عمر (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 بر اساس تعداد ۱۲۶ هزار ساختمان مسکونی صورت گرفته است.

۴-۴-۱ سناریوهای زمین لرزه

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-ریشتر Log $N = a - b(M)$ بر اساس 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 لرزه‌زایی بالا) قرار دارد (بیت‌الهی 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 معلم تا شهرک زرناس) استقرار یافته است. این نهشته‌های نرم دریاچه‌ای و رودخانه‌ای در مجموع بر روی پی‌سنگ سخت آتش‌فشانی اتوسن قرار گرفته است، و 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 (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 زیر (NCSE-94, 1994) استفاده شد:

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

که در آن a_b شتاب پایه است، که معمولاً به عنوان شتاب اوج موثر نیز شناخته می‌شود، و I نیز شدت EMS-98 مهلرزه است. بر اساس معادله (۱۲)، ارزش a_b (شتاب پایه) $0.04g$ برای شهر اردبیل اختصاص داده شده، که منطبق با شدت مهلرزه‌ای 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 0.04 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 $a_b|_{PR=t}$ شتاب پایه با دوره بازگشت t و $a_b|_{PR=500}$ شتاب پایه برای دوره بازگشت ۵۰۰ سال است.

جدول ۹-۴ سناریوهای لرزه‌ای بررسی شده، بر حسب شدت‌های مهلزهای، شتاب پایه، $ab(g)$ و دوره‌های بازگشت

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

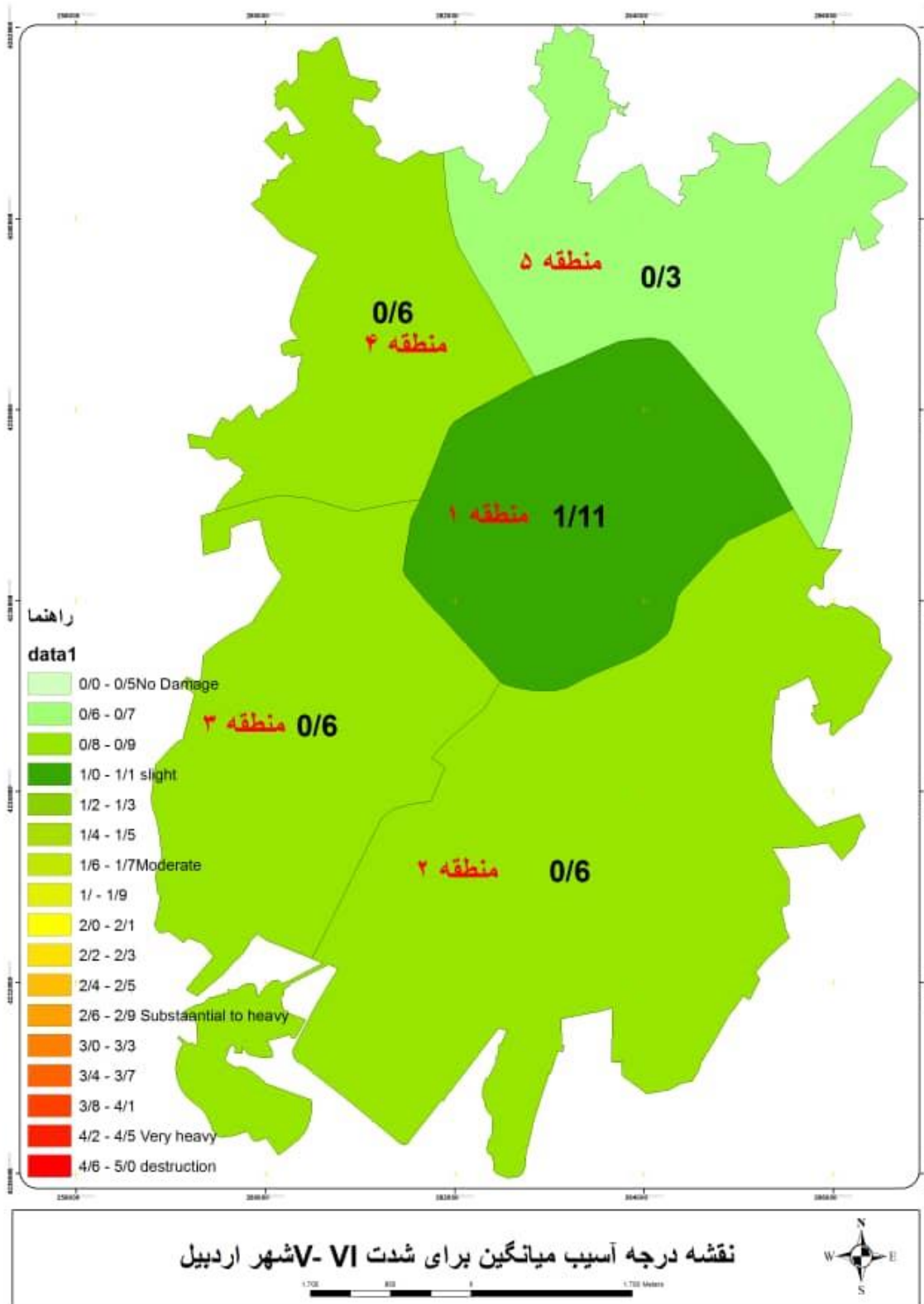
معادلات (۶) و (۷) برای محاسبه شتاب‌های پایه و دوره‌های بازگشت مربوط به سناریوهای لرزه‌ای واکاوی شده استفاده گردیده است. جدول ۵ شدت مهلزهای سناریوها در نظر گرفته شده، همراه با شتاب‌های پایه و دوره‌های بازگشت مربوطه را نشان می‌دهد. پس از انجام ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای برای کلیه سناریوهای زمین لرزه در جدول 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 زمین لرزه دیگر نشان داده شده است.

جدول ۱۰-۴ نمایه آسیب پذیری و میانگین درجه آسیب برای شدت‌های مختلف لرزه‌ای

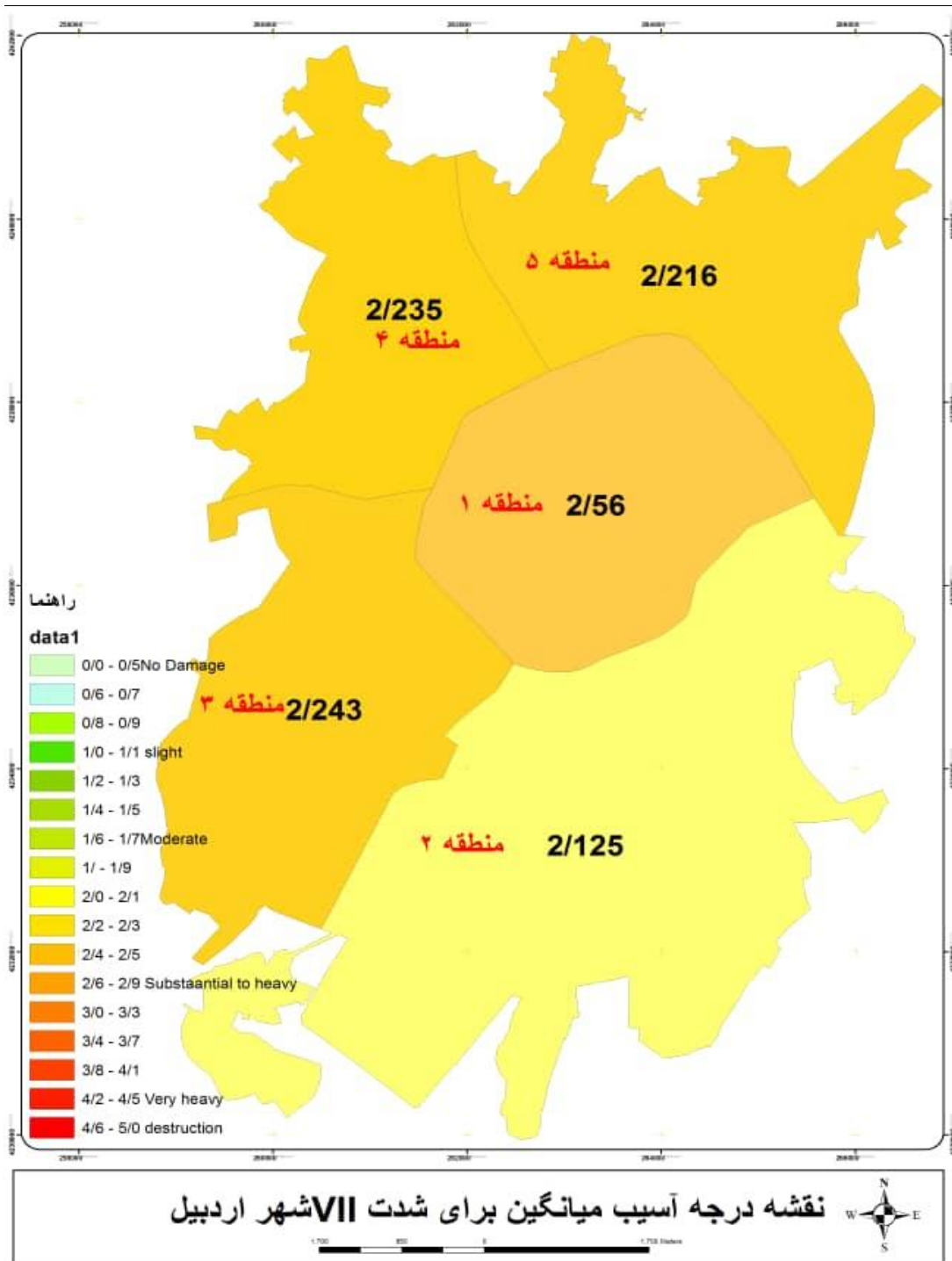
شدت لرزه‌ای				نمایه آسیب پذیری	مناطق
VII	VI-VII	VI	V-VI		
۲/۵۶۰	۲/۱۱۰	۱/۴۵۰	۱/۱۱۰	۰/۹۰۵	۱
۲/۱۲۵	۱/۸۶۰	۱/۰۱۰	۰/۷۲۰	۰/۶۵۰	۲
۲/۲۴۳	۱/۹۱۵	۱/۲۲۰	۰/۹۶۰	۰/۸۵۰	۳
۲/۲۳۵	۱/۸۲۰	۱/۱۶۰	۰/۹۲۵	۰/۸۳۰	۴
۲/۲۱۶	۱/۷۶۵	۱/۰۸۰	۰/۶۴۰	۰/۵۸۰	۵

۴-۲ آسیب پذیری و آسیب فیزیکی

آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اردبیل نشانگر ارزش متوسط ۰/۵۹ برای ساختمان‌های بتونی و ۰/۹۳ برای ساختمان‌های بتنی است که آسیب‌پذیرترین آن‌ها هستند. بنابراین پیش‌بینی می‌شود ساختمان‌های بتنی 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).



شکل ۹-۴ درجه آسیب میانگین برای شدت لرزه‌ای V-VI مناطق پنجگانه شهر اردبیل



شکل ۴-۱۰ درجه آسیب میانگین برای شدت لرزه‌ای VII مناطق پنجگانه شهر اردبیل

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 ۲۷٪، ۸٪ و ۱٪ به ترتیب با وضعیت‌های سنگین، بسیار سنگین و ویرانی کامل است (اشکال ۹-۴ و ۱۰-۴).

۴-۳-۴ دیگر تاثیرات آسیب‌زا

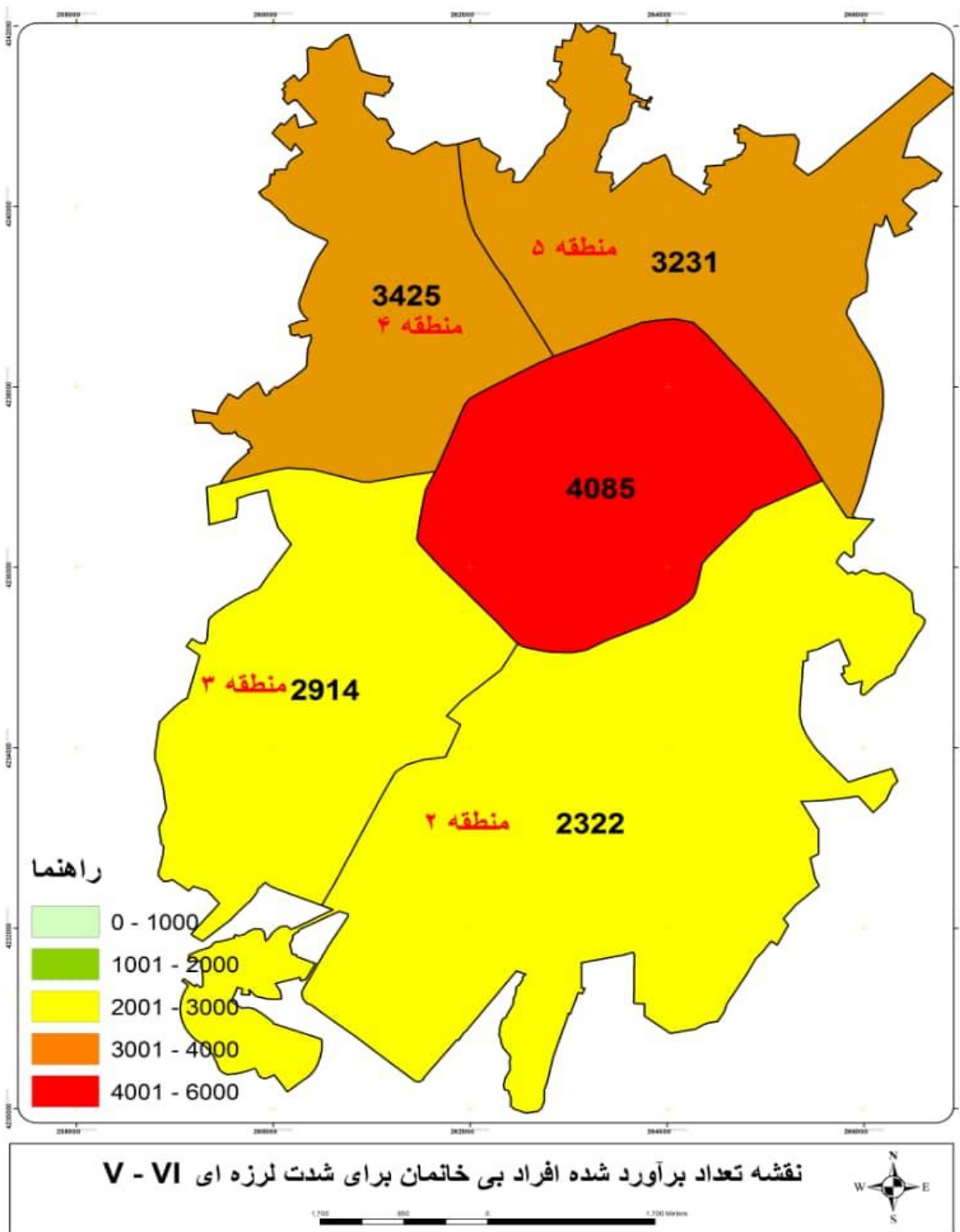
۴-۳-۴-۱ آسیب به جمعیت

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 زمین لرزه شب، با پیش فرض 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 زمین لرزه با شدت VII حدود سه در هزار نفر (۰٫۳٪) از مردم شهر می‌میرند و نه در هر هزار نفر (۰٫۱٪) از مردم آسیب‌های مختلفی متحمل می‌شوند. این درصدها رقم قابل توجهی است که هزاران نفر را در برمی‌گیرد.

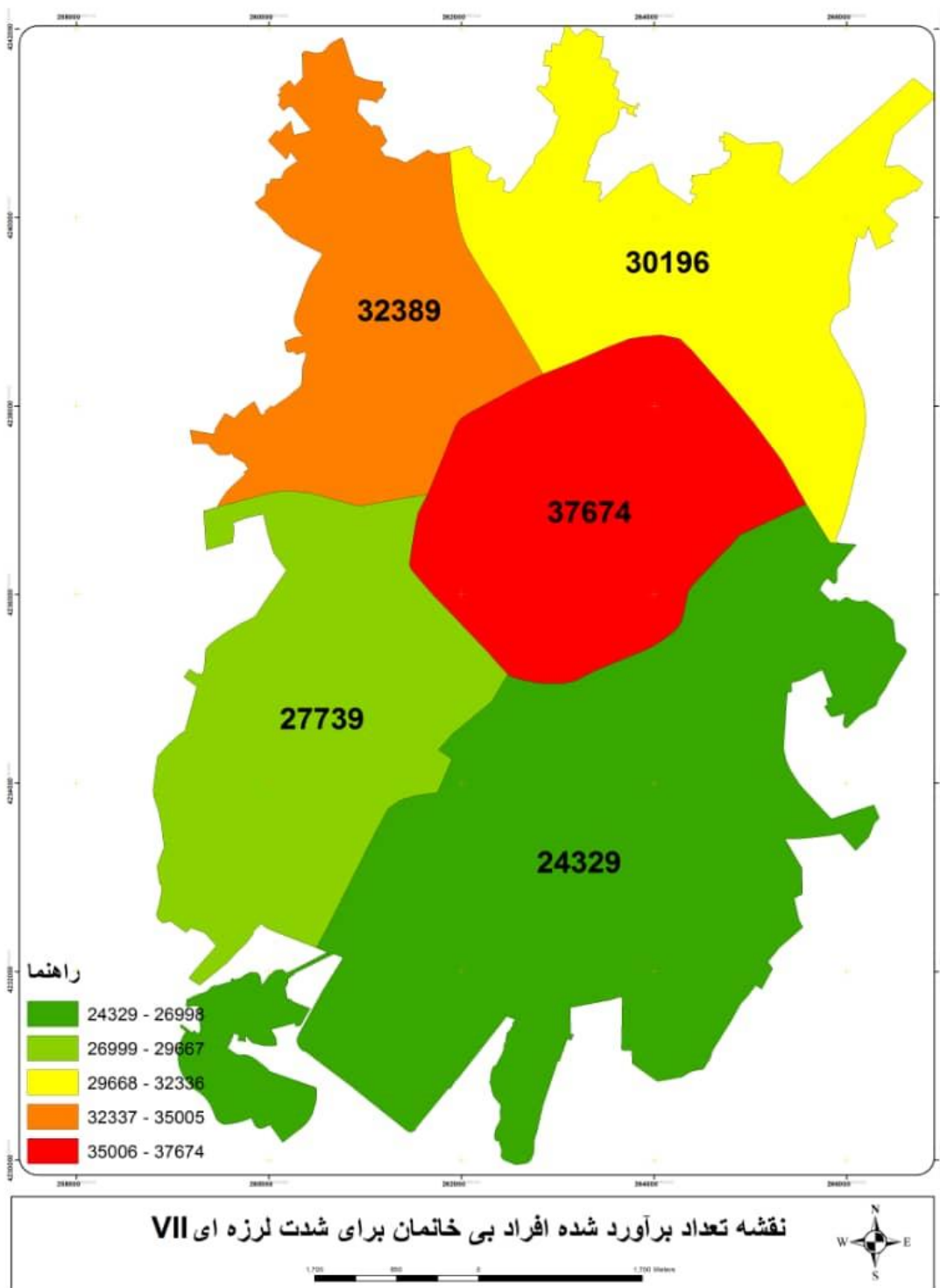
جدول ۴-۱۱ تعداد برآوردشده افراد بی‌خانمان (‰) برای شدت‌های مختلف لرزه‌ای

شدت لرزه‌ای				مناطق	
VII	VI-VII	VI	V-VI		
۳۷۶۷۴	۱۳۰۴۹	۱۰۰۹۹	۴۰۸۵		۱
۲۴۳۲۹	۱۵۲۷۶	۵۹۷۱	۲۳۲۲		۲
۲۷۷۳۹	۱۸۱۶۷	۷۱۳۵	۲۹۱۴		۳
۳۲۳۸۹	۱۶۸۶۵	۸۵۱۲	۳۴۲۵		۴
۳۰۱۹۶	۲۴۳۲۹	۷۹۷۸	۳۲۳۱		۵
۱۵۲۳۲۷	۸۷۶۸۶	۳۹۶۹۵	۱۵۹۷۷		کل شهر

در صورت وقوع زمین لرزه با شدت VII، در مجموع ۲۹۹ نفر به ازای هر هزار نفر عضو جمعیت مناطق پنجگانه بی‌خانمان می‌شوند، یعنی بیش از ۱۷۶۰۰۰ نفر. برای زمین لرزه‌هایی 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 زمین لرزه‌ای با شدت V-VI، احتمالاً ۳۲ نفر به ازای هر هزار نفر بی‌خانمان می‌شوند، یعنی ۱۶۵۳۰ نفر بی‌خانمان (جدول ۴-۱۱ و شکل ۴-۱۲). منطقه-ای 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). به علاوه انتظار می‌رود تعداد ۱۴۰ (۰٫۳٪) کشته و ۴۱۸ نفر نیز مجروح شوند (۰٫۸٪).



شکل ۴-۱۱ تعداد برآورده شده افراد بی خانمان برای شدت لرزه ای V-VI در مناطق پنجگانه شهر اردبیل



شکل ۴-۱۲ تعداد برآوردشده افراد بی خانمان برای شدت لرزه ای VII در مناطق پنجگانه شهر اردبیل

۴-۳-۲ هزینه اقتصادی

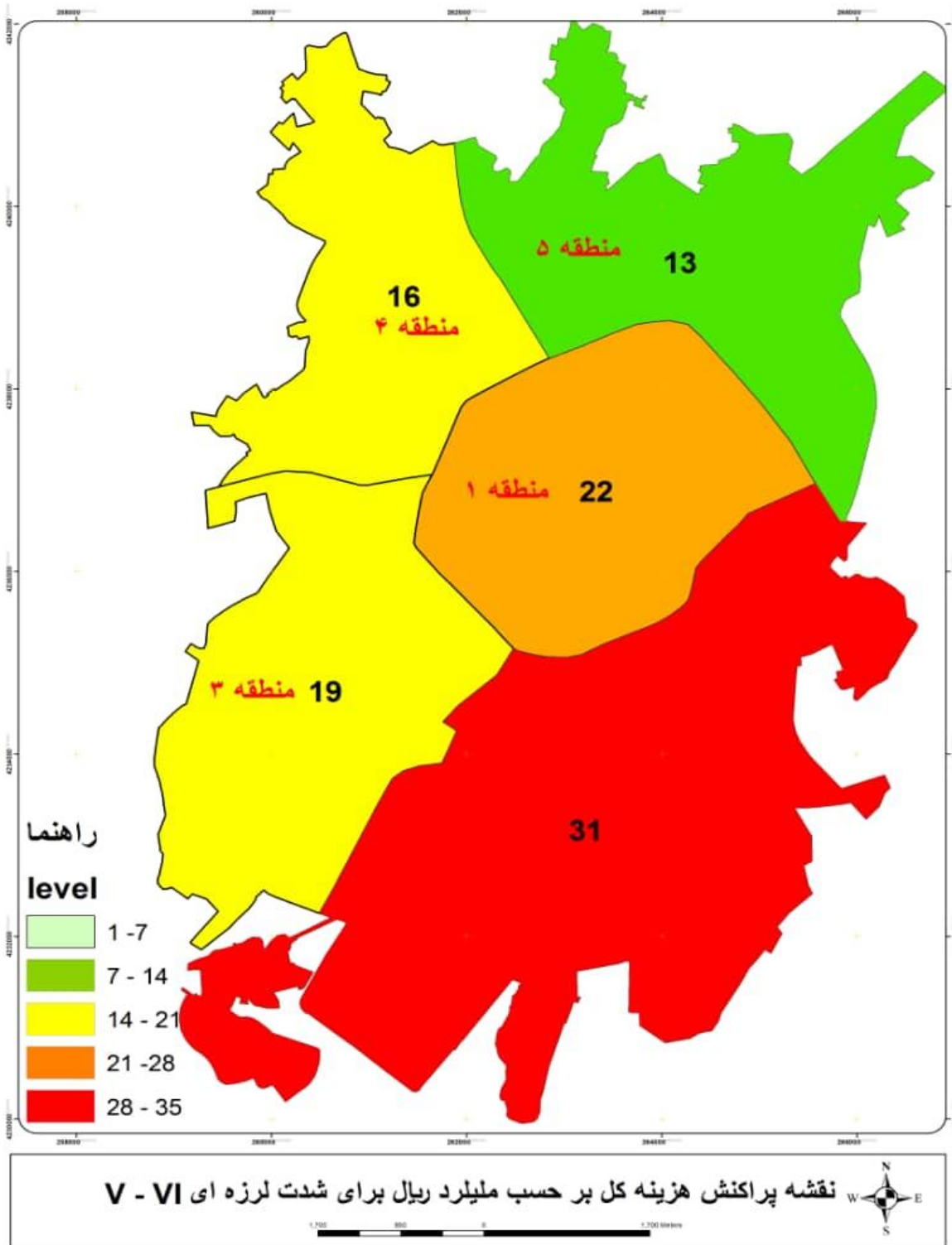
خسارات اقتصادی مستقیم ناشی از آسیب مستقیم فیزیکی به ساختمان‌ها طبق مدل تعریف شده در معادله (۹) به عنوان هزینه مرمت ساختمان‌های آسیب دیده برآورد شده است. ارزش تعمیر مربوط به شرط آسیب k برای یک ساختمان J ، RCK ، J به عنوان یک درصد یا هزینه تغییر مکان (Vc) به ازای هر مترمربع مشخص شده است (لاتادا و همکاران، ۲۰۱۰). 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 زمین لرزه‌ای با شدت V نمی‌تواند خسارت قابل توجهی ایجاد کند، یک زمین لرزه 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 ۴-۱۲ و اشکال ۴-۱۳ و ۴-۱۴).

جدول ۴-۱۲ هزینه کل بر حسب میلیارد ریال

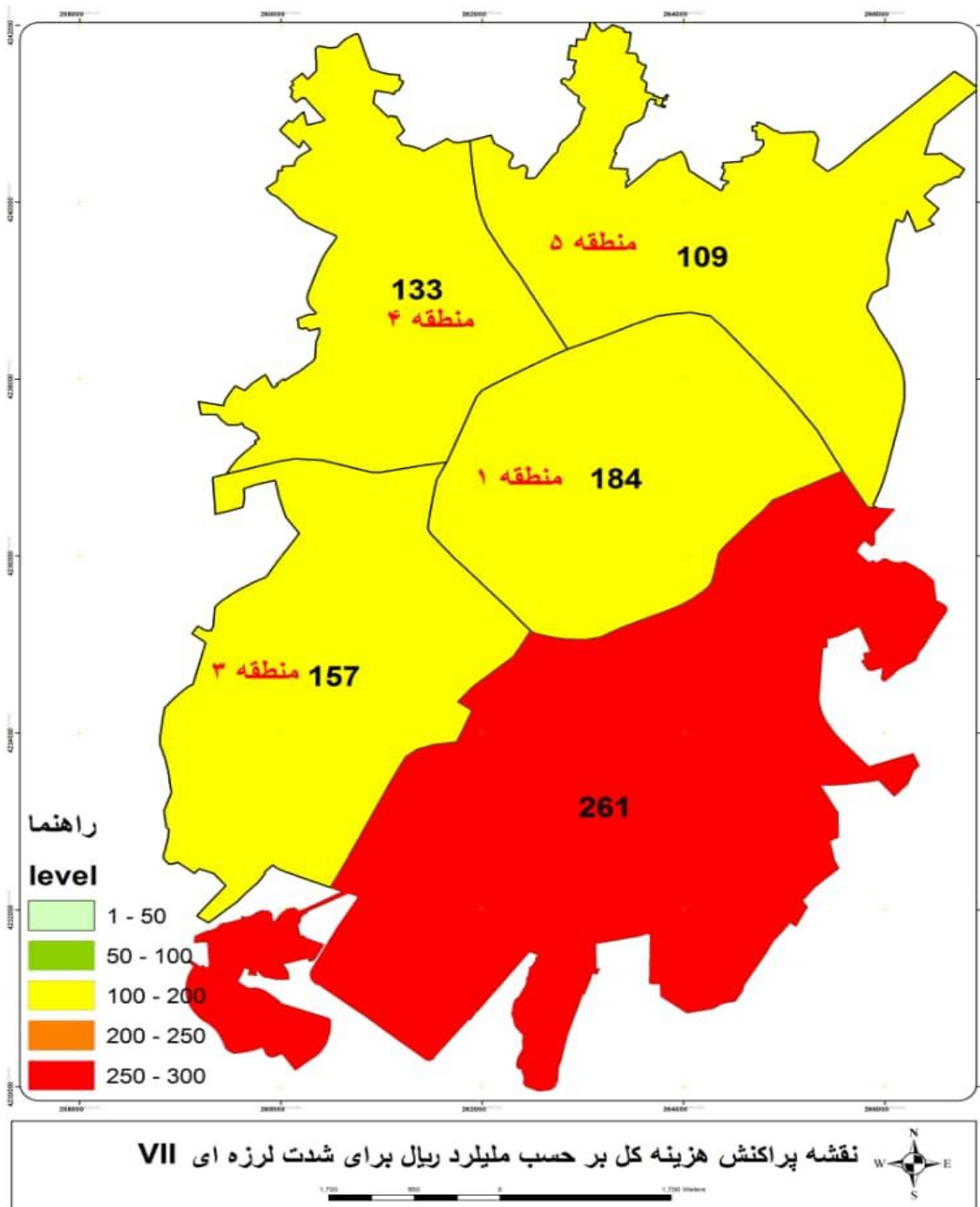
شدت لرزه‌ای				
VII	VI-VII	VI	V-VI	مناطق
۱۸۴	۱۰۸	۵۴	۲۲	۱
۲۶۱	۱۵۳	۷۶	۳۱	۲
۱۵۷	۹۲	۴۶	۱۹	۳
۱۳۳	۷۸	۳۹	۱۶	۴
۱۰۹	۶۴	۳۲	۱۳	۵
۸۴۴	۴۹۵	۲۴۷	۱۰۱	کل شهر

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 دربرخواهد 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^۱، هزینه آسیب فیزیکی به ساختمان‌های این مناطق برای شدت VII (جدول ۴-۱۲) به بیش از ۸۴ میلیارد تومان می‌رسد که بیش از ۳۰ درصد بودجه کل شهر (در سال ۱۳۹۹) خواهد بود.

^۱. گفتگو با مسولان و مشاوران مالی شهرداری مرکزی اردبیل



شکل ۴-۱۳ پراکنش هزینه کل بر حسب میلیارد ریال (هزینه تعمیر ساختمان‌های آسیب دیده و هزینه‌های داخلی) برای شدت لرزه ای V-VI در مناطق پنجگانه شهر اردبیل



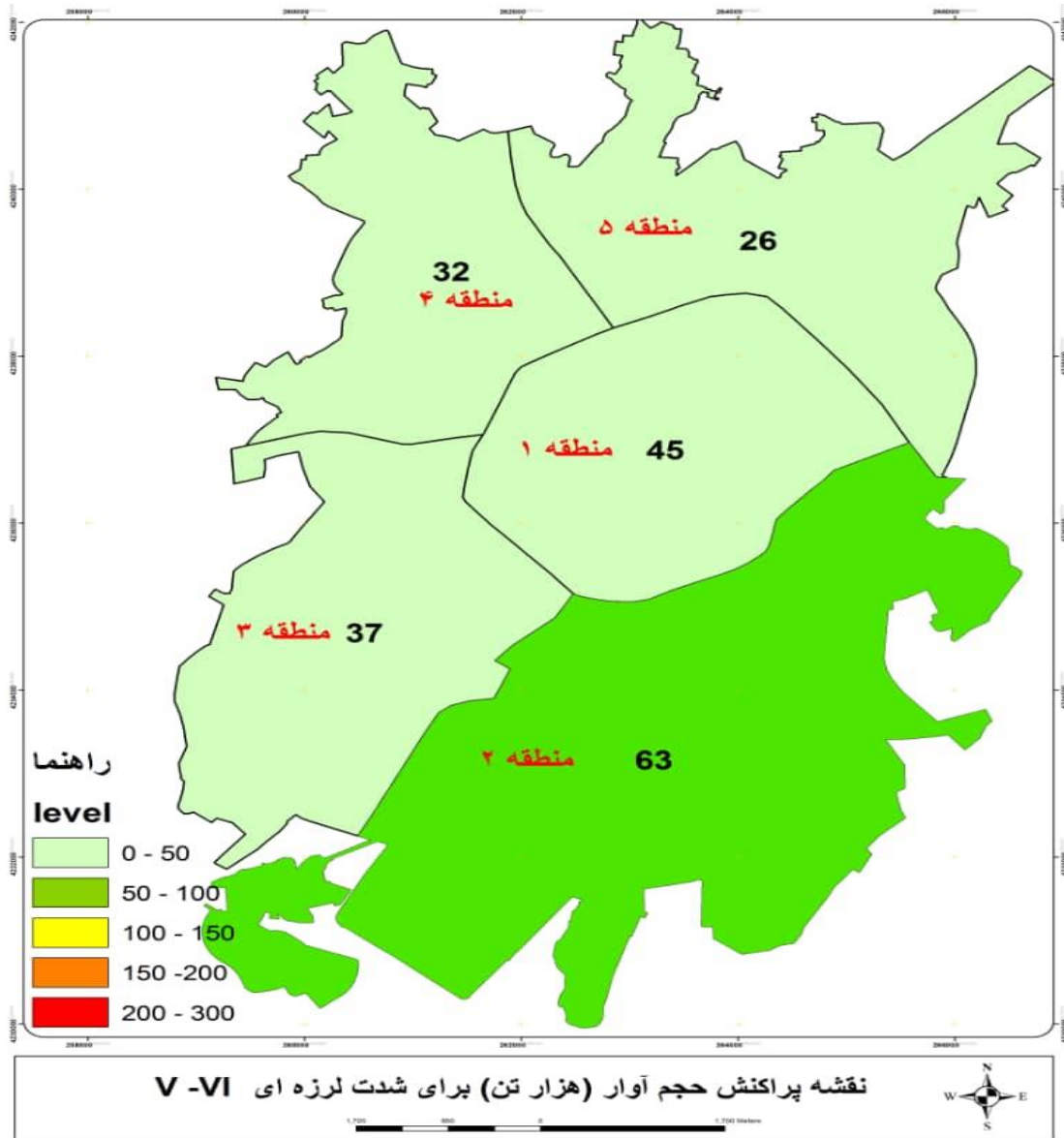
شکل ۴-۱۴ پراکنش هزینه کل بر حسب میلیارد ریال (هزینه تعمیر ساختمان‌های آسیب دیده و هزینه‌های داخلی) برای شدت لرزه‌ای VII در مناطق پنجگانه شهر اردبیل

۴-۳-۳ آوار حاصه از تخریب ساختمان‌ها

بر اساس معادلات (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

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

سناریوهای تحلیل شده گرفته شده است. همانطور که در بالا اشاره شد، به دلیل احتمال کم آسیب، انتظار نمی رود که حجم قابل توجهی از آوار برای زمین لرزه های با شدت V وجود داشته باشد. با این حال، در صورت وقوع زمین لرزه های با شدت بالاتر، مقدار قابل توجهی آوار در شهر ایجاد می گردد، به عنوان مثال، ۱۷۳۷ تن برای زمین لرزه ای با شدت VII (جدول ۱۳-۴ و شکل ۱۵-۴).

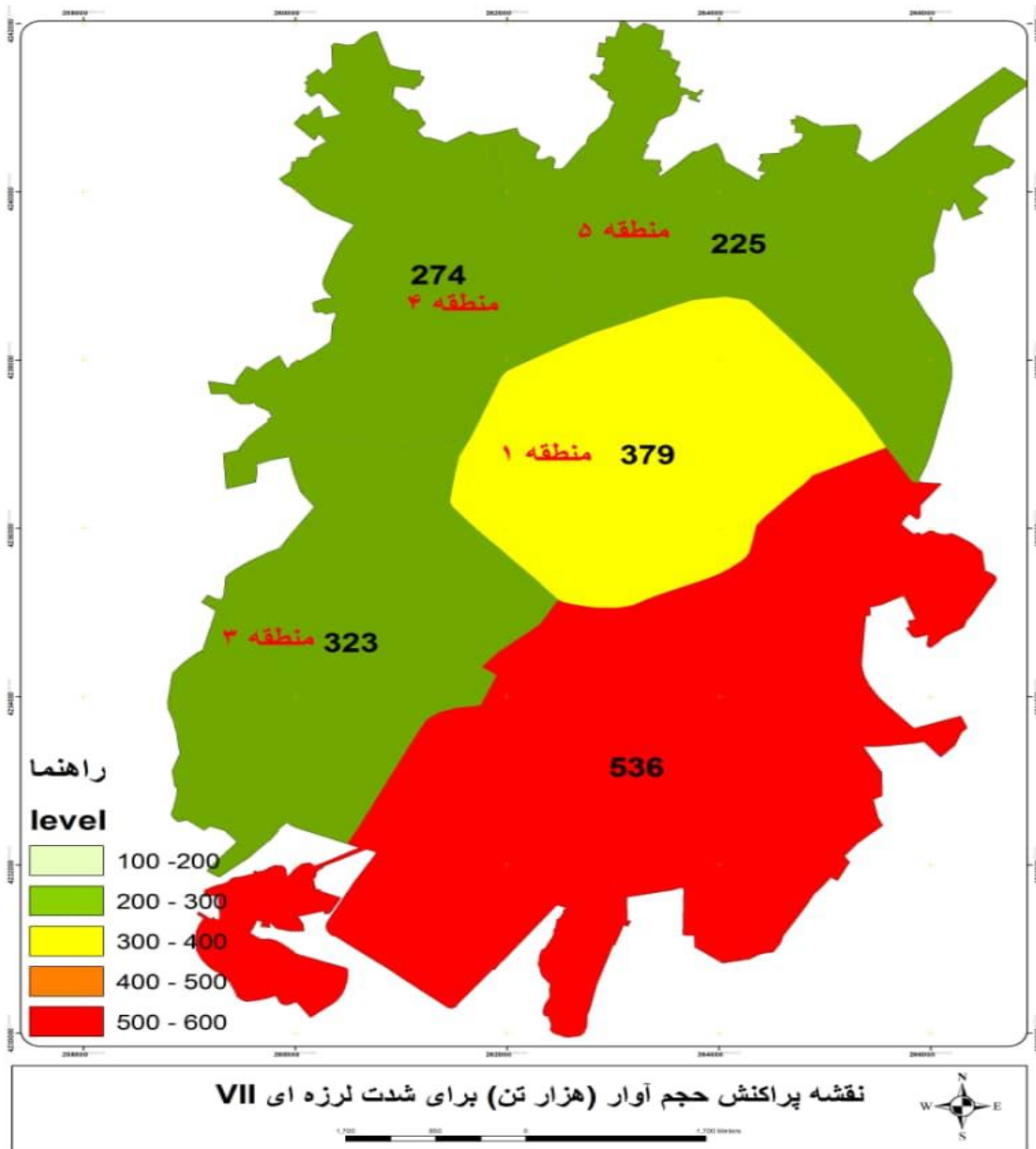


شکل ۴-۱۵ حجم آوار تولید شده (بر حسب هزار تن) برای شدت های لرزه ای V-VI در مناطق پنجگانه شهر اردبیل

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 جاده های

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

ورودی و خیابان های نواحی به شدت مانع مدیریت اضطراری می شود. به طور قابل توجهی، منطقه ای که بیشترین حجم آوار در آن انتظار می رود نیز منطقه ۲ شهری است (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶ حجم آوار تولید شده (بر حسب هزار تن) برای شدت های لرزه ای VII در مناطق پنجگانه شهر اردبیل

شدت لرزه‌ای				
VII	VI-VII	VI	V-VI	مناطق
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

۴-۴-۴ ارزیابی کیفی آسیب پذیری بناهای شهری

برای ارزیابی کیفی، با توجه به متفاوت بودن قابلیت تغییر و سازگاری روش آریا با شرایط ساخت و ساز، از روش کیفی آسیب‌پذیری اصلاح شده 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' 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 (سحرخیز و بخشی، ۱۳۹۴؛ زهرائی، ۱۳۹۱).

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 ۱ ارائه شده است. همچنین ضرائب آسیب Li و Li' و پارامترهای Fi در این جدول معرفی شده‌اند. علامت پریم 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 که معرف جامعهٔ آماری بافت‌های فرسوده هستند انتخاب شده‌اند. بدین ترتیب پایگاه داده‌ها برای مطالعهٔ آسیب‌پذیری انواع سازه‌ها در اردبیل به دست آمده است.

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

مرحلهٔ نخست: در این مرحلهٔ دوازده نمایه‌ای، اطلاعات دوازدهگانهٔ پارامترها و ضرایب مربوط به آن‌ها از طریق مطالعات میدانی و تکمیل پرسشنامه جمع‌آوری گردیده است (جدول ۴-۱۴).

¹ . Medvedev Sponheuer Karnik scale (مقیاس مدودف-شپونهویر-کارنیک یا ام‌اس‌کی)

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

جدول ۴-۱۴ جدول اصلاحی برای روش تکمیل شده آریا (زهرائی، ۱۳۹۱: ۲۸ با اندکی تغییر و اضافات)

نمایه	پارامتر و ضرایب آن	زیر پارامتر	ضریب خسارت (L)		
			شدت ۷	شدت ۸	شدت ۹
(L1)	شیب زمین	۰-۱۵ ۱۶-۳۰ >۳۰	۱	۱	۱
(L2)	جنس زمین	سخت (I) متوسط (II) نرم (III) روان (IV)	۱	۱/۱	۱/۲
(LA1)	پی ها و شناژها	پی و شناژ مناسب پی و شناژ نامناسب عدم اجرای پی و شناژ	۱	۱	۱/۰۵ ۱/۱۵
(L3)	نوع سیستم سازه ای F3=0.6 (اگر روکش نما نداشته باشد شاخص L9 حذف شود و F3=0/63)	اسکلت فلزی با مهاربند و اسکلت بتن مسلح با دیوار برشی اسکلت فلزی بدون مهاربند اسکلت بتن مسلح بدون دیوار برشی دیوار بنایی بدون کلاف با آجر دیوار بنایی با کلاف افقی با آجر	۱	۰/۵	۰
		دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با آجر با اجرای مناسب دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با آجر و اجرای ضعیف (از نظر یکپارچگی و کلاف بندی)	۱	۱/۵	۱/۵
		دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با بلوک سیمانی با اجرای مناسب دیوار بنایی با کلاف افقی با بلوک سیمانی دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با بلوک سیمانی با اجرای ضعیف (از نظر یکپارچگی و کلاف بندی)	۱	۱/۵	۰
		دیوار بنایی بدون کلاف با بلوک سیمانی نیمه اسکلت	۱/۵	۲/۵	۲/۵
(L4)	سیستم کف طبقات F4=0/33 (اگر پیش آمدگی مناسب است و یا وجود ندارد شاخص L7 حذف شود F4=0/37)	طاق ضریبی با تکیه گاه مناسب طاق ضریبی با تکیه گاه و پا طاق نامناسب تیرچه بلوک با شرایط عمومی و تکیه گاهی و پوشش میلگرد مناسب تیرچه بلوک با شرایط عمومی و تکیه گاهی و پوشش میلگرد نامناسب دال بتن مسلح سقف چوبی با پوشش سبک سقف چوبی با مصالح بنایی سقف فلزی سبک یا مهاربند افقی	۱	۱/۵	۳
		۲	۳	۴	
		۱	۲	۳	
		۱/۵	۲/۵	۲/۵	
		۰	۰	۱	
		۲	۳	۴	
		۰	۱	۱/۵	
(L5)	ارتفاع ساختمان	یک طبقه ساختمان بنایی یا اسکلت فولادی و بتنی تا سه طبقه ساختمان بنایی یا اسکلت فولادی یا بتنی بالاتر از سه طبقه	۱	۱	۱/۳
(L6)	باشو در دیوار با مصالح بنایی	رضایت بخش متجاوز	۱	۱	۱/۳
(L7)	پیش آمدگی ها F7=0/04	رضایت بخش متجاوز	۱	۰	۱
(L8)	نامنظمی در پلان یا ارتفاع	منظم نامنظم در پلان یا ارتفاع	۱	۱	۱/۱
		نامنظم در پلان و ارتفاع	۱/۲	۱/۲	۱/۲
(L9)	نما F7=0/04	(آجری/سنگی) ثابت (آجری/سنگی) غیر ثابت نمای سیمان گل	۰	۰	۰
		۱	۱	۱	
		۰	۰	۰	
		۰/۵	۰/۵	۰/۵	
(L10)	کیفیت ساختمان (با توجه به عمر ساختمان و شرایط اجرایی)	خوب (نیاز به تعمیرات جزئی) متوسط (نیاز به مرمت زیاد) بد (نیاز به بازسازی و مقاوم سازی)	۰/۶	۰/۶	۰/۶
		۰/۸	۰/۸	۰/۸	
		۱	۱	۱	
(LA2)	ملاحظات درز انقطاع و تاثیر متقابل سازه همسایه در رفتار ساختمان اصلی	زیاد متوسط کم بدون تاثیر	۱/۳	۱/۵	۱/۷
		۱/۱	۱/۳	۱/۵	
		۱	۱/۱	۱/۲	
		۱	۱	۱	

مرحله دوم

بر اساس اطلاعاتی که در مرحله نخست به طور جداگانه برای هر ساختمان جمع آوری گردید و با استفاده از ضرایب پیشنهادی در جدول یک، نسبت آسیب کل هر ساختمان با استفاده از رابطه زیر (رابطه ۱) محاسبه گردیده است:

$$LR = I_1 \times I_2 \times I'_5 \times I_6 \times I'_8 \times I_{A1} \times I_{A2} \times I_{10} \times 0.25 \times [(F_3 \times I'_3) +$$

$$(F_4 \times I'_4)] \leq 1 \quad \text{رابطه ۱۴:}$$

که در آن پارامترهای I_1 تا I_{10} به ترتیب نمایه آسیب مربوط به جدول زیر (جدول ۲) بوده که برای هر سطح زمین لرزه تعیین گردیده و ضرایب آن F_3, F_4, F_7 و F_9 نیز از همان جدول به دست می آیند. نسبت آسیب LR قاعدتاً بایستی بین صفر و یک باشد، از این رو اگر نتیجه محاسبه بیش از یک به دست آید باید همان عدد یک را برای در نظر گرفت.

برای محاسبه نسبت آسیب پذیری (LR) در روش اصلاح شده، از رابطه ۲ استفاده شده است که در آن پارامترهای F_i و ضرایب آسیب I_i و I'_i از جدول ۱ تعیین می شوند.

مرحله سوم

در این مرحله ارزیابی آسیب پذیری ساختمان ها با استفاده از اندیس نسبت آسیب بعد از تعیین LR میزان آسیب پذیری ساختمان به کمک جدول ۲ به صورت کیفی ارزیابی گردیده است.

جدول ۴-۱۵ معیارهای قضاوت در مورد میزان آسیب پذیری لرزه ای رابه روش اصلاح شده آریا (بخشی و سحرخیز، ۱۳۹۴: ۴؛ زهرائی، ۱۳۹۱: ۳۹).

سطح آسیب پذیری	دامنه تغییرات
۱	احتمال ریزش ساختمان (نیاز به نوسازی) $LR \geq 0/75$
۲	آسیب زیاد (بازسازی و مقاوم سازی وسیع الزامی است) $0/5 \leq LR \leq 0/75$
۳	آسیب متوسط (نیاز به مرمت زیاد) $0/25 \leq LR \leq 0/5$
۴	آسیب کم (نیاز به تعمیرات جزئی) $LR \geq 0/25$

مرحله چهارم

این مرحله شامل نسبت آسیب و آسیب پذیری کل بافت فرسوده است. با توجه به اطلاعات موجود مربوط به تعداد زیادی از ساختمان های بافت فرسوده، نسبت آسیب برای کل ساختمان ها با میانگین گیری از نسبت های آنها محاسبه گردیده است. در صورتی که اطلاعات جمع آوری شده در مورد نمونه هایی از هر ساختمان و تیپ سازه باشد، تعداد هر تیپ باید بر اساس رابطه در معادله گردد.

$$VR - \left(\frac{1}{N}\right) [(N1.LR1) + (n^2.LR^2 + \dots)] \quad \text{رابطه ۱۵:}$$

که در آن

VR: میزان آسیب در منطقه مورد مطالعه.

N: تعداد کل ساختمان‌های منطقه.

N1: تعداد ساختمان‌های دارای نوع سازه‌ای ۱.

LR۱: ضریب آسیب محاسبه شده برای سازه‌ی نوع ۱.

با توجه به موارد یادشده، ده پارامتر اساسی در محاسبه‌ی اندیس آسیب وارد می‌گردد که از این میان ۶ 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 زمین لرزه بر روی رفتار ساختمان اثر می‌گذارند. تاثیر این پارامترها به صورت مستقیم در محاسبه‌ی 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 هزینه‌ی آن قسمت به هزینه‌ی کل ساختمان می‌باشد. جمع کل ضرایب F برابر یک است.

شرح و تفسیر نتایج

در این روش نخست پرسش‌نامه‌ای که منطبق با شرایط ایران و شهر اردبیل و دربرگیرنده‌ی اطلاعات موردنیاز برای محاسبه‌ی پارامترها تهیه گردید. اطلاعات لازم از طریق برداشت‌های میدانی برای ۱۴۴۰ ساختمان واقع در بافت‌های فرسوده‌ی اردبیل ثبت شده است. با توجه به داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده نمایه‌ی آسیب بافت‌های شهر اردبیل به صورت زیر تعیین گردید.

تعیین نمایه‌ی آسیب

نتایج نمایه‌ی آسیب بعد از واکاوی اطلاعات برداشت میدانی، به صورت نمودار ستونی برای بافت‌های فرسوده‌ی اردبیل ارائه گردیده است. در این نمودارها بر اساس نمایه‌ی آسیب در زمین لرزه‌های با شدت $MSK7$ ، $MSK8$ و $MSK9$ تنظیم شده است. در این نمودار محور قائم نشانگر نمایه‌ی 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 $0/25$ تقسیم شده است. علاوه بر ارزیابی ساختمان‌ها بر اساس شدت زمین لرزه، می‌توان ارزیابی را بر اساس شتاب بیشینه به طور تقریبی نیز انجام داد. ارتباط بین شدت و شتاب که به ویژگی‌های سنگ‌شناختی و جنس زمین منطقه بستگی دارد برای پهنه‌ی لرزه‌ی زمین‌ساختی البرز به صورت زیر است (زارع، ۱۳۹۵: ۲۵۵):

$$PGA = e^{-2.16T}(137.90I_{MSK} - 602.38) \quad \text{رابطه ۱۶:}$$

که در آن فراسنج T ، دوره‌ی تناوب غالب زمین لرزه است و بر حسب فاصله و بزرگای خاک‌های مختلف تغییر می‌کند. I_{MSK} نیز شدت زمین لرزه در مقیاس MSK است. مقدار PGA برای شدت‌های لرزه‌ای ۷، ۸ و ۹ در جدول ... آورده شده است. برای محاسبه‌ی T ، با فرض فاصله‌ی متوسط ۵۰ کیلومتری از پهنه‌ی آزاد انرژی، از نمودارهای مرجع (زارع، ۱۳۹۵) استفاده شده است. برای تبدیل شدت زمین لرزه به بزرگای گشتاوری M_W از رابطه زیر (۴) استفاده شده است.

$$I = 1.37 M_W - 1.12 \quad \text{رابطه ۱۷:}$$

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

نتایج برداشت‌های میدانی بر حسب PGA زمین لرزه برای بافت‌های فرسوده اردبیل در اشکال ارائه شده است.

جدول ۱۶-۴ مقدار PGA (شتاب بیشینه) بر اساس شدت برای منطقه اردبیل

PGA (g)			پریود (ثانیه)			جنس زمین
شدت ۹ $M_W = 7/4$	شدت ۸ $M_W = 6/6$	شدت ۷ $M_W = 5/9$	شدت ۹ $M_W = 7/4$	شدت ۸ $M_W = 6/6$	شدت ۷ $M_W = 5/9$	
۰/۴۰	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۴	زمین سخت
۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۵	زمین غیرچسبنده ژرف
۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۵	زمین نرم

نتایج نمایه آسیب پس از واکاوی اطلاعات برداشت میدانی برای سه نوع ساختمان غالب شهر و برای سه شدت مختلف لرزه‌ای در جدول ۱۷-۴ ارائه گردیده است.

جدول ۱۷-۴ متوسط نمایه آسیب در ساختمان‌های بافت‌های فرسوده شهر اردبیل

نمایه آسیب برای زمین‌های غیرچسبنده ژرف			نمایه آسیب برای زمین‌های سخت			نمایه آسیب برای زمین‌های نرم			گونه‌شناسی ساختمان
شدت ۹	شدت ۸	شدت ۷	شدت ۹	شدت ۸	شدت ۷	شدت ۹	شدت ۸	شدت ۷	
۰/۶۲	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۱۶	۰/۶۷	۰/۲۸	۰/۱۷	ساختمان‌های با اسکلت بتنی
۰/۷۲	۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۶۰	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۷۸	۰/۵۲	۰/۲۸	ساختمان‌های با اسکلت فلزی
۱/۳۵	۰/۶۳	۰/۳۶	۱/۱۲	۰/۵۷	۰/۳۶	۱/۲۱	۰/۶۸	۰/۳۹	ساختمان‌های با مصالح بنایی

ساختمان‌های با مصالح بنایی، ساختمان‌های غالب بافت‌های فرسوده را تشکیل می‌دهد. بیشتر این ساختمان‌ها در برابر یک زمین لرزه 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 زمین لرزه با شدت V بر اساس رابطه یادشده دارای $LR = 0.39$ خواهد بود که در ردیف آسیب متوسط (نیاز به مرمت زیاد) قرار می‌گیرد. در زمین لرزه با شدت $VIII$ ساختمان‌های بنایی فاقد کلاف بندی، 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 شده در بافت‌های فرسوده در زمین لرزه با شدت V دارای $LR = 0.15$ خواهد بود که آسیب کمی می‌بیند و در زمین لرزه‌های با شدت $VIII$ در ردیف آسیب متوسط واقع شده و از وضعیت مطلوبی برخوردارند.

ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی شهر اردبیل در مقابل خطرپذیری زمین لرزه.....

با استفاده از رابطه نسبت آسیب ساختمان‌های موجود در بافت‌های فرسوده شهر اردبیل به صورت زیر محاسبه گردید.

جدول ۱۸-۴ نسبت آسیب‌پذیری محاسبه شده برای سه نوع ساختمان غالب شهر اردبیل

نسبت آسیب‌پذیری	گونه‌شناسی ساختمان
LR = 0.58	ساختمان‌های بنایی آسیب زیاد (بازسازی و مقاوم‌سازی وسیع الزامی است)
LR = 0.39	ساختمان‌های بنایی با کلاف افقی و قائم آسیب متوسط (نیاز به مرمت زیاد)
LR = 0.15	ساختمان‌های فلزی و بتنی آسیب اندک (نیاز به تعمیرات جزئی)

جدول ۱۹-۴ مقدار PGA (شتاب بیشینه) بر اساس شدت برای منطقه اردبیل

PGA (g)			پریود (ثانیه)			جنس زمین
شدت ۹ $M_W = 7/4$	شدت ۸ $M_W = 6/6$	شدت ۷ $M_W = 5/9$	شدت ۹ $M_W = 7/4$	شدت ۸ $M_W = 6/6$	شدت ۷ $M_W = 5/9$	
۰/۴۰	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۴	زمین سخت
۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۵	زمین غیرچسبنده ژرف
۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۵	زمین نرم

فصل پنجم

توصیه‌ها و تمهیدات پیشنهادی آسیب پذیری لرزه‌ای
بر اساس آموزه‌های زمین لرزه‌های کرمانشاه

به صورت تقریبی هر ده سال یک زمین لرزه بزرگ در کشور روی می دهد. زمین لرزه ها عملاً آزمایشگاه بزرگی برای شناسایی نقاط ضعف و قوت بشر در روبرویی با این پدیده طبیعی است. درس گرفتن از هر زمین لرزه می تواند مطمئن ترین و بهینه ترین روش پیشرفت در همزیستی با این رخداد طبیعی محسوب شود. وقوع زمین لرزه ها در ایران عمدتاً در مناطق روستایی و یا نزدیک شهرهای کوچک متمرکز است و با توجه به انواع ساختمان های متداول در ایران و روش های ساخت و ساز، کمتر شاهد عملکرد ساختمان های مهندسی و ساختارهای اجرایی در حوزه عمرانی کشور بوده ایم.

زمین لرزه آبان ۱۳۹۶ سرپل ذهاب را می توان نخستین زمین لرزه مهندسی کشور نامید که طیف وسیعی از انواع ساختمان های مصالح بنایی، بتن آرمه و فولادی با سیستم های مختلف سازه های (قاب خمشی، مهاربندی، ترکیبی) اهمیت اندرکنش خاک و سازه و روش های مختلف اجرایی (خصوصی، دولتی، مسکن مهر، تعاونی ها و...) مورد آزمایش قرار گرفت. بر خلاف آسیب فراوان جانی و مالی بر جای گذاشته از این زمین لرزه، می توان این تهدید را به فرصتی بزرگ تبدیل نمود و با بهره گیری از آموزه های این زمین لرزه در جهت هم افزایی روش ها و ساختارهای ساخت و ساز کشور گام های بلندی در جهت رفع نقاط ضعف برداشت.

با بررسی زمین لرزه های گذشته تا زمین لرزه های اخیر کرمانشاه در می یابیم که روند اصلاح و بهبود ساخت و ساز کشور به کندی و البته رو به رشد بوده، لیکن با توجه به خطر آنی این پدیده و آسیب پذیری بالای مراکز جمعیتی در کشور نیازمند عزم جدی برای اصلاح در تمام زوایای مؤثر در امر ساخت و ساز می باشیم. اگرچه استاندارد ۲۸۰۰ و مقررات ملی ساختمان متهم اصلی این زمین لرزه محسوب نمی شوند، لیکن ارتقاء و اصلاح آن ها با درس های ویژه این زمین لرزه ها لازمه داشتن آینده پایدار و ایمن است. ساختارهای پروژه های عمرانی دولتی و خصوصی آسیب دیده (نظام فنی و اجرایی، وزارت مسکن و شهرسازی، بنیاد مسکن و ...) متأسفانه در این تجربه زمین لرزه نیز همچنان از بسترهای اصولی ایجاد ضعف های ثانویه در قالب (۱) طراح، (۲) نظارت و (۳) اجرا می باشد. عدم وجود مجری ذیصلاح و ضعف های اجرایی، مصالح و عدم ملزومات نوین و ... در آسیب ها اثر قابل توجهی داشتند. همچنین سیستم های نظارتی به جهت عدم عملکرد مناسب در آسیب ها بازیگر مهمی محسوب می شوند و نهایتاً مهندسان طراح به جهت عدم استفاده از طرح های بهینه و تدقیق نقشه ها و ... در آسیب ها اثر اندکی داشتند.

۵-۱: آموزه های زمین لرزه کرمانشاه

یکشنبه ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶، ساعت ۲۱:۴۸:۱۶ به وقت محلی زمین لرزه ای به بزرگی ۷٫۳ ریشتر رخ داد. طبق آمار رسمی، بر اثر این زمین لرزه ۶۲۱ نفر جان باخته، نزدیک به ۳۸ هزار واحد مسکونی نیز تخریب و بیش از ۵۲ هزار واحد مسکونی نیز نیاز به تعمیر و بازسازی پیدا کردند.

مرکز زمین لرزه در منطقه ای با تراکم جمعیتی کم واقع شده بود، در غیر این صورت آمار تلفات جانی با توجه به بزرگی زمین لرزه به مراتب بالاتر می رفت. با گذشت حدود چهار ماه از وقوع زلزله ازگله کرمانشاه، پس لرزه های آن کماکان ادامه دارد؛ به طوری که تا اواسط آبان ماه سال ۱۳۹۷ در گستره های سرپل ذهاب، ثلاث و جنوب سومار به بیش از ۲۰۰۰ رسیده است.

بی مناسبت نیست که اشاره ای بشود به تیتراهای دروس این زمین لرزه سترگ، تا بلکه آموزه‌ای باشد برای کاهش آسیب دیدگی‌ها و تلفات زمین لرزه‌های آتی ایران زمین. هر زمین لرزه، درسی بزرگ برای آموختن است و در این میان زمین لرزه‌های بزرگ و دهشتناک، درس‌های بزرگی را فرا داده و می‌دهند. درس‌هایی که طبق سنت ما، زود فراموش می‌شوند، درس‌هایی که نیاز است بطور مرتب از طریق رسانه‌ها، تکرار شود تا بلکه ملکه ذهن‌ها شود؛ ملکه ذهن مردم، مهندسان، مدیران و مسئولان. در این نوشتار چند تیترا مهم، ارائه شده، امید است در دفتر درس مهندسان و کارشناسان و مسئولان کشور و استان به دقت یادداشت و نتایج آن استفاده شود.

۵-۱-۱: آموزه‌هایی از زمین لرزه کرمانشاه در جهت بهینه‌سازی ساختمان‌ها

زمین لرزه‌ای که در سال ۱۳۹۶ در کرمانشاه رخ داد، نه تنها باعث ویران شدن خانه هموطنان گردید بلکه بر روی ذهن آن‌ها نیز تاثیر چند برابر گذاشته است. به گفته متخصصان این حوزه، زمین لرزه و آثار روانی آن باعث تاثیر زیادی در افراد می‌گردد. با مرور زمان این وضعیت زندگی را برای آن‌ها بسیار سخت خواهد کرد. با بررسی خانه‌های ویران شده در این زمین لرزه نشان می‌دهد که عواملی از جمله اتصال ضعیف تیر آهن و ستون و اتصالات میلگرد سبب این اتفاق ناخوشایند گشته است. واقعیت این است که سرزمین ایران، در گستره‌ای لرزه‌خیز قرار دارد که ضروری است آمادگی مواجهه با این خطر طبیعی را داشته باشیم و با رعایت عواملی همچون اتصال تیر آهن به ستون می‌توان از این وقایع ناخوشایند جلوگیری کرد. زمین لرزه یکی از فاجعه‌های طبیعی است که زندگی ما را تهدید می‌کند، اگرچه اقدامات لازم برای رویارویی با زمین لرزه از اهمیت خاصی برخوردار است اما ترس ناشی از زمین لرزه باعث ایجاد تغییرات روانی در سطوح مختلف بر اساس فرد می‌شود.

وظیفه مهندسان عمران ساختن ساختمان‌های ایمن برای مردم است. برای رسیدن به یک ساختمان ایمن باید طبق آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و طراحی اقدام گردد. در کشور ما ساختمان‌سازی بر اساس اصول و قواعد فنی طراحی و اجرا نمی‌شود و این امر باعث بروز تلفات بسیار زیاد و غیر قابل جبرانی در نقاط مختلف ایران می‌شود. ساختن خانه‌های مقاوم در برابر زمین لرزه در کشور، کار چندان دشواری نیست.

می‌توان با رعایت یک سری اصول اساسی و مهم که آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و طراحی از جمله آیین‌نامه لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) اشاره می‌نماید، خانه‌ها و ساختمان‌هایی بسیار امن و مقاوم در برابر زمین لرزه‌های محتمل ساخت. اما تنها موردی که ما را در ساختن این خانه‌ها ناتوان نموده است؛ عدم اعتقاد و وجود باور به رخداد زمین لرزه و امکان خرابی سازه‌ها در طی آن می‌باشد.

بحث حاکم در ساخت ساختمان‌ها توسط اشخاص اعم از اشخاص فنی و غیر فنی این است که زمین لرزه چه زمانی قرار است اتفاق بیفتد؟ و یا اینکه اگر هم اتفاق بیفتد چیزی نمی‌شود. تا زمانی که چنین تفکری جای تفکر علمی و تجربه‌های حاصل از زمین لرزه باشد، کشور ایران شاهد ساخت خانه‌های بسیار ضعیف و غیرمقاوم در برابر زمین لرزه بوده و در هر زمین لرزه‌ای تلفات سنگینی خواهد پرداخت.

وظیفه ایجاب می‌کند که برای جلوگیری از تکرار چنین تلفاتی، از هر زمین لرزه رخ داده درس عبرت گرفته و بیاموزیم که برای ساختن خانه‌های مقاوم چه باید کرد. در این گزارش به برخی از دلایل عمده که اکثر خرابی‌ها ناشی از این موارد می‌باشد پرداخته شده و ضوابط آیین‌نامه‌ای و تحقیقی آن‌ها نیز آورده شده است.

الف - خرابی ناشی از وجود میانقاب

با توجه به اهمیت وجود میانقابها در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها در سال‌های اخیر کوشش‌هایی جهت ارائه ضوابط ویژه مربوط به میانقابها در آئین‌نامه‌های زمین لرزه انجام پذیرفته است. در این راستا با توجه به پیچیدگی، گستردگی و گاه رفتار غیرقابل پیش‌بینی، آئین‌نامه‌ها یا با کلی گوئی، تنها اهمیت میانقابها را بر رفتار لرزه‌ای سازه متذکر شده‌اند و یا بر اساس پژوهش‌های پیچیده و با صرف هزینه بسیار به بیان برخی ضوابط ویژه در رابطه با چگونگی در نظر گرفتن اثر میانقابها بر رفتار سازه پرداخته‌اند.

به‌عنوان مثال آئین‌نامه زمین لرزه ایران از نوع اول و آئین‌نامه زمین لرزه اروپا و دستورالعمل‌های FEMA از نوع دوم این گونه آئین‌نامه‌ها هستند. در اینجا لازم است، با توجه به اهمیت موضوع میانقابها، ابتدا با دیدگاه آئین‌نامه لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) در رابطه با تأثیر میانقابها بر رفتار لرزه‌ای سازه، آشنائی صورت پذیرد.

به‌طور خلاصه پیشنهادات آئین‌نامه در این زمینه به دو صورت کلی زیر بیان گردیده است:

- در سازه‌های دارای میانقاب یا باید با جداسازی، مانع مزاحمت میانقاب برای حرکت جانبی قاب شد و یا در غیر اینصورت اثرات اندرکنشی قاب و میانقاب در تحلیل سازه، مد نظر قرار گرفته شود.

- آئین‌نامه در یک راهکار ساده و کلی، پیشنهاد نموده، تا زمان تناوب اصلی سازه در ساختمان‌های دارای میانقاب به میزان ۲۰ درصد کاهش یابد، تا بطور ضمنی سختی قاب‌های میان پر شده و در نتیجه افزایش نیروی زمین لرزه وارد بر سازه مد نظر قرار گیرد.

اکنون این پیشنهادها، مورد نقد و بررسی قرار می‌گیرند، تا شناخت لازم در مورد آنها صورت پذیرد. در رابطه با جداسازی میانقاب از قاب باید گفت، در حالی که بیشتر ساختمان‌های موجود دارای میانقاب هستند، اما تقریباً شناختی کافی از چگونگی جداسازی میانقاب از قاب به ویژه در بین عموم وجود ندارد. ضمن آنکه، جداسازی میانقاب از قاب به‌علت عدم مقرون به صرفه بودن و همچنین عدم وجود آمدن جداسازی واقعی، توصیه نمی‌شود. از سوی دیگر، تحلیل سازه با در نظر گرفتن اثر میانقابها نیز، به علت عدم آگاهی از چگونگی در نظر گرفتن میانقابها در تحلیل، در عمل مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

ب - تشکیل طبقه نرم

نکته بسیار مهم این است که یک طراح حرفه‌ای باید توجه کند تغییرات شدید در تعداد میانقابها در دو طبقه مجاور ممکن است بسیار مساله‌ساز باشد. این مساله به خصوص در موضوع پیلوت ساختمانها بسیار جدی است. آنچنان که در ساختوساز شهری ایران عرف است، معمولاً در طبقه اول ساختمانها از حجم میانقابها به صورتی قابل ملاحظه کاسته می‌شود. دلیل این موضوع نیز تامین کاربری پارکینگ در پیلوت است.

پ - حذف میانقابهای طبقه همکف

کاهش عمده میانقابها در پیلوت نسبت به طبقات بالا به معنای تغییر قابل ملاحظه سختی دو طبقه مجاور است. این کاهش سختی بر اساس آموخته‌های مهندسی زلزله پذیرفتنی نیست. در یک سازه با سختی یکنواخت در ارتفاع، انتظار می‌رود در هنگام زمین لرزه‌های شدید مفاصل پلاستیک در ارتفاع سازه توزیع شده و استهلاک انرژی زمین لرزه در چندین ایستگاه صورت پذیرد. اما نرم بودن یک طبقه نسبت به طبقات بالایی کاملاً این توزیع یکنواخت خرابی را مختل می‌کند.

به طوری که تمام تقاضای شکل پذیری تنها در طبقه پیلوت متمرکز می شود. به عبارتی دیگر، در دو انتهای ستون های پیلوت مفصل پلاستیک شکل گرفته و عملاً طبقات فوقانی از استهلاک انرژی معاف می شوند. اگر انرژی فراوان زمین لرزه تنها در مفاصل محدودی مستهلک شود، افت شدید سختی و مقاومت ستون های پیلوت امری مورد انتظار خواهد بود. نتیجه عینی این موضوع، افزایش احتمال رخداد فروریزش در پیلوت است.

ت - تمرکز انرژی در ستون های طبقه همکف

با توجه به تصاویر بجامانده از سازه های شهر سرپل ذهاب و مناطق آسیب دیده در زمین لرزه اخیر، بیشتر ساختمان های مجتمع های مسکونی در طبقه همکف بدون میانقاب بوده و در طبقات بالایی میانقاب ها به ستون های کناری چسبیده اند. این موضوع باعث تغییر سختی جانبی طبقات شده است. بر اساس توضیحات ارائه شده در بالا، به دلیل اینکه طبقه همکف سختی کمتری نسبت به طبقات بالایی دارد، تغییر شکل های فرا ارتجاعی در این طبقه متمرکز شده و بیشتر انرژی زمین لرزه در این طبقه تخلیه می شود. لذا این موضوع سبب خرابی طبقه همکف شده است.

ر - حذف میانقاب از طبقات همکف

عدم وجود میانقاب ها در طبقه همکف باعث شده است که در بیشتر این سازه ها، طبقه همکف به کلی حذف شده و طبقات بالایی بر روی آن طبقه فروریخته و عملاً یک طبقه را حذف کنند.

ز - تشکیل طبقه نرم و فرو ریزش سازه ها

- ناپایداری ستون ها

ستون ها اعضای مقاوم ثقلی برای تمام سازه ها محسوب می شوند. در سیستم قاب خمشی ستون ها جزء اعضای مقاوم جانبی نیز هستند. لذا پایداری این اعضا برای پایداری سازه ها بسیار مهم و ضروری است. دقت در طراحی و اجرای ستون های بتنی باید بگونه ای باشد که ستون در موقع رخداد زمین لرزه پایداری و مقاومت خود را حفظ نماید. برای حفظ پایداری ستون باید رفتار لرزه ای ستون ها مناسب بوده و عملکرد آن ها بهبود یابد.

در زمین لرزه اخیر کرمانشاه عواملی که برای پایداری ستون ها می بایست رعایت شود، در نظر گرفته نشده بودند و باعث آسیب دیدگی این اعضا شده اند که ذیلاً مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات و گزارش های موجود در زمینه شکست سازه های بتنی در اثر زمین لرزه نشان می دهد که نزدیک به نود درصد این سازه ها در اتصالات دچار شکست شده اند. هنگام رخداد زمین لرزه اتصال تیر آهن به ستون در سازه های بتن مسلح دچار تنش های زیادی می شود.

بر اثر این تنش ها اکثراً گره اتصال دچار آسیب شده و حتی بعضاً گسیخته می شوند. گسیخته شدن گره اتصال می تواند باعث خرابی و فرو ریزش کل ساختمان گردد. با توجه به این مسئله در سال های اخیر بیشتر آئین نامه های لرزه ای توجه خاصی به گره اتصال معطوف داشته اند. در آئین نامه های طراحی، فلسفه طراحی بر مبنایی استوار است که آخرین قسمتی که آسیب می بیند اتصال تیر آهن به ستون باشد. به این دلیل که بعد از زمین لرزه:

- ترمیم اتصال مشکل است

- گره اتصال نیروهای ثقلی را بعد از زمین لرزه باید بتواند تحمل کند

بدین منظور آئین نامه های مختلف برای تقویت اتصالات ضوابط مختلفی را ارائه کرده اند. این ضوابط عمدتاً برای اطمینان از وجود مقاومت کافی و محصورشدگی اتصال به منظور تامین شکل پذیری لازم در باربری نهایی تنظیم گردیده اند، اما در بسیاری از سازه های بتنی به دلیل دشواری اجرا، جزئیات آرماتورگذاری مورد نظر آئین نامه ها اجرا نمی گردد. از طرف دیگر بسیاری از سازه های بتنی موجود بر اساس آئین نامه های قدیمی طرح شده اند، به همین دلیل تقویت اتصالات بتن آرمه به منظور جبران ضعف ناشی از کمبود آرماتورگذاری عرضی، مسئله حائز اهمیتی محسوب می شود.

س: تاثیر میانقاب در شکست اتصالات ستونها

ستونها در مقابل بارهای جانبی باید بصورت آزادانه تغییر شکل داده و مانعی در مقابل حرکت جانبی آنها وجود نداشته باشد. در بیشتر سازه ها چسبیدگی میانقابها به ستونها باعث جلوگیری از حرکت آزادانه ستونها در مقابل زمین لرزه شده و نیروی برشی ناشی از میانقاب شکست ترد در ستونها را حاصل شده است. بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ وقتی در سازه میانقاب در نظر گرفته می شود، باید اثرات میانقاب هم بر روی قاب در نظر گرفته شده و قاب در مقابل این اثرات کنشی طراحی گردد. در بیشتر سازه های ساختمانی کشور، این موضوع به عنوان یک مشکل اساسی در هنگام رخداد زمین لرزه می باشد.

ش: ستون ضعیف و تیر آهن قوی

تجربه زمین لرزه های سراسر جهان همراه با صدمات قابل توجه و آموزه های بی شمار آنها، عامل و انگیزه پیشرفت دانش مهندسی زلزله و سازه در راستای رسیدن به مرحله ای از طرح سازه ها بوده است که بتواند رفتار لرزه ای آنها را درست مطابق با خواست و منظور طرح فراهم آورد؛ عواملی همچون تنوع سازه ها، سرشت تصادفی و عدم قطعیت زمین لرزه ها و اثرگذاری عوامل بی شمار بر عملکرد یک سازه در زمان زمین لرزه، تاکنون مانع از دستیابی به هدف مذکور بوده است. روی داد زمین لرزه در مناطق مختلف جهان همراه با صدمات قابل توجه به مستحدثات می باشد که نتیجه آن تلفات جانی و اقتصادی قابل توجه به ساکنین مناطق مذکور است. کشور ایران نیز به علت واقع شدن بر روی کمربند زمین لرزه از یک سو و عدم رعایت دقیق ضوابط و مقررات آیین نامه ای توسط طراحان از سوی دیگر، هر از چند گاهی در اثر روی داد زمین لرزه های مهیب و وقوع خسارات شدید در ساختمان ها، شاهد آسیب های جانی و مالی فراوانی بوده است. تجربه حاصل از زمین لرزه های گذشته در سراسر جهان و ایران بیانگر این موضوع هستند که ساختگاهی که در آن ساختمان ها بایستی بطور مناسب برای تقویت خمشی بتن مسلح طراحی شده باشند، به دلیل یک یا ترکیبی از عوامل زیر از عملکرد قابل قبولی برخوردار نیستند. منظور از رعایت ضابطه تیر آهن ضعیف و ستون قوی این است که در سیستم های باربر جانبی قاب خمشی، مفصل پلاستیک در اثر نیروهای ناشی از زمین لرزه در تیر آهن به جای ستون تشکیل گردد. زیرا نخست اینکه تیر آهن در سیستم های قاب خمشی، از شکل پذیری مناسب برخوردار است و پس از تشکیل مفصل پلاستیک می تواند با شکل پذیری خود، نیروهای ناشی از زمین لرزه را تا گسیختگی جذب کند؛ این در حالی است که ستون رفتاری شکننده داشته و با تشکیل مفصل پلاستیک در ستون هر لحظه احتمال شکست ستون وجود دارد. ضمناً مبنای طراحی بر اساس خرابی تیر آهن است نه ستون، چرا که با خرابی تیر آهن قسمتی از سازه تخریب می شود و این در حالی است که ممکن است با خرابی ستون، کل سازه در معرض خطر خرابی و خسارت عمده قرار بگیرد.

ص: تاثیر تیر و ستون در رفتار لرزه‌ای سازه

در صورتی که ستون زودتر از تیر آهن خرابی شود، مقدار خرابی در یک طبقه متمرکز شده و احتمال تشکیل طبقه نرم نیز وجود دارد. در این صورت سازه توانایی تحمل تغییر شکل‌های بزرگ را ندارد. اما در صورتی که ستون قوی و تیر آهن ضعیف باشد، مقدار خرابی در کل طبقات پخش می‌گردد که این امر باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها شده و سازه توانایی تحمل تغییر شکل‌های جانبی بیشتری را خواهد داشت.

لازم به توضیح است که تیر آهن ضعیف و ستون قوی در هر طبقه‌ای از سازه می‌تواند رخ دهد. در زمین لرزه کرمانشاه عدم وجود تیر آهن ضعیف و ستون قوی باعث خرابی بسیاری از سازه‌ها شده است. در این زمین لرزه بیشتر تیرهای بتنی در سازه‌های خراب شده سالم بوده ولی ستون‌ها دچار خرابی بیشتری شده‌اند.

۵-۱-۲: درس نخست زمین لرزه کرمانشاه: اهمیت توجه به پیش لرزه‌ها و ریزلرزه‌ها به

عنوان هشدار احتمالی زمین لرزه بزرگ تر آتی

در زمین لرزه ۷,۳ کرمانشاه پیش لرزه‌ای با بزرگی ۴,۴ حدود ۴۳ دقیقه قبل رخ می‌دهد. همچنین دو پیش لرزه کوچک نیز در ساعات ۲۱:۱۸ و ۲۱:۱۹ به وقوع می‌پیوندد که در ادامه و در ساعت ۲۱:۴۸ روز یکشنبه مورخ ۲۱ آبانماه ۱۳۹۶ زمین لرزه اصلی با بزرگی ۷,۳ رخ می‌دهد. پیش لرزه ۴,۴ با توجه به محسوس بودن آن در منطقه، موجب می‌شود که تعدادی از مردم به بیرون از خانه‌ها بروند و در رخداد اصلی از خطر دوری گزینند. در این میان عده‌ای نیز پس از چند دقیقه بیرون ماندن دوباره به خانه‌های خود بر می‌گردند که از رخداد زمین لرزه اصلی متاثر می‌شوند.

درس نخست زمین لرزه کرمانشاه توجه و حساسیت به زمین لرزه‌های کوچک و متوسط به عنوان پیش لرزه‌های احتمالی زمین اصلی و بیرون آمدن از ساختمان‌هایی که از استحکام آن اطلاع دقیقی در دست نیست، بود. این درس، درس مهمی بود که زمین لرزه کرمانشاه داد و البته پیشتر از آن در زمین لرزه بم نیز رخداد سه پیش لرزه این درس مهم را داده بود. لذا می‌توان از این ریزلرزه‌ها به عنوان پیش‌نشانگرهای احتمالی وقوع زمین لرزه‌های بزرگ یاد نمود. در واقع افزایش تعداد ریزلرزه‌ها (زمین لرزه‌های با بزرگای ۲ تا ۴ ریشتر) و حتی زمین لرزه‌های کوچک (زمین لرزه‌های با بزرگای ۴ تا ۵ ریشتر) در یک منطقه در بازه زمانی کوتاه مدت می‌تواند به عنوان شواهد احتمالی وقوع زمین لرزه‌های بزرگ تر در نظر گرفته شود.

با این حال ادعای یادشده به این معنا نیست که ما بایستی همواره نگران ریزلرزه‌ها باشیم. زیرا از نظر آماری تنها ۵ درصد از ریزلرزه‌ها به زمین لرزه‌های بزرگ ختم منجر می‌شوند. نکته مهم دیگر این است که با وقوع زمین لرزه بزرگ بسیاری از مردم می‌دانند که به دنبال آن زمین لرزه‌های کوچک‌تری به نام پس لرزه خواهد آمد. اما افراد کمتری آگاه هستند که پیش از زمین لرزه‌ای بزرگ، پیش لرزه‌هایی نیز وجود دارد که به عنوان مواد اولیه زمین لرزه عمل می‌کنند.

۵-۱-۳: درس دوم زمین لرزه کرمانشاه: اهمیت تکمیل ایستگاه های لرزه نگاری و

شتابنگاری

در زمین لرزه کرمانشاه، به دلیل مجاورت محل رخداد زمین لرزه به مرز ایران و عراق و عدم پوشش مناسب ایستگاه های لرزه نگاری (تعداد کم ایستگاه های لرزه نگاری) و نبود احاطه نقطه رخداد زمین لرزه توسط ایستگاه ها، در برآورد موقعیت و مرکز زمین لرزه فقدان قطعیت هایی وجود داشت. برخی از سایت های گزارشگر زمین لرزه کرمانشاه محل وقوع آن را در داخل کشور عراق اعلام کردند. ابهام در محل وقوع در دقایق اولیه زمین لرزه که هنوز اخبار خرابی ها و خسارت ها از طرق دیگر منتشر نشده است، واکنش های مدیریت بحرانی را تحت تاثیر قرار خواهد داد. واضح است که در ساعات اولیه زمین لرزه، بویژه در مناطقی با جمعیت پراکنده، با هدف امداد و نجات و مدیریت بحران حادثه، ضرورت دارد که رومرکز زمین لرزه و مناطق اصلی تحت تاثیر زمین لرزه تعیین شود. از ایستگاه های لرزه نگاری برای تعیین محل وقوع زمین لرزه و از ایستگاه های شتابنگاری برای برآورد خسارت ها و تلفات احتمالی استفاده می شود و علاوه بر آن رکوردهای شتاب نگاشتی، بعدها به عنوان داده های ذیقیمی در تدوین مقررات و آیین نامه های طراحی و ساخت ساختمان های مقاوم در برابر زمین لرزه مورد استفاده قرار می گیرد. ایستگاه های لرزه نگاری در منطقه برای ثبت دقیق زلزله کم بود (در کل کشور حدود ۱۲۰ ایستگاه لرزه نگاری با مسئولیت موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران فعال است). مقادیر ثبت شده مهم ترین و اصلی ترین معیار کمی قضاوت در مورد کیفیت ساخت ساختمان های تحت اثر زمین لرزه و نحوه رفتار آن ها در زمین لرزه کرمانشاه تلقی می شود. با توجه به موارد ذکر شده، درس دوم زمین لرزه کرمانشاه، اهمیت ایستگاه های لرزه نگاری و شتابنگاری در مناطق مختلف کشور و افزایش کمی و کیفی آن ها است. زمین لرزه کرمانشاه نشان داد که اگر پوشش مناسبی از ایستگاه های لرزه نگاری و شتابنگاری وجود داشته باشد دقت کار، ارزیابی پهنه های آسیب دیده، قضاوت در مورد کیفیت ساخت و ساز مناطق مختلف و امداد و نجات و مدیریت بحران سریع تر و سهل تر انجام خواهد پذیرفت.

۵-۱-۴: درس سوم زمین لرزه کرمانشاه: مدیریت بحران و امداد و نجات سریع در

لحظات اولیه وقوع زمین لرزه

در زمین لرزه کرمانشاه، در ساعات اولیه و تقریباً در ۲ روز اول زمین لرزه، نابسامانی هایی در مدیریت بحران، رساندن کمک ها به دست مردم آسیب دیده مشاهده شد. ارسال با تاخیر اقلام مورد نیاز مردم زلزله زده، در ۲ روز اول پس از زمین لرزه، با توجه به بافت قومی - مذهبی منطقه تحت تاثیر زمین لرزه، موجبات گلایه هموطنان زلزله زده را فراهم آورده بود. همچنین نحوه پخش اقلام مورد نیاز مردم زلزله زده که در برخی موارد به صورت پرت کردن وسایل از بالای کامیون ها به سمت تجمع مردم بود، نیز صورت مناسبی نداشت. در این زمین لرزه، همچنین دیده شد مردم روستاها و آبادی های کنار جاده های اصلی، اقلام مازادی را چند روز بعد از زمین لرزه دریافت کردند اما روستاهای دوردست دچار مشکل بودند. میزان چادرهایی که توسط جمعیت هلال احمر بین مردم زلزله زده منطقه توزیع شد، طبق آمار و برآوردها حدود سه برابر چادرهای مورد نیاز بود. هزینه هنگفتی بابت تهیه این چادرها پرداخت می شود که متأسفانه در روزهای اول زمین لرزه به دلیل فقدان استقرار سامانه مناسب مدیریت بحران، شیوه های توزیع

اقلامی نظیر چادر نیز نامناسب بود و موجب شد چادرهای بیشتری توزیع شود. اگر سامانه و آمار از پیش تهیه شده از جمعیت تحت تاثیر زمین لرزه در دست باشد و اگر رویه‌ای از پیش تعیین شده برای توزیع چادرها و اقلام مورد نیاز وجود داشته باشد، مسلماً از هدر رفت سرمایه‌ها جلوگیری می‌شود. همچنین در منطقه دیده شده که در کنار دریافت اقلام بیشتر توسط عده‌ای، برخی مردم که توانایی لازم را نداشتند از دریافت اقلام ضروری مانند چادر تا چند روز بعد از زمین لرزه محروم بودند. بنابراین برخورداری از سیستم مناسب و حساب شده اقلام ضروری برای مردم منطقه زلزله زده یک ضرورت است.

درس سوم زمین لرزه کرمانشاه این بود که اقدامات سریع در زمان وقوع زمین لرزه و بویژه رساندن بموقع اقلام ضروری به مردم می‌تواند در همان اوان زمین لرزه، میزان آلام مردم زلزله زده را کاهش دهد. در این زمینه باید به مناطق صعب العبور و روستاهای دورافتاده توجه جدی کرد.

۵-۱-۵: درس چهارم زمین لرزه کرمانشاه: بسته شدن جاده اصلی

در زمین لرزه کرمانشاه، مسیر کرمانشاه به سرپل ذهاب (شهری که بیشترین خسارت‌های زمین لرزه را تحمل کرد) به علت ریزش سنگ در تنگ پاتاق بسته شد که از شب حادثه تا سحرگاه بعد جاده اصلی و مهم سرپل به کرمانشاه بسته بود. علت طولانی شدن عملیات رفع انسداد مسیر، وجود لوله نفت در کناره جاده و در یال دره در تنگ پاتاق بود که ماموران راهداری با هدف جلوگیری از آسیب احتمالی به آن، نمی‌توانستند قطعه سنگ‌های بزرگ را با ماشین‌آلات به پایین دره پرت کنند و این امر موجب کندی عملیات شده بود. مسدود شدن جاده موجب شد عملیات انتقال مجروحان حادثه به کرمانشاه به طور زمینی و از این محور صورت نپذیرد و گزارش شده است به این علت نیز تلفات جانی به بار آمد.

درس چهارم زمین لرزه کرمانشاه، توجه به احتمال ریزش سنگ در جاده و بسته شدن راه های مواصلاتی مناطق زلزله زده بود. همچنین توجه به محل لوله‌های گذاری برای انتقال نفت و یا گاز نیز از درس‌های مربوط به زمین لرزه کرمانشاه بود. مسدود شدن جاده در مناطق کوهستانی در اثر فروریزش سنگ‌های دامنه‌های مشرف به جاده بوفور در زمین لرزه‌های ایران مشاهده شده است. لذا ضروری است که :

- به ریزش سنگ و مسدود شدن جاده‌ها در اثر زمین لرزه در مناطق ناهموار و کوهستانی پیرامون دشت اردبیل (ارتفاعات سبلان، تالش و نمین - عنبران توجه ویژه داشت و اقدامات پیشگیرانه را انجام دهیم.
- وجود لوله‌های گاز و آب در مجاورت جاده در باز کردن مسیر عامل کندی کار خواهند بود، در مسیریابی و حفاظت آن‌ها باید بازنگری اساسی صورت پذیرد.

۵-۱-۶: درس پنجم زلزله کرمانشاه؛ قطع شدن کابل برق اضطراری در اثر فروریزش

دیوار بنایی اتاق تاسیسات برق بیمارستان سرپل ذهاب

در زمین لرزه کرمانشاه، متاسفانه بیمارستان‌های سرپل ذهاب و اسلام‌آباد غرب از مدار عملکردی خارج شدند. این دو سازه مهم که تصور بر این است که باید در لحظات وقوع زمین لرزه و بعد آن به سرویس دهی ادامه دهند، بر عکس

تصور، زودتر از سایر ساختمان‌ها از کار باز ایستادند. در مورد بیمارستان اسلام‌آباد سرفصل درس دیگری را باید عنوان کرد اما در مورد بیمارستان سرپل‌ذهاب، اتفاق بسیار ساده و پیش پا افتاده موجب توقف عملکرد بیمارستان در آن لحظات حیاتی و ارزشمند می‌شود. بازدید آسیب‌های ساختمانی بیمارستان سرپل‌ذهاب نشان داد ساختمان مجزای تاسیسات برقی بیمارستان دارای دیوار بنایی با ارتفاع حدود ۵ متر بدون هیچگونه اتصال به تیرها و ستون‌ها بود. علاوه بر آن، کابل برق معمولی و اضطراری بیمارستان نیز متصل به همین دیوار و از سمت بالای آن به ساختمان بیمارستان کشیده شده بود. در اولین ارتعاش زمین‌لرزه، دیوار مرتفع و بنایی اتاق تاسیسات برقی بیمارستان فرو می‌ریزد و کابل‌های برق معمولی و اضطراری پاره و در نتیجه برق کل ساختمان بیمارستان قطع می‌شود. قطعی برق همراه با اثر زمین‌لرزه بر روی ساختمان یک طبقه بیمارستان که شامل ترک خوردگی و کنده شده کاشی‌های دیوار و ریزش سقف کاذب در بعضی از قسمت‌های بیمارستان بود، موجب حاکم شدن فضای وحشت در بیمارستان می‌شود، بیماران بد حال و عمل جراحی شده توسط کادر بیمارستان در تاریکی مطلق دمام زمین‌لرزه با مرارت، بیرون آورده شده و در محوطه بیمارستان خوابانده می‌شوند. در آن لحظات، بیمارستان قادر به مداوای مجروحان زمین‌لرزه نیست و متأسفانه این امر موجبات کاهش قابل ملاحظه سطح خدمت‌رسانی به نیازمندان و زلزله‌زدگان منطقه می‌شود.

درس پنجم زمین‌لرزه کرمانشاه این بود که اگر کابل برق اضطراری بیمارستان از مسیر زیرزمینی و کم‌خطری به ساختمان بیمارستان کشیده می‌شد هرگز مشکلات توقف عملکردی بیمارستان سرپل‌ذهاب را مشاهده نمی‌کردیم. باید با اقدامات بسیار ساده، از اتفاقات مشابه در سایر بیمارستان‌های کشور و منطقه مورد مطالعه یعنی شهر اردبیل جلوگیری شود.

- باید به قطع برق بویژه در بیمارستان‌ها توجه ویژه‌ای شود. گسیختگی کابل برق اضطراری در اثر زمین‌لرزه، ولو اینکه ساختمان بیمارستان آسیب جدی هم ندیده باشد، ادامه کارکرد بیمارستان را مختل خواهد کرد.
- کابل‌های اصلی برق معمولی و اضطراری نباید به دیوارهای فاقد استحکام کافی متصل شوند.
- اتاق و یا ساختمان تاسیسات برقی بیمارستان‌ها با هدف تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه در اسرع وقت مورد بازبینی کارشناسانه قرار گیرند.

۵-۱-۷: درس ششم زمین‌لرزه کرمانشاه؛ عدم توجه به ساختگاه و اثر خاک نرم و سست

زمین‌لرزه کرمانشاه درس بزرگی را در مورد اهمیت انتخاب سایت برای ساخت و ساز، اهمیت نوع زمین و اهمیت پی و زمین شالوده بنا داشت. در بازدیدهای میدانی خرابی‌های زمین‌لرزه، در منطقه اسلام‌آباد غرب در زمین مسکن مهر شرف‌آباد، که در منطقه سراب شرف‌آباد بنا شده بودند، مشاهده گردید که به دلیل خاک نرم منطقه، که ظاهراً قبلاً در این منطقه آب زیرسطحی مظهر داشته و بهمین دلیل زمین‌های این منطقه را سراب نیز نامیده‌اند، در دو بلوک ساختمانی، طبقه نرم تشکیل شده و فروریزش ساختمان دو بلوک رخ داده است. نمونه خاک برگرفته از گمانه‌های ژئوتکنیکی بعد از زمین‌لرزه نشان می‌دهد که زمین منطقه حالت گلی و لجنی داشته و از نوع خاک بسیار نرم بوده است. خاک نرم منطقه موجب افزایش دوام ارتعاش زمین و اثر بیشتر ارتعاش زمین‌لرزه بواسطه بزرگ-

نمائی دامنه موج شده است که این امر یکی از دلایل اصلی تخریب دو بلوک و آسیب دیدگی بلوک های دیگر مسکن مهر منطقه سراب شرف آباد شهر اسلام آباد غرب بوده است. همین وضعیت احتمالاً در تخریب بیمارستان امام خمینی شهر اسلام آباد غرب، با شتاب ثبت شده حدود ۰,۱۲ در ایستگاه شتاب نگاری این شهر، نیز نقش برجسته ای داشته است.

در خسارت عمده شهر سرپل ذهاب در کوی فولادی نیز، اثر خاک نرم نقش برجسته ای داشت. در پشت محوطه ساختمانی مسکن مهر شهید شیرودی سرپل ذهاب و کوی فولادی مسیر دره و رودخانه الوند که از آبشار پیران بسمت شهر سرپل ذهاب روانه است، قرار دارد. این مسیر دربرگیرنده خاک نرم و اشباع در اثر آب جاری رودخانه الوند است. خاک نرم این منطقه نیز نقش ویژه ای در افزایش میزان خرابی و آسیب دیدگی ساختمان های واقع در این منطقه داشت. در حالی که در همین شهر و در فاصله حدود ۷۰۰ متری و در مسکن مهر شکوه، اثر قابل ملاحظه ای از خرابی زمین لرزه مشاهده نگردید. مصداق عینی چنین موردی بسترهای سیلابی و رودخانه ای بخشی از شهر اردبیل شامل شهرک ساحلی، اداری و ضلع جنوبی فاز ۱ و ۲ شهرک کارشناسان، محدوده های واقع در امتداد شمالی و جنوبی رودخانه بالیقلوچای از ورودی تا خروجی شهر که دست کم در نیمی از مسیر به در محدوده پارک معلم فرایند بلندمرتبه سازی در حال اجرا است.

درس ششم زمین لرزه کرمانشاه، توجه جدی به نوع خاک، اثر ساختگاه و بزرگ نمائی شتاب زمین لرزه و افزایش مدت دوام ارتعاش زمین لرزه توسط پی نرم و خاک سست و مرطوب، می باشد. در احداث بنا، حفاری گمانه ها و آزمایشات ژئوتکنیکی و طراحی ساختمان بر مبنای خصوصیات خاک باید الزامی باشد و بطور سختگیرانه ای اجرای آن نظارت شود.

- باید در انتخاب سایت پروژه ها و بویژه پروژه های مهم مانند بیمارستان ها، ساختمان های با تراکم جمعیتی بالا و مراکز خطرزا، حتماً به نوع خاک سایت توجه شود و طراحی بر اساس رفتار لرزه ای خاک سایت صورت پذیرد.
- باید حفر گمانه های ژئوتکنیکی و انجام آزمایشات مرتبط برای هر ساختمان طبق الزامات آئین نامه ۲۸۰۰ بطور خاص انجام شود. باید از کپی کردن اطلاعات گمانه های سایر سایت ها و گذاردن آن ها در پرونده های ساخت بنای دیگر، جداً خودداری ورزید، این کار یک تقلب آشکار و تخلف عمده محسوب می شود.

۵-۱-۸: درس هفتم زمین لرزه کرمانشاه؛ اهمیت کنترل کیفیت بتن

یکی از ویژگی های عمده زمین لرزه کرمانشاه، نقش برجسته کیفیت بتن در استحکام بنا بود. در این زمین لرزه مشخص گردید که بتن ساختمان های مهم تخریب شده بویژه در شهر اسلام آباد غرب که شتاب زمین لرزه بمراتب کمتری را تحمل کرده بودند، از حد استاندارد بمراتب پایین بود. در برخی موارد قطعات بتن جدا شده از ساختمان، با فشار دست نیز، می شکستند. آزمایشات بتن نشان داد که حد مقاومت آن ها حدود یک سوم و بیشینه آن، نصف حد استاندارد بود. بررسی شیت های آزمایش بتن نشان داد که متاسفانه در برخی موارد اعداد غیر واقعی در برگه ها درج شده بوده است.

هفتمین درس بزرگ زمین لرزه کرمانشاه این بود که به کنترل جدی کیفیت بتن مورد استفاده در ساختمان های مسکونی، بیمارستان ها و مدارس و به طور کلی در تمامی سازه ها، بسیار توجه کنیم. در بررسی محصولات بتن های آماده برخی از کارخانه ها مشاهده شده بود که علی رغم داشتن گواهی نامه استاندارد، متاسفانه کیفیت بتن های تولیدی مطلوب نبوده است. همچنین در مصرف بتن های بکار گرفته شده در ساختمان بیمارستان، در جداول آزمایش مقاومت بتن اعداد غیر واقعی درج شده بود که به هیچ وجه در شان جامعه مهندسی کشور نبوده است. لذا ضروری است که:

- کیفیت بتن مصرفی سازه ها مخصوصاً با توجه به موقعیت آب و هوایی و سردسیری شهر اردبیل بطور جدی مورد کنترل و نظارت قرار گیرد. بتن نقش ویژه ای در استحکام بنا در برابر زمین لرزه دارد.
- باید از درج اعداد غیر واقعی در برگه های آزمایشگاهی بتن، اجتناب ورزید، چنین کاری در شان جامعه مهندسی کشور نیست، این کار یک تقلب بزرگ و یک تخلف آشکار بود و باید با متخلفان برخورد جدی کرد.

۵-۱-۹: درس هشتم زمین لرزه کرمانشاه؛ توجه به استحکام دیوارهای جانبی و حائل و

اجزای غیرسازه ای

در زمین لرزه کرمانشاه به طور متواتر مشاهده کردیم که آسیب دیدگی ساختمان ها اغلب شامل تخریب، ترک خوردگی و آسیب دیدگی دیوارهای جانبی و حائل بوده است. اتصال این دیوارها به تیرها، ستون ها، سقف و کف بخوبی صورت نگرفته بود و در اغلب ساخت و سازهای کشور نیز روال به همین گونه است. این امر موجب وحشت ساکنان، ناپیمنی ساختمان ها بویژه در پس لرزه ها می شود که لازم است به طور جدی تمهیدات مهندسی در مورد نحوه استحکام این دیوارها و اجزاء غیرسازه ای به کار برده شود. این ضعف بطور واضح در ساختمان مسکن مهر شهید شبرودی (ساختمان های هفت طبقه مسکن مهر که بنوعی نماد زمین لرزه کرمانشاه شدند)، خود را نشان داد و چهره رعب آوری برای مردم به وجود آورد. این موارد در ساختمان های مسکن مهر اردبیل نیز دور از انتظار نخواهد بود.

هشتمین درس زمین لرزه کرمانشاه، توجه جدی به نحوه اتصال دیوارهای حائل و جانبی به اطراف و جوانب آن ها است. از دیدگاه سازه ای شاید در مورد پایداری ساختمان، رفتار اسکلت سازه بیشتر مورد توجه باشد اما در رویداد زمین لرزه ها، آنچه مهم است امکان ادامه اسکان مردم ساکن در خانه های خودشان مطرح می شود که مسلماً با خرابی و آسیب دیدگی اجزای غیر سازه ای این امر محقق نمی شود.

- در ساخت و سازها باید دیوارهای جانبی و حائل با رعایت تمهیدات مهندسی مستحکم شود. تجربه زمین لرزه کرمانشاه و سایر زمین لرزه های ایران نشان می دهد در این زمینه، اجزای غیر سازه ای ضعیف عمل کرده و ساختمان را از درجه انتفاع خارج می کنند.

۵-۱-۱۰: درس نهم زمین لرزه کرمانشاه؛ توجه به اتصال مناسب سنگ های نما

در زمین لرزه کرمانشاه، ریزش سنگ نماها در خیلی از ساختمان ها، به عنوان یک نقطه ضعف آشکار بار دیگر خود را نشان داد. سنگ نماها باید به شیوه های درستی به ملات پشت خود متصل شوند تا در موقع لرزش ریزش نکنند. مشاهدات میدانی رفتار سنگ نماها در ساختمان هایی مانند ساختمان های مسکن مهر، بیمارستان و ساختمان های دولتی و مسکونی، نشان داد که اتصال سنگ نماها به ملات مطابق معمول بدرستی و بطور جدی صورت نگرفته بود. این امر همچنین در کاشی ها و سرامیک های درون ساختمانی دیوارها نیز دیده می شود. در بیمارستان های قصر شیرین، سرپل ذهاب و اسلام آباد غرب ریزش کاشی های دیوارها مشاهده شد که این امر موجب وحشت کارکنان و مردم شده بود. علاوه بر خطرات جانی که در حین وقوع زمین لرزه ریزش سنگ نماها دارد، چهره نامطلوب و ترسناک حادثه موجب احساس ناامنی روانی ساکنان نیز می شود. چنین وضعیتی در شهر اردبیل نیز که بیشتر نماهای ساختمانی آن سنگی است می تواند اتفاق بیفتد. لذا بدیهی است که:

- اتصال سنگ های نما به دیوارها باید طبق شیوه های صحیح صورت گیرد و برای حصول اطمینان از این امر، نظارت جدی در این زمینه ضرورت دارد.

۵-۱-۱۱: درس دهم زمین لرزه کرمانشاه؛ توجه و احساس مسئولیت در نظارت بر اجرای

ساختمان ها

در خرابی های حاصل از زمین لرزه کرمانشاه و در بازدیدهای میدانی، داخل ملات بتن، گونی و خرده های سفال، نخاله های ساختمانی و مواد زائد دیگر مشاهده شده بود. در ریزش سنگ نماها، سنگ های نما به دیوارها متصل نشده بودند. در محدوده سایت مسکن مهر شرف آباد نیز تعداد کم گمانه های ژئوتکنیکی حفر شده بود. در خرابی کوی فولادی شهر سرپل ذهاب در مسیر رودخانه الوند، خاک دستی وجود داشت که تا ساختگاه این ساختمان ها نیز ادامه داشت. مواردی از این قبیل که جملگی خلاف الزامات آئین نامه و مقررات ساخت ساختمان است، نشان می دهد در اغلب ساخت و سازهای منطقه، نظارت جدی و پیوسته و میدانی حاکم نبوده است.

مشکلات ریشه ای نظارت بر اجرای ساختمان ها باید بطور اساسی حل شود، در غیر این صورت کیفیت ساخت ارتقای محسوسی نخواهد نمود. در ساخت و سازهای روستایی نیز، در روستاهایی که عملیات نوسازی پس از جنگ تحمیلی صورت گرفته بود و خانه ها دارای شناژهای قائم و افقی بودند، رفتار مناسبی در برابر زمین لرزه از آن ها مشاهده شده بود، ولی ساختمان های روستایی خشتی و گلی و با سقف سنگین بشدت خسارت دیدند.

درس مهم دیگر زمین لرزه کرمانشاه، توجه جدی و مسئولانه به امر نظارت پیوسته و میدانی بر ساخت و سازها بود. همچنین توجه به سبک سازی سقف خانه های روستایی، نوسازی ساختمان های خشت و گل و سنگ و گل و بنائی در مناطق روستایی نیز درس مهم دیگر زمین لرزه کرمانشاه بود. همچنین نکته مهم این است که متأسفانه در زمین لرزه های ایران اغلب در روستاها خسارت و آسیب دیدگی مسکن روستایی بصورت فروریزش کامل است که منجر به تلفات جانی بالا می گردد، نظارت بر ساخت و سازهای روستایی نیز در همین رابطه بطور جدی باید انجام بگیرد. لذا بایستی:

- نظارت بر ساخت و سازها بصورت مستمر و میدانی صورت گیرد. این کار باید جزء مسئولیت‌های حقوقی شمرده شود.

- ساختمان‌های روستائی که بصورت بنایی و فاقد شناژهای افقی و قائم بوده و با مصالح سنگ و گل و خشت و گل با سقف سنگین ساخته شده‌اند باید در اولویت نوسازی بافت روستائی قرار گیرند و نظارت بر ساخت و سازهای روستائی نیز بطور جدی دنبال شود.

۵-۱۲: درس یازدهم زمین لرزه کرمانشاه؛ توجه جدی به عدم قطع برق و خطوط مخابرات

بلافاصله پس از وقوع زمین لرزه کرمانشاه، قطعی برق و خطوط مخابرات در مناطق زلزله زده اتفاق افتاد. در مواقعی که بیش از هر زمان دیگر، به برق و ارتباطات تلفنی نیاز پیدا می‌شود، این دو شریان حیاتی از کار می‌افتد. این امر در اغلب زمین لرزه‌های ایران اتفاق افتاده است. افتادن دکل‌های خطوط برق و مخابرات، آسیب دیدگی پست‌های برق، آسیب دیدگی ساختمان‌ها و تاسیسات از جمله دلایل قطعی برق و مخابرات در حین وقوع زمین لرزه است که باید مسئولان این بخش‌ها در این رابطه اقدامات پیشگیرانه‌ای را اتخاذ کنند.

درس دیگر زمین لرزه کرمانشاه این بود که باید دکل‌های انتقال برق، مخابرات بر اساس احتمال رخداد زمین- لرزه مستحکم شوند. کارکرد سامانه برق بویژه بسیار مهم است، زیرا کارکرد بسیاری از مولفه‌های دیگر نیز وابسته به وجود برق است. همچنین ساختمان تاسیسات برقی و مخابرات برای احتمال وقوع زمین لرزه مورد ارزیابی قرار گیرند.

- خطوط برق و مخابرات باید عملکرد خود را پس از وقوع زمین لرزه حفظ کنند. در این رابطه باید تمهیدات لازم برای پایداری دکل‌ها و ساختمان‌های تاسیسات برقی و مخابراتی در نظر گرفته شود.

۵-۱۳: درس دوازدهم زلزله کرمانشاه؛ تخریب محل نگهداری احشام، دام و طیور و تلف شدن آن‌ها

در زمین لرزه کرمانشاه در مناطق روستایی، تخریب محل نگهداری گاو و گوسفند و طیور و نیز استخرهای پرورش ماهی ضرر و زیان اقتصادی قابل توجهی به مردم منطقه و اقتصاد استان کرمانشاه وارد ساخت. تجربه و درس مهم و گرانبهای دیگر زمین لرزه کرمانشاه توجه به استحکام محل نگهداری دام و طیور و استخرهای پرورش ماهی و مواردی از این قبیل است. در زندگی روستاییان، دام و طیور به عنوان منبع درآمد و تامین مایحتاج غذایی آن‌ها بسیار مهم تلقی می‌شود و ضرورت دارد مقاومت لرزه‌ای محل نگهداری حیوانات در روستاها نیز مورد توجه قرار گیرد. لذا ضروری است که:

- به استحکام لرزه‌ای محل نگهداری دام و طیور و استخرهای پرورش ماهی در مناطق روستائی توجه جدی گردد.

۵-۱-۱۴: درس سیزدهم زمین لرزه کرمانشاه؛ آسیب پذیری بالای جمعیت زنان

در زمین لرزه کرمانشاه تعدادی از هموطنان و بخصوص در محدوده شهرستان سرپل ذهاب جان باختند. البته باید ذکر کرد محل وقوع زمین لرزه از نظر جمعیتی منطقه پرتراکمی محسوب نمی شود که در غیر این صورت آمار تلفات جانی زمین لرزه کرمانشاه بمراتب فراتر می رفت.

بعضی افراد چند روز پس از بستری در بیمارستان ها جان خود را از دست دادند که به طور کلی تعداد آن ها به ۶۲۱ نفر رسید. بررسی آمار نشان می دهد که نسبت کشته شدگان زنان به مردان ۱،۲۳ است (۲۷۹ مرد و ۳۴۲ نفر زن، ممکن است یک نفر از تعداد جمعیت مردان یا زنان کشته شده کم یا زیاد باشد ولی تعداد دقیق جانباختگان زمین لرزه ۶۲۱ نفر بود). این امر نشان می دهد بنا به دلایل مختلف زنان بیشتر از مردان در معرض آسیب دیدگی و تلفات ناشی از زمین لرزه ها هستند.

درس مهم دیگر زمین لرزه کرمانشاه توجه جدی به آسیب پذیری زنان جامعه است. باید علت های آسیب پذیری نسبی بالاتر زنان مورد بررسی دقیق تری قرار گیرد. بررسی های اولیه نشان داد در مناطق زلزله زده کرمانشاه تعداد زنان حاضر در خانه در اغلب اوقات شبانه روز بیشتر از مردان است که این امر یکی از دلایل تلفات جانی بیشتر زنان است. همچنین در هنگام وقوع زمین لرزه، جمعیت زنان و بویژه مادران، به فکر نجات فرزندان و کودکان هستند تا نجات جان خود، که این امر موجب می شود تاخیر در خروج از منازل مسکونی داشته باشند و احتمال زیر آوار ماندن بیشتر شود. دلیل بعدی، رعایت پوشش مناسب توسط بانوان در هنگام خروج از منزل در حین وقوع زمین لرزه است. علاوه بر این ها، موارد دیگری نیز می توان برای آسیب پذیری بالای زنان نسبت به مردان در زمین لرزه ها برشمرد ولی در هر حال باید در همه زمین لرزه های ایران این امر بطور ویژه بررسی شود. لذا بایستی: - باید برای کاهش آسیب پذیری و تلفات جانی جمعیت زنان در برابر وقوع زمین لرزه ها تلاش های جدی کرد.

۵-۱-۱۵: درس چهاردهم زمین لرزه کرمانشاه: توجه جدی به طرح های مناسب اسکان

موقت

زمین لرزه کرمانشاه نشان داد که دست مدیریت بحران کشور در انتخاب شیوه مناسب اسکان موقت، خالی است. بعد از زمین لرزه رودبار تاکنون متأسفانه طرح مناسب و انبوه سازی شده مناسبی برای اسکان موقت در کشور اتخاذ نشده است و می توان گفت، در این زمینه غفلت شده است. چادر به عنوان روش اسکان اضطراری برای یک یا دو ماه پس از وقوع زمین لرزه قابل توجیه است، اما مسلماً از نظر آرامش روانی و راحتی ساکنان دردمند شیوه درستی برای اسکان موقت نیست که مدت آن ممکن است تا ۲ سال نیز به درازا بکشد.

برای تامین نیازهای مردم به عنوان اسکان موقت، گزینه کانکس در زلزله کرمانشاه به عنوان تنها گزینه ی موجود مطرح شد. کانکس ها از نظر راحتی خانواده چند نفری برای مدت یک یا دو ساله مناسب نیستند، مشکلات حمل و نقل دارند و مشکل بعدی موضوع تکلیف کانکس های استفاده شده پس از ساخت ساختمان های تخریب شده است. برای حمل کانکس ها علاوه بر تریلرها، جرثقیل لازم است که هزینه حمل و نقل کانکس را بیشتر می

کند. همچنین در مناطق روستایی امکان حمل کانکس یکپارچه وجود ندارد. درس مهم زلزله کرمانشاه توجه جدی به امر انتخاب طرح های مناسب اسکان موقت و اجرای نمونه هایی از آن با توجه به اقلیم های کشور ایران است. *باید طرح های اسکان موقت مناسب و متناسب با شرایط اقلیمی مورد ارزیابی های جزئی و فنی و کارشناسی قرار گرفته و نمونه هایی از آن به تولید انبوه رسیده و در چند نقطه از کشور بحالت آماده نصب، نگهداری شود.

۵-۱۶: درس پانزدهم زمین لرزه کرمانشاه؛ رعایت جدی و مسئولانه اخلاق حرفه ای و

وجدان کاری

در زمین لرزه کرمانشاه کاستی هایی در مدیریت بحران، ساخت و ساز، توزیع اقلام اضطراری و رسیدگی بعد از رخداد به وضعیت مردم زلزله زده بروز کرد که تشریح جزییات آن مجال دیگری می طلبد. در این خلاصه، فقط می توان روی پایبندی به اصول اخلاقی و وجدان کاری تاکید ورزید. دیده شده که بجز تعهد بر رعایت اخلاق مهندسی و وجدان کاری نمی توان کنترل روزمره و لحظه ای را روی عملکردها اعمال کرد.

درس بزرگ زمین لرزه کرمانشاه، تاکید بر پایبندی به رعایت اخلاق حرفه ای و وجدان کاری بود. لذا بایستی: - وجدان کاری و اخلاق حرفه ای توسط همه کنشگران در عرصه های مدیریتی، اجرایی، مهندسی و کارشناسی مورد پذیرش کامل قرار گرفته و مسئولانه رعایت شود. هرگونه قصور در انجام وظایف محوله در هر قسمتی موجب می شود که از همان قسمت آسیب پذیر باشیم.

۵-۲ جمع بندی و نتیجه گیری کلی

شهر اردبیل در پهنه خطر لرزه ای متوسط تا زیاد قرار دارد که در هنجار لرزه ای کنونی کشور توسط یک زمین لرزه مشخص با شدت VII و شتاب پایه مربوط به آن $0.4g$ شناسایی شده است. با این حال برای یک دوره بازگشت ۵۰۰ ساله، بر اساس داده های موجود و با واکاوی هایی که انجام شده است، می توان نتیجه گرفت که این ناحیه دارای خطر لرزه ای نسبتاً بالایی است که عمدتاً به دلیل انباشت زیاد جمعیت و ساختمان های قدیمی و آسیب پذیر است. آسیب پذیری ساختمان های مسکونی، عمدتاً به دلیل سال ساخت آن ها، و نیز به دلیل عدم دانش و آگاهی از خطر لرزه ای و عدم در نظر گرفتن اقدامات لرزه ای مورد انتظار در طراحی و ساخت ساختمان ها، زیاد است. این آسیب پذیری زیاد باعث آسیب دیدگی مستقیم فیزیکی قابل توجهی به ساختمان ها می شود، حتی برای زمین لرزه هایی با شدت کم. در نتیجه، آسیب فیزیکی مورد انتظار در مورد زمین لرزه های متوسط قابل توجه است. انتظار نمی رود برای زمین لرزه با شدت V، خسارت مربوطه اتفاق بیفتد، اما برای یک سناریوی با شدت VII، تمام مناطق پنجگانه دچار سطحی از خسارت می شوند که کمی بالاتر از درجه آسیب ۲ (متوسط) است که به معنی فراوانی های ۲۷٪، ۸٪ و ۱٪ به ترتیب شامل خسارات های سنگین، بسیار سنگین و ویرانی کامل است.

در نتیجه آسیب عمده به ساختمان ها و تمرکز بالایی از جمعیت و فعالیت اقتصادی - اجتماعی، خسارات اقتصادی قابل توجه و آسیب به جمعیت نیز در صورت بروز زمین لرزه های 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 نکته‌حائز اهمیت است. زمین‌لرزه‌های اخیر که در مناطق پرجمعیت با خطر لرزه‌ای کم تا متوسط اتفاق افتاده‌اند، گواهی است بر این ادعا.

در خوش‌بینانه‌ترین سناریو روی داد زمین‌لرزه‌ای با شدت V-VI تقریباً ۱۰۱ میلیارد ریال برای شهر اردبیل هزینه دارد. در بین مناطق پنجگانه شهری قابل ذکر است که منطقه ۲ به دلیل تراکم ارتفاعی بالا (به طور متوسط ۵ واحد مسکونی برای هر ساختمان)، بیشترین تأثیر اقتصادی را خواهد داشت، و هزینه تقریبی ۲۶۱ میلیارد ریال برای سناریوی با شدت VII دربر خواهد داشت. تأثیر اقتصادی زمین‌لرزه برای مناطق پنجگانه از ۱۰۱ میلیارد ریال برای زمین‌لرزه با شدت V-VI تا ۸۴۴ برای زمین‌لرزه با شدت VII است. با توجه به تأثیر یک بحران لرزه‌ای در خیابان و شریان‌های ارتباطی، حجم قابل توجهی از تولید آوارهای مورد انتظار وجود دارد (برای سناریوهای V-VI و VII، به ترتیب بین ۲۰۳ تا ۱،۷۳۷ هزار تن). به دلیل اثرات ترکیبی حجم زیادی از آوارهای تولید شده و الگوی شهری از خیابان‌های باریک و نامنظم، هر گونه جابجایی با مشکلات متعددی روبرو خواهد شد.

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. علاوه بر این تحت چنین شرایطی معادل ۲۹ درصد از کل شهروندان اردبیل (تقریباً بیش از ۱۵۲ هزار نفر) بی‌خانمان می‌گردند. از طرف دیگر با توجه به افزایش زیرساخت‌ها و خدمات در مناطق یک تا چهار عناصر در معرض خطرپذیری به طور مداوم در حال افزایش هستند. بنابراین، تنها راهکار برای کاهش خطر لرزه‌ای با رویکرد کاهش آسیب‌پذیری از طریق اقدامات سخت-گیرانه مقررات لرزه‌ای و افزایش آگاهی مردم است.

منابع و ماخذ:

- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ۱۳۹۳، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره ض-۲۵۳، ویرایش ۴.
- ابراهیمزاده، عیسی؛ کاشفی، دیمن و حسینی، سیداحمد؛ ۱۳۹۴. ارزیابی آسیب پذیری محله های شهری در برابر زلزله (نمونه موردی: شهر پیرانشهر)، فصل نامه علمی - پژوهشی برنامه ریزی فضایی، دانشگاه اصفهان، دوره ۵، شماره ۱، صفحه ۱-۲۶.
- احدنژاد، محسن؛ جلیل پور، شهناز؛ ۱۳۹۰. ارزیابی عوامل بیرونی تاثیرگذار در آسیب پذیری بافت های قدیم شهرها در برابر زمین لرزه، اولین کنفرانس ملی GIS، تهران، دانشگاه شهید بهشتی.
- اسفندیاری، فریبا؛ غفاری گیلانده، عطا و لطفی، خداداد. ۱۳۹۲. مدل سازی ضریب آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، فصل نامه علمی - پژوهشی پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۲ (پیاپی ۶). ص ۴۳-۷۹.
- اسدزاده تره باری، سیمین و کامبد امینی حسینی، ۱۳۹۴، بررسی خطر زلزله در بازار تاریخی اردبیل و ارائه راهکارهایی برای کاهش خطرپذیری لرزه ای، دومین کنفرانس لرزه شناسی و مهندسی زلزله، کرج، دانشگاه خوارزمی، https://www.civilica.com/Paper-SEEAP02-SEEAP02_040.html
- ایمانی و پورخسروانی ۱۳۹۶. تحلیل فضایی پهنه های مخاطره آمیز شهرستان اردبیل، فصل نامه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۲۸، شماره ۲، شماره پیاپی ۶۶، صفحه ۱۰۹-۱۲۸.
- توسلی، محمود . ۱۳۷۹. اصطلاح شناسی نوسازی و بهسازی شهری، فصل نامه هفت شهر، سال اول، شماره ۲، ص ۸۵-۸۷.
- توکلی، بهروز و غفوری آشتیانی، محسن، ۱۳۷۸، نقشه خطر لرزه ای ایران، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، مقیاس: ۱:۵,۰۰۰,۰۰۰ چاپ نخست.
- تیو، مهران و همکاران. ۱۳۷۶، زمین لرزه ۱۰/۱۲/۱۳۷۵ گلستان، اردبیل، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، چاپ نخست.
- چارگو، سوسن. ۱۳۸۸، نوسازی شهری، فصلنامه علوم اجتماعی، شماره ۱۷، ص ۹۷-۹۳.
- سرور، هوشنگ؛ کاشانی اصل، امیر. ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله، فصل نامه آمایش محیط، دوره ۹، شماره ۳۴، ص ۸۷-۱۰۸.
- حبیبی، کیومرث؛ پوراحمد، احمد و مشکینی، ابوالفضل. ۱۳۸۹. بهسازی و نوسازی بافت های کهن شهری، انتشارات انتخاب، تهران، چاپ نخست.
- حبیبی، کیومرث؛ محمد، عزتی؛ ترابی، کمال و بختیار عزت پناه. ۱۳۹۵. بررسی آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از مدل MIHWP (مطالعه موردی منطقه ۱۰ تبریز)، فصل نامه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، دوره ۲۰، شماره ۵۸، صفحه ۱۰۱-۱۱۸.
- حسینی، سیدجواد. ۱۳۸۷. مشارکت پایدار مردمی در نوسازی و بازسازی بافت های فرسوده شهری، وزارت مسکن و شهرسازی، شرکت مادر تخصصی عمران و بهسازی شهری ایران، شرکت عمران و مسکن سازان منطقه شرق، انتشارات سخن گستر.
- حناچی، پیروز؛ خادمزاده، محمدحسن؛ شایان، حمیدرضا؛ کامل نیا، حامد و مهدوی نژاد، جواد. ۱۳۸۶. بررسی تطبیقی تجارب مرمت شهری در ایران و جهان با نگاه ویژه به بافت تاریخی شهر یزد، تهران، ۱۸۴ ص.
- حیدری، محمدجواد. ۱۳۹۷. ارزیابی آسیب پذیری بافت های شهری از خطر زلزله (مطالعه موردی: بافت قدیم شهر زنجان) فصل نامه مهندسی جغرافیایی سرزمین، دوره ۲، شماره ۳، بهار و تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۰۱-۱۱۵.
- خدابنده و امینی فضل. ۱۹۹۷. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردبیل، سازمان زمین شناسی کشور.

- زارع، مهدی. ۱۳۹۵. مقدمه‌ای بر زلزله‌شناسی کاربردی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، چاپ نخست.
- زهرائی، سیدمهدی. ۱۳۹۲. ارزیابی کیفی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر بندرعباس، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال شانزدهم، شماره دوم، صص ۳۳-۳۴
- عباس‌زاده، مظفر و ایشم، معصومه. ۱۳۹۶. تعریف محور تاریخی، فرهنگی و گردشگری در بافت کهن شهر ارومیه، نمونه مطالعاتی: محله مهدی‌القدم. فصل‌نامه جستارهای شهرسازی، دوره دوم، شماره پیاپی ۴۸، صص ۹۷-۱۱۴.
- عظیم‌زاده ایرانی. ۱۳۹۸. تحلیل الگوی بهسازی بافت‌های تاریخی شهری در مقابله با مخاطرات انسانی (مطالعه موردی: منطقه ۱۲ شهر تهران)، پایان‌نامه دوره دکتری رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، پردیس البرز، استاد راهنما، دکتر احمد پوراحمد.
- سبحانی، فریدون. ۱۳۷۸. بررسی آتش‌فشان سبلان با توجه خاص بر روند تشکیل منابع زمین‌گرمایی مشکین‌شهر- استان اردبیل، فصل‌نامه علوم زمین، سال هشتم، شماره ۳۱-۳۲، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- سحرخیز، مهدی و بخشی، حسین. ۱۳۹۴. ارزیابی آسیب‌پذیری و تعیین خطر لرزه‌ای ساختمان‌های مسکونی شهرستان سبزوار، اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، دوره ۱، دانشگاه آزاد واحد میبد.
- سیفی، رسول. ۱۳۷۵. گزارش حفاری‌های پی‌زومتری دشت اردبیل، سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل.
- صمدزاده، رسول؛ خیام، مقصود و 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، دوره ۲۱، شماره ۱، صص ۱۰۵-۱۳۰.
- صمدزاده، رسول. ۱۳۹۸. ژئومورفولوژی ایران، انتشارات سمت، چاپ نخست، تهران.
- وزارت نیرو. ۱۳۵۰. سازمان آب و برق آذربایجان، امور بررسی منابع آب و خاک، اداره آب‌های زیرزمینی
- نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردبیل، مشکین‌شهر و لاهرود. سازمان زمین‌شناسی کشور.

- ATC-13. 1985. *Earthquake damage evaluation data for California*. ATC-13, 492. Redwood City, California: Applied Technology Council.
- Barbat, A.H., L. G. Pujades, and N. Lantada. 2006. Performance of Buildings under Earthquakes in Barcelona, Spain. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 21 (8):573-93. Erratum (2010). 25(3): 226. doi:10.1111/j.1467- 8667.2006.00450.x.
- Birkmann, J. Indicators and criteria for measuring vulnerability: theoretical basis and requirements. In: Birkmann J, (Ed.). *Measuring vulnerability to natural hazards towards disaster resilient societies*. Tokyo: United Nations University; (2006). , 55-77.
- Boletín Económico de la Construcción. 2009. Revista trimestral de precios del ramo de la construcción. Emancipación, Barcelona: Oficinas y redacción. Año LXX, 2º trimestre, nº 278, mayo 2009.
- Coburn, A.; and R. Spence. 1992. *Earthquake Protection*, 355. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Coburn, A.; and R. Spence. 2002. *Earthquake Protection*, 420. 2nd ed. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Gattulli, V., F. Potenza, F. Graziosi, F. Federici, A. Colarieti, and M. Faccio. 2015. Distributed structural Monitoring for a Smart City in a

- seismic area. *Key Engineering Materials* 628:123–35.
doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.628.123.
- 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.
 - Barbat, A. H., L. G. Pujades, N. Lantada, and R. Moreno. 2008. Seismic damage evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: Application to Barcelona. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 28:851–65.
doi:10.1016/j.soildyn.2007.10.006.
 - Basaglia, A., A. Aprile, E. Spacone, and F. Pilla. 2018. Performance-based seismic risk assessment of urban systems. *International Journal of Architectural Heritage*. Doi: 10.1080/15583058.2018.1503371.
 - Benedetti, D., and V. Petrini. 1984. Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura: Proposte di un metodo di valutazione. *L'industria Delle Costruzioni* 149:66–78. (In Italian).
 - Bernardini, A. 2000. *The vulnerability of buildings-Evaluation on a national scale of the seismic vulnerability building*. Rome: CNR-GNDT.
 - Blaikie, P. *At risk: (1994) natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. London; New York: Routledge.
 - Ciurean, Roxana, L. Schröter, Dagmar and Glade, Thomas. 2013. *Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction*, licensee InTech (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>).
 - Dell'Acqua, F., I. Lanese, and D. A. Polli. 2013. Integration of EO-based vulnerability estimation into EO-based seismic damage assessment: A case study on L'Aquila, Italy, 2009 earthquake. *Natural Hazards* 68:165–80.
doi:10.1007/s11069-012-0490-0.
 - Despotaki, V. Silva, V. Lagomarsino, S. Pavlova, I & 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.
 - FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2008). *HAZUS-MH Estimated Annualized Earthquake Losses for the United States*, FEMA 366. Washington, DC.
 - 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.
- Feriche, M. 2012. Elaboración de escenarios de daños sísmicos en la ciudad de Granada. Tesis doctoral, Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos (IAGPDS). Universidad de Granada, 284. (in Spanish). <https://hera.ugr.es/tesisugr/21604794.pdf>.
- Feriche, M., F. Vida, R. Garcia, M. Navarro, M. D. Vidal, P. Montilla, and L. Pinero 2009. Earthquake damage scenarios in Vélez—Malaga urban area (Southern Spain) applicable to local emergency planning. Proceedings of the 8th international workshop on seismic microzoning and risk reduction, Almeria, Spain, March 15–18, 2009.
- Ferlito, R.; and A. G. Pizz. 2011. *Vulnerability Model of an urban centre*. Methodology for a Quick Evaluation of Emergency Road Network Vulnerability **28 (4)**:31–49.
- Freeman, S. A. 2004. Review of the development of the capacity spectrum method, paper No. 438. *Journal of Earthquake Technology* 41 (1):1–13.
- Füssel, H-M, & Klein, R. T. Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic Change* (2006). , 75(3), 301-329.
- Giovinazzi, S.; and S. Lagomarsino. 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).
- GNDT. 1994. Scheda di esposizione e vulnerabilità e di rilevamento danni di primo livello e secondo livello (muratura e cemento armato). Roma: Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.(in Italian).
- González-Díaz, M. 2010. Evaluación del riesgo sísmico en el Principado de Andorra. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Goula, X., P. Dominique, B. Colas, J. A. Jara, A. Roca, and T. Winter 2008. Seismic rapid response systems in the eastern pyrenees. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12–17, 2008.
- 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.
- Guardiola-Víllora, A., and L. Basset-Salom. 2015. Seismic risk scenarios of the Eixample district in Valencia, Spain. *Reviews Int Métodos Numér Cálculo Diseño Ing* 31 (2):81–90. (in Spanish).
- Irizarry, J. 2004. An advanced approach to seismic risk assessment. Application to the cultural heritage and the urban system of Barcelona. Ph.D. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya.

- Irizarry, J., N. Lantada, L. G. Pujades, A. Barbat, X. Goula, T. Susagna, and A. Roca. 2010. Ground-shaking scenarios and urban risk evaluation of Barcelona using the Risk-UE capacity spectrum based method. *Bulletin Earthquake Engineering* 8:201–29. doi:10.1007/s10518-009-9148-z.
- ISARD. 2006. Información Sísmica Automática Regional de Daños, Interreg IIIA France Spain 2000–2006 programme. www.isard.project.eu.
- Jaramillo, N., M. L. Carreño, and N. Lantada. 2016. Evaluation of social context integrated into the study of seismic risk for urban areas. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 17:185–98. doi:10.1016/j.ijdr.2016.05.002.
- 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*, DOI: 10.1080/15583058.2018.1503370. PP, 1-36.
- Kasperson JX, Kasperson RE, Turner BL II, Schiller A, Hsieh W-H (2005) Vulnerability of global environmental change. In: Kasperson JX, Kasperson RE (eds) *Social contours of risk*. Earth scan, London, pp. 245–285.
- Iagomarsino, S.; and S. Giovinazzi. 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.; I. J. Irizarry. A. H. Barbat. X. Goula, A. Roca, T. Susagna, and L. G. Pujades, 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.
- Lantada, N.; L. G. Pujades, & A. H. Barbat. 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.; L. G. Pujades, and A. H. Barbat. 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.
- Lantada, N.; L.G. Pujades, and A. H. Barbat. 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.
- Lestuzzi, P., S. Podestà, C. Luchini, A. Garofano, D. Kazantzidou-Firtinidou, and C. Bozzano. 2017. Validation and improvement of Risk-UE LM2 capacity curves for URM buildings with stiff floors and RC shear walls buildings. *Bulletin Earthquake Engineering* 15:1111–34. doi:10.1007/s10518-016-9981-9.

- Lestuzzi, P.; S. Podestà, C. Luchini, A. Garofano, D. KazantzidouFirtinidou, C. Bozzano, P. Bischof, A. Haffter, and J. D. Rouiller. 2016. Seismic vulnerability assessment at urban scale for two typical Swiss cities using Risk-Ue methodology. *Natural Hazards* **84**: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* **19** (5):551–80. doi:10.1080/13669877.2014.988285.
- Maio, R. Santos, C. Ferreira, T, M & Vicente, R. 2018. Investigation Techniques for the Seismic Response Assessment of Buildings Located in Historical Centers, *International Journal of Architectural Heritage*, DOI: 10.1080/15583058.2018.1503363. pp. 1-14.
- McCormack, T. C., and F. N. Rad. 1997. An Earthquake loss estimation methodology for buildings based on ATC-13 and Milutinovic, Z. V., and G. S.
- Meslem, A. And. Lang, D, H. 2017. Physical Vulnerability in Earthquake Risk Assessment, Online Publication Date: May 2017 DOI: 10.1093/acrefore/9780199389407.013.71.
- Milutinovic, Z. V.; and G. S. Trendafiloski. 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.
- Montfort, D., C. Negulescu, A. Roullé, B. Colas, N. Lantada, J. Valcarcel, L. Rodríguez, L. Pujades, A. Barbat, J. Irizarry, T. Susagna, A. Macau, S. Figueras, and X. Goula. 2012. Seismic risk scenarios in a cross-border zone of the Pyrenees. Lisbon: 12WCEE. (Portugal).
- Mouroux, P., and B. Lebrun. 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 B. Lebrun. 2006b. Presentation of RISK-UE Project. *Bull Earthq Eng. Special Issue: Earthquake Scenarios for European Cities* **4** (4):323–39.
- Mouroux, P.; and B. Lebrun. 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 B. Lebrun. 2006b. Presentation of RISK-UE Project. *Bull Earthq Eng. Special Issue: Earthquake Scenarios for European Cities* **4** (4):323–39.
- NCSE-02. 2002. Norma de Construcción Sismorresistente Española. Parte General y de Edificación, Comisión Permanente de Normas Sismorresistente, Real Decreto 997/2002 del 27 de septiembre de 2002, Boletín Oficial del Estado nº 244, viernes 11 de octubre de 2002, Ministerio de Fomento, 35898–987.
- NCSE-94. 1994. Norma de Construcción Sismorresistente Española, Parte General y de Edificación. Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes, Real Decreto

- 2543/1994 del 29 de diciembre de 1994, Boletín Oficial del Estado nº 33, miércoles 8 de febrero de 1995, 3936–80.
- Oliveira, V. 2016. Urban morphology. *an introduction to the study of the physical form of cities, 192*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- PAEM. 2016. Pla d'actuació d'emergència municipal per al risc sísmic. Document B Manual d'actuació del Pla, 147. Àrea de Seguretat i Prevenció del Ajuntament de Barcelona. (in Spanish). http://www.bcn.cat/bombers/ca/prevencio_emergenciamunicipal.html.
- Pilone, E.; P. Mussini, M. Demichela, and G. Camuncoli. 2017. Reprint of: Municipal Emergency Plans in Italy: *Requirements and drawbacks*. *Safety Science* 97:43–50. doi: 10.1016/j.ssci.2015.12.032.
- Polli, D., F. Dell'Acqua, and P. Gamba. 2009. First steps towards a framework for earth observation (EO)-based seismic vulnerability evaluation. *Environmental Semeiotics* 2 (1):16–30. ISSN 1971-3460 (online). doi:10.3383/es.2.1.2.
- Pujades, L. G., A. H. Barbat, J. R. González-Drigo, J. Avila, and S. Lagomarsino. 2012. Seismic performance of a block of buildings representative of the typical construction in the example district in Barcelona (Spain). *Bulletin of Earthquake Engineering* 10:331–49. doi:10.1007/s10518-010-9207-5.
- Rivas-Medina, A.; J. M. Gaspar-Escribano, B. Benito, and M. A. Bernabé. 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):2717–25. doi:10.5194/nhess-13-2717-2013.
- Schneider, S. H, Semenov, S, Patwardhan, A, & Burton, I. Magadza CHD, Oppenheimer M, et al. Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change, (2007). *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE, (Eds.). Cambridge, UK; 2007. , 779-810.
- Secanell, R., X. Goula, T. Susagna, J. Fleta, and A. Roca. 2004. Seismic hazard zonation of Catalonia, Spain, integrating uncertainties. *Journal of Seismology* 8 (1):24–40. doi:10.1023/B:JOSE.0000009516.91044.51.
- Servi, Mehmet. 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.
- Simões, A., J. Milošević, H. Meireles, R. Bento, S. Cattari, and S. Lagomarsino. 2017. Fragility curves for old masonry building types in Lisbon. *Bulletin of Earthquake Engineering* 13 (10):3083–105. 14 October 2015. doi:10.1007/s10518-015-9750-1.
- Simões, A., R. Bento, S. Lagomarsino, and P. B. Lourenço 2016. Simplified evaluation of seismic vulnerability of early 20th century masonry buildings in

- Lisbon. Source of the document structural analysis of historical constructions: Anamnesis, diagnosis, therapy, controls. Proceedings of the 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Leuven (Belgium), SAHC 2016, 1513–19.
- SISMICAT. 2003. Pla especial d'Emergències a Catalunya. http://www.gencat.net/interior/esc/docs/esc_sismicat.pdf (in Catalan).
- Sole, L. (1975). Geografia de Catalunya. Enciclopedia Catalana (1958-1982). Aedos, Barcelona. ISBN 84-7003-251-8 (in Catalan).
- Sponheuer, W. 1960. Methoden zur Herdtirefenbestimmung in der Makroseismic. Freiburger Forschungshefte C88:117.
- Staniscia, S., E. Spacone, and V. Fabeti. 2017. Performance based urban planning: framework and L'Aquila historic city center case study. *International Journal of Architectural Heritage* 11 (5):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 Vol.41 No. pp.336-353.
- SYNER-G (2011a). Fragility functions for common RC building types in Europe, Deliverable 3.1. Available at: <http://www.vce.at/SYNER-G/>. SYNER-G (2011b). Fragility functions for common masonry building types in Europe, Deliverable 3.2. Available at: <http://www.vce.at/SYNER-G/>.
- Taffarel, S. da Porto, F. Valluzzi, M, R & 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*, 12:7-8, 1150-1161, DOI: 10.1080/15583058.2018.1503375.
- Tomas, A., J. L. Rodenas, and S. Garcia-Ayllon. 2017. Proposal for new values of behaviour modifiers for seismic vulnerability evaluation of reinforced concrete buildings applied to Lorca (Spain) using damage data from the 2011 earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering* 15(9):3943–62. doi:10.1007/s10518-017-0100-3.
- Trendafiloski 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.
- Turner, M.D. (2013). “Political ecology I: an alliance with resilience”
- Turner, B. L, Kasperson, R. E, Matson, P. A, Mccarthy, J. J, Corell, L, & Christensen, R. W. 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.

- UNDRO. Natural disasters and vulnerability analysis: report of Expert Group Meeting. Geneva: Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator; (1979). [http:// www23.us.archive.org/details/naturaldisasters00offi](http://www23.us.archive.org/details/naturaldisasters00offi) accessed 25 August 2012).
- UNESCO 2012. Recommendation on the Historic Urban landscape. Records of the General Conference 36th session. <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002150/215084e.pdf#page=52>.
- UNESCO. 2013. New life for historic cities: The historic urban landscape approach explained. Parigi, Francia: UNESCO Publishing.
- UNISDR. Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives: United Nations; (2004). http://www.unisdr.org/files/657_1wr21.pdf accessed 20 August 2012).
- UNISDR. Terminology on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland (2009). http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf accessed 21 August 2012).
- Uva, G., C. A. Sanjust, S. Casolo, and M. Mezzina. 2016. ANTAEUS project for the regional vulnerability assessment of the current building stock in historical centers. *International Journal of Architectural Heritage* **10** (1):20–43. doi:10.1080/15583058.2014.935983.
- Wisner B, Blaikie P, Cannon T, Davis I (2004) At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters, 2nd edn. Routledge, London.
- Vacareanu, R.; D. Lungu, C. Arion, and A. Aldea. 2004. WP07. *Seismic risk scenarios handbook, 52, Report*. RiskUE Project, Bucharest.
- Yamin, L, E. Hurtado, A, I. A. Barbat, A. Bernal, G. And Cardona, O. 2012. Earthquake Vulnerability Assessment of Buildings for Catastrophic Risk Analysis in Urban Areas, 15 WCEE, LISBOA.

Assessment of physical vulnerability of Ardabil City against earthquake risk (Based on Kermanshah Earthquake Teachings)

Abstract

Predicting the impact of earthquakes on man-made buildings and structures requires recognizing the dynamics of their behavior. The procedures adopted for this purpose are quite complex and tedious in terms of cost, time and execution, especially when the studies are concerned with spatial domains rather than individual buildings. Assessing seismic vulnerability using available resources is of great importance. In this study, the vulnerability index and methods based on capacity spectrum-based used to assess the expected physical damage in residential units have been reviewed and their main advantages and disadvantages have been investigated. Then a method based on vulnerability index is used to assess the expected damage in Ardabil. The Vulnerability Index (VIM) method considers five non-zero damage modes and defines the behavior in terms of seismic intensity and seismic quality of the building by a vulnerability index. The degree of damage estimated is measured by quasi-experimental functions. Detailed information about the design of the building has been obtained by collecting, arranging, improving and completing the municipal database. 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. According to the country's seismic regulations, the peak of the initial acceleration of the earth for a 475-year return period is 0.04g, which is related to the intensity of VII. Therefore, while quantifying physical damage, its impact on the population and other quantities such as debris, the number of homeless and the economic cost have been investigated. Despite the moderate to high seismic hazard in Ardabil, the results show that due to the exposure and vulnerability of the built environment, the risk is very high. Residents of Ardabil, located in the low to medium seismic hazard zone, are usually unaware of the seismic hazard. The detailed risk maps obtained are a good opportunity to guide decision-

making in the field of seismic prevention and reduction in Ardabil and emergency planning in this city.

Keywords: Vulnerability Scenario, Vulnerability Index Method, Structural Vulnerability, Ardabil City.



Islamic Republic of Iran
Ministry of Roads and Urban Development
General Directorate of Roads and Urban Development Ardabil Province

**Assessment of physical vulnerability of Ardabil City against
earthquake risk (Based on Kermanshah Earthquake
Teachings)**

Employer:

**General Directorate of Roads and Urban Development Ardabil
Province**

Moderator:

Dr. Rasoul Samadzadeh

Spring

2021