

بررسی توان لرزه زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری مطالعه موردی: (شهر اردبیل)

فریبا اسفندیاری* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
عطا غفاری گیلانده- دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی
خداداد لطفی- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۹/۲۸

چکیده

ایران یکی از زلزله‌خیزترین کشورهای دنیا محسوب می‌شود و شهرهای آن در رابطه با این پدیده طبیعی آسیب‌های فراوان دیده است. برای کاهش آثار و پیامدهای ناگوار این پدیده نیاز به طراحی برنامه‌هایی برای کاهش میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله است، که مهم‌ترین هدف این برنامه‌ها حفظ حیات و زندگی ساکنین می‌باشد. محدوده مورد مطالعه (شهر اردبیل) توسط گسل‌های متعددی احاطه شده و در طول تاریخ زلزله‌های متعددی در آن رخ داده است. وجود گسل‌های پیرامونی و سابقه لرزه‌خیزی آن‌ها می‌تواند سندی برای وقوع زلزله در زمان‌های آتی باشد که به عنوان یک عامل تهدید کننده مطرح می‌باشد. جهت مقابله اصولی با این پدیده و کاستن از میزان آسیب‌های آن نیاز به انجام سلسله مطالعاتی در خصوص وضعیت لرزه‌خیزی و توان لرزه زایی گسل‌های فعال پیرامونی و تخمین میزان خسارت مالی و جانی به وجود آمده در اثر زلزله‌های احتمالی می‌باشد تا با روشن شدن وضعیت لرزه‌خیزی و میزان آسیب‌ها، به بررسی عوامل آسیب‌زا و شناخت نقاط ضعفی که باعث تشدید آسیب‌ها می‌شود پرداخت. از این رو در مقاله فوق برای دست یافتن به این هدف ضریب لرزه‌خیزی گسل‌های مهم پیرامون شهر اردبیل تعیین شد و با مینا قراردادن نتایج این مطالعات با استفاده از روش ارائه‌شده توسط Coburn و همکاران تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله در شرایط مختلف زمانی و امداد رسانی تعیین گردید. بر اساس نتایج به دست آمده معلوم گردید که وضعیت وقوع زلزله در شب، بدون هیچ‌گونه امداد رسانی، شدیدترین تلفات را موجب می‌گردد. در این حالت، ۷۴۹۴۵ از ساکنان یا حدود ۱۷/۵۵٪ کل جمعیت اردبیل کشته خواهند شد.

واژگان کلیدی: اردبیل، گسل، توان لرزه زایی، تلفات انسانی

مقدمه

در طی قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله مخرب در نقاط مختلف کره زمین روی داده که بر اثر آن بیش از ۱۵۰۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند که ۹۰ درصد آن‌ها عمدتاً ناشی از ریزش ساختمانهایی بوده که از اصول مهندسی و ایمنی کافی برخوردار نبوده اند (لاتتادا، ۲۰۰۹: ۵۰۲). کشور ایران به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا همواره از لرزه‌خیزی بالایی در طول تاریخ برخوردار بوده است، به گونه ای که بخش‌های مختلف کشور توسط زمین‌لرزه‌های ویرانگر متعددی پیوسته تخریب شده است و این پدیده تاکنون، به عنوان مهم‌ترین بلای طبیعی کشور، تلفات و خسارات سنگینی را به بار آورده است. در بیشتر بخش‌های ایران، لرزه‌خیزی در ارتباط مستقیم با تجدید فعالیت گسل‌هاست و بیشترین میزان لرزه‌خیزی در امتداد گسل‌های فعال روی داده است (آزادخواه، ۱۳۸۸: ۱۹۳).

وجود یا عدم وجود گسل‌ها و شکستگی‌های زمین و فعالیت‌های اخیر آن‌ها و جوان بودنشان از جمله شاخص‌هایی است که در فعالیت‌های آتی آن می‌تواند اثرگذار باشد. در واقع رابطه گسل - زلزله دو طرفه می‌باشد، یعنی گسل‌های فراوان در یک منطقه سبب بروز زلزله می‌شود. زلزله نیز به نوبه خود سبب ایجاد گسل‌های جدیدی گردیده و در نهایت، تعداد شکستگی‌ها زیادتر شده و به این ترتیب قابلیت لرزه‌خیزی منطقه افزایش می‌یابد (رجبی، ۱۳۸۹: ۲). تحلیل خطر لرزه‌ای، به طوری که در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای و دستورالعمل‌های بررسی آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی آمده است؛ ابزاری بسیار ضروری برای محاسبه و برآورد فشارسنج هواهای جنبش نیرومند زمین برای زمین‌لرزه محتمل در آینده در سایت مورد نظر می‌باشد (ریاضی راد، ۱۳۸۸: ۷۸).

شهر اردبیل تا به حال مثل شهرهای دیگر نظیر بم، منجیل، رودبار و... شاهد به وقوع پیوستن زلزله شدید در خود نبوده است اما در هر حال نمی‌توان این را به عنوان دلیلی موجه برای عدم آمادگی در برابر خطر زلزله دانست. زیرا در زلزله‌ای که در اسفند سال ۱۳۷۵ با قدرت ۵.۴ ریشتر در فاصله تقریبی ۱۸ کیلومتری غرب اردبیل در منطقه سرعین روی داد و تلفات زیادی نیز به بار آورد، اگر مدت زمان تکان‌ها و قدرت آزادشده زلزله کمی بیشتر از آنچه رخ داد می‌بود احتمال داشت که به بخش‌های از شهر آسیب‌های شدیدی را وارد نماید. البته نباید گمان برد که اگر شهری سابقه لرزه‌خیزی ندارد، در آن زلزله مهمی روی نخواهد داد. نمونه شهر طیس می‌باشد که با سابقه هزار سال تنها ۳۰ سال قبل یک زلزله خفیف به خود دیده بود با این حال با یک زلزله به بزرگی حدود ۷/۸ ریشتر رو به رو شد. در ضمن شهرهای مانند ساری، قزوین، بابل و شیراز فواصل زیادی از گسل‌ها داشتند ولی با این وجود زلزله‌های شدیدی در آن‌ها روی داده است (برگی، ۱۳۸۲: ۱۵۹).

اگر چه بر اساس شواهد زمین‌شناسی، بستر شهر اردبیل به دلیل منفصل بودن مواد تشکیل‌دهنده آن دچار گسل خوردگی نشده است. اما گسل‌های توانمندی که در دامنه‌های سبلان و باغرو و با فاصله اندک از شهر اردبیل قرار گرفته‌اند؛ بیشترین تهدید برای آن محسوب می‌شوند. که از جمله این گسل‌ها می‌توان به گسل آستارا، گسل هیر، گسل سرعین، گسل دویل و گسل نئور اشاره کرد (شکل ۱). از آن جایی که منشأ بسیاری از زلزله‌ها، گسل‌ها تشخیص داده می‌شوند، بنابراین به دلیل وجود گسل‌های مهم لرزه زا در پیرامون محدوده مورد مطالعه، زلزله خطری بسیار محتمل برای مردم شهر اردبیل محسوب می‌شود. در این تحقیق سعی خواهد شد تا علاوه بر تعیین ضریب لرزه‌خیزی گسل‌های مهم پیرامون محدوده مورد مطالعه، با استفاده از روش ارائه‌شده توسط Coburn و همکاران تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله در شهر اردبیل در شرایط مختلف زمانی و امداد رسانی تعیین گردد.

سوابق مطالعاتی

تا به حال تحلیل‌ها و ارزیابی‌های متعددی در ارتباط با زلزله و تخمین خسارت ناشی از آن در قالب تحقیقات گوناگون انجام گرفته است، که هر یک از آن‌ها از مدل‌ها و روش‌های متعدد با توجه به اهداف و فرضیات خود استفاده نموده‌اند، که می‌توان آن‌ها را در دو دسته تحقیقات فارسی و لاتین دسته‌بندی نمود.

برخی از تحقیقات صورت گرفته در داخل کشور به شرح زیر می‌باشد:

احدنژاد (۱۳۸۹) به مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهر زنجان در مقابل زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته و با استفاده از این روش به ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف و ریز پهنه بندی آسیب‌های وارده به ساختمان‌ها و تلفات انسانی و خسارات اقتصادی وارده به شهر زنجان پرداخته و به این نتیجه رسیده که منطقه ۳ شهر زنجان به دلیل فرسودگی بافت و استفاده از مصالح کم دوام در ساخت و سازها آسیب‌پذیری بالایی دارد. آراین (۱۳۸۹) بررسی خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره چهارگوش کرمان را با هدف ارزیابی وضعیت خطر زمین لرزه - گسلش در گستره چهارگوش کرمان و تهیه نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لرزه را انجام داده است. برای ارزیابی خطر زمین لرزه در گستره مورد بررسی نیز، نرم‌افزار Seisrisk III مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده چهارگوش کرمان بخش فعالی از منطقه ایران مرکزی می‌باشد و بیشینه شتاب زمین لرزه در آن، ۰/۶۵ صدم گال محاسبه شده است. بحیرائی (۱۳۸۹) تحلیل دینامیک گسل مشاء در گستره شمال خاور تهران را با روش انجام تفکیک فاز بر روی داده‌ها و بررسی تحولات تنش به طور جداگانه برای هر فاز به روش برگشتی را انجام داده‌اند. نتایج این پژوهش به دست آوردن سه جهت تنش بیشینه با راستای شمال باختری، شمالی و شمال خاوری، که باعث تغییر سازو کار گسل مشاء از رژیم زمینی ساختی واژگون با مولفه راست لغز راستگرد به رژیم واژگون با مولفه راست لغز چپگرد شده است. این جهات تنش در زمین ساخت لغزشی - فشارشی ظاهر می‌شوند و رژیم زمین ساخت فشاری را در تمامی این جهات تنش بر رژیم زمین ساخت راست لغز غالب می‌باشد. حسین نژاد (۱۳۸۷) در این مقاله به برآورد خطر زمین لرزه در استان مرکزی پرداخته است. برای رسیدن به این هدف ابتدا زمین لرزه‌های مهمی که در گذشته در استان مرکزی و یا پیرامون آن روی داده‌اند مورد بررسی قرار گرفته و بیشینه شتاب ناشی از آن در استان برآورده شده است. برای برآورد ویژگی‌های لرزه خیزی هر یک از چشمه‌های لرزه‌زا از تکنیک‌های متفاوتی استفاده شد که مهمترین آن تکنیک Time Normalization است. بررسی نقشه‌های هم شتاب تهیه شده نشان می‌دهد که خطر نسبی زمینلرزه در بخش‌های مختلف استان متفاوت است. بگونه‌ای که بخش شمالی استان از دیدگاه زمینلرزه در پهنه با خطر نسبی بالا قرار گرفته و بخش‌های مرکزی بویژه باختر شهر اراک به نسبت آرام‌تر از بقیه مناطق استان است. جایکا^۱ (۱۳۸۰) گزارش پروژه ریز پهنه بندی لرزه‌ای تهران بزرگ در برگیرنده نتیجه مطالعاتی است که در فاصله زمانی فروردین ۱۳۷۸ تا شهریور ۱۳۷۹ توسط مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ و گروه مطالعاتی ژاپنی (جایکا) در تهران به انجام رسید. در گزارش نهایی شرایط اجتماعی و فیزیکی گستره مورد بررسی توصیف گردیده و تحلیل خسارت ناشی از زلزله بر اساس توان بالقوه زلزله‌های بزرگ نیز انجام شده است. بیشترین خسارت، که بر اساس مدل گسل ری برآورد شده است در حقیقت به لحاظ ماهیت و بزرگا، شدیدترین در نوع خود خواهد بود که منجر به تخریب حدود ۵۰۰۰۰۰ ساختمان یا ۵۵ درصد کل ساختمان‌ها و تلفات تقریباً ۴۰۰۰۰۰ نفر خواهد شد. در ارتباط با زمین‌لرزه تحقیقات وسیع و گسترده در منابع لاتین وجود دارد که به برخی از آن‌ها به شرح زیر می‌توان اشاره کرد:

هاشمی و آل شیخ (۲۰۱۱) به ارزیابی خسارت زلزله با استفاده از مطالعات مبتنی بر GIS در شهر تهران پرداخته‌اند. در این مقاله آن‌ها با مبنا قراردادن گسل مشاء به طراحی سناریوی زلزله پرداختند و در مطالعات خود ارزیابی تلفات انسانی و انسداد خیابان‌ها در اثر فروریختن ساختمان‌ها را در نظر گرفته‌اند. نتایج به دست آمده بیانگر مجموع تلفات و خسارت‌هایی به شرح ذیل است: خسارت وارده به ساختمان‌ها برابر ۶۴٪ مجموع ساختمان‌های موجود، تعداد کشته‌ها برابر ۳۳٪ کل جمعیت، تعداد مجروحین و مصدومین ۲۷٪ مجموع ساکنین و در نهایت میزان انسداد معابر در اثر واژگونی و سقوط

^۱- Japan International Cooperation Agency (JICA)

مصالح ساختمانی ۲۲٪ مجموع معابر خواهد بود. لاتنادا و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی ضمن مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهر بارسلون به ارزیابی خسارات انسانی و اقتصادی در شهر پرداخته‌اند. در این مقاله از دو نسل جدید روش تجزیه و تحلیل خطر لرزه‌ای در مناطق شهری استفاده شده است. روش اول،^۱ VIM و روش دوم،^۲ CSBM است. بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، معلوم گردید که شهر بارسلون در محدوده با خطر کم تا متوسط به لحاظ آسیب‌پذیری قرار دارد و این دو روش اعتبار و قدرت تحلیل کافی برای برآورد خطر زلزله را دارند. زعفرانی و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی مدل‌سازی فرایند زلزله‌های ایران و تخمین جنبش زمین در زلزله‌های آتی در تهران بزرگ را انجام داده‌اند. هدف این پژوهش پیش‌بینی حرکات زمین در منطقه شهری تهران توسط زمین‌لرزه‌های بزرگ در آینده است. زمین‌لرزه‌های که احتمال دارد به وسیله ۳ گسل مهم محدوده البرز رخ دهند. بر اساس نتایج به دست آمده، شتاب افقی بیش از ۰/۷ گال در بخش شمال غرب شهر تهران و حرکت زمین با شتاب افقی ۰/۱ گال و بیشتر در امتداد غرب و جنوب این شهر در عمق ۱۰-۳۵ کیلومتری از سطح زمین پیش‌بینی گردیده است. تانگ و ون (۲۰۰۹) در این مقاله با استفاده از GIS و هوش مصنوعی^۳ AI یک سیستم شبیه‌سازی هوشمند ارزیابی اثرات فاجعه‌بار زلزله را برای ارزیابی خطر زلزله در شهر دیانگ کشور چین مورد استفاده قرار دادند. این سیستم برای تشخیص ضعف لرزه‌ای ساختارها در شرایط پیش از زلزله، ارزیابی سریع خسارت و فراهم ساختن شرایط فوری هوشمند پاسخگویی عمومی و دولتی در طول زلزله و بعد از آن کاربرد دارد. هانیچ و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود به ریز پهنه بندی خطر زلزله در شهر بخارست رومانی با استفاده از GIS پرداخته‌اند. در این تحقیق جهت انجام ریز پهنه بندی خطر زلزله در شهر بخارست از اطلاعات تعداد زیادی از حفاری‌های ژئوتکنیکال (در حدود ۱۲۰ نمونه حفاری)، مدل^۴ DGM و GIS جهت یکپارچه‌سازی اطلاعات استفاده شده است. برای محاسبه توابع انتقالی از واکنش و دینامیک زمین از نرم‌افزار مدل‌سازی خطی ProShake استفاده شده است. در این مقاله برای تخمین چگونگی توزیع نیروهای طیفی و شتاب طیفی در بستر شهر بخارست از روش درون‌یابی استفاده گردیده است. درون‌یابی انجام‌شده در مورد فاکتورهای زمین‌شناختی و همین‌طور خسارت‌های زلزله‌های تاریخی از طریق تحلیل‌های رگرسیون آماری بین این دو پارامتر صورت پذیرفته است. اردیک و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیق خود خطر زلزله در ناحیه مرمره ترکیه را با استفاده از مدل پویسن^۵ و مدل تجدید^۶ بررسی کرده‌اند. این مطالعات حداکثر شتاب زمین^۷ PGA و شتاب طیفی^۸ SA منطقه مرمره را در نقشه‌های خطر به تصویر می‌کشد. لرزه‌های تاریخی، مدل‌های تکتونیک و نرخ لغزش‌های بزرگ در طول گسل‌های تشکیل‌شده، مهم‌ترین داده‌های مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد. نسبت‌های میرایی غرب ایالات متحده که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته، همبستگی خوبی با خصیصه‌های میرایی جنبش‌های زمین در ناحیه مرمره نشان دادند.

مواد و روش

موادی که در این پژوهش به کار گرفته می‌شوند مشتمل بر نقشه‌ها و یا آرشیوهای اطلاعاتی مربوط به فشارسنج هستند که در تعیین قابلیت لرزه‌خیزی و برآورد تعداد تلفات انسانی منطقه مورد مطالعه در برابر زلزله به کار گرفته می-

^۱- vulnerability index method (VIM)

^۲- capacity spectrum based method (CSBM)

^۳- Artificial Intelligence (AI)

^۴- Digital Geological Model (DGM)

^۵- Poissonian model

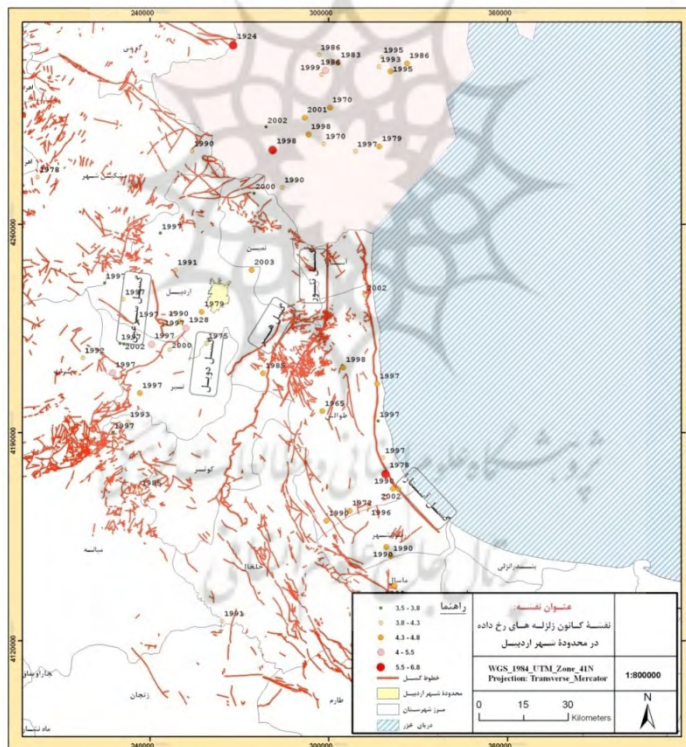
^۶- renewal model

^۷- Peak Ground Acceleration (PGA)

^۸- Spectral Acceleration (SA)

شوند. در فرایند تحقیق، برای دستیابی به ویژگی‌های زلزله‌خیزی منطقه مورد مطالعه، ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت اردبیل، آستارا، خلخال، گیوی، مشگین شهر، سراب و رضی برای شناسایی گسل‌های منطقه، مورد استفاده قرار گرفت و بعد از بررسی و تجزیه و تحلیل وضعیت لرزه‌خیزی محدوده مورد مطالعه، خطر بروز زلزله برای آن تعیین گردید. جهت تکمیل اطلاعات مربوط به داده‌های زمین‌شناسی و گسل‌ها به تناوب از سایت داده‌های علوم زمین استفاده شد. بررسی‌های که جهت تخمین خطر زلزله در محدوده مورد مطالعه صورت پذیرفت شامل موارد زیر می‌باشد:

- تهیه نقشه از گسل‌های مهم منطقه تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری.
- تهیه فهرست زلزله‌های دستگاهی (زلزله‌های قرن اخیر که توسط دستگاه‌های لرزه‌نگار ثبت شده‌اند).
- تهیه نقشه مراکز سطحی زلزله‌ها.
- مقایسه بین مکان گسل‌ها و مراکز سطحی و کانون زلزله‌ها. (شکل ۱)
- تعیین شدت و بزرگی زلزله‌ها.
- تخمین ویژگی‌های زلزله‌هایی که احتمال دارد توسط گسل‌های مهم محدوده مورد مطالعه صورت پذیرد.



شکل ۱: پراکنندگی رو مرکز زلزله‌های محدوده شهر اردبیل و گسل‌های مهم حاشیه آن

برای تعیین شدت، بزرگی و تخمین ویژگی‌های زلزله‌هایی که احتمال دارد توسط گسل‌های مهم محدوده مورد مطالعه صورت پذیرد از روابط تجربی موجود استفاده گردید که عبارتند از:

الف: روابطی که برای تعیین حداکثر توان لرزه‌زایی گسل‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

$$\text{رابطه (۱): نوروزی - اشجعی (N-A) بر اساس مطالعات لرزه‌خیزی ایران. } M = \log L + 5.4$$

$$\text{رابطه (۲): آمبرسز و ملویل (AM-M) } \log L_R = 0.7M - 3.24$$

در این روابط M بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر و L طول گسل به کیلومتر است، که با توجه به تجارب موجود برابر با نیمی از طول کل گسل، فعال در نظر گرفته می‌شود.

رابطه (۳): نوروزی (N) $\log L = -126 + /675 Ms$

رابطه (۴): سلمونز (S) $Ms = 1/404 + 1/169 \log L$

در این روابط L نصف طول کل گسل به متر می‌باشد.

(ب): روابطی که برای تعیین حداکثر شدت زلزله‌های ایجاد شده در کانون مورد استفاده قرار گرفت.

رابطه (۵): نوروزی - اشجعی (N-A) $I = 1/7 Ms - 2/8 (N-A)$

رابطه (۶): آمبرسز و ملویل (AM-M) $I = 1/3 Ms + /09$

در این روابط I شدت زلزله در مقیاس مرکالی و Ms بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر می‌باشد.

(پ): رابطه‌ای که برای تعیین شدت زمین‌لرزه در محل شهر یا ساختمان مورد استفاده قرار گرفت.

رابطه (۷): چاندرا و همکاران، بر پایه نقشه خم‌های هم‌لرزه‌های سده بیستم ایران زمین.

$$I_R = I_0 + 6.453 - 0.00121(R) - 4.960 \log(R + 20)$$

در این رابطه I_R شدت زمین‌لرزه در محل سازه در مقیاس مرکالی، I_0 شدت زمین‌لرزه در محل کانون زمین‌لرزه در مقیاس مرکالی و R فاصله کانونی بر حسب کیلومتر می‌باشد.

(ت): رابطه‌ای که برای تعیین حداکثر شتاب زلزله‌های ایجاد شده توسط گسل‌ها در ساختمان مورد استفاده قرار گرفت.

$$a = \frac{1080e^{.5M}}{(R + 25)^{1/32}} \quad \text{رابطه (۸): دونوان (D)}$$

در این رابطه a حداکثر شتاب در مقیاس گال، e ضریب ثابت و معادل $2/218$ ، M بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر و R فاصله از گسل بر حسب کیلومتر می‌باشد.

(ث): رابطه‌ای که برای تعیین حداکثر مقدار شتاب افقی در کانون زلزله از آن استفاده شد.

رابطه (۹): مک‌گایر $\log a = 0.25I + 0.25$

که در این رابطه a حداکثر شتاب افقی ایجاد شده در اثر زلزله در کانون و I حداکثر شدت زلزله در کانون می‌باشد (پور کرمانی، ۱۳۷۶: ۱۸۰ - ۲۲۰).

بحث

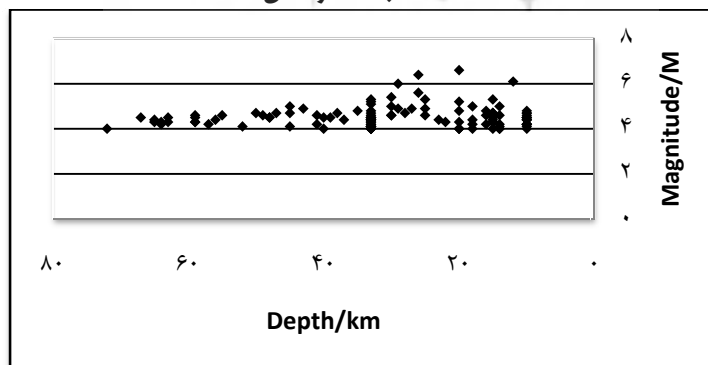
گسله‌های فعال در آذربایجان با مطالعاتی که از اوایل قرن بیستم به وسیله دستگاه‌های زلزله‌نگار انجام شده با زمین‌لرزه‌های کم عمق ویرانگر که اغلب بزرگی آن‌ها بیش از $6/5$ ریشتر هستند همراه می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام گرفته، محدوده مورد مطالعه دارای شکستگی‌ها و گسل‌های متعدد مهمی است. گسل‌ها شاخصی از فعالیت‌های زمین‌لرزه‌ای می‌باشد. وجود تعداد قابل ملاحظه‌ای گسل در منطقه مورد مطالعه، حکایت از شرایط زلزله‌خیزی آن دارد، به طوری که آمار و اطلاعات موجود موید این مطلب است. مطابق بررسی‌ها، اکثر زمین‌لرزه‌های ناحیه شمال و شمال غرب ایران دارای عمق کانونی کمتر از ۳۳ کیلومتر می‌باشند (رجبی، ۱۳۸۹: ۷). با توجه به شکل ۲ می‌توان مشاهده کرد که اکثر زلزله‌ها عمق کانونی ۳۰ کیلومتر و یا کمتر از آن دارند. به جهت مشخص نمودن لرزه‌خیزی در یک منطقه باید مخاطره‌آمیزی گسل‌ها از نظر توان لرزه زایی مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که توان لرزه زایی گسل‌ها با درازی شکسته شده و جا به جا شده آن در پیوند است، رابطه مستقیمی میان توان لرزه زایی و درازای بخش مستقیم گسل‌های کوتاه‌تری وجود دارد. آنچه روشن است پس از بررسی دقیق لرزه زمین ساختی هر گسل فعال باید حداکثر توان لرزه زایی گسل شناخته و محاسبه شود تا بتوان با توجه به فاصله میان ساختمان و گسل فعال موجود، حداکثر شتاب افقی زمین به وجود آمده از جنبش گسل به ساختمان، پیش‌بینی گردد. ارزیابی و تخمین میزان درازای گسلش در زمین‌لرزه‌های آینده باید بر پایه ویژگی‌های لرزه زمین ساختی و مورفوتکتونیک هر گسل صورت گیرد. در این میان می‌توان درصدی از بخش

مستقیم گسل را انتخاب نمود. (پورکرمانی، ۱۳۷۶: ۲۱۸) در این رابطه به طور متوسط فرض می‌شود نصف طول یک گسل در روابط ملحوظ گردد (برگی، ۱۳۸۲: ۱۴۶). از این جهت در تحقیق حاضر با توجه به روابط تجربی موجود که در بالا به آن‌ها اشاره گردید پس از تعیین گسل‌های مهم و اندازه‌گیری طول آن‌ها اقدام به انجام محاسبات برای تعیین حداکثر توان لرزه‌زایی، شدت و شتاب ایجادشده از ناحیه آن‌ها گردید. به دلیل اینکه تراکم گسل خوردگی در منطقه بالاست سعی گردید که گسل‌های مهم که اغلب طول بیش از ۲۰ کیلومتر دارند انتخاب گردد (جدول ۱).

جدول (۱): توان لرزه‌زایی گسل‌های مهم پیرامون شهر اردبیل

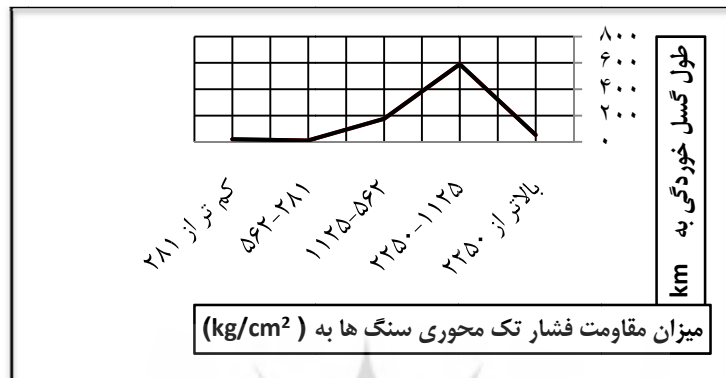
نام گسل	طول گسل به km	حداکثر توان لرزه‌زایی در کانون به ریشتر						شدت در کانون به مرکالی		
		N-A	AM-M	N	S	میانگین	N-A	AM-M	میانگین	
آستارا	۱۰	۷.۶	۷.۷۴	۷.۸	۷.۷۵	۷.۷	۱۰.۲۹	۱۰.۱	۱۰.۲	
نئور	۰	۶.۹	۶.۷	۶.۸	۷	۶.۸	۸.۷۶	۸.۹۳	۸.۸۴	
هیر	۱	۷.۱	۷	۷.۱	۷.۲	۷.۱	۹.۲۷	۹.۳۲	۹.۳	
دویل	۷	۶.۵	۶.۲۴	۶.۳	۶.۷	۶.۴	۸.۰۸	۸.۴۱	۸.۲۴	
امام رود	۹	۶.۵	۶.۲۸	۶.۳۵	۶.۲۶	۶.۳	۸.۰۱	۸.۳۵	۸.۱۸	
علی کاران	۳	۶.۹	۶.۷۶	۶.۸۵	۶.۶	۶.۷	۸.۷۴	۸.۹۱	۸.۸۲	
بالقلی	۰	۶.۵	۶.۳	۶.۳۷	۶.۷	۶.۴	۸.۱۸	۸.۴۸	۸.۳۳	
نیکی	۸	۶.۷	۶.۶	۶.۶۷	۶.۵۲	۶.۶	۸.۴۵	۸.۶۹	۸.۵۷	
بناروان	۷	۶.۶۶	۶.۴۳	۶.۵۰	۶.۴۰	۶.۴	۸.۲۳	۸.۵۲	۸.۳۷	
سرعین	۰	۶.۴	۶	۶.۱	۶.۵	۶.۲	۷.۷۴	۸.۱۵	۸	

مأخذ: محاسبات نگارندگان

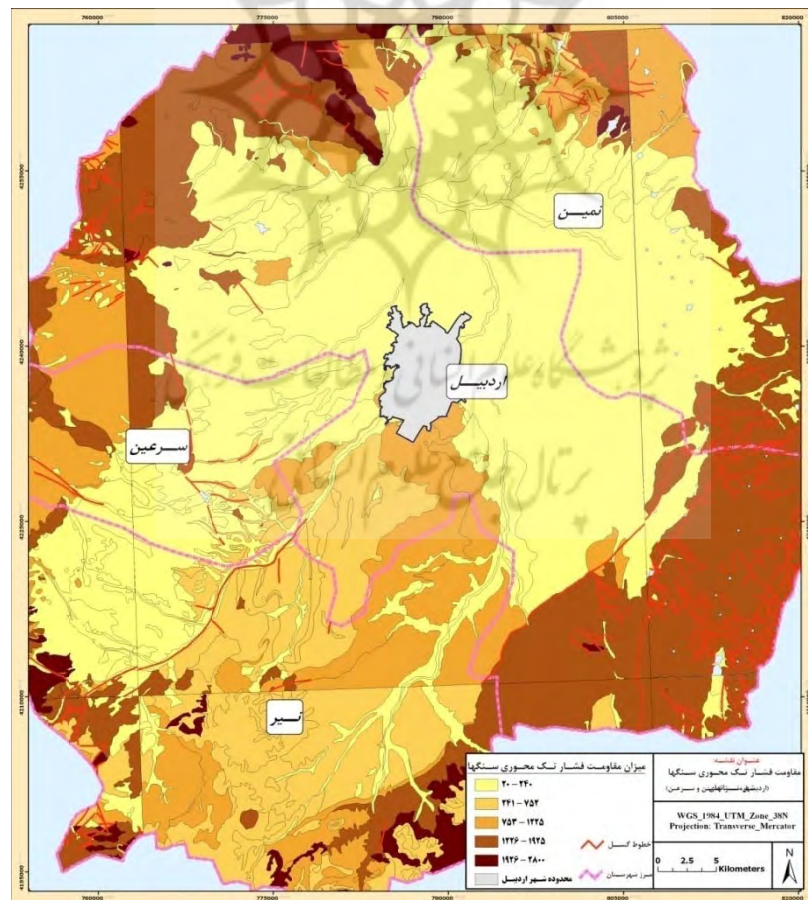


شکل ۲: نمودار توزیع بزرگی زلزله‌های دستگاهی منطقه نسبت به عمق کانونی در سال‌های ۱۹۰۲-۲۰۰۸
 میزان مقاومت سازه‌های مختلف در مقابل تغییر شکل‌ها و نیروهای وارده از سوی حرکات گسل‌ها به یک اندازه نیست چون آگاهی از مقاومت سنگ اطلاعات بالارزشی از مشخصات مکانیکی آن به دست می‌دهد لذا روش‌های متعددی

برای تعیین مقاومت سنگ ابداع شده است، آزمون فشار تک محوری رایج‌ترین روش تعیین مقاومت سنگ است (معماریان، ۱۳۷۷:۶۴). از این رو در تحقیق حاضر برای مشخص کردن ارتباط بین طول گسل خوردگی و میزان مقاومت سازندها بعد از تعیین میزان مقاومت فشار تک محوری انواع سنگ‌های موجود در منطقه (شکل ۳) طول گسل خوردگی برای هر یک از سازندها مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس نتایج حاصل سازندهای که از مقاومت کمتری برخوردار هستند گسل خوردگی در آن کمتر و سازندهای مقاوم‌تر گسل خوردگی بیشتری دارند (شکل ۴).



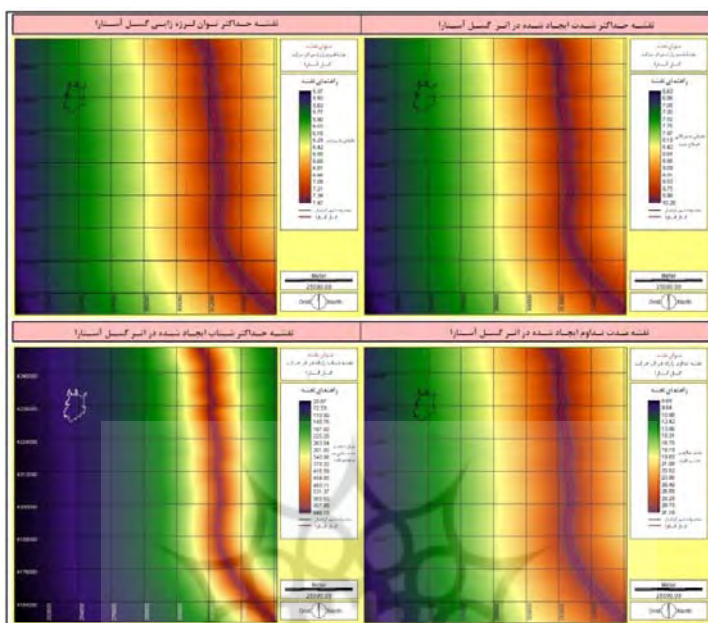
شکل ۴: ارتباط بین میزان مقاومت سازندهای موجود در منطقه و طول گسل خوردگی آن‌ها



شکل ۳: نقشه میزان مقاومت فشار تک محوری سنگ‌ها بر حسب Kg/cm^2 محدوده شهر اردبیل

با توجه به روابط تجربی موجود، توان لرزه زایی گسل‌های مهم منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت و بر اساس نتایج به دست آمده گسل آستارا بیشترین توان لرزه زایی را در بین گسل‌های دیگر منطقه دارا می‌باشد. لذا در ادامه تحقیق برای

ملموس تر شدن اثرات این گسل در حواشی اطراف خود به خصوص اثرات آن برای شهر اردبیل که در فاصله تقریبی ۴۶ کیلومتر آن قرار دارد، با استفاده از امکانات نرم‌افزار IDRISI Kilimanjaro اقدام به تهیه نقشه‌های قدرت، شتاب، شدت و مدت زمان زلزله احتمالی ایجاد شده از ناحیه گسل آستارا گردید (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه توان لرزه زایی گسل آستارا خروجی حاصل از نرم‌افزار IDRISI Kilimanjaro

برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله

تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله، تابعی از شرایط تراکم جمعیت، نوع و کیفیت سازه‌ها، قدرت، شتاب، زمان وقوع زلزله و نحوه امداد رسانی بعد از وقوع آن می‌باشد. تلفات انسانی ناشی از فروریزی ساختمان‌ها یک پدیده کلی در همه مناطق زلزله زده مطرح است. بعد از رخداد زلزله‌های با قدرت تخریب بالا، آماری به عنوان تعداد تلفات انسانی یا تعداد کشته‌ها منتشر می‌گردد (جایکا، ۱۳۸۰: ۱۶۷).

روش برآورد تلفات انسانی

مهم‌ترین هدف برنامه‌های کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، حفظ حیات و زندگی ساکنین می‌باشد. برای مطالعات تخمین آسیب، ارزیابی میزان احتمالی تلفات انسانی (مجروحان و مردگان) ناشی از زلزله ضروری است. معمولاً عمده‌ترین تلفات انسانی زلزله ناشی از آسیب وارده به ساختمان‌ها و سازه‌ها بوده و طبق برآوردهای انجام شده در زلزله‌های به وقوع پیوسته در جهان بالای ۷۵ درصد از مرگ و میرها در زلزله ناشی از ریزش مستقیم ساختمان‌ها بوده و اگر حوادث ثانویه زلزله را هم به آن اضافه کنیم بیش از ۹۰ درصد مرگ و میرها به ریزش ساختمان‌ها بر می‌گردد. برای تخمین تلفات انسانی زلزله از نظریه‌ای تحت عنوان نسبت مرگ‌آوری برای هر کدام از ساختمان‌ها که در درجات آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود. نسبت مرگ‌آوری به عنوان نسبتی از تعداد افراد کشته شده با تعداد ساکنین موجود در حین ریزش ساختمان تعریف می‌شود. بنابراین تخمین تلفات، تابعی از تخمین تعداد ساختم آن‌های تخریب شده در هر گروه از درجات آسیب می‌باشد، با استفاده از این روش می‌توان نسبت مرگ‌آوری هر یک از ساختم آن‌های موجود در شهر را مورد ارزیابی و تخمین قرارداد.

¹ - Lethality Ratio(LR)

نسبت مرگ‌آوری می‌تواند با عملکرد سازه در برابر زلزله، سطح اشغال، نوع مکانیسم ریزش، مشخصات زلزله از جمله شدت و فاصله کانونی زلزله تا شهر مورد نظر، رفتار ساکنین و آموزش‌های داده‌شده به آنان، تراکم جمعیت، تعداد طبقات ساختمان، زمان وقوع زلزله و... ارتباط مستقیم داشته باشد. برای محاسبه میزان تلفات ناشی از زلزله به اطلاعاتی نظیر توزیع فضایی شدت زلزله و میزان خسارات وارده به ساختمان‌ها، سیستم طبقه‌بندی مناسب ساختمان‌ها، آمار توزیع هر کدام از ساختم آن‌های واقع شده در درجات مختلف آسیب و ماتریس تیپولوژی ساختمانی^۱ و جمعیت هر کدام از واحدهای مسکونی و یا متوسط آن مورد نیاز می‌باشد. از این رو ارزیابی و تخمین، زمانی می‌تواند به واقعیت نزدیک باشد که نقشه توزیع ساختمان‌ها به صورت پلاکی و تک به تک تهیه شود و در صورت استفاده از داده‌های بلوکی آمار و نتایج تخمین‌های صورت گرفته تا حدود زیادی از واقعیت دور خواهد بود (احد نژاد، ۱۳۸۹: ۱۸۸).

در تحقیق حاضر برای برآورد تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله برای شهر اردبیل، ایده (یا روش) بنیادی برآورد تلفات که توسط Coburn و همکاران در سال ۱۹۹۲ ارائه گردید پذیرفته شده است. از آنجا که این روش بر گرفته از ملاحظات آماری خسارات زلزله در سراسر جهان و از جمله ایران است، برای اردبیل نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد.

ایده فوق‌الذکر به صورت رابطه ۱۰ تدوین شده است:

$$K_S = D_5 \times M_1 \times M_2 \times M_3 \times (M_4d + (1 - M_4d) \times M_5) \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

در رابطه فوق:

K_S : تلفات انسانی.

D_5 : تعداد ساختمان‌های فروریخته.

M_1 : تعداد افراد در هر ساختمان.

M_2 : وضعیت ساختمان از نظر تعداد افراد ساکن در هنگام وقوع زلزله به منظور برآورد تعداد تلفات در هنگام شب، وقتی که ساکنان همگی در خانه‌هایشان هستند، مقدار M_2 برابر با ۱/۰ فرض شد. این بدان علت است که داده‌های آمار جمعیت براساس بررسی جمعیت ساکنان ساختمان‌ها که با تعداد کل افراد ساکن در ساختمان‌ها در شب مطابقت دارد، تهیه شده‌اند. تعداد تلفات در هنگام روز نیز برآورد گردید. در این مورد تلفات روز نسبت به شب با شدت زلزله ارتباط داده شد (شکل ۱۰).

M_3 : تعداد ساکنان محبوس در ساختمان‌های فروریخته.

M_4d : نسبت تلفات بلافاصله پس از فروریختن ساختمان‌ها.

M_5 : تلفات پس از فروریختن (نسبت مجروحانی که پس از فروریختن و قبل از امداد رسانی می‌میرند). M_5

می‌تواند در چهار حالت منظور شود که در زیر آمده است.

M_5a : تلفات پس از فروریزی بدون هیچ‌گونه عملیات امداد رسانی.

M_5b : تلفات پس از فروریزی با وجود امداد رسانی مردمی.

M_5c : تلفات پس از فروریزی با عملیات امداد رسانی مردمی و گروه‌های امداد.

M_5d : تلفات پس از فروریزی با عملیات امداد رسانی مردمی و گروه‌های امداد و متخصصان

امداد رسانی.

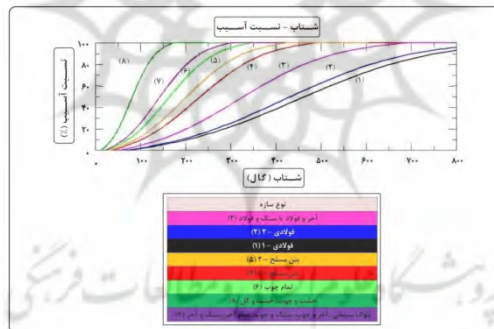
ضریب Coburn طوری تنظیم گردید که رابطه بین شدت زلزله و نسبت تلفات در خسارات ناشی از زلزله‌های گذشته در ایران برقرار شود (جایکا، ۱۳۸۰: ۱۶۹).

^۱ - Building Typology Matrix (BTM)

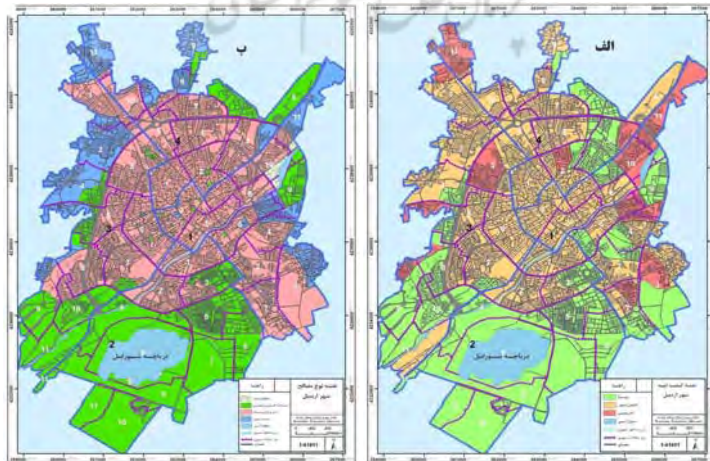
برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در شهر اردبیل

برای عملی ساختن فرایند برآورد تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله در محدوده مورد مطالعه، ضرورت داشت که بر اساس اصول مندرج در ذیل روش کوبرن، عملکردی گام به گام و مرحله‌ای انجام پذیرد. از این رو با توجه به روش مذکور که بر اساس رابطه (۱۰) تعریف شده است، نیاز است تا مقادیر عددی فشارسنج هواهای مطرح در روش فوق به صورت جداگانه تعیین گردد تا در نهایت، بر اساس رابطه فوق باهم تلفیق گشته و تعداد تلفات را در شرایط مختلف امدادی معین نماید. از این رو در برآیند عملیاتی سازی روش فوق، ابتدا اقدام به تهیه مقادیر عددی فشارسنج هواهای مطرح در این روش گردید. یکی از فشارسنج هواهای مهمی که در این مدل مطرح است، شاخص D_5 است که بیانگر تعداد ساختم آن‌های فروریخته در شرایط وقوع زلزله می‌باشد. برای تعیین مقادیر عددی این تابع از شکل (۶) که نشان‌دهنده تابع آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی نسبت به حداکثر شتاب است استفاده گردید. لازم به توضیح است که برای برآورد شتاب محتمل برای محدوده مورد مطالعه از نتایج به دست آمده در مطالعات مربوط به لرزه‌خیزی که در جدول (۱) آمده استفاده شد.

بر اساس این مطالعات، شتاب محتملی که در اثر لرزیدن گسل‌های پیرامون شهر اردبیل دور از انتظار نمی‌باشد، 300cm/s^2 است از این رو با استفاده از این مقدار و اطلاعات موجود در خصوص نوع سازه‌های شهر اردبیل به جهت نوع مصالح و کیفیت سازه ه (شکل ۷)، درصد خسارت احتمالی وارده به سازه‌های شهر اردبیل با توجه به منحنی‌های شکست موجود در شکل (۶) که به طور جداگانه برای انواع سازه‌ها تهیه شده در شتاب 300cm/s^2 برآورد گردید. شکل (۸) نتایج این برآورد را نشان می‌دهد.

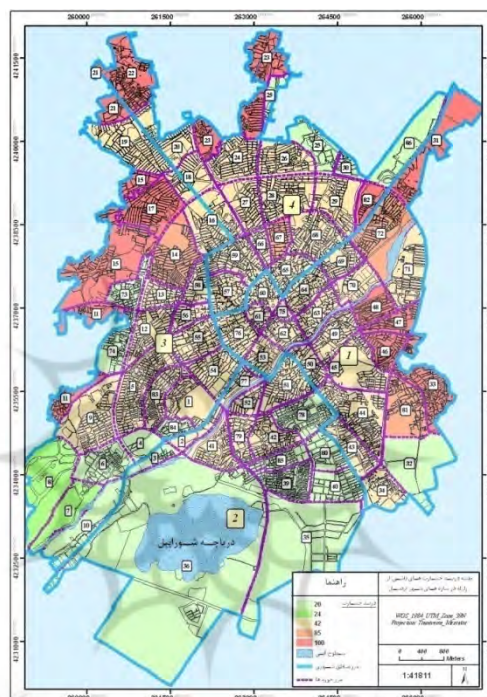


شکل ۶: تابع آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی نسبت به حداکثر شتاب (مطالعات جایکا، ۱۳۸۰: ۱۴۴)



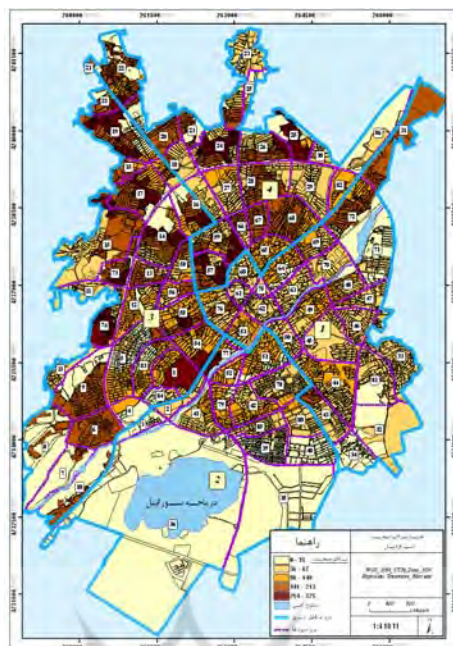
شکل ۷: الف: نقشه کیفیت ابنیه و ب: نقشه نوع مصالح ساختمانی شهر اردبیل (مأخذ: طرح بهسازی و نوسازی بافت فرسوده شهر اردبیل،

از دیگر پارامترهایی که لازم بود در این فرایند تعیین گردد، شاخص M_1 یا تعداد افراد هر ساختمان در سطح شهر بود. اطلاعات تابع M_1 به تفکیک حوزه‌های شهری بر اساس نتایج سرشماری سال ۱۳۸۵ تهیه شد و در فرایند تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۹) پراکندگی تراکم جمعیت شهر اردبیل را نشان می‌دهد. در گام بعدی جهت برآورد شاخص M_2 که وضعیت ساختمان از نظر تعداد افراد ساکن در هنگام وقوع زلزله را بیان می‌کند از شکل (۱۰) که براساس زلزله‌های گذشته ایران که در ساعات مختلف شبانه‌روز و برای شدت‌های مختلف زلزله تهیه شده استفاده گردید. نسبت فوق در روز برای شدت زلزله ۱۰ (در مقیاس MMI)، برابر یک چهارم (۲۵٪) همان نسبت در شب است. (مطالعات جایکا، ۱۳۸۰: ۱۷۰).

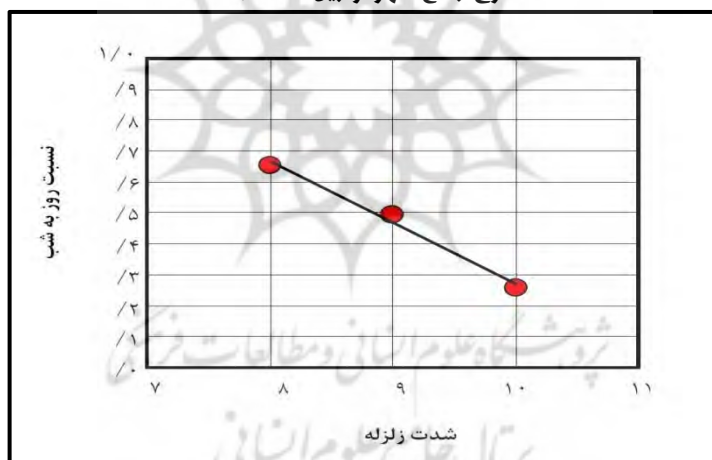


۳۰۰ (مأخذ: محاسبات نگارندگان براساس cm/s^2 : نقشه درصد خسارت وارده به سازه‌های شهر اردبیل در شتاب ۸ شکل
شکل شماره ۶، کیفیت ابنیه و نوع مصالح به کاررفته در ساختم آن‌های شهر اردبیل)

لازم به ذکر است که برای تعیین حداکثر شدت زلزله‌ای که احتمال وقوع آن در محدوده مورد مطالعه وجود دارد، از نتایج به دست آمده در جدول (۱) استفاده گردید. بر اساس این مطالعات شدت احتمالی که می‌توان برای زلزله‌های به وقوع پیوسته برای محدوده شهر اردبیل تعیین کرد، ۹ درجه در مقیاس مرکالی اصلاح شده است. لذا با این تفصیلات نسبت تلفات روز هنگام به شب هنگام برای زلزله با شدت ۹ مرکالی، ۰/۴۸ تعیین گردید.



شکل ۹: نقشه پراکندگی تراکم جمعیت در حوزه‌های شهر اردبیل بر اساس نتایج سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۸۵ (مأخذ: طرح جامع شهر اردبیل، ۱۳۸۶)



شکل ۱۰: نسبت تعداد تلفات زلزله در شدت‌های مختلف، روز هنگام به شب هنگام (مطالعات جایکا، ۱۳۸۰: ۱۷۱). جهت تعیین مقادیر فشارسنج هواهای:

- M_3 : تعداد ساکنان محبوس در ساختمان‌های فروریخته.
 - M_4d : نسبت تلفات بلافاصله پس از فروریختن ساختمان‌ها.
 - M_5 : تلفات پس از فروریختن (نسبت مجروحانی که پس از فروریختن و قبل از امدادرسانی می‌میرند).
- با لحاظ کردن شدت ۹ درجه در مقیاس مرکالی از موارد مندرج در جدول (۲) استفاده گردید.

جدول ۲: مقادیر فشارسنج هواهای مورد استفاده در تعیین تلفات انسانی ناشی از زلزله

نوع سازه و مقادیر عددی ضرایب مورد استفاده								ضرایب
و	فولادی (۱)	فولادی (۲)	آجری - فولادی	بتن مسلح (۱)	بتن مسلح (۲)	تمام چوب	بلوک سیمانی و آجر	
۳	۸	۱۲	۱۵	۱۵	۱۵	۵۰	۷۰	M_3
۵	۳۰	۵۰	۳۰	۴۰	۴۰	۶۰	۸۰	M_4d
۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	M_5a
۸۰	۷۰	۶۰	۷۰	۶۰	۴۰	۶۰	۷۰	M_5b
۳۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۳۰	۵۰	۶۰	M_5c
۱۵	۳۰	۴۵	۳۵	۴۵	۲۵	۴۵	۵۵	M_5d

مأخذ: مطالعات جایکا، ۱۳۸۰: ۱۷۸

با استفاده از ضرایب عددی مطرح در ذیل این شاخص‌ها که در جداول فوق، برای سازه‌های با ویژگی‌های مختلف ذکر شده است، مقادیر عددی فشارسنج هواهای فوق تعیین گردید.

با تلفیق مقادیر به دست آمده برای فشارسنج هواهای مندرج در رابطه (۱۰) مقدار K_S که بیانگر تعداد تلفات انسانی است، برای مواقع شب هنگام و روز هنگام و در شرایط ۴ گانه امدادی به تفکیک حوزه‌های شهر اردبیل به دست آمد که نتایج آن در جدول (۳) آمده است. در این بین نقشه تعداد تلفات انسانی شهر اردبیل برای شب هنگام و شرایط بدون امدادسانی که بدترین حالت متصور برای شرایط وقوع زلزله به جهت افزایش تعداد تلفات است تهیه شد که در شکل (۱۱) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۳: جدول تعداد تلفات انسانی ناشی از خطر زمین‌لرزه شهر اردبیل با شدت ۹ مرکالی در شرایط مختلف امدادسانی به

تفکیک حوزه‌های شهری خروجی حاصل از مدل کوبرن

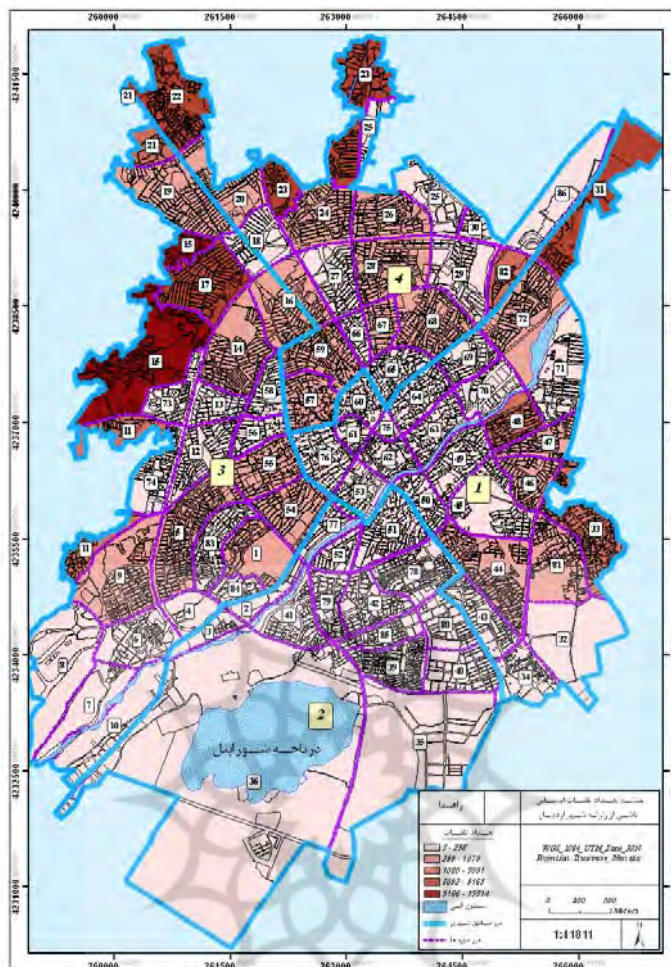
زلزله روز هنگام				زلزله شب هنگام				جمعیت حوزه	کد حوزه
نوع امدادسانی				نوع امدادسانی					
امداد	امداد	امداد	بدون	امداد	امداد	امداد	بدون		
سانی گروه‌های مردمی و امدادسانان اضطراری و حرفه‌ای	سانی گروه‌های مردمی و امدادسانان اضطراری	سانی مردمی	امدادسانی	سانی گروه‌های مردمی و امدادسانان اضطراری و حرفه‌ای	سانی گروه‌های مردمی و امدادسانان اضطراری	سانی مردمی	امدادسانی		
تعداد تلفات انسانی				تعداد تلفات انسانی					
113	125	150	238	240	267	320	506	10578	
18	20	24	38	38	43	51	81	1695	
0	1	1	2	1	1	3	4	486	
1	2	5	6	2	5	11	13	1699	
71	79	95	151	152	169	203	321	6705	
6	12	27	32	12	26	57	68	8944	
1	1	3	3	1	3	6	7	902	
2	5	10	12	5	10	22	26	3408	
133	148	177	280	283	314	377	597	12464	
2	5	11	13	5	10	22	27	3539	0

739	806	941	1276	1572	1715	2001	2716	4084	1
51	57	68	108	109	121	145	229	4788	2
42	47	56	89	89	99	119	189	3941	3
189	211	253	400	403	448	538	851	8784	4
4167	4546	5304	7198	8866	9672	11284	15314	23029	5
89	99	119	188	189	210	252	399	8342	6
2364	2578	3008	4083	5029	5486	6400	8686	13062	7
53	59	71	112	113	125	150	238	4963	8
163	181	217	344	347	385	462	732	15294	9
80	89	107	170	171	190	228	361	7547	0
722	788	919	1247	1537	1676	1956	2654	3991	1
1783	1945	2269	3079	3793	4137	4827	6551	9851	2
1678	1831	2136	2899	3571	3896	4545	6168	9275	3
114	127	152	241	243	269	323	512	10693	4
5	10	22	26	10	21	46	56	7326	5
70	77	93	147	148	165	197	313	6531	6
53	59	71	112	113	125	151	238	4977	7
89	99	119	188	189	210	252	399	8339	8
50	56	67	106	107	118	142	225	4697	9
1	2	3	4	2	3	7	9	1139	0
2494	2721	3174	4308	5306	5788	6753	9165	13782	1
2	4	8	10	4	8	18	22	2837	2
841	918	1071	1453	1790	1953	2278	3092	4649	3
6	7	8	12	13	14	17	26	552	4
3	7	15	18	7	14	32	38	5015	5
6	12	26	32	12	26	56	67	8881	6

1	1	3	3	1	3	6	7	873	9
1	2	4	5	2	4	9	10	1379	0
26	28	34	54	54	61	73	115	2402	1
43	48	57	91	92	102	122	194	4042	2
46	51	61	97	98	109	131	207	4318	3
81	90	108	171	173	192	230	365	7621	4
37	41	49	78	78	87	104	165	3451	5
280	306	357	484	596	651	759	1030	1549	6
294	320	374	507	625	682	795	1079	1623	7
434	473	552	749	922	1006	1174	1593	2396	8
46	51	61	97	98	109	131	207	4317	9
17	19	23	37	37	41	50	78	1638	0
66	74	89	140	141	157	188	298	6230	1
32	35	42	67	68	75	90	143	2987	2
39	44	52	83	84	93	111	176	3684	3
80	89	107	169	170	189	227	360	7515	4
83	92	111	175	176	196	235	373	7782	5
30	34	40	64	64	71	86	136	2837	6
100	111	134	212	213	237	284	450	9401	7
40	44	53	84	84	94	112	178	3711	8
93	103	124	196	198	220	264	417	8715	9
23	26	31	49	49	54	65	103	2159	0
10	11	13	21	21	23	28	44	920	1
15	16	19	31	31	34	41	65	1367	2
23	26	31	49	50	55	66	105	2192	3
36	40	48	76	76	85	102	161	3357	4

48	53	63	100	101	112	135	214	4460	5
22	25	29	47	47	52	63	99	2069	6
82	91	109	172	173	193	231	366	3779	7
97	108	129	205	207	230	275	436	9110	8
34	37	45	71	72	80	96	151	3160	9
34	37	45	71	71	79	95	151	3151	0
27	30	36	57	58	64	77	121	2536	1
154	172	206	326	328	365	438	693	7156	2
3	7	16	19	7	15	34	41	5381	3
5	11	23	28	11	23	50	60	7880	4
4	5	5	9	9	10	11	18	380	5
61	68	82	129	130	145	174	275	5752	6
34	38	46	73	73	81	98	155	3228	7
2	5	10	12	5	10	22	26	3407	8
34	37	45	71	72	80	95	151	3157	9
1	3	6	7	3	6	13	15	2008	0
71	78	94	149	150	167	200	317	3274	1
670	731	853	1158	1426	1556	1815	2464	3705	2
45	50	59	94	95	105	126	200	4183	3
1	1	3	4	1	3	6	8	993	4
1	2	5	5	2	4	10	12	1521	5
1	2	4	5	2	4	9	11	1404	6
19606	21496	25290	35224	41715	45737	53808	74945	426949	مع
4.59	5.03	5.92	8.25	9.77	10.71	12.60	17.55	100%	رصد

مأخذ: محاسبات نگارندگان



شکل ۱۱: نقشه تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله شهر اردبیل در شرایط بدون امدادرسانی و شب هنگام خروجی حاصل از مدل کوبرن برای زلزله با شدت ۹ مرکالی به تفکیک حوزه‌های شهری

نتیجه‌گیری

آسیب‌های به بار آمده در اثر وقوع حوادث و بلایایی طبیعی به خصوص زلزله می‌تواند اثرات سوء زیادی در ابعاد مختلف زندگی جوامع داشته باشد. این اثرات گاهی ممکن است طی سالیان متمادی زندگی این جوامع را دست‌خوش تغییرات اساسی نماید. اما از آنجایی که نوع بشر جبراً محکوم به فنا در مقابل این حوادث نیست، لذا در صورت برنامه‌ریزی‌های صحیح و انجام اقدامات بنیادین و استفاده از قدرت دانش خود می‌تواند تا حد زیادی از میزان آسیب‌ها بکاهد. از جمله ابزارهای نوین که توانایی زیادی در تحلیل داده‌های مکانی دارد سیستم اطلاعات جغرافیایی است که مطالعات مبنی بر ابزارهای آن، برآورد خطرات ناشی از زلزله در مناطق شهری را گسترش داده است. وقوع زلزله در مناطق شهری به دلیل شرایط پیچیده حاکم بر آن می‌تواند تبعات به مراتب ناگوارتری در پی داشته باشد. تبعاتی که با سرنوشت ساکنین آن می‌تواند در ارتباط کامل باشد. از این رو تمامی تلاش‌ها و مطالعات در ارتباط با زلزله هدفی جز بالا بردن ضریب ایمنی ساکنین مناطق شهری و روستایی و متقابلاً کاهش تلفات، خسارت و زیان‌های اقتصادی ناشی از آن ندارد. از آنجایی که ارزیابی تمامی عوامل دخیل در آسیب‌پذیری شهر به طور یکجا امکان‌پذیر نمی‌باشد لذا در این مقاله سعی گردید که ویژگی‌های لرزه‌خیزی و همین‌طور میزان آسیب‌پذیری شهر اردبیل از بعد تعداد تلفات انسانی با استفاده از قدرت تحلیل ابزارهای GIS انجام پذیرد. براساس نتایج به دست آمده وضعیت وقوع زلزله در شب بدون هیچ‌گونه امدادرسانی، شدیدترین تلفات را موجب می‌گردد. در این حالت، ۷۴۹۴۵ از ساکنان یا حدود ۱۷/۵۵٪ کل جمعیت اردبیل

کشته خواهند شد. تلفات در حوزه ۱۵ واقع در غرب منطقه ۳ شهرداری به علت تعداد زیاد جمعیت ساکن در آن و همچنین وضعیت نامناسب سازه‌های موجود در آن، بسیار وسیع خواهد بود. تلفات در حوزه ۱۷ واقع در بخش غربی منطقه ۳، حوزه ۳۱ واقع در شمال شرق منطقه ۱ و حوزه ۲۲ واقع در شمال غرب منطقه ۴ شهرداری به ترتیب در رتبه‌های بعدی به لحاظ تعداد تلفات قرار دارند. وضعیت وقوع زلزله در روز و با امداد رسانی گروه‌های مردمی و امدادسازان اضطراری و حرفه‌ای کم‌ترین تلفات را موجب می‌گردد. در این حالت، ۱۹۶۰۶ نفر یا حدود ۴/۵۹٪ از جمعیت شهر اردبیل کشته خواهند شد. این می‌تواند به دلیل سطح هوشیاری بیشتری باشد که مردم در روزها می‌توانند داشته باشند به علاوه بخش قابل توجهی از مردم در روز خارج از محیط سر بسته و در فضای باز به سر می‌برند. در کل با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات، در هر حوزه از شهر اردبیل که تراکم بالایی جمعیت با وضعیت نامناسب و نامقاوم سازه‌ها همراه شده، تعداد و میزان تلفات به همان میزان بالا رفته است. درحالی‌که در حوزه‌های که تراکم جمعیت یا کیفیت سازه‌ها و یا هر دوی آن‌ها از وضعیت مطلوب تری برخوردارند به میزان زیادی از تعداد تلفات کاسته شده است. به عنوان نمونه در حوزه ۲۳ علیرغم پایین بودن تراکم جمعیت، کیفیت پایین سازه‌ها باعث بالا رفتن تعداد تلفات شده است. این در حالی است که در حوزه‌های ۳۹ و ۴۰ که جزو شهرک‌های نوساز شهر اردبیل به شمار می‌روند، توجه به مسئله تراکم ساختمانی و اندازه بلوک‌ها و متناسب با آن توزیع یکنواخت تر جمعیت ساکن در آن و مقاومت مناسبی که سازه‌های موجود در این شهرک‌ها در برابر زلزله می‌توانند از خود نشان دهند به طور چشم‌گیری از بالا رفتن تعداد تلفات جلوگیری کرده است.

منابع

۱. آراین، مهران (۱۳۸۹)، بررسی خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره چهارگوش کرمان، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۲۰، شماره ۷۷، پاییز ۱۳۸۹.
۲. آزادبخش، امین و همکاران (۱۳۸۸)، لرزه زمین ساخت منطقه معدنی سنگ آهن گل گهر سیرجان، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۳، سال ۱۳۸۸.
۳. احد نژاد روشنی، محسن و همکاران (۱۳۸۹)، مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر زنجان)، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹، پاییز ۱۳۸۹.
۴. بحیرائی، ساره و همکاران (۱۳۸۹)، تحلیل دینامیک گسل مشا در گستره شمال خاور تهران، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۲۰، شماره ۷۷، پاییز ۱۳۸۹.
۵. برگی، خسرو (۱۳۸۲)، اصول مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، تابستان ۱۳۸۲.
۶. پورکرمانی، محسن. آراین، مهران (۱۳۷۶)، سازه‌موتکتونیک لرزه زمین ساخت، انتشارات شرکت مهندسی مشاور دز آب، چاپ اول، زمستان ۱۳۷۶.
۷. حسین نژاد، محمدرضا. رمضی، حمیدرضا (۱۳۸۷)، برآورد خطر زمین‌لرزه در استان مرکزی، نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، شماره ۲، جلد ۱۹، تابستان ۱۳۸۷.
۸. ریاضی راد، زهره سادات و همکاران (۱۳۸۸)، بررسی لرزه زمین ساخت و لرزه‌خیزی در نوشهر و تعیین مناطق با پتانسیل خطر بالا، فصلنامه زمین، سال چهارم، شماره ۴، سال ۱۳۸۸.
۹. رجیبی، معصومه. آقاجانی، کامیلا (۱۳۸۹)، بررسی گسل‌ها، توان لرزه‌زایی و خطر زمین‌لرزه در مخروط افکنه‌های شمال شرق دریاچه ارومیه، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۷، بهار ۱۳۸۹.
۱۰. سازمان مسکن و شهرسازی استان اردبیل (۱۳۸۶)، طرح جامع و تفصیلی شهر اردبیل.
۱۱. سازمان زمین‌شناسی کشور، شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش اردبیل، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.
۱۲. سایت داده‌های علوم زمین، www.ngdir.com.
۱۳. معماریان، حسین (۱۳۷۷)، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران.

۱۴. مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ و آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن(جایکا)، ریز پهنه بندی لرزه‌ای تهران بزرگ، گزارش نهایی ۱۳۸۱
۱۵. وزارت مسکن و شهرسازی، شرکت عمران و بهسازی شهری ایران، طرح بهسازی و نوسازی بافت فرسوده شهر اردبیل، اردیبهشت ۱۳۹۰
۱۶. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت اردبیل، آستار، خلخال، مشگین شهر، سراب، رضی و گیوی، سازمان زمین‌شناسی

17. Erdik, M. Demircioglu, M. Sesetyan, K. Durukal, E. Siyahi, B. , 2004. Earthquakehazard in Marmara Region, Turkey, soil Dynamics and Earthquake Engineering 24 (2004) 605-631.
18. Hashemi, Mahdi., Alesheikh, Ali Asghar., 2011. A GIS- based earthquake damage assessment and settlement methodology, Soil Dynamics and Earthquakes Engineering, Volume 31, Issue 11, November 2011, Pages 1607-1617
19. Hannich, Dieter, Et al., 2006. A GIS-based study of earthquake hazard as a tool for the microzonation of Bucharest, Engineering Geology 87(2006) 13-32.
20. Lantada, N. Pujades, L. Barbat, A., 2009. Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison, Net Hazards 51(2009) 501- 524.
21. Tang, A. Wen, A., 2009. An intelligent simulation system for earthquake disaster assessment, Computers & Geosciences 35 (2009) 871-879.
22. Zafarani, Hamid, Et al., 2009. Stochastic modeling of Iranian earthquakes and estimation of ground motion for future earthquakes in Greater Tehran, soil Dynamics and Earthquake Engineering 29 (2009) 722-741.