شریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال اول، شماره پیاپی ٤، زمستان ۱۳۹۳
صفحات۵۸-۳۹

پراکندگی لرزه‌خیزی در ایران

مهدی زارع[۱]، استاد پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
فرناز کامران‌زاد، کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۲۵ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۸/۲۸

چکیده

تکتونیک فعال نوار لرزه‌خیز آلپ ـ هیمالیا فلات ایران را شکل داده است که در مرز همگرایی بین ورقه‌های زمین‌ساختی اوراسیا ـ عربستان قرار دارد. این فلات یکی از لرزه‌خیزترین نواحی جهان است و هر سال با زمین‌لرزه‌های متعددی مواجه می‌شود. در ایران، شرایط فعال زمین‌ساختی، وجود گسل‌ها و چشمه‌های لرزه‌زای متعدد و قرارگیری جمعیت فراوان در نواحی مستعد زمین‌لرزه توجه بیش از پیش به این سانحه‌ی طبیعی و لزوم مطالعات علمی را در زمینه‌ی تحلیل خطر زمین‌لرزه افزایش می‌دهد. در مقاله‌ی حاضر، علاوه بر مرور لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی ایران از گذشته تاکنون، سعی شده است به مسئله‌ی تحلیل خطر زمین‌لرزه پرداخته و به وضعیت مدیریت سانحه، آسیب‌پذیری و بافت فرسوده در ایران اشاره شود.

واژگان کلیدی: لرزه‌خیزی، خطر زمین‌لرزه، ریسک زمین‌لرزه، مدیریت بحران، ایران.

[۱]. نویسنده مسئول
Email: mzare@iiees.ac.ir

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

مقدمه

فلات ایران بر روی نوار لرزه‌خیزی آلپ ـ هیمالیا قرار گرفته است که حدود ۸٪ از زلزله‌های دنیا و حدود ۱۷٪ از زلزله‌های بزرگ دنیا بر روی آن اتفاق می‌افتد. حرکت همگرایی ورقه‌های زمین‌ساختی اوراسیا ـ عربستان سبب تغییر شکل فعال در ایران شده و آن را به یکی از لرزه‌خیزترین نواحی جهان تبدیل کرده است. به استثنای ناحیه‌ی مکران در کرانه‌ی جنوب شرق ایران ــ که به شکل بقایای پوسته‌ی قدیمی و سخت اقیانوس تتیس در حال فرورانش به سمت شمال و به زیر بخش جنوب شرق ایران است ــ فلات ایران به صورت برخورد قاره‌ای جوان تعریف می‌شود (Masson et Byrne et al., ۱۹۹۲ ;al., ۲۰۰۷. تقریباً همه‌ی تغییر شکل و کوتاه‌شدگی ناشی از برخورد ورقه‌های زمین‌ساختی در مرزهای سیاسی ایران قرار دارد (Walker and Jackson, ۲۰۰۴). این تغییر شکل در ایران یک‌نواخت توزیع نشده و، عمدتاً، در کمربندهای اصلی مثل زاگرس، البرز، کپه داغ و در طول گسل‌های راستالغز طولانی متمرکز شده که بلوک‌های وسیع و لرزه‌خیز را (مانند ایران مرکزی، آذربایجان و دریای مازندران) احاطه کرده است (Jackson et al., ۱۹۹۵; Berberian and Yeats, ۱۹۹۹). بنابراین، میزان این تغییر شکل و، در نتیجه، لرزه‌خیزی در نقاط گوناگون کشور متفاوت است، به طوری که در سال میزان تغییر شکل در پهنه‌ی فرورانش مکران حدود ۲±۱۹/۵ میلی‌متر، در کپه‌داغ حدود ۲±۶/۵ میلی‌متر، در البرز و زاگرس (در محدوده‌ی طول جغرافیایی تهران) به ترتیب است ۲±۸ و ۲±۶/۵ میلی‌متر و در بلوک ایران مرکزی دگرشکلی داخلی کمتر از ۲ میلی‌متر در سال است (Vernant et al., ۲۰۰۴). همواره بخشی از تغییر شکل (متوسط حدود ۱۰٪) به صورت زمین‌لرزه رخ می‌دهد و در آینده هم این وضعیت رخ خواهد داد. میزانی از تغییر شکل (به صورت زمین‌لرزه) از ۳٪ در زاگرس به ۳۰٪ در ناحیه‌ی البرز و کپه‌داغ و حدود ۱۰٪ در ایران مرکزی و ناحیه‌ی لوت می‌رسد. بنابراین، به دلیل همین تفاوتی که در پوسته‌ی زمین و میزان تغییر شکل در نقاط مختلف ایران وجود دارد، شدت و تکرار زمین‌لرزه‌ها در نواحی گوناگون ایران متفاوت است (در بندرعباس و ناحیه‌ی تنگه‌ی هرمز، هر دو سال یک بار زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۶ ریشتر یا بیشتر، و سالیانه حدود دو تا ۳ زمین‌لرزه با بزرگای ۵ تا ۶ ریشتر اتفاق می‌افتد. در حالی که، در محدوده‌ی بم و جیرفت فقط زمین‌لرزه‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ با بزرگای بیش از ۶ ریشتر در قرن اخیر ثبت شده است). به صورت میانگین، ژرفای زمین‌لرزه‌ها در ایران کم است (حدود ۸ تا ۲۵ کیلومتر برای بیشتر زمین‌لرزه‌های با بزرگای ۶ ریشتر یا بیشتر). آگاهی از این ژرفا خبر خوبی را نوید نمی‌دهد، چرا که هر زمین‌لرزه‌ی شدید (بزرگای ۶ ریشتر یا بزرگ‌تر) در صورت قرارگیری کانون زلزله در ناحیه‌ی مسکونی (مانند بم)، می‌تواند به تلفات و خسارات زیادی منتهی شود. در مطالعه‌ی حاضر، علاوه بر بررسی لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت، به مرور وضعیت خطر زمین‌لرزه در ایران پرداخته شده و درباره‌ی وضعیت مکانی میزان آسیب‌پذیری زلزله در نقاط گوناگون بحث شده است.

داده ها و روش کار

برای مرور وضعیت لرزه‌خیزی و پراکندگی زمین‌لرزه‌های ایران، ابتدا لازم است شرایط تکتونیکی و محیط لرزه‌زمین‌ساختی و گسل‌های فعال موجود در کشور بررسی شود. تاکنون، مطالعات مختلفی در زمینه‌ی تقسیم‌بندی نواحی مختلف و معرفی پهنه‌ها و استان‌های لرزه‌زمین‌ساختی ایران صورت گرفته است که در مقاله‌ی حاضر به مهم‌ترین این پژوهش‌های اشاره

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

می‌شود. سپس، لرزه‌خیزی و مهم‌ترین زلزله‌های مخرب گذشته در فلات ایران معرفی و توزیع پراکندگی زمین‌لرزه‌ها نشان داده می‌شود.

یکی از مهم‌ترین ابزارها برای مطالعه‌ی زلزله‌ها ثبت و پایش مداوم جنبش زمین است که با دستگاه‌های لرزه‌نگاری و شتابنگاری صورت می‌گیرد. دستگاه‌ها به صورت شبکه‌ای مدون در محدوده‌ی کشور نصب شده و در حال ثبت هستند. در بررسی حاضر، به معرفی شبکه‌های مسئول رصد رخدادهای لرزه‌ای ایران خواهیم پرداخت.

با توجه به میزان فراوان لرزه‌خیزی ایران و توسعه‌ی شهرهای پرجمعیت و ساخت و ساز بر روی نواحی دارای خطر زمین‌لرزه، نگاه به برآورد خطر لرزه‌ای رویکرد مناسبی است که باید به آن بیشتر توجه کرد، به طوری که امروزه برای طراحی و ساخت سازه‌ها تحلیل و برآورد خطر زمین‌لرزه در محل ساختگاه اجرای سازه‌ها به الزام تبدیل شده است و قوانین مختلفی در آئین‌نامه‌ها برای آن وجود دارد. در این زمینه، به روش‌های تعینی و احتمالی به منزله‌ی دو مورد از مهم‌ترین تکنیک‌های برآورد خطر لرزه‌ای اشاره می‌شود. با در نظر گرفتن سطح خطر لرزه‌ای در یک منطقه و جمعیت متمرکز در آن می‌توان سطح خطرپذیری جوامع انسانی را بررسی کرد و به برآوردی از میزان آسیب‌پذیری و تاب‌آوری آن منطقه دست یافت. به موازات انجام دادن مطالعات خطر زمین‌لرزه، ضروری است تا به مسئله‌ی مدیریت بحران و کاهش خطر سانحه و برآورد مداوم وضعیت آن در کشور پرداخته شود. در ادامه، مسائل پیش روی مدیریت بحران و وضعیت بافت‌های فرسوده‌ی شهری در ایران بررسی خواهد شد.

شرح و تفسیر نتایج

- **پراکندگی فضایی لرزه‌های ایران**

در عصر حاضر زمین‌شناسی (هولوسن با سن حدود ۱۲۰۰۰ سال یا کمتر)، ساختارهای زمین‌شناختی جنبا به صورت پهنه‌های سرچشمه لرزه‌ای (Seismic Source Zones) است که توان ایجاد زمین‌لرزه‌ای را با بزرگای بیشینه دارد. مشخصات و موقعیت ساختار فعال در یک ناحیه یا استان لرزه‌زمین‌ساخت (Seismotectonic Province) گواه سطح بزرگای بیشینه‌ای است که می‌توان به آن نسبت داد. هر پهنه‌ی سرچشمه لرزه‌ای بر اساس مطالعات و بررسی‌های زلزله‌شناختی و زمین‌شناختی بر روی ناحیه‌های بااهمیت از نظر جنبایی زمین‌ساختی مشخص می‌شود. تعیین پهنه‌های سرچشمه لرزه‌زا با مشخص کردن ساختارهایِ پتانسیل فعالیت لرزه‌ای است که سبب تعریف استان‌های لرزه‌زمین‌ساختی می‌شود. هر استان لرزه‌زمین‌ساختی واحدی از پوسته‌ی زمین را با مشخصات تفکیک‌پذیر از نواحی دیگر جدا می‌سازد که به لحاظ زلزله‌شناختی (لرزه‌خیزی و شاخص‌های زلزله‌شناختی) و زمین‌ساختی (زمین‌ساخت جنبا و ساختارهای بزرگ زمین‌ساختی کنترل‌کننده‌ی ریخت کلی پوسته در آن ناحیه‌ی کنترل) است. ساز و کار غالب در هنگام جنبایی گسل‌های فلات ایران به صورت راستالغز و فشاری است. دلیل این امر فشار ورقه‌ی عربی و وضعیت قرارگیری آن در میان ورقه‌ی عربی و ورقه‌ی توران (به ترتیب در بخش‌های جنوبی و شمالی) و زمینه‌ی منطقه‌ی خط درز زاگرس (شمال باختر ـ جنوب خاور) و رشته‌کوه‌های البرز (عمدتاً خاوری ـ باختری) است، به طوری که ۶۶٪ از ساز و کارهای کانونی به صورت گسلش امتدادلغز یا مایل با مؤلفه‌های غالب امتدادلغزی و گسلش شیب‌لغز محض فقط حدود ۱۸٪ از کل گسل‌ها را شامل می‌شود و بیشتر به

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

صورت معکوس است (صادقی و شجاع طاهری، ۱۳۸۵). در شکل شماره‌ی ۱، روند گسل‌های فعال و ساز و کار ژرفی زلزله‌های ایران نشان داده شده است (حسامی و همکاران، ۱۳۸۲). همان‌طور که از این شکل مشخص است، گسل‌ها در مناطق گوناگون کشور ایران دارای روندهای متفاوتی و انواع مختلفی هستند. در کل، می‌توان چنین بیان کرد که گسل‌های فعال منبع اصلی لرزه‌زایی در کشورمان هستند و کانون زمین‌لرزه‌ها در نقاط مختلف از روند گسل‌های ناحیه تبعیت می‌کنند و می‌توان همه‌ی زمین‌لرزه‌های روی داده در سطح کشور را به جنبایی گسل‌ها نسبت داد. گسیختگی‌های برخی از این سامانه‌های گسلی به سطح زمین نمی‌رسند (نظیر، بسیاری از گسل‌های جنبای منطقه‌ی زاگرس) و حرکت تدریجی بلوک‌های سنگی مانع از تجمع انرژی و ایجاد زلزله‌های بزرگ و، در نتیجه، ایجاد گسیختگی می‌شوند.

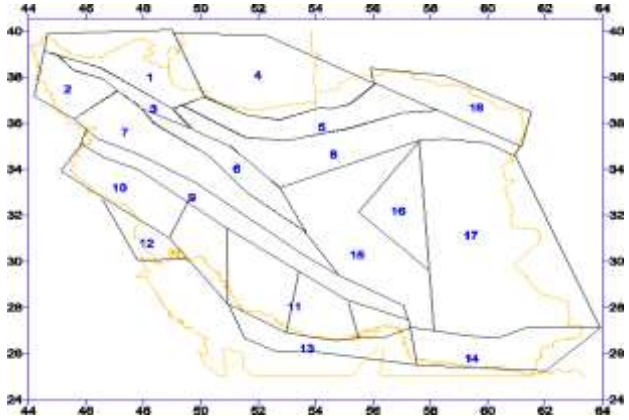
پراکندگی زمین‌لرزه‌ها در ایران گواه این است که شرایط زلزله‌خیزی ایران بر وضعیت زمین‌ساختی منطقه کاملاً منطبق است. از این رو، تقسیم‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌ساختی ایران تا حد فراوانی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی پهنه‌های لرزه‌زمین‌ساختی ایران باشد. اشتوکلین (۱۹۶۸) اولین نقشه‌های لرزه‌زمین‌ساخت ناحیه‌ی ایران را با شش منطقه و تکین (۱۹۷۲) با چهار ناحیه‌ی مجزا معرفی کردند. بربریان (۱۹۷۶) یکی از شناخته‌شده‌ترین طبقه‌بندی‌ها را انجام داد. بر اساس بررسی او، ایران به چهار پهنه‌ی اساسی لرزه‌زمین‌ساختی تقسیم شده است که شامل نواحی زاگرس، کپه‌داغ، البرز و ایران مرکزی (شامل گستره‌های آذربایجان، لوت، شرق ایران و مکران) است. با توجه به وجود روندهای زمین‌ساختی، گسل‌ها و زلزله‌های با خصوصیات متفاوت در این نواحی، می‌توان مناطق معرفی‌شده را به پهنه‌های کوچک‌تری نیز تقسیم کرد. در ۱۹۷۶، نوروزی نقشه‌ی جدیدی تهیه کرد که در آن ۲۳ منطقه مختلف معرفی شده بود و متعاقب آن نوگل ـ سادات (۱۹۹۴)، توکلی (۱۹۹۶) و میرزایی و همکاران (۱۹۹۸) نقشه‌های لرزه‌زمین‌ساخت جدیدی را به ترتیب با ۲۳، ۲۰ و ۵ ناحیه معرفی کردند. همچنین، زارع و معماریان (۲۰۰۰)، بر اساس ویژگی‌های بنیادی و تمرکز بر مرکز زلزله‌ها و شاخص‌های لرزه‌خیزی، فلات ایران را به ۱۸ استان لرزه‌زمین‌ساختی تقسیم‌بندی کردند (شکل ۲). در پژوهش‌های صورت‌گرفته‌ی ده سال اخیر نیز، انصاری و همکاران (۲۰۰۸)، زمانی و همکاران (۲۰۰۹)، کریمی پریدری و همکاران (۲۰۱۱)، حمزه‌لو و همکاران (۲۰۱۲) و مجرب و همکاران (۲۰۱۳) نتایج مطالعات پهنه‌بندی لرزه‌زمین‌ساختی خود را ارائه دادند.

در کل، شاخص‌های لرزه‌خیزی در نواحی مجزای لرزه‌زمین‌ساختی متفاوت است، به طوری که در ناحیه‌ی ایران مرکزی، البرز و آذربایجان زلزله‌های کوچک‌مقیاس کمتر رخ داده است و زمین‌لرزه‌ها کم تعدادتر ولی با اندازه‌های بزرگ‌تر و با فاصله‌های زمانی طولانی‌تر رخ می‌دهند. در مقابل، در منطقه‌ی زاگرس، آزادسازی انرژی لرزه‌ای در فواصل زمانی کوتاه‌تر و به‌صورت وقوع زلزله‌های با بزرگای کمتر رخ می‌دهد.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]



شکل ۱: نقشه‌ی گسل‌های فعال به همراه ساز و کار ژرفی زلزله‌های ایران (حسامی و همکاران، ۱۳۸۲).



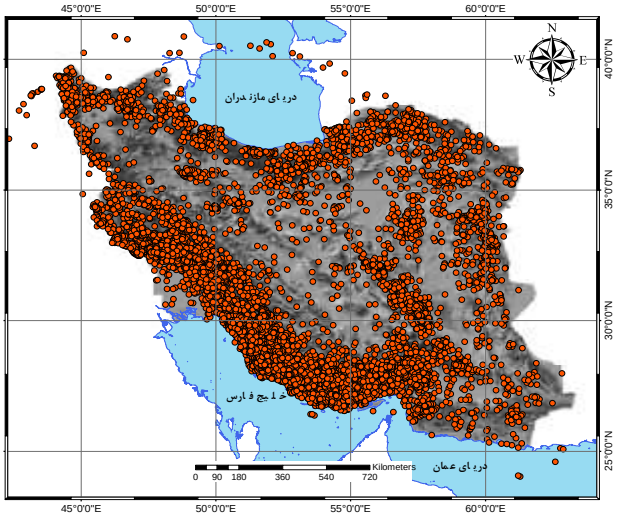
شکل ۲: استان‌های گوناگون لرزه‌زمین‌ساختی ایران (زارع و معماریان، ۲۰۰۰).

- **زلزله‌های مخرب در فلات ایران**

زلزله‌های ایران در گذشته و اکنون یکی از منابع خطر برای زیستگاه‌های انسان در بیشتر نقاط فلات ایران بوده‌اند. در شکل شماره‌ی ۳، رومرکز زلزله‌های دستگاهی ایران (از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۵) با بزرگای بیش از ۴ ریشتر نشان شده است که این داده‌ها از بانک داده‌های لرزه‌نگاری شبکه‌ی مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IRSC) به دست آمده و به کمک نرم‌افزار ArcGIS بر روی نقشه‌ی مدل ارتفاعی رقومی ایران استفاده شده است. با توجه به این نقشه، روندهای مشخصی در راستای رشته‌کوه‌های زاگرس در جنوب و جنوب باختر ایران، راستای کپه‌داغ ـ قفقاز در شمالِ خاور ـ شمال ایران، راستای رشته‌کوه‌های البرز، شمال لوت و در خاور ایران حاصل از تمرکز رومرکز زلزله مشاهده می‌گردد. با دقت در این نقشه، میزان بالای لرزه‌خیزی فلات ایران به‌خوبی مشخص است. از سوی دیگر، انطباق رومرکزهای زلزله‌های ایران با روندهای مهم

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

موجود در مرز بین پستی و بلندی‌ها بسیار جالب توجه است. توجه به داده‌های ثبت‌شده در سال‌های پس از ۱۹۶۰ نشان می‌دهد که زلزله‌های زاگرس ایران با بزرگای کمتر و فراوانی بیشتر از زلزله‌های البرز و ایران مرکزی رخ داده‌اند. مهم‌ترین زلزله‌های ایران در حد فاصله‌ی زمانی ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۳ در جدول شماره‌ی ۱و زلزله‌های اصلی در قرن بیستم ایران (با بزرگای بیش از ۷ ریشتر) در جدول شماره‌ی ۲ آورده شده است.



شکل ۳. زلزله‌های ایران با بزرگای بیش از ۴ ریشتر ثبت شده با شبکه‌ی لرزه‌نگاری مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران که بر روی مدل ارتفاعی رقومی (DEM) کشور قرار گرفته است.

جدول ۱: زلزله‌های مهم ایران در فاصله زمانی ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۳

مکان زلزله	تاریخ وقوع	بزرگا
سرخون بندر عباس	۱۶ اسفند ۱۳۵۳	m_b=۵/۹ ،M_s=۶/۱
وندیک، قائن	۱۶ آبان ۱۳۵۵	m_b=۵/۸ ،M_s=۶/۴
خورگو، بندرعباس	۱ فروردین ۱۳۵۶	m_b=۶/۲ ،M_s=۷/۰
ناغان، چهارمحال و بختیاری	۱۷ فروردین ۱۳۵۶	m_b=۵/۶ ،M_s=۶/۱
طبس	۲۶ شهریور ۱۳۵۷	m_b=۶/۷ ،M_w=۷/۴ ، M_s=۷/۳
کوریزان قائن	۲۴ دی ۱۳۵۷	m_b=۶/۰ ،M_s=۶/۶
قائنات	۲۶ دی ۱۳۵۷	m_b=۶/۰ ،M_s=۶/۸
کولی ـ بنیاباد، قائن	۶ آذر ۱۳۵۸	m_b=۶/۱ ،M_s=۷/۱
گلباف، کرمان	۲۱ خرداد ۱۳۶۰	m_b=۶/۱ ،M_s=۶/۷
سیرچ، کرمان	۶ مرداد ۱۳۶۰	m_b=۵/۷ ،M_s=۷/۱
منجیل، گیلان	۳۱ خرداد ۱۳۶۹	m_b=۶/۸ ،M_w=۷/۳ ،M_s=۷/۷
سفیدابه، سیستان	۲۹ شهریور ۱۳۷۳	m_b=۶/۱ ،M_w=۶/۰ ،M_s=۶/۱
ابراهیم آباد، فیروزآباد فارس	۳۰ خرداد ۱۳۷۳	m_b=۵/۹ ،M_w=۵/۹ ،M_s=۵/۷

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

بجنورد	۱۶ بهمن ۱۳۷۵	$mb=۵/۹$ ،$M_w=۶/۵$ ،$M_s=۶/۸$
گلستان، اردبیل	۹ فروردین ۱۳۷۶	$mb=۵/۵$ ،$M_w=۶/۰$ ،$M_s=۶/۰$
اردکول قائن، خراسان	۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶	$mb=۶/۴$ ،$M_w=۷/۲$ ،$M_s=۷/۳$
بم، کرمان	۵ دی ۱۳۸۲	$M_w=۶/۵$
ورزقان آذربایجان شرقی	۲۱ مرداد ۱۳۹۱	$M_w=۶/۳$ ،$M_w=۶/۴$
شنبه، بوشهر	۲۰ فروردین ۱۳۹۲	$M_w=۶/۳$
سراوان، سیستان و بلوچستان	۲۷ فروردین ۱۳۹۲	$M_w=۷/۸$
مورموری، ایلام	۲۷ مرداد ۱۳۹۳	$M_w=۶/۲$

جدول ۲: زلزله‌های اصلی (Major) قرن بیستم فلات ایران با بزرگای بیش از M=۷.۰ در محدوده‌ی فلات ایران

ناحیه	بزرگا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	روز	ماه	سال
باغان- گرماب	۷/۳	۵۷/۶	۳۷/۸۶	۱	۵	۱۹۲۹
سلماس	۷/۲	۴۴/۶	۳۸/۱۵	۶	۵	۱۹۳۰
کازانجیک	۷/۴	۵۴/۶	۳۹/۸۲	۴	۱۱	۱۹۴۶
سنگچال	۷/۰	۵۲/۷	۳۶/۱۴	۲	۷	۱۹۵۷
بوئین زهرا	۷/۲	۴۹/۸	۳۵/۷۱	۱	۹	۱۹۶۲
دشت بیاض	۷/۴	۵۹	۳۴/۰۴	۳۱	۸	۱۹۶۸
چالدران	۷/۳	۴۴	۳۹/۰۵	۲۴	۱۱	۱۹۷۶
طبس	۷/۴	۵۷/۴۴	۳۳/۳۸	۱۶	۹	۱۹۷۸
کولی ـ بنیاباد	۷/۱	۵۹/۷۶	۳۳/۹۶	۲۷	۱۱	۱۹۷۹
سیرچ	۷/۱	۵۷/۷۴	۳۰/۰۱	۲۸	۷	۱۹۸۱
منجیل	۷/۳	۴۹/۴۹	۳۶/۹۵	۲۰	۶	۱۹۹۰
اردکول قائن	۷/۲	۵۹/۸	۳۳/۸۳	۱۰	۵	۱۹۹۷
سراوان	۷/۸	۶۲/۰۵	۲۸/۱۱	۱۶	۴	۲۰۱۳

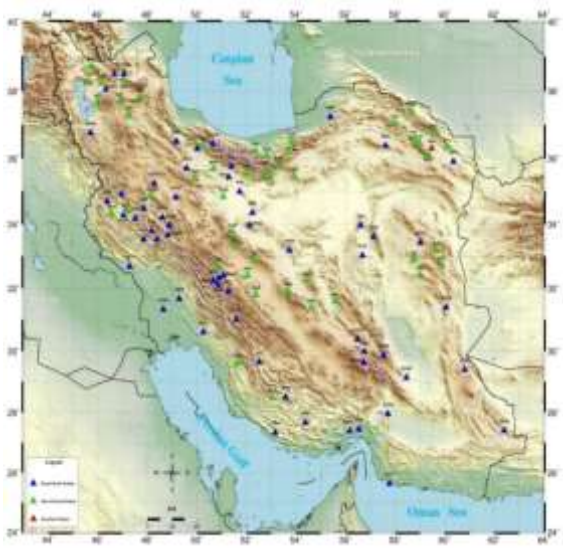
- **لرزه‌نگاری و شتاب‌نگاری در ایران**

اکنون، شبکه‌ی لرزه‌نگاری مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران، شبکه‌ی باندپهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و شبکه‌ی شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی مهم‌ترین شبکه‌های ملی رصد زلزله‌ها در داخل کشور هستند که مسئولیت ثبت و پایش رخدادهای لرزه‌ای کل کشور را برعهده دارند. مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران اولین مرکز ملی لرزه‌نگاری است که کار ثبت و تعیین محل زمین‌لرزه‌ها را از سال ۱۳۳۷ (۱۹۵۸ میلادی) با احداث اولین ایستگاه لرزه‌نگاری در تهران آغاز کرد. با بسط و توسعه‌ی ایستگاه‌های لرزه‌نگاری، این مرکز اکنون با بهره‌گیری از ۱۰۸ ایستگاه لرزه‌نگاری رقمی در قالب ۲۰ شبکه‌ی لرزه‌نگاری محلی، چهار پایگاه لرزه‌نگاری تک ایستگاهی و یک ایستگاه درون چاهی فعال است (شکل ۴ـ الف) که بسیاری از مناطق لرزه‌خیز کشور را تحت پوشش قرار می‌دهد

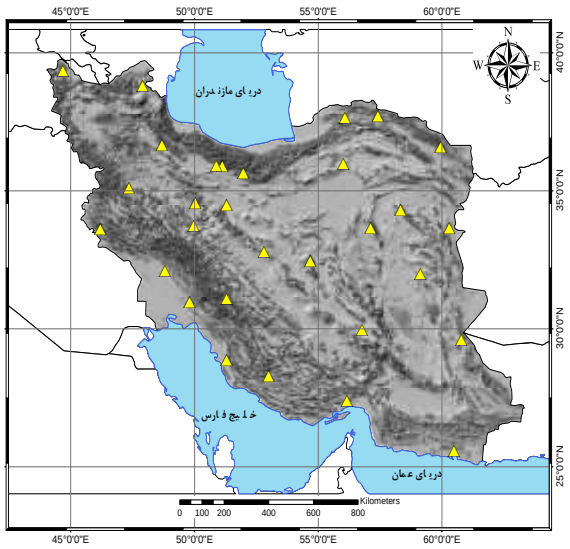
[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

(www.irsc.ut.ac.ir). همچنین، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله با راه‌اندازی شبکه‌ی ملی لرزه‌نگاری باندپهن ایران امکان رصد دقیق‌تر زلزله‌های کشور را فراهم کرده است. این شبکه در شکل نهایی خود و بر اساس طرح ارائه‌شده شامل ۴۸ ایستگاه لرزه‌نگاری و شتاب‌نگاری خواهد بود (شکل ۴ـ ب) که با سیستم مخابراتی ماهواره‌ای (VSAT) به مرکز شبکه مرتبط می‌گردد. علاوه بر این، با استفاده از دستگاه‌های پیشرفته لرزه‌نگاری و امکان ارتباط مستقیم مخابراتی تعیین محل دقیق و میزان بزرگای زلزله در مدت زمان کوتاهی پس از وقوع آن میسر خواهد بود (www.iiees.ac.ir).

ساخت و توسعه دستگاه‌های شتاب‌نگاری از دهه‌ی ۱۹۳۰ آغاز شده است. در ایران، در اسفند ۱۳۵۲، شبکه‌ی شتاب‌نگاری‌کشور با ثبت اولین زمین‌لرزه در جهرم استان فارس آغاز به کار کرد. هم‌اکنون این شبکه با داشتن حدود ۱۱۱۶ ایستگاه شتاب‌نگاری در سراسر کشور (شکل ۴ـ پ) یکی از بزرگ‌ترین شبکه‌های شتاب‌نگاری دنیا محسوب می‌شود (www.bhrc.ac.ir). این شبکه تا بهمن ۱۳۹۳ حدود ۱۰۷۰۰ نگاشت سه‌مؤلفه‌ای از زمین‌لرزه‌های در کشور ثبت کرده و بانک مهمی از داده‌ها محسوب می‌شود. مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های ثبت شده در شبکه‌ی شتاب‌نگاری عبارت‌اند از زمین‌لرزه‌ی طبس در ۲۵ شهریور ۱۳۵۷ با بزرگای ۷/۴، زمین‌لرزه‌ی ۳۱ خرداد ۶۹ منجیل با بزرگای ۷/۳، زمین‌لرزه‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم با بزرگای ۶/۵ و زمین‌لرزه‌های دوگانه‌ی ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ اهر ـ ورزقان آذربایجان شرقی با بزرگای گشتاوری ۶/۴ و ۶/۳.

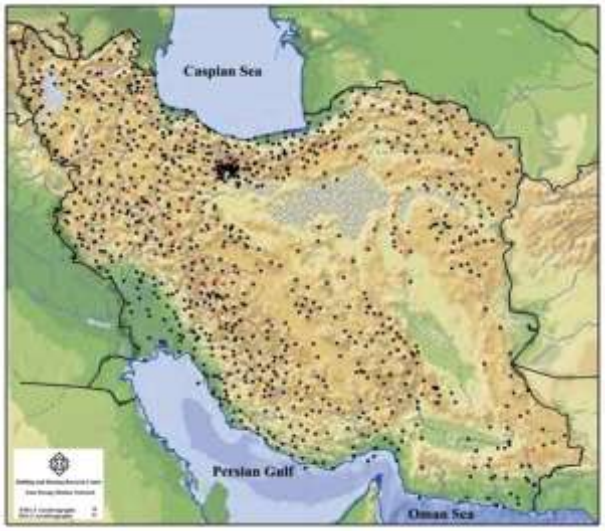


(الف)



(ب)

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]



(پ)

شکل ۴: نقشه‌ی پراکندگی ایستگاه‌های: الف) شبکه‌ی لرزه‌نگاری مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران در ایران؛ ب) شبکه‌ی لرزه‌نگاری باندپهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله؛ پ) شبکه‌ی شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

- **تحلیل خطر زمین‌لرزه در ایران**

برای دست‌یابی مهندس زلزله به طراحی مناسب و مقاوم در برابر زمین‌لرزه در پهنه‌ای معین، ضروری است که بارگذاری زمین‌لرزه با ویژگی‌های مختلف (همچون بزرگای مختلف) برای پهنه‌ی مذکور صورت پذیرد. از این طریق می‌توان شاخص‌های مهم و محتمل جنبش زمین را تعیین کرد. انجام دادن تحقیقات مذکور مجموعاً در قالب «تحلیل لرزه‌خیزی» صورت می‌پذیرند. تحلیل خطر لرزه‌ای محاسبه‌ی احتمال رخدادن سطح‌های مختلف شتاب (یا سرعت یا شاخص‌های دیگر جنبش نیرومند زمین) در مدت یک دوره‌ی زمانی خاص است. این کار معمولاً با در نظر گرفتن مدلی برای رویداد زمین‌لرزه‌ها، تابع کاهندگی و مقدارهای عددی برای شاخص‌های ورودی صورت می‌گیرد. برای ی شتاب مورد نظر، تخمین باید با محاسبه‌ی آهنگ سالیانه‌ی میانگین رویداد شتاب یا بیشتر از آن در یک ساختگاه انجام شود. این آهنگ را آهنگ فزونی شتاب می‌نامند. تحلیل خطر زمین‌لرزه مبحثی مهم در مطالعات زلزله‌شناسی مهندسی است. هدف از تحلیل خطر لرزه‌ای ارزیابی منطقی شاخص‌های حرکت زمین در ساختگاه موردنظر بر اثر رویداد زلزله در چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در مدت زمان معین است. منظور از شاخص‌های حرکت زمین شاخص‌هایی است که مهندس طراح از آن‌ها برای طراحی لرزه‌ای سازه‌ها استفاده می‌کند. شاخص شتاب حداکثر زمین یکی از شاخص‌های متداول در تحلیل خطر لرزه‌ای است. شتاب حداکثر مستقیماً در طراحی‌های لرزه‌ای سازه‌ها کاربردی است. همچنین کاربرد مهم دیگر آن در مقیاس کردن طیف‌های طرح است. برای تولید طیف خطر یک‌نواخت، تعیین شتاب‌های طیفی در زمان‌های تناوب مختلف لازم است.

پهنه‌بندی خطر زلزله مطالعه‌ی مهندسی برای برآورد خطر در مناطق مختلف و تفکیک ناحیه‌های گوناگون از نظر مقدار خطر احتمالی است. از آن‌جا که تا به حال راه‌حل مؤثری برای پیش‌بینی زمین‌لرزه ارائه نشده است، لازم است برای برآورد

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

مقدار خطر احتمالی تحلیل خطر زلزله در یک بازه‌ی زمانی مشخص صورت پذیرد. این موضوع به منزله‌ی راهی برای کاهش آسیب‌های ناشی از زمین‌لرزه و بالاتر بردن ایمنی لرزه‌ای محیط‌زیست انسان و تأسیسات و سازه‌های مهندسی است. شهرها و مراکز دارای تمرکز جمعیتی فراوان از مهم‌ترین مکان‌هایی هستند که، چه از نظر مالی و چه از نظر جانی، می‌توانند در زمان زمین‌لرزه بسیار آسیب‌پذیر باشند. بنابراین، بررسی روش‌های موجود برای کاهش صدمات ناشی از زمین‌لرزه در این مکان‌ها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. از آن‌جایی که ایران زمینه‌ی فراوانی برای لرزه‌خیزی دارد و زمین‌لرزه‌های بزرگِ رخ‌داده خسارات مالی و جانی فراوانی به بار آورده، انجام بررسی‌های جامع درباره‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و ارائه‌ی شاخص‌های طراحی مقاوم در برابر زلزله به منظور افزایش مقاومت سازه‌ها بسیار ضروری است. البته، چنین مطالعاتی قبلاً درباره‌ی بعضی از نیروگاه‌ها و سدها، به صورت موردی، در کشور انجام شده است. از سوی دیگر، انجام دادن بررسی‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه حتی برای مناطق شهریِ ایران در گام‌های مقدماتی است. در این باره، پهنه‌بندی خطر بر اساس برآورد بعضی از شاخص‌های خطر (شتاب طیفی، سرعت طیفی، شدت دستگاهی و ...) در ایران حتی آغاز هم نشده است. بنابراین، در حالی که بررسی پهنه‌بندی خطر زلزله در دیگر کشورهای پیشرفته در مقیاس بزرگ حتی برای مناطق شهری و در گستره‌ی استانی و کشوری تهیه شده است، در ایران پهنه‌بندی خطر زلزله کمتر انجام شده است. به هر روی، پهنه‌بندی خطر زلزله برای کل کشور در مقیاس یک به پنج میلیونیوم انجام شده و پهنه‌بندی خطر زلزله برای شهرهای تهران، قم، قزوین، سمنان، ارومیه و بندرعباس نیز در کتاب‌های مختلف در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، سازمان زمین‌شناسی کشور، مسکن و شهرسازی و بنیاد مسکن انقلاب اسلامی در مقیاس‌های مختلف از ۱:۲۵۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰ با به‌کارگیری روش‌های گوناگون صورت گرفته است.

هر سال در همه‌ی دنیا، از جمله در کشور ایران، مقاله‌های فراوانی حاوی روش‌های جدید پهنه‌بندی خطر زلزله ارائه می‌شود البته، بررسی‌های مذکور تاکنون به محاسبات تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌ای ایران نپرداخته‌اند. از این رو، ضروری است که، در کنار تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی، بتوان بر اساس راهکارهای جدید ارائه‌شده‌ی مقالات نقشه‌ها را به‌روز کرد. پیشنهاد برای عملی کردن این نیاز و به‌روز کردن تغییرات استفاده از لایه‌های اطلاعاتی است که این لایه‌ها را می‌توان در نرم‌افزاری مثل GIS تعریف کرد. بر حسب اهمیت نوع سازه می‌توان خطر وقوع زلزله را برای دوره‌ی بازگشت مشخصی محاسبه کرد. علت این امر طول عمر مفید هر سازه است و، قویاً، می‌تواند در میزان هزینه‌ای تأثیر بگذارد که برای ایمن‌سازی هر نوع سازه تخصیص داده شود. مثلاً، برای مناطق شهری، این دوره‌ی بازگشت را می‌توان معادل ۴۷۵ سال و برای یک نیروگاه هسته‌ای دوره بازگشتی ۱۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله در نظر گرفت. بنابراین، لازم است نقشه‌های پهنه‌بندی برای دوره‌ی بازگشت‌های مشخصی ایجاد شوند که بیشترین کاربرد را دارند.

در یک منطقه، تحلیل خطر زمین‌لرزه‌ای جنبش نیرومند زمین را برآورد می‌کند. به عبارت دیگر، تحلیل خطر زلزله به تخمین کمی خطرهای لرزش زمین در محل خاصی مربوط می‌شود. در کل، در انجام دادن تحقیقات مربوط به «تحلیل لرزه‌خیزی» برای پهنه‌ی معینی دو رهیافت[۱] اساسی وجود دارد: روش اول «تحلیل خطر زمین‌لرزه با رهیافت تعینی» یا روش DSHA (Determinisitic Seismic Hazard Analysis) و روش دوم «تحلیل خطر زمین‌لرزه با رهیافت

[۱]. Approach

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

احتمال‌اندیشانه» یا روش PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) است. هدف هر دو روش «به‌دست آوردن شاخص‌های اساسی جنبش زمین» همچون بیشینه‌ی شتاب زمین یا همان PGA (Peak Ground Acceleration) است.

- **تحلیل خطر به روش تعینی (DSHA)**

در رهیافت تعینی، بیشینه‌ی زمین‌لرزه‌ی باورپذیر (MCE) برآورد می‌شود. بیشینه‌ی زمین‌لرزه باورپذیر به صورت مستقل از دوره‌ی زمانی خاص، صرفاً بر اساس بالاترین سطح محاسبه‌شده جنبش شدید زمین (شتاب) برای ساختگاه مورد نظر، برآورد می‌شود. این رهیافت محافظه‌کارانه، صرفاً در مورد بعضی از سازه‌های خاص (نظیر سدها و نیروگاه‌ها) گاهی از سوی مهندسین طراحی به صورت رهیافت مبنا برای محاسبه‌ی زمین‌لرزه سطح طراحی (در این حالت، برابر بودن با بیشینه زمین‌لرزه باورپذیر) به کار می‌رود. برای مثال، می‌توان به استفاده‌ی طراحان از MCE به عنوان زلزله‌ی سطح طراحی در طرح لرزه‌ای سد کارون ۳ در خوزستان یاد کرد.

مراحل تحلیل خطر با رهیافت تعینی عبارت‌اند از:

۱. شناسایی سرچشمه‌های لرزه‌زا: در این مرحله، بر اساس تفسیر اطلاعات زمین‌شناسی (زمین‌شناسی ساختمانی و نو زمین‌ساختی)، ژئوفیزیکی و زلزله‌شناسی، همه‌ی سرچشمه‌های لرزه‌زایی شناسایی می‌شوند که توانایی ایجاد جنبش زمین شدیدی در یک پهنه‌ی مورد نظر دارند. در کل، سرچشمه‌های لرزه‌زا (Seismic Sources) به سه دسته‌ی اصلیِ سرچشمه‌های لرزه‌ای نقطه‌ای (مانند، محل برخورد برخی از روندهای اصلی)، سرچشمه خطی (مانند، خطوط گسل) و سرچشمه‌های لرزه‌ای ناحیه‌ای (مانند، نواحی زون‌های گسله) تقسیم شده‌اند.

۲. انتخاب زمین‌لرزه‌های کنترل‌کننده (Controlling Earthquake) برای هر سرچشمه: زمین‌لرزه‌ی کنترل‌کننده برای سازه‌های حساس و با درصد خطر فراوان (همچون، نیروگاه‌ها، سدهای بلند) معمولاً به صورت «زمین‌لرزه دارای بیشینه‌ی بزرگا (MMax)» تعریف شده است که از یک سرچشمه‌ی لرزه‌ای فرضی و محتمل حاصل می‌گردد.

۳. انتخاب رابطه‌ی کاهندگی مناسب: بیشینه‌ی شتاب زمین (PGA) یکی از متداول‌ترین شاخص‌هایی است که برای توصیف جنبش استفاده می‌شود. برای محاسبه‌ی PGA، روابط کاهندگی شتاب مختلفی تعریف شده‌اند که به «بزرگا» و «مقدار فاصله از یک رخداد لرزه‌ای محتمل» بستگی دارند. در انتخاب رابطه‌ی کاهندگی برای پهنه‌ی مطالعه، دقت به انواع ساز و کارهای سرچشمه‌ای (مثل، پوسته‌ای کم‌عمق، فرورانشی) حاکم بر منطقه امری ضروری است.

۴. محاسبه‌ی شاخص‌های جنبش شدید زمین برای طراحی: طراحی جنبش زمین برای پهنه‌ی مطالعه با استفاده از روابط کاهندگی (در مرحله‌ی ۳) تخمین زده می‌شود تا بتوان بیشینه‌ی شتاب‌ها را بر اساس زمین‌لرزه‌های کنترل‌کننده (در مرحله‌ی ۲) مربوط به هر سرچشمه لرزه‌ای تعیین‌شده (در مرحله‌ی ۱) محاسبه کرد. بدین‌ترتیب، زمین‌لرزه مرتبط با بزرگ‌ترین مقادیر عدد بیشینه‌ی شتاب‌های پهنه برای تعیین جنبش زمین طراحی ساختگاه‌های حیاتی استفاده می‌شود.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

- **تحلیل خطر زمین‌لرزه با رهیافت احتمالی (PSHA)**

در بیست تا سی سال گذشته، با استفاده از مفاهیم احتمالی، امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت در اندازه، موقعیت و میزان رویداد زمین‌لرزه و تغییرات در ویژگی‌های جنبش زمین با شاخص‌های یاد شده در تحلیل‌های خطر زمین‌لرزه فراهم شده است. تحلیل احتمالی خطر زمین‌لرزه قالبی را، که در آن این عدم قطعیت‌ها را در نظر می‌گیرد، اندازه‌گیری و به روش منطقی ترکیب می‌کند و در اختیارمی‌گذارد. بر این اساس می‌توان تصویری کامل‌تری از خطر زلزله ارائه کرد. تحلیل احتمالی خطر زمین‌لرزه چاره‌جویی برای شناسایی، تعیین کمیت و ترکیب منطقی عدم یقین‌ها به‌وجود می‌آورد تا شکلی جامع‌تر از خطر لرزه‌ای ارائه گردد (Kramer, ۱۹۹۵).

در کل، روش‌شناسی تحلیل احتمالی خطر زلزله مستلزم آشنایی با بعضی مفاهیم بنیادی در آمار است. این روش‌شناسی بر پایه‌ی روش‌های بنیادی تحلیل خطر کرنل (۱۹۶۸) و آلگرمسین و همکاران (۱۹۸۲) ارائه شده است. رهیافت احتمالی را نیز می‌توان مشابه رهیافت تعینی در چهار مرحله توضیح داد (Reiter, ۱۹۹۰) که به صورت خلاصه هر مرحله شبیه به مراحل چهارگانه رهیافت تعینی است:

۱. تعیین مشخصات و تعریف سرچشمه‌های لرزه‌زا مشابه با مرحله‌ی اول در رهیافت تعینی است، جز این‌که توزیع احتمالی محل گسیختگی‌هایِ ممکن در چشمه‌ی لرزه‌زا نیز باید مشخص گردد. در بیشتر مواقع، توزیع احتمالی هم‌شکل به هر پهنه‌ی سرچشمه نسبت داده می‌شود، به نحوی که زمین‌لرزه‌ها دارای احتمال وقوع یکسان در هر نقطه از پهنه سرچشمه‌ی لرزه‌ای هستند. این توزیع‌ها با شکل هندسی چشمه‌ی لرزه‌زا ترکیب می‌شود تا توزیع احتمال برای فاصله‌ی چشمه تا ساختگاه مورد نظر به دست آید. در تحلیل خطر احتمالی به طور ساده فرض می‌شود که احتمال وقوع در همه‌ی نقاط هر چشمه‌ی لرزه‌زا در نزدیک‌ترین فاصله با ساختگاه یک و در سایر نقاط صفر است.

۲. در این مرحله، لرزه‌خیزی یا توزیع زمانی رویداد زمین‌لرزه‌ها بررسی می‌شود. در این باره، رابطه‌ی بازگشتی (Recurrence Relationship) به دست می‌آید که، طبق آن، میزان میانگین رخداد زمین‌لرزه‌ای با اندازه‌ای مشخص تعیین و برای تعیین لرزه‌خیزی هر پهنه لرزه‌زا استفاده می‌شود. از رابطه‌ی بازگشت می‌توان برای تعیین اندازه‌ی زمین‌لرزه بیشینه بهره برد، ولی ملاحظات فقط به این زمین‌لرزه (بیشینه آن طور که در رهیافت تعینی رخ می‌دهد) محدود نمی‌گردد.

۳. با استفاده از مدل های پیش‌بینی، باید حرکات زمین در هر پهنه حاصل از زمین‌لرزه تعیین گردد. عدم یقین روابط پیش‌بینی در تحلیل احتمال خطر زمین‌لرزه مورد ملاحظه قرار می‌گیرد.

۴. نهایتاً، عدم یقین مکان زمین‌لرزه‌ها، بزرگی زمین‌لرزه‌ها و پیش‌بینی شاخص حرکات زمین با هم ترکیب می‌شوند و احتمالی را به‌دست می‌دهند که شاخص حرکات زمین در یک دوره‌ی زمانی مشخص بیشتر از آن می‌شود. انجام دادن مناسب تحلیل احتمالی خطر زمین‌لرزه به توجه دقیقِ مشکلات مربوط به ویژگی‌های چشمه‌ها و پیش‌بینی شاخص حرکت زمین و مکانیک احتمالی محاسبات نیاز دارد (Kramer, ۱۹۹۵).

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

- **نقشه‌های تهیه و منتشرشده‌ی خطر زلزله در ایران**

از نخستین نقشه‌های خطر لرزه‌ای ایران می‌توان به نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای اشاره کرد که مهاجر اشجعی و بزرگ‌نیا (۱۹۸۴) تهیه کردند. سپس، در ۱۳۶۵، به هنگام تهیه‌ی آئین‌نامه مطالعه‌ی ساختمان در برابر زلزله، نقشه‌ی پهنه‌بندی زلزله تبدیل به نیازی اساسی شد تا، با استفاده از داده‌های موجود و تجارب پژوهشگران، نقشه‌ی مقدماتی پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله تهیه شود. در این نقشه، با توجه به سابقه‌ی لرزه‌خیزی، گسل‌های شناخته‌شده‌ی کواترنر، نقشه‌ی لرزه‌زمین‌ساختی و رابطه‌های موجود کاهش شتاب سه پهنه‌ی خطر نسبی زلزله تهیه گردید:

الف) پهنه‌ی با شتاب بالا، به فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری گسل‌های کواترنر و لرزه‌زا؛

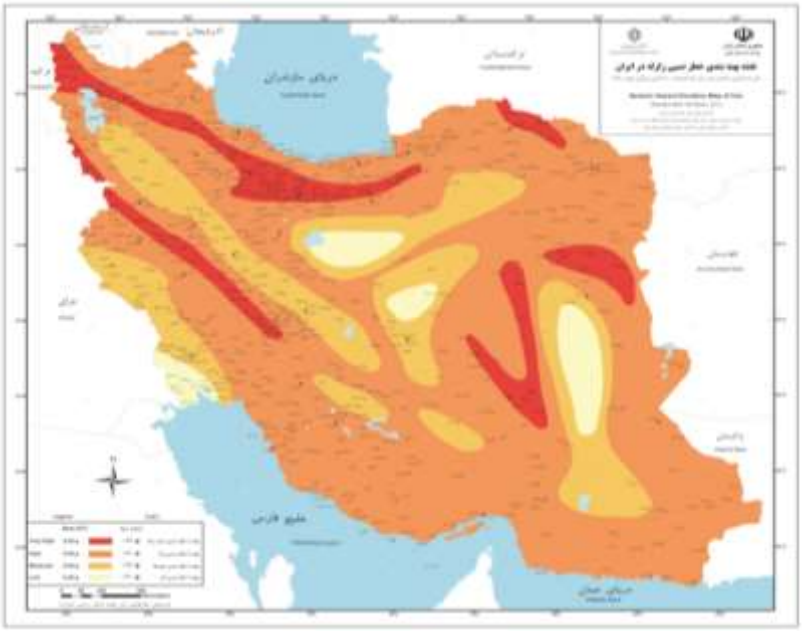
ب) پهنه‌ی با شتاب متوسط، به فاصله‌ی ۳۰ تا ۵۰ کیلومتری گسل‌ها؛

ج) پهنه‌ی با شتاب پایین، در فاصله‌ی دورتر از ۵۰ کیلومتری گسل‌ها.

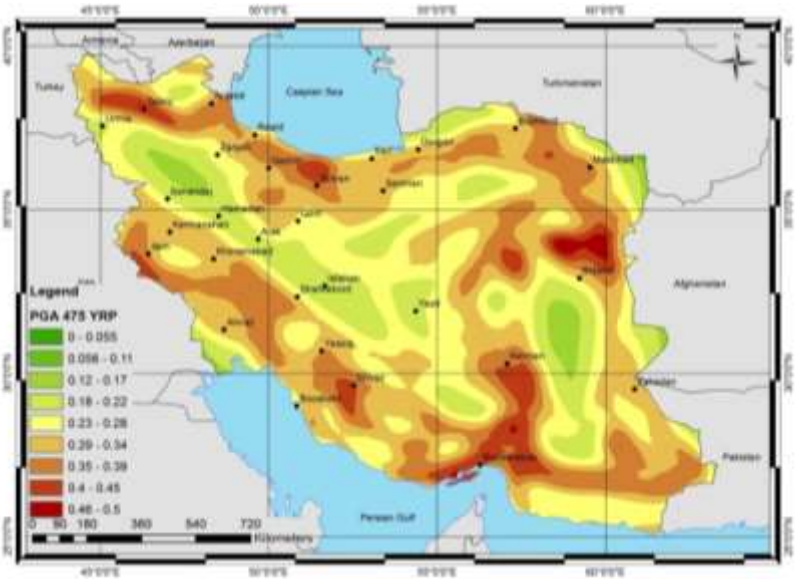
در نقشه‌ی تهیه‌شده، میزان شتاب هر پهنه‌ی تعیین‌نشده و شتاب‌های احتمالی در هر پهنه به طور نسبی با هم مقایسه شدند. در این نقشه، به دوره‌ی بازگشت زلزله‌ها توجه نشده است. همچنین، بخش‌هایی که در آن‌ها زلزله‌هایی کم اما با بزرگای بالا روی می‌دهد با پهنه‌هایی که در آن‌ها زلزله‌هایی فراوان اما با بزرگی متوسط رخ می‌دهد یکسان در نظر گرفته شده است. جدیدترین نسخه‌ی این نقشه به صورت بخشی از ویرایش چهارم آیین‌نامه‌ی۲۸۰۰ (۱۳۹۳) مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهر سازی ارائه شده است (شکل ۵).

علاوه بر این، از دیگر نقشه‌های خطر لرزه‌ای تهیه‌شده می‌توان به نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه ایران در مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران (۱۳۷۶)، نقشه‌ی خطر لرزه‌ای ایرانِ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۷۸)، پهنه‌بندی لرزه‌ای ایرانِ توکلی و غفوری آشتیانی (۱۹۹۹) اشاره کرد. در این باره، در سال ۱۳۹۲، نقشه‌ی جدید خطر لرزه‌ای با دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال برای کل مساحت ایران در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تهیه شد (کریمی پریدری، ۱۳۹۲). در تهیه‌ی این نقشه، روش کریجینگ برای انجام درونیابی استفاده شد و نقشه‌ی خطر لرزه‌ای با میانگین‌گیری وزنی از نتایج شش رابطه‌ی کاهندگی برای ایران به دست آمد. بیشینه‌ی شتاب محاسبه‌ی شده نیز معادل g ۰/۵ شد (شکل ۶).

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]



شکل ۵: نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای ایران (پیوست آیین‌نامه‌ی۲۸۰۰، ویرایش چهارم، ۱۳۹۳).



شکل۶: نقشه‌ی خطر لرزه‌ای ایران با دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال (کریمی پریدری، ۱۳۹۲).

- **ارزیابی خطر زلزله و مسائل مدیریت بحران در ایران**

تلفات فراوان در زلزله‌های ایران به دلیل آسیب‌پذیری بالا و زیرساخت‌های ضعیف از دیدگاه فیزیکی و اجتماعی در مواجهه با سوانح طبیعی و، به‌ویژه، زمین‌لرزه است. تخریب کمتر موقعی ممکن خواهد بود که نخست واقعیت موجود در ایران و لرزه‌خیزی آن را بخشی از طبیعت فلات ایران بپذیریم و به این شکل با آن رو به رو شویم. دوم این‌که «توجه به علم و

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

دستاوردهای فناوری و عقل و رفتار عاقلانه» باید آغاز و در نواحی پرخطر برنامه‌های گوناگونی برای افزایش تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری عملیاتی گردد. در این باره، متاسفانه و همچنان چنین رفتاری وجود ندارد یا میزان توجه به این موارد بسیار اندک است.

نگاه جامع و چندجانبه‌نگر در زمینه‌ی خطرهای طبیعی ضرورت جوامع امروز، به‌ویژه درکلان‌شهرهای کشورهای درحال توسعه، است. با توجه به موضوع بررسی، در ایران، بیشترین ضعف در همین زمینه است. باید چنین دیدگاهِ همه‌جانبه‌ای درباره‌ی سوانح طبیعی، حریم گسل، ساخت و ساز نامقاوم، بافت‌های فرسوده، ناپایداری دامنه‌ها و ناپایدارکردن آن‌ها بر اثر احداث جاده و گسترش شهرک‌ها و احداث خانه در دامنه‌ها، رعایت نکردن سلامت و حریم رودخانه‌ها در مناطق شهری و ساخت‌وساز در حریم آن، رعایت نکردن سلامت محیط زیست، دفع نامناسب زباله‌های شهری و، خلاصه، «نگاهی نگران و حساس به همه‌ی خطرهای طبیعی و زیست محیطی» عمومیت یابد. در این زمینه، باید ساز و کاری پیدا کرد تا یافته‌های متخصصان در ارتباط مؤثر با برنامه‌ریزی مدیران و تصمیم‌گیران قرار گیرد.

بر اساس گزارش وزیر راه و شهرسازی در ۲۵ شهریور ۱۳۹۳، در ایران ۵۶ هزار هکتار بافت فرسوده و ۵۴ هزار هکتار بافت حاشیه‌نشینی وجود دارد (جمعاً حدود ۱۱۰ هزار هکتار بافت آسیب‌پذیر). اگر جمعیت متوسط ساکنان در بافت‌های آسیب‌پذیر را در ایران حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ نفر برآورد کنیم، جمعیت ساکن در این بافت‌ها درحدود ۲۲ تا ۳۳ میلیون نفر برآورد می‌شود: درصدی بالغ بر ۲۸ تا ۴۲٪ از کل جمعیت ایران است. در سال ۱۳۹۳، تعداد ساکنان استان‌های تهران و البرز حدود ۱۶٫۲۰۰٫۰۰۰ بوده که حدود ۱۳٫۵۰۰٫۰۰۰ نفر از این جمعیت طی روز در تهران هستند. حدود ۳۷٪ از جمعیت استان‌های تهران و البرز در درون یا نزدیکی پهنه‌ی گسل فعال ساکن‌اند (۵٫۹۸۵٫۰۰۰ نفر). در خوشبینانه‌ترین حالت، حدود ۲۵٪ از جمعیت این دو استان در بافت فرسوده زندگی می‌کنند (حدود ۴٫۱۰۰٫۰۰۰ نفر). بنابراین، حدود ۶۲٪ از جمعیت متراکم‌ترین پهنه‌ی جمعیتی کشور در پهنه‌ی با خطر بالای زلزله (در پهنه‌ی گسله یا در بافت‌های فرسوده) ساکن هستند (حدود ۱۰٫۱۰۰٫۰۰۰ نفر). با توجه به مجموع امکانات و محدودیت‌های شهر تهران، سند طرح جامع مصوب برای شهر تهران سقف جمعیت‌پذیری آن را به ۱۰٫۵ میلیون نفر محدود کرده است. در حالی که، طبق ضوابط طرح تفصیلی موجود و بر اساس اعلام نظر مشاور طرح تفصیلی، امکان استقرار بیش از ۱۳ میلیون نفر جمعیت در تهران مقدور فرض شده است. در پایان دوره دولت دهم، اعلام شد که برای ساخت ۴٫۴۰۰٫۰۰۰ واحد مسکن مهر در کشور برنامه‌ریزی شده که سه میلیون واحد تا پایان این دوره به پایان رسیده است. بنابراین، مساحتی که برای ساخت مسکن مهر در کشور در نظر گرفته شده است شامل حدود ۵۳٫۰۰۰ هکتار بافت نوساز (بیشتر حاشیه‌نشین) جدید خواهد بود که حداقل حدود ۶٫۵۰۰٫۰۰۰ نفر و، به صورت واقع‌بینانه‌تر، حدود ۱۰٫۵۰۰٫۰۰۰ نفر (با فرض سکونت حدود ۱۲۰ تا ۲۰۰ نفر در هر هکتار) در این ساختمان‌ها ساکن می‌شوند یا در آینده ساکن خواهند شد. با توجه به آسیب‌پذیری بالایی که از واحدهای مسکن مهر، به ویژه در زلزله‌های ۱۳۹۱ ورزقان و ۱۳۹۳ مورموری ایلام مشاهده گردید، حتی اگر دست‌کم نیمی از این ساخت‌وسازهای جدید آسیب‌پذیری بالایی در مقابل خطر زلزله داشته باشند، حدود ۲۶٫۰۰۰ هکتار بافت فرسوده جدید به منازل مسکونی کشور اضافه می‌شود یا در سال‌های آینده این اتفاق رخ خواهد داد. جمعیت آسیب‌پذیر ساکن در این بافت‌های فرسوده نوساز حدود ۳٫۳ میلیون تا حدود ۵٫۲ میلیون نفر تخمین زده می‌شود.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

از طرفی، مسئله‌ی مدیریت و کاهش خطر سوانح در ایران با مسائل متعددی مواجه است که مهم‌ترین آن‌ها را می‌توان به‌صورت زیر برشمرد:

- مدیریت بحران علم و شاخه‌ای از علوم انسانی است و اجرای آن بر اساس روش علمی شیوه‌ها و استانداردهای علمی معنی‌دار است. بر این اساس، هر کس که مقامی داشت و در زمان مسئولیتش سانحه‌ای رخ داد و، برحسب اضطرار، نوعی رفتار و پاسخ نشان داد ــ و به هر حال، در خاطرات و تجاربش، حضور در بحران و سانحه را بدون ارزیابی از عملکردش یادآوری کرد ــ الزاماً و، به مفهوم علمی، مدیریت بحران نیست. چنانچه مدیریت بحران بخواهد به شیوه‌ی علمی دنبال شود، چاره‌ای جز به کارگیری نیروهای متخصص و توانمند در این زمینه نداریم.
- مدیریت کاهش خطر سانحه در کلان‌شهرها مسئله‌ای گسترده‌تر است و اجرای آن عزم و اراده‌ای ملی و حاکمیتی می‌خواد، چرا که در کلان‌شهرها (به ویژه در تهران) تصمیماتی که به کاهش خطر یا افزایش خطر سانحه‌ی زلزله منتهی شود (که متاسفانه دومی بیشتر است) صرفاً از شهرداری صادر نمی‌شود و در این باره نگاه و عزم اجرایی کلان و ملی برای کاهش خطر زلزله ضروری است.
- متاسفانه، روند توسعه در ایران در بیشتر موارد در جهت افزایش خطر و توسعه‌ی شدیداً ناپایدار است. بیشتر حاشیه‌ی شهرهای بزرگ و مراکز استان‌های کشور به دامنه‌ی کوه‌های می‌رسد که محل گسل‌های فعال هستند و، مع‌الاسف، نه تنها در این نواحی شهرسازی جدید صورت گرفته، که بافت شدیداً آسیب‌پذیر جدید (مثلاً، مسکن مهر) نیز در این نواحی ساخته شده‌اند.

طبق آنچه تاکنون گفته شد، کشور ایران به دلیل قرارگیری در ناحیه‌ی فعال لرزه‌زمین‌ساختی، وقوع زلزله‌هایی با بزرگای زیاد و عمق کم و تمرکز جمعیت در کلان‌شهرها منطقه‌ای خطرناک به لحاظ خطر زمین‌لرزه محسوب می‌شود. تأسیس مراکز مختلف لرزه‌نگاری و شتاب‌نگاری و راه‌اندازی تعداد فراوانی از ایستگاه‌های رقومی جدید در چند سال اخیر امکان رصد و مطالعه‌ی علمی دقیق‌تر وضعیت لرزه‌خیزی ایران را فراهم آورده است. همچنین، نقشه‌ی خطر لرزه‌ای ایران نیز به صورت پیوست آیین‌نامه لرزه‌ای ۲۸۰۰ در ۱۳۹۳ برای چهارمین بار ویرایش و به‌روزرسانی شد. مطالعات تحلیل خطر زلزله همچنان در مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی رو به فزونی و پیشرفت است. با همه‌ی این موارد، بافت فرسوده و سکونت جمعیت فراوان در مناطق پرخطر لزوم توجه بیش از پیش به مسئله‌ی پیش‌گیری و مدیریت سانحه را افزایش داده است.

در تاریخ ۲۳ بهمن ۱۳۳۱ (۱۲ فوریه‌ی ۱۹۵۳) زمین‌لرزه‌ی ترود در جنوب شاهرود با بزرگای ۶/۴ ریشتر موجب کشته شدن بیش از ۸۰۰ نفر از هم‌میهنان شد. در همان دهه، در روز ۱۱ تیر ماه ۱۳۳۶ (۲ ژوئیه‌ی ۱۹۵۷) در سنگچال ـ بند پی مازندران در جنوب بابل، در منطقه‌ی کوهستانی شمال البرز مرکزی، زلزله با بزرگای ۷/۵ ریشتر حدود ۱۲۰۰ نفر تلفات به جا گذاشت. سه سال بعد، در تاریخ ۴ اردیبهشت ۱۳۳۹، زلزله‌ای با بزرگای ۶ ریشتر در لارستان فارس بیش از ۴۰۰ نفر کشته داشت. در دهم شهریور ۱۳۴۱، زلزله‌ای با بزرگای ۷/۱ ریشتر در بویین‌زهرای دشت قزوین موجب کشته شدن بیش از ۱۲ هزار نفر شد. از ۱۳۳۱، که زلزله ترود ــ البته، دو دهه‌ی بعد ــ مطالعه‌ی علمی و فنی مدرن شد تا سال ۱۳۹۱ در ایران، سابقه‌ای شصت ساله برای مطالعه‌ی زمین‌لرزه‌های ایران وجود دارد. نگاهی مجدد به زمین‌لرزه‌های مهم و مخرب دهه‌ی گذشته از زلزله‌ی اول تیر ۱۳۸۱ چنگوره، آوج (۲۲ ژوئن ۲۰۰۲) با بزرگای ۶/۳ ریشتر و ۲۶۱ کشته، زلزله‌ی ۵

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

دی‌ماه ۱۳۸۲ بم (۲۶ دسامبر ۲۰۰۳) بزرگای ۶/۵ ریشتر و ۳۳۰۰۰ نفر کشته، زلزله‌ی ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیه‌ی زرند (۲۲ فوریه‌ی ۲۰۰۵) با بزرگای ۶/۵ ریشتر و ۶۵۰ نفر کشته تا زمین‌لرزه‌های دوگانه‌ی ورزقان آذربایجان شرقی در ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ (۱۱ اوت ۲۰۱۲) با بزرگای ۶/۴ و ۶/۳ ریشتر و تلفات ۳۰۶ نفر نشان می‌دهد که هر گاه زمین‌لرزه‌ای با بزرگای بیش از ۶ در محدوده‌ای مسکونی رخ داده است (و تراکم جمعیت روستایی یا شهری در آن ناحیه فراوان بوده است) تلفات بیش از ۱۰۰ نفر رخ داده است. متاسفانه، از این نظر، طی این شش دهه، ایمنی مردم در مناطق گوناگون لرزه‌خیز ایران به حد مقبولی نرسیده است.

دو زمین‌لرزه‌ی پی‌درپی با بزرگاهای ۶/۴ و ۶/۳ ریشتر در ورزقان در نزدیکی اهر در ۲۱ مرداد ۹۱ رخ داد. از تعداد ۲۵۸ تلفات اعلام شده این زمین‌لرزه (از سوی پزشکی قانونی آذربایجان شرقی)، ۱۷۱ زن (۶۶/۳ درصد) و ۸۷ تن مرد (۳۳/۷ درصد) بودند. ۵۲ تن از فوت‌شدگان زیر ۱۰ سال، ۱۷ تن ۱۰ تا ۱۹ سال، ۵۴ تن ۲۰ تا ۳۹ سال، ۳۸ تن ۴۰ تا ۵۹ سال، ۵۸ تن ۶۰ تا ۷۹ سال، ۲۴ تن ۸۰ سال به بالا بودند. نکته‌ی مهم در این زلزله آسیب‌پذیری زیاد کودکان و سالخوردگان بود (۳۲ درصد بالای ۶۰ سال و۲۰ درصد، یعنی ۵۲ نفر، زیر ۱۰ سال). زلزله‌ها در عصر بیست و دومین روز از ماه مبارک رمضان رخ دادند. به نظر می‌رسد که از بعضی از مردم (به ویژه مردان میان‌سال) در این ساعات بعد از ظهر همچنان در بیرون از منزل مشغول کار و فعالیت بودند و البته بعضی دیگر در منزل مشغول استراحت. بدیهی است آن‌هایی که در پهنه‌ی رومرکزی در ساختمان و زیر سقفی بودند در معرض بیش‌ترین خسارت‌های جانی ناشی از زلزله قرار گرفتند.

وقتی چنین زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای کمتر از ۷ در منطقه‌ای عمدتاً روستایی (پهنه‌ی کانونی در منطقه‌ای روستایی واقع بود) می‌تواند چنین تبعاتی در سطح ملی ایجاد کند، می‌توان تصور کرد که هنگام زمین‌لرزه‌ای شدید در محدوده‌ای شهری (به ویژه در کلان‌شهری مانند تهران یا تبریز) چه پیامدهای سنگینی محتمل است.

استان آذربایجان شرقی یادآور رخداد مخرب‌ترین زمین‌لرزه‌های تاریخ فلات ایران (زلزله‌های تاریخی تبریز و، متأخرترین آن‌ها، زمین‌لرزه‌ی ۲۳۲ سال قبل، ۱۷۸۰ میلادی، در تبریز) است. با نگاه به نبود لرزه‌ای برای زلزله‌ای با بزرگای بیش از ۷ ریشتر بر روی گسل شمال تبریز به مدت بیش از ۲۳۲ سال و وقوع زلزله‌های دوگانه‌ی شدید با بزرگای بیش از ۶ ریشتر بر روی گسل جنوب اهر، توجه به زمین‌لرزه‌های مخرب احتمالی بعدی در این گستره جلب شده است.

شش دهه مطالعه‌ی زمین‌لرزه‌های ایران، که بیشتر فعالیت‌های پژوهشی مرتبط به آن در پنج دهه (بعد از زلزله‌ی ۱۳۴۱ بویین‌زهرا) صورت گرفته، نشان می‌دهد هرگاه زلزله‌های با بزرگای بیش از ۶ ریشتر در پهنه‌ای روستایی یا شهری رخ داده‌اند، میزان تلفات بالا بوده است. به نحوی که کانون زلزله‌های دوگانه ورزقان، که در پهنه‌ای کاملاً روستایی واقع بود، با بزرگاهای ۶/۴ و ۶/۳ موجب کشته شدن بیش از ۳۰۰ نفر شد. این نکته‌ی مهم از نظر تلفات همچنان بالا در زلزله‌های شدید (بزرگای ۶ ریشتر یا بیشتر) مسئله‌ای جدی است که با اولویت باید به آن توجه شود.

از سوی دیگر، در کشورهای توسعه‌یافته با تلفات کمتر، ولی بعضاً خسارت‌های شدید اقتصادی در هنگام زلزله‌ها مواجه هستیم. برای مثال، تعداد تلفات جانی رخداد زلزله‌ای در ۲۲ فوریه‌ی ۲۰۱۱ کرایست چرچ نیوزیلند (با بزرگای ۶/۳ ریشتر و شتاب حداکثر 1/8g)، که کانون زلزله دقیقاً در منطقه‌ی پرجمعیت شهری قرار داشت، ۱۸۵ نفر بیشتر نبود. با وجود این، زلزله‌ی مذکور با ۱۲ میلیارد دلار خسارت در رده‌ی یکی از پرخسارت‌ترین زلزله‌های دهه‌ی دوم قرن بیست و یکم قرار

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

گرفت. همچنین، زمین‌لرزه‌ی ۱۷ ژانویه‌ی ۱۹۹۴ در نورث‌ریج در جنوب کالیفرنیا، که با بزرگای ۶/۷ ریشتر و ژرفای ۱۹ کیلومتر در نزدیکی پهنه‌ی پرجمعیت با شتابی نزدیک به 2g بود، ۵۷ نفر تلفات جانی بیشتر نداشت. با این همه، با برآورد ۲۵ میلیارد دلار، این زلزله یکی از پرخسارت‌ترین زلزله‌های تاریخ ایالات متحده است. زمین‌لرزه‌ای با این نحوه‌ی خسارت (بیشتر اقتصادی و کمتر تلفات جانی) اگر در کشورهای در حال توسعه رخ دهد (مثلاً، در شیلی) با وجود کشته‌های کم، می‌تواند چنان آسیب شدیدی به آن کشور وارد کند که ورشکستگی یا لطمه‌ی جبران‌ناپذیر به زیرساخت آن کشور حتی برای چند نسل بعدتر در پی داشته باشد. به این مسئله نیز باید درباره‌ی خطر زمین‌لرزه های ایران توجه جدی شود.

نتیجه‌گیری

کشور ما ایران، به دلیل قرارگیری در نوار لرزه‌خیز آلپ ـ هیمالیا و در محل تصادم ورقه‌های اوراسیا ـ عربستان، دارای شرایط تکتونیکی و دگرشکلی فعالی است. در مطالعه‌ی حاضر، ابتدا مروری بر وضعیت تکتونیکی و تقسیم‌بندی‌های ارائه‌شده برای استان‌های لرزه‌زمین‌ساختی ایران صورت گرفت. سپس، با مرور وضعیت لرزه‌خیزی، مهم‌ترین زلزله‌های ۴۰ سال اخیر و زلزله‌های با بزرگای بیش از ۷ ریشتر در قرن اخیر معرفی شد. همچنین، مراکز مسئول پایش و ثبت داده‌های لرزه‌نگاری و شتاب‌نگاری معرفی شدند و مهم‌ترین نقشه‌های تحلیل خطر انجام‌شده در سطح کشور بررسی شدند. سپس، اجمالاً، به وضعیت آسیب‌پذیری و مسائل پیش‌روی مدیریت و کاهش خطر سوانح در کشور پرداخته شد.

با توجه به مسائل مطرح‌شده، کشور ایران، علاوه بر دارای بودن خطر دائم سوانح طبیعی (خصوصاً خطر بالای زمین‌لرزه)، به لحاظ مطالعات علمی و فنی در زمینه‌های مختلف اعم از پژوهش‌های دقیق در جنبه‌های گوناگون زلزله‌شناسی ایران، مقاوم‌سازی ابنیه و اصلاح بافت فرسوده، مدیریت بحران و کاهش ریسک سانحه نیز دچار کمبودهایی است که هرچه زودتر باید به برای رفع این مشکلات و انجام دادن هرچه بیشتر مطالعات و پژوهش‌ها در زمینه‌های مذکور اقدام کرد.

برای عملیاتی کردن و توسعه‌ی مطالعات علمی در این زمینه، پیشنهاد می‌شود تا شبکه‌ی علمی مدون در کشور ایجاد شود. در این شبکه، باید متخصصان و سازمان‌های گوناگونی عضو باشند که بتوانند از جنبه‌های متفاوت تخصصی به شناخت و کنترل آثار زلزله بر جامعه بپردازند. ضرورت وجود شبکه‌ی علمی به این دلیل است که بدون دیدی همه‌جانبه و بدون جمع شدن اطلاعات تخصصی در زمینه‌های گوناگونِ زمین‌لرزه نمی‌توان در کاهش خطر زمین‌لرزه پیشرفتی حاصل کرد.

در این باره، به زیرساخت‌های مهمی از نظر نیروی انسانی و فنی نیاز داریم تا همکاری مجموعه‌ای از سازمان‌ها، دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های فعال در این زمینه را برانگیزد. سازمان‌های مسئول مثل سازمان زمین‌شناسی، هواشناسی، نقشه‌برداری، مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، سازمان مدیریت بحران، سازمان امداد و نجات هلال‌احمر و دانشگاهیان و سازمان‌های امدادی مردم‌نهاد باید با یک‌دیگر درباره‌ی موضوع همکاری کنند. در پی همین، امکان بررسی و یکپارچه‌سازی توان‌های موجود، تبادل و به اشتراک گذاری داده‌های تخصصی مورد نیاز برای مطالعه‌ی وضعیت زمین‌لرزه در ایران و تعریف طرح‌های واکنشی گوناگون در مواجه با سوانح طبیعی و خصوصاً زمین‌لرزه به وجود خواهد آمد.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

منابع

آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. ۱۳۹۳. انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. وزارت مسکن و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران، ویرایش چهارم

پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در ایران همراه نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰۰ پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه.۱۳۷۶، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.

حسامی، خالد؛ فرشاد جمالی و هادی طبسی. ۱۳۸۲. *نقشه‌ی گسل‌های فعال ایران*، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

صادقی، حسین و جعفر شجاع طاهری. ۱۳۸۵. مشخصه‌های تنش زمین‌ساختی در فلات ایران با استفاده از تعیین سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های ثبت شده.فصلنامه‌ی *علوم زمین*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، **۵۹**: ۱۰۲-۱۱۹.

کریمی پریدری، سپیده. ۱۳۹۲. *تحلیل خطر زمین‌لرزه در ایران با دوره بازگشت ۴۷۵ سال*. رساله‌ی دکتری، پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

سایت اینترنتی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی: www.bhrc.ac.ir

سایت اینترنتی مرکز لرزه‌نگاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران: www.irsc.ut.ac.ir

سایت اینترنتی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله: www.iiees.ac.ir

Algermissen, S.T.; Perkins, D.M.; Then haus, P.C.; Hanson, S.L. and Bender, B.L.۱۹۸۲. Probablistic estimates of maximum acceleration and velocity in rock in the contiguous United States. *open file report*, ۸۲-۱۰۳۳, Washington D.C, USGS.

Ansari, A.; Noorzad, A. and Zafarani, H. ۲۰۰۸. Clustering analysis of the seismic catalog of Iran. *Computers and Geosciences*. Doi:۱۰.۱۰۱٦/j.cageo.۲۰۰۸.۰۱.۰۱۰.

Berberian M. ۱۹۷٦. Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part II), *Geological Survey of Iran, Report No.* ۳۹, Tehran, Iran.

Berberian M and Yeats R. S. ۱۹۹۹. Patterns of Historical Earthquake Rupture in the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America*, ۸۹: ۱۲۰-۱۳۹.

Byrne D. E.; Sykes L. R. and Davis D. M. ۱۹۹۲. Great thrust earthquakes and aseismic slip along the plate boundary of the Makran subduction zone. *Journal of Geophysical Research.* ۹۷: ٤٤۹–٤۷۸.

Cornell, C.A. ۱۹٦۸. Engineering Seismic Risk Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*,۵۸ (۵): ۱۵۸۳-۱٦۰٦.

Hamzehloo, H.; Alikhanzadeh, A.; Rahmani, M. and Ansari, A. ۲۰۱۲. Seismic Hazard Maps of Iran, *The ۱۵th World Conference on Earthquake Engineering*, *Lisbon*.

Jackson, J. A.; Haines, J. and Holt W. ۱۹۹۵. The accommodation of Arabia-Eurasia plate convergence in Iran. *Journal of Geophysical Research*, ۱۰۰: ۱۵۲۰۵ – ۱۵۲۱۹. doi:۱۰.۱۰۲۹/۹۵JB۰۱۲۹٤.

Karimiparidari, S.; Zare, M. and Memarian, H. ۲۰۱۱. New Seismotectonic Zoning Map of Iran, ٦th International *Conference* on Seismology and Earthquake Engineering (*SEE*- ٦), Tehran, Iran.

Kramer, S.L. ۱۹۹٦. Geotechnical Earthquake Engineering. *Prentice Hall, Inc.*, Upper saddle River, New Jersey.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]

Masson, F.; Anvari, M.; Djamour, Y.; Walpersdorf, A.; Tavakoli, F.; Daignières, M.; Nankali, H. and Van Gorp S. ۲۰۰۷. Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. *Geophysical* Journal *International* , ۱۷۰: ٤۳٦–٤٤۰. doi: ۱۰.۱۱۱۱/j.۱۳٦٥-۲٤٦X.۲۰۰۷.۰۳٤۷۷.x.

Mirzaei, N.; Gao, M. and Chen Y. T. ۱۹۹۸. Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces, *Journal of Earthquake Prediction Research*, ۷: ٤٦٥-٤۹٥.

Mohajer-Ashjai, A. and Bozorgnia, Y. ۱۹۸٤. Ground Acceleration Distribution in Iran; a probabilistic Approach, *۸th world conference on earthquake engineering, Sanfrancisco*, July ۲۱-۲۸, ۱۹۸٤, ۱, ٤٥-٥۱, prentice-hall,Inc.

Mojarab, M.; Memarian, H.; Zare, M.; Hossein-Morshedy, A. and Pishahang, M.H. ۲۰۱۳.Modeling of the Seismotectonic Provinces of Iran using the Self-Organizing Map Algorithm, *Computers and Geosciences*, ٦۷: ۱٥۰–۱٦۲.

Nogol-Sadat M.A.A. ۱۹۹٤. Seismotectonic Map of Iran, Teritise on the Geology of Iran. ۱:۱۰۰۰,۰۰۰ Scale Tehran, Iran.

Nowroozi A.A. ۱۹۷٦. Seismotectonic provinces of Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*, ٦٦: ۱۲٤۹-۱۲۷٦.

Reiter, L. ۱۹۹۰. Earthquake hazard analysis-issues and insights. New York, *Columbia University Press*.

Stocklin J. ۱۹٦۸. Structural history and tectonics of Iran. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, ٥۲: ۱۲۲۹-۱۲٥۸.

Takin M. ۱۹۷۲. Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Nature*, ۲۳٥ (٥۳۳٤): ۱٤۷-۱٥۰.

Tavakoli B. ۱۹۹٦. Major Seismotectonic Provinces of Iran. *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)*, (in Persian), Tehran, Iran.

Tavakoli B and Ghafory-Ashtiany M. ۱۹۹۹. Seismic Hazard Assessment of Iran. *Annali Di Geofisica*, ٤۲: ۱۰۱۳-۱۰۲۱.

Vernant, Ph; Nilforoushan, F; Hatzfeld, D; Abbassi, M. R; Vigny, C; Masson, F; Nankali, H; Martinod, J; Ashtiani, A; Bayer, R; Tavakoli, F and Ch´ery, J. ۲۰۰٤. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International*,,۱٥۷:۳۸۱–۳۹۸.

Walker R and Jackson J. ۲۰۰٤. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics* ۲۳: TC٥۰۱۰. doi:۱۰.۱۰۲۹/۲۰۰۳TC۰۰۱٥۲۹.

Zamani, A.; Nedaei, M. and Boostani, R.۲۰۰۹. Tectonic zoning of Iran Based on Self-Organizing Map. *Journal of Applied Sciences*,۹: ٤۰۹۹-٤۱۱٤.

Zare, M. and Memarian, H.۲۰۰۰. Simulation of earthquakes intensity in Iran, *research report of Iranian Red Crescent*. Tehran, Iran. ۱٥۰ pp [in Persian].

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-03-29]