J. Analysis of Structure and Earthquake
Volum 19,Issue 4, winter 2023
Issn: 2821-0999
وبگاه مجله: www.civil-strj.maragheh.iau.ir
فصلنامه علمی آنالیز سازه - زلزله
دوره ۱۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

An Overview of the Economic Damages of Urban Constructions in the Fault Zones

Parinesa Moshefi*
Department of Geology, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
Zohreh Khajeh Saeed
Department of Economics, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
Pm.geomine@gmail.com

DOI: 10.30495/CIVIL.2023.701031

Keywords:
Earthquake, Urban construction, Fault zone, economic damages, Damage assessment model .

Abstract

Earthquake is considered as one of the most destructive phenomena and natural hazards, which has become very important due to the increase in the growth and development of cities and the concentration of capital. Earthquakes, in addition to the acceleration caused by the passage of the wave, also carry the risk of earth rupture. The experience of destructive earthquakes indicates that the structures located in the boundaries of the earthquake fault suffered the most damage when the earthquake occurred. The maximum acceleration of ground movement can be calculated and its damages can be controlled by engineering measures, but it is difficult to control large displacements and prevent its transfer to the structure in the seismic fault zone. In the fourth edition of the 2800 Code, based on the study of the zoning committee of this Code, more than 300 main and large faults have been mapped for the territory of Iran, and in addition to that, there are other hidden faults that need to be accurately identified and located by more detailed studies. An important point in the seismicity of Iran, in addition to the relatively low depth of the earthquakes, is the adaptation of the hypocenters of the earthquakes to the location of the population centers. The method of evaluating and estimating damages caused by earthquakes is an important tool for dealing with earthquakes and also estimating building insurance. The present research is a review study in which the evaluation of the researches conducted from 1998 to 2023 related to the economic damages of urban constructions in the fault zones has been done. Among the many quantitative and qualitative methods, five effective methods for estimating and evaluating the economic damages of earthquakes are analyzed in order to predict the crisis and timely management of the crisis during the occurrence of the earthquake in the constructions located on the fault zones. Considering the issue that the geometrical characteristics of the faults and the engineering boundaries of the faults in each fault zone are specific to that area, therefore, in order to predict and accurately estimate the economic losses, it is suggested to implement a combination of the proposed methods.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license: (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

فصلنامه علمی
آمایش سازه - زلزله
دوره ۱۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

مروری بر خسارت‌های اقتصادی ساخت و سازهای شهری در پهنه‌های گسلی

پری نساء مصحفی*
استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران
زهره خواجه سعید
استادیار، گروه اقتصاد، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران
Pm.geomine@gmail.com

تاریخ دریافت :۱۰ دی ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۲۰ اسفند ۱۴۰۱

چکیده

زمین‌لرزه به عنوان یکی از مخرب‌ترین پدیده‌ها و مخاطرات طبیعی مطرح است که به دلیل افزایش رشد و توسعه شهرها و تمرکز سرمایه اهمیت بالایی پیدا کرده است. زمین‌لرزه‌ها افزون بر شتاب ناشی از عبور موج، خطر گسیختگی زمین را نیز به دنبال دارند. تجربه زلزله‌های مخرب نشان می‌دهد که سازه‌های واقع در حریم گسله‌ی زمین‌لرزه‌ای، بیشترین خسارت را در زمان وقوع زمین‌لرزه داشته‌اند. شتاب ماکزیمم حرکت زمین قابل محاسبه است و با تمهیدات مهندسی می‌توان خسارات آن را کنترل نمود، اما مهار جابجایی‌های بزرگ و جلوگیری از انتقال آن به سازه در زون گسل زمین‌لرزه‌ای کاری دشوار است. در ویرایش چهارم آیین‌نامه ۲۸۰۰ بر اساس کار کمیته پهنه‌بندی این آیین‌نامه، بیش از ۳۰۰ گسله اصلی و بزرگ برای سرزمین ایران به نقشه در آمده و علاوه بر آن گسله‌های نهان دیگری نیز وجود دارد که شناسایی و جانمایی دقیق آنها نیازمند انجام مطالعات دقیقتر است. نکته مهم در لرزه خیزی گستره ایران زمین علاوه بر عمق نسبتا کم زلزله‌های رخ داده، انطباق کانون‌های رخداد زلزله‌ها با موقعیت قرارگیری مراکز جمعیتی است. روش ارزیابی و برآورد خسارات ناشی از زلزله، ابزار مهمی برای مقابله با زلزله و همچنین برآورد بیمه ساختمان‌ها می‌باشد. تحقیق حاضر یک مطالعه مروری است که در آن به ارزیابی پژوهش‌هایی که از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۳ در ارتباط با خسارتهای اقتصادی ساخت و سازهای شهری در پهنه‌های گسلی صورت گرفته، پرداخته شده است. از بین روش‌های کمی و کیفی متعدد، پنج متد کارآمد جهت تخمین و ارزیابی خسارات اقتصادی زلزله‌ها در راستای پیش بینی بحران و مدیریت به موقع بحران در هنگام رخداد زلزله در ساخت و سازهای واقع بر زون‌های گسلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با عنایت به اینکه مشخصات هندسی گسل‌ها و حریم مهندسی گسلش در هر زون گسلی، مختص آن پهنه است لذا جهت پیش‌بینی و برآورد دقیق خسارات اقتصادی، اجرای ترکیبی از متدهای مطرح شده پیشنهاد می‌شود.

کلید واژگان: زمین‌لرزه، ساخت و ساز شهری، پهنه گسلی، خسارت اقتصادی، مدل ارزیابی خسارت

۱-مقدمه

گسل یا گسله به شکستگی‌هایی اطلاق می‌شود که سنگ‌های دو طرف صفحه شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت کرده باشند. این جابه‌جایی می‌تواند از چند میلی‌متر تا صدها متر باشد. انرژی آزاد شده به هنگام حرکت سریع گسل های فعال، عامل وقوع اغلب زمین‌لرزه‌ها است. گسل‌های بزرگ در پوسته زمین نتیجه حرکت برشی زمین هستند و زمین‌لرزه‌ها نیز نتیجه نیروی رها شده در حین لغزش سریع لبه‌های یک گسل به هم هستند. بزرگ‌ترین نمونه‌های گسل، مرزهای میان ورقه‌های زمین‌ساختی کره زمین است. از آنجا که یک گسل معمولاً از یک شیار مستقیم و مرتب تشکیل نشده و ناحیه‌ای از تغییر شکل‌های پیچیده زمین را در بر می‌گیرد معمولاً بجای گسل از پهنه گسلی صحبت می‌شود. مطالعه گسل‌ها از آنجائی که توان لرزه زایی دارند، دارای اهمیت است. شناسایی زون‌های گسلی فعال و برآورد توان لرزه زایی این گسله‌ها می‌تواند در کاهش خسارت‌های جانی و مالی مهم باشد. ایران به علت موقعیت لرزه‌خیزی و وجود گسل‌های فراوان و همچنین قرارگیری روی یکی از کمربندهای زلزله‌خیز جهان موسوم به آلپا، در مقابل زلزله آسیب پذیری فراوانی دارد. در ویرایش چهارم آیین‌نامه ۲۸۰۰ بر اساس کار کمیته پهنه‌بندی این آیین‌نامه، بیش از ۳۰۰ گسله اصلی و بزرگ برای سرزمین ایران به نقشه در آمده است[۱].

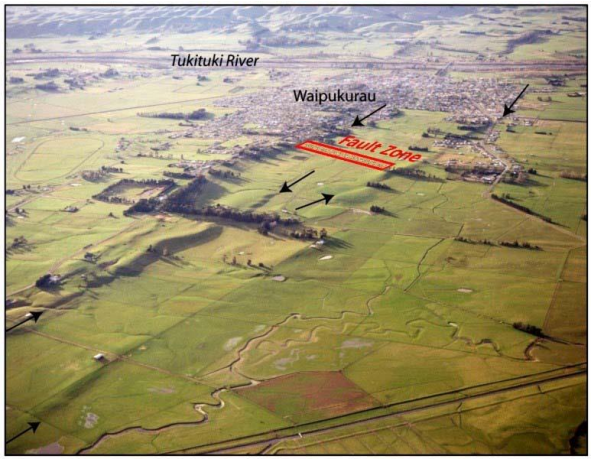
زلزله از خسارت بارترین سوانح طبیعی در دهه‌های اخیر می باشد که میتواند موجبات خسارات شدید مالی و جانی شده و معیارهای اقتصادی را تحت شعاع قرار دهد. یکی از بحرانی‌ترین مشکلات پس از زلزله، ارزیابی خسارات ساختمان‌ها است. مساحت، مقدار، نرخ و نوع خسارت، اطلاعات ضروری برای عملیات نجات، اقدامات بشردوستانه و بازسازی در حوزه‌های فاجعه می‌باشند. تحلیل آسیب پذیری عبارت است از میزان مخاطره در ترکیب با سطح توان اقتصادی و اجتماعی که بتوان توسط آن با واقعه ناشی از خطر مقابله نمود. به عبارتی، آسیب پذیری میزان توانایی سیستم اقتصادی و فیزیکی جوامع و نیز آمادگی و انعطاف پذیری آنها را در برابر فشارهای مخاطرات زلزله مطرح می‌نماید. در بسیاری از زلزله های گذشته ایران و جهان تلفات و خسارات ناشی از زلزله به دلیل تاخیر در شناسایی موقعیت و ابعاد حادثه و به تبع آن تعلل در پاسخ به موقع به تاثیرات ناشی از آن، افزایش یافته است. به منظور کاهش تبعات ناشی از عدم اطلاع از موقعیت و اثرات احتمالی زلزله ها، متدهای متعددی جهت ارزیابی سریع خسارات و تلفات ناشی از زلزله در ایران و جهان توسعه یافته‌اند که در تحقیق حاضر، پنج متد کارآمد مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و کارآمدترین رویکرد معرفی شده است. این مدل‌ها و متدها برای برنامه ریزی مدیریت بحران و همچنین اقدامات امداد و نجات پس از رخداد زلزله کاربرد زیادی دارند و می توانند در جهت کاهش اثرات زلزله مورد استفاده مدیران ذیربط قرار گیرند.

۲- روش انجام پژوهش

تحقیق حاضر یک مطالعه مروری است که در آن به مرور و ارزیابی پژوهش هایی که از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۳ در ارتباط با موضوع این تحقیق صورت گرفته، پرداخته شده است. مقالات و تحقیقات محققان مختلف که در پایگاه‌های اطلاعاتی علمی نظیر Elsevier، Springer ، Google Scholar، و SID نمایه سازی شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به طور کلی ابزارهای متنوعی همچون Performance Assessment Calculation Tool (PACT)، Matlab Damage and Loss Analysis (MDLA)، Seismic Performance Prediction Program (SP3)، جهت تخمین خسارات زلزله مطرح شده‌اند [۲]. اما در مقاله حاضر، پنج متد جهت تخمین و ارزیابی خسارات اقتصادی زلزله‌ها در راستای پیش بینی بحران و مدیریت به موقع بحران در هنگام رخداد زلزله در ساخت و سازهای واقع بر زون-های گسلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و با ارزیابی این متدها بهترین رویکرد پیشنهاد شده است.

۲- نگاهی برتعیین حریم پهنه‌های گسلی کلانشهرهای ایران و جهان

یکی از مهم ترین مفاهیم گسل‌های فعال، حریم گسلی است. خطیب و صادقی فرشباف [۳] با جمع بندی دیدگاه‌های گوناگون که هرکدام به نوعی حر یم گسل را مشخص مینمایند پیشنهاد نمودند که تعیین حریم گسل با توجه به بیشترین فاصله‌ی پرتگاه‌های گسلی، پهنای محدوده‌ی ضخامت هسته گسل، پهنای زون آسیب، شعاع بزرگترین رخدادهای لرزه‌ای پیرامون گسل‌های فعال، درصد محدوده‌ی لنداسلایادها (LAP)، چگالی تعداد لنداسلایدها (LND) و پهنای منطقه تغییر شکل در فرادیواره و فرودیواره ارزیابی شود. تحقیقات انجام گرفته در شرق ایران نشان می‌دهند که حریم گسل به عنوان تابعی از طول بخش فعال گسل، زاویه شیب صفحه گسل و ضریب واحدهای سنگی برش‌خورده در پهنه گسلی است [۳]. وجود ساخت و ساز و هرگونه تأسیسات در محدوده‌ی اجتناب از گسل در زمان رخداد می‌تواند به مقدار زیاد با ریسک بالایی همراه باشد (شکل ۲). همزمان با لغزش در گسل اولیه، ممکن است گسل‌های افشانه با توجه به نرخ لغزش گسل اولیه در بازه‌های زمانی مختلف پدیدار گردند و سبب ایجاد زمین لرزه‌های کم عمق و خسارات اقتصادی زیاد شوند. شواهد مربوط به چنین فعالیتی در گسل Chelengpu در غرب تایوان مشاهده شده است که در زلزله 7.6 M چی-چی تایوان در سال ۱۹۹۹ دچار گسیختگی شده است[۵].



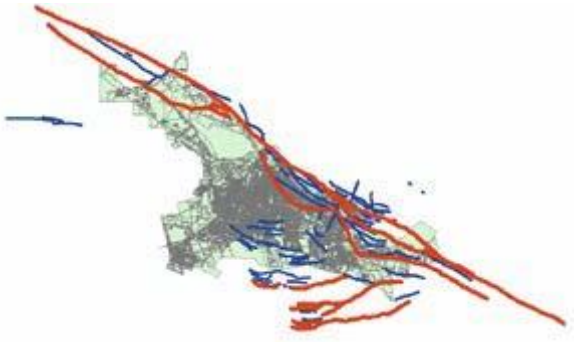
شکل ۱- عکس هوایی مایل از پهنه گسلی waipukurau به سمت رودخانه Tukituki در نیوزیلند. پهنه گسل شامل مجموعه‌ای از طاقدیس‌های موازی و پله‌ای (اسکارپ‌ها) مربوط به گسل‌های معکوس است که در سمت بالا دست گسل‌های معکوس تشکیل شده‌اند [۴].

شکل ۲- اسکارپ گسلی و پیامد ساخت و ساز در محدوده‌ی اجتناب از گسل. اسکارپ گسل معکوس در نتیجه زلزله چی-چی در سال ۱۹۹۹ تایوان که ناحیه گسیختگی گسل در قسمت میانی تا قسمت پایین اسکارپ اتفاق افتاده است. به کج شدن و تخریب ساختمان‌های موجود در بلوک بالادست (فرا دیواره) گسل توجه شود [۳].

در ویرایش چهارم آیین‌نامه 2800 بر اساس تحقیق کمیته پهنه‌بندی این آیین‌نامه، بیش از 300 گسله اصلی و بزرگ برای کشور ایران به نقشه درآمد و علاوه بر آن گسله‌های پنهان و ناشناخته دیگری نیز وجود دارد که شناسایی و مکانیابی دقیق آنها محتاج زمان و انجام مطالعات دقیقتر است. نکته اساسی در لرزه خیزی پهنه ایران زمین علاوه بر عمق نسبتا کم زلزله‌های رخ داده، انطباق کانون‌های وقوع زلزله‌ها با موقعیت قرارگیری ساخت و سازهای شهری و مراکز جمعیتی است. بسیاری از شهرهای ایران در حاشیه و یا بر روی گسل های فعال بنا شده‌اند. با هدف ساخت و ساز مقاوم در برابر زلزله آیین نامه 2800 کشور در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی با همکاری محققان رشته‌های مرتبط تدوین و به صورت دوره‌ای مورد بازنگری قرار می گیرد. در فصل ۶ ویرایش چهارم این آیین‌نامه (که در حال حاضر آخرین ویرایش آن نیز می‌باشد)، تصریح شده است که در پهنه گسل های اصلی با جابجایی عمده، احداث ساختمان با اهمیت بسیار زیاد ممنوع است و در دیگر پهنه‌ها احداث آنها با انجام مطالعات و اعمال تمهیدات مخصوص مجاز است. نیز در پهنه گسل‌های اصلی با جابجایی عمده، احداث ساختمان با اهمیت زیاد، صرفا با انجام مطالعات ویژه و اعمال تمهیدات ویژه مجاز می‌باشد [۶].

با عنایت به الزام صریح و روشن آیین‌نامه 2800 ، تدقیق نقشه گسل‌ها و تعیین پهنه‌ها یا حرائم گسلی در محدوده‌های شهری الزامی می نماید، مسئله‌ای که تا قبل از این به دلیل عدم وجود چنین نقشه‌ها و حرائم مصوبه و به تبع آن عدم ابلاغ چنین نقشه‌هایی به مراجع مربوطه، منجر به وضعیتی در برخی کلانشهرها شده است که بر روی زون‌های گسلی، بیمارستان، مدارس، مخازن سوخت، برج و سایر ساختمان های بسیار مهم و خطرزا احداث گردد. لازم به توضیح است که گسل‌های اصلی طبق تعریف آیین‌نامه 2800 ایران، گسل‌های با طول ۱۰ کیلومتر و بیشتر می‌باشد و همچنین بنابه تعریف آیین‌نامه 2800، ساختمان‌های بسیار مهم شامل ساختمان‌های ضروری (ساختمان‌هایی که ادامه کارکرد آنها بعد از زلزله ضرورت دارد) وساختمانهای خطرزا می‌باشد. به منظور اعمال الزام" ممنوعیت ساخت، محدودیت ساخت و روش ساخت " آیین‌نامه ساخت و ساز مقاوم در برابر زلزله، که ضابطه‌ای است حقوقی و عدم اجرای آن تخلف محسوب می‌شود و به منظور فراهم کردن بستر فنی لازم جهت اجرایی شدن و نیز با هدف مهم کاهش ریسک و افزایش تاب‌آوری شهری و کاهش آسیب های اقتصادی و تلفات جانی در شهرهای با جمعیت بالای ۲۰۰ هزار نفر در برابر زلزله‌های آینده، "طرح تدقیق نقشه گسل‌ها و تعیین حرائم آنها در محدوده‌های شهری " توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و با همکاری سازمان زمین-شناسی، دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی کشور، نهادهای دولتی ذیربط، شهرداری‌ها، استانداری‌ها، نظام مهندسی‌ها و نهادهای غیر دولتی شروع شده است. این کار مهم با همکاری تنگاتنگ سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهرداری تهران، ابتدا از شهر تهران آغاز شد و سپس بر اساس مصوبه شورایعالی شهرسازی و معماری، مقرر گردید که در اولویت اول در کلانشهرهای تبریز، مشهد، کرج و کرمان نیز انجام شود .در ادامه علاوه بر کلانشهرهای مذکور و نیز شهر زنجان، مراحل اولیه کار در شهرهای بزرگ دیگری همچون شیراز، ساری، قائمشهر، قم، کرمانشاه، زاهدان، خرم آباد، اهواز، همدان و قزوین نیز شروع گشته است[۶].

شکل ۳- محدوده زون گسیختگی سطحی در رخداد زلزله‌ها [۶].



شکل ۴- حریم گسل‌های شهر تبریز [۶].

۲-۱- سطوح خطر لرزه‌ای

به منظور طراحی عملکردی یا بهسازی لرزه‌ای یک سازه، بخشی از فرضیات طراح، بر اساس زلزله‌ایست که انتظار می‌رود سازه در آینده تحت تأثیر آن قرار خواهد گرفت؛ سطح خطر لرزه ای به معنای زلزله انتخابی می‌باشد که بر اساس نیروی ناشی از آن، سازه‌ی مورد نظر مورد تحلیل و طراحی قرار می‌گیرد. بر اساس ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، سطوح خطر زلزله به صورت ذیل تعریف می‌شود: زلزله سطح خطر-۱: این سطح خطر براساس ۱۰ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال که معادل دوره بازگشت ۴۷۵ سال است، معین می‌شود. سطح خطر-۱ در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ، زلزله طرح (MDE) نامیده شده است. زلزله سطح خطر-۲ : این سطح خطر بر اساس ۲ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال که معادل دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال است، معین می‌گردد. سطح خطر-۲ به عنوان بیشینه زلزله محتمل (MCE) نامیده می‌گردد [۷].

۲-۲- سطوح عملکرد سازه‌ای

بعد از انتخاب سطح خطر لرزه ای مورد نظر، باید میزان آسیب مطلوب درصورت وقوع زلزله سطح خطر انتخاب شود. سطح عملکرد سازه همان میزان آسیب مورد نظر می‌باشد که از مجموعه‌ی تغییرشکل‌ها و خرابی‌های تک تک اعضا حاصل می‌شود؛ پس با انتخاب یک سطح عملکرد سازه ای، محدودیتی برای میزان خرابی هر عضو تحت نیروهای لرزه‌ای حاصل از زلزله سطح خطر تعیین می‌نماییم و اعضا باید بگونه‌ای طراحی گردند که این محدودیت‌ها را با توجه به سطح عملکرد ساختمان و سطح خطر انتخابی مهندسین ارضا نمایند [۷].

۲-۳- ارزیابی سطح عملکرد بر اساس استاندارد بهسازی لرزه‌ای آمریکا

در این بخش، توضیحات بر اساس استاندارد ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود آمریکا (ASCE41) ارائه گردیده است [۷].

۲-۳-۱- خدمت رسانی بی وقفه (Operational performance)

در وضعیت عملکردی خدمت رسانی بی وقفه که بالاترین سطح عملکردی یک سازه است، تغییر شکل‌ها در محدوده الاستیک بوده و پس از پایان زلزله اجزا به حالت قبلی خود بر می‌گردند. سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای اساساً تغییری نمی‌کند. ترک‌های جزیی در اعضای سازه‌ای، نما، تیغه‌ها و سقف‌ها ایجاد می‌گردد. تمام سیستم‌های لازم برای عملکرد ساختمان فعال باقی می‌مانند. خرابی‌های ناچیز ایجاد شده و سیستم تاسیسات و برق رسانی فعال باقی می‌مانند. سازه در این سطح عملکرد، آسیب های خیلی کمتری نسبت به ساختمان‌های طراحی شده بر مبنای روش‌های تجویزی متحمل می شوند و احتمال بروز تلفات انسانی نزدیک به صفر است. این سطح عملکرد، بهترین سطح عملکرد ممکن می‌باشد که مطابقِ انتظار، اجرای سازه‌ای با این سطح عملکردی هزینه بسیاری نیز در بر خواهد داشت؛ لذا این سطح عملکرد برای سازه هایی با کاربری‌های ویژه، مانند بیمارستان ها و ایستگاه‌های آتش‌نشانی مورد استفاده قرار می گیرد [۷].

۲-۳-۲- قابلیت استفاده بی وقفه (Immediate Occupancy performance)

در وضعیت قابلیت استفاده بی‌وقفه اعضا سازه‌ای عملکردی همچون سطح عملکرد قابلیت خدمت رسانی بی‌وقفه دارند و از تغییر شکل‌های نسبی ماندگار خبری نخواهد بود اما در مورد اجزای غیرسازه‌ای، تاسیسات ساختمان دچار خرابی های ناچیز مکانیکی می‌شوند به گونه‌ای که ممکن است نیاز به تعمیر جزیی داشته باشند [۷].

۲-۳-۳- ایمنی جانی (Life Safety Performance)

در حالت سوم یعنی ایمنی جانی، بخشی از سختی و مقاومت در تمام طبقات از دست خواهد رفت. گسیختگی خارج از صفحه دیوار رخ نخواهد داد اما تغییرشکل نسبی ناشی از رفتار خمیری در سازه رویت خواهد شد. ادامه بهره برداری از ساختمان به احتمال زیاد بدون انجام یک سری تعمیرات میسر نخواهد بود و تعمیرات لازم هزینه‌بر خواهند بود. بسیاری از تاسیسات مکانیکی و الکتریکی و عناصر معماری دچار آسیب خواهند شد. سازه در این سطح عملکرد آسیب بیشتری از سازه‌های طراحی شده بر مبنای روش‌های تجویزی می‌بینند و خطر تلفات جانی اندکی بیشتر خواهد بود [۷].

۲-۳-۴- آستانه فروریزش (Collapse Prevention Performance)

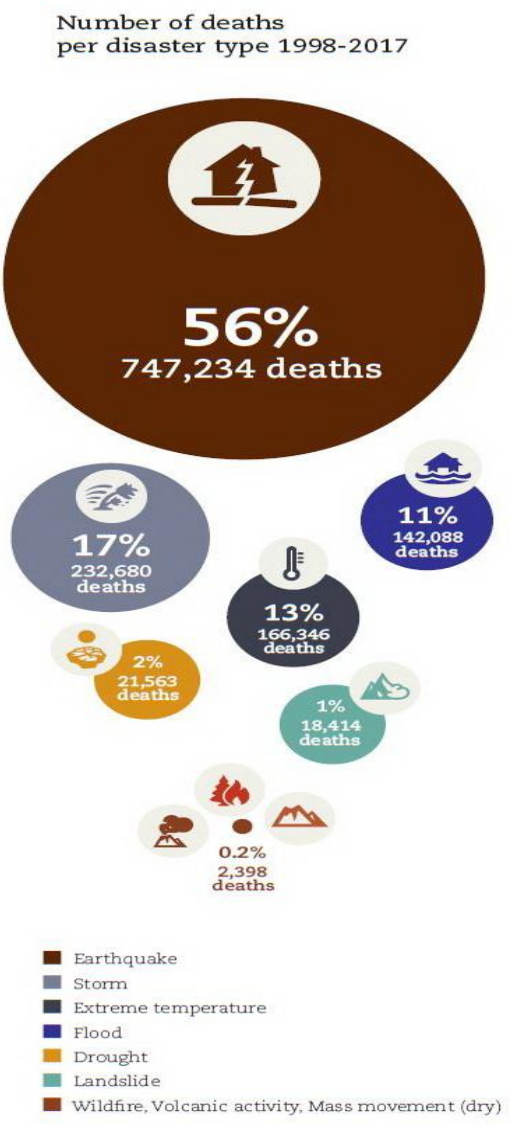
در سطح عملکرد چهارم یعنی آستانه فرو ریزش، در اعضای سازه‌ای سختی و مقاومت ناچیزی برای تحمل بارهای جانبی باقی می‌ماند اما ستون‌ها و دیوارهای باربر ثقلی عملکرد خود را حفظ می‌نمایند. تغییر شکل‌های نسبی ماندگار زیاد است. برخی از خروجی‌ها مسدود خواهد شد و احتمال این که سازه در اثر پس لرزه‌ها فرو بریزد وجود دارد بنابراین تحت هر شرایطی می‌بایست از سکنه خالی شود. دیوارهای مهار نشده گسیخته شده یا حداقل دچار شکست اولیه می‌شود. نیز خرابی گسترده‌ای در اعضای غیر سازه‌ای ایجاد می‌گردد. آسیب‌های

به وجود آمده و خطر تلفات جانی به طور قابل توجهی زیادتر از سازه‌های طرح از ابتدا خواهد بود [۷].

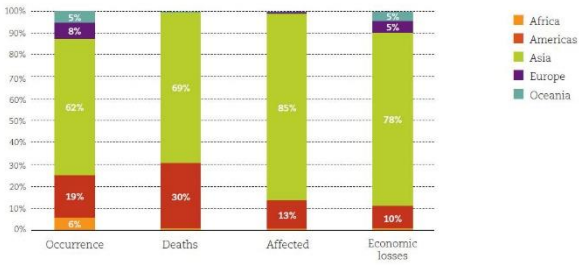
۳- تاثیرات اقتصادی زلزله‌های مخرب در مقیاس جهانی

بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO)، جمعیت شهری از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ هر سال در حدود 1.5-1.6% رشد خواهد داشت. در نتیجه به طور جهانی در حدود 2.8 میلیون نفر تلفات در اثر زلزله تا سال ۲۱۰۰ قابل پیش بینی است [۸]. بر اساس گزارش اداره کاهش ریسک فجایع طبیعی سازمان ملل متحد، در حدفاصل زمانی سال‌های ۲۰۱۷–۱۹۹۸ وقایع مرتبط با پدیده‌های ژئوفیزیکی و تغییرات آب و هوایی سبب مرگ 1.3 میلیون نفر و زخمی‌شدن، بی‌خانمانی و جابجایی 4.4 میلیارد نفر در سطح جهانی شد که قسمت اعظم این تلفات و خسارات بواسطه پدیده‌های ژئوفیزیکی و عمدتا در نتیجه زمین لرزه‌ها به وقوع پیوسته است. در حد فاصل زمانی ۲۰۱۷–۱۹۹۸، خسارات اقتصادی زمین لرزه‌ها در حدود ۶۶۱ میلیارد دلار (US$) برآورد شده است [۹].

زمین لرزه ترکیه که در ۶ فوریه ۲۰۲۳ به بزرگای 7.8 M در جنوب ترکیه در نزدیک مرز شمالی آن با سوریه به وقوع پیوست، ناشی از گسلش راستالغز در عمق کم بود. این رویداد ناشی از یک گسل چپگرد تقریبا قائم با روند شمال شرقی–جنوب غربی، یا گسل راستگرد تقریبا قائمی با روند جنوب شرقی– شمال غربی بوده است. موقعیت اولیه این زلزله در مجاورت یک الحاق سه‌گانه بین پلیت های آناتولی–عربی–آفریقا بوده است. موقعیت این زلزله با زمین لرزه‌ای که در پهنه گسلی آناتولی خاوری یا پهنه گسل ترانسفورم دریای مرده رخ داده، منطبق است [۱۰] (شکل ۷). در این زمین لرزه در حدود 40,200,000 منزل مسکونی در استان‌های زلزله‌زده ترکیه، تحت تاثیر زلزله قرار گرفتند وخسارت اقتصادی در بخش مسکونی معادل با ۶۶ میلیارد دلار (US$) برآورد شده است [۱۱].



شکل ۵ – میزان تلفات انسانی بر حسب نوع فجایع طبیعی در حد فاصل زمانی ۲۰۱۷–۱۹۹۸. بیشترین درصد مرگ و میر که معادل با ۵۶ درصد است مربوط به زمین لرزه‌ها می‌باشد [۹].



شکل ۶ – میزان خسارات اقتصادی و انسانی برای وقایع طبیعی ژئوفیزیکی با محوریت زمین لرزه برای قاره‌های مختلف در حد فاصل زمانی ۲۰۱۷–۱۹۹۸. بیشترین درصد خسارت اقتصادی (معادل با ۷۸ درصد) مربوط به آسیا می‌باشد [۹].

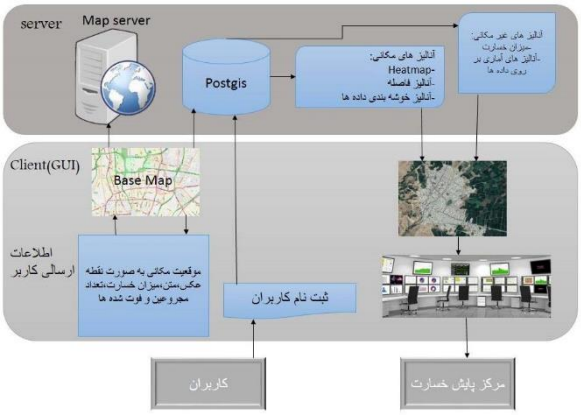
شکل ۷ –تصویری از ایجاد شکاف عمیق و جابجایی جاده‌ای در زلزله ۲۰۲۳ جنوب ترکیه [۱۱].

۴- پیش‌نشانگرها و متدهای افزایش سرعت تخمین خسارات زلزله در جهت کاهش خسارات آتی

مدیریت مخاطرات طبیعی، به ویژه زمین‌لرزه امری مشکل است. اگر چه در حال حاضر بشر با پیشرفت های تکنولوژیکی، به ویژه در زمینه مقابله با زمین لرزه به نتایج مطلوبی رسیده است که نمود عینی آنها در آئین نامه های ساخت و ساز مشاهده می‌شود [۱]. امروزه محققان علوم زمین لرزه بر این نکته تاکید دارند که پیش بینی زمین لرزه به این معنا که بزرگا و موقعیت آن معین گردد با دانش فعلی بشر امکان پذیر نیست، اما سیستم های هشدار و پاسخ سریع زمین لرزه می‌توانند درکاهش خسارات جانی و مالی زمین لرزه، برنامه ریزی مدیریت بحران و همچنین اقدامات امداد و نجات و بازسازی سازه‌ها [۱۲]. پس از رخداد زلزله کاربرد زیادی داشته و مورد استفاده مدیران ذیربط قرار گیرند. در پژوهش حاضر ۶ متد از پیش‌نشانگرها و متدهای افزایش سرعت تخمین خسارات زلزله در جهت کاهش خسارات آتی مورد مرور و بررسی قرار گرفته و کارآمدترین متد، پیشنهاد گردیده است.

۴-۱- سیستم مبتنی بر اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه جهت ارزیابی سریع خسارت زلزله (VGI)

توسعه فناوری‌های Web 2.0 موجب ارتقا و افزایش داده های دوطلبانه در کنار داده های رسمی شده [۱۳] و با ظهور این فناوری، مردم در مدیریت وقایع و بلایای طبیعی به عنوان منابع اطلاعاتی بوده و قادر به تامین اطلاعات توسط نقشه‌ها و استفاده از منابع متعدد ازجمله شبکه‌های اجتماعی هستند [۱۴]. مشکل اصلی سیستم‌های موجود برای برآورد خسارات این است که داده‌ها را نمیتوانند به شکل لحظه ای در هنگام وقوع حادثه مخابره نمایند و بر اساس اطلاعات از پیش جمع آوری‌شده اقدام به برآورد می شود. در سامانه طراحی شده تحت وب در یک تحقیق [۱۵] کاربران با به اشتراک گذاری لحظه ای اطلاعات مربوط به خسارت واردشده به خود یا سایر افراد، حجم گسترده‌ای از داده‌ها را جهت تحلیل در اختیار تیم مدیریت بحران قرار میدهند (شکل ۸). سامانه توسعه داده‌شده علاوه بر جمع‌آوری و ذخیره اطلاعات داوطلبانه Volunteered Geographic Information (VGI)، آنالیز مکانی Heatmap را جهت بررسی پراکنش مکانی و نمایش خسارات انجام میدهد. این سیستم به صورت فرضی در شهر اشنویه در استان آذربایجان غربی پیاده‌سازی شد و یک سناریوی فرضی جهت زلزله طراحی گردید. پس از به اشتراک گذاری اطلاعات توسط افراد داوطلب، Heatmap میزان آسیب‌ها در زمان کوتاهی تولید و در اختیار مدیران بحران که در اجرای این طرح همکاری داشتند قرار گرفت تا درک مناسبی جهت تصمیم گیری در هنگام بروز زلزله‌های احتمالی به دست آید. نتایج نشان داد که پیاده‌سازی این سامانه علاوه بر کاهش چشمگیر سرعت جمع‌آوری اطلاعات ، کاهش زمان ارزیابی اطلاعات بر اساس تولید Heatmap را به همراه خواهد داشت به طوری که کاربرد اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه باعث افزایش 6.5 برابری سرعت و زمان تخمین خسارت در قیاس با روش های سنتی موجود می‌شود به صورتیکه می تواند به عنوان یک روش و دیدگاه نو در مدیریت مخاطرات محیطی مورد استفاده قرار بگیرد [۱۵].



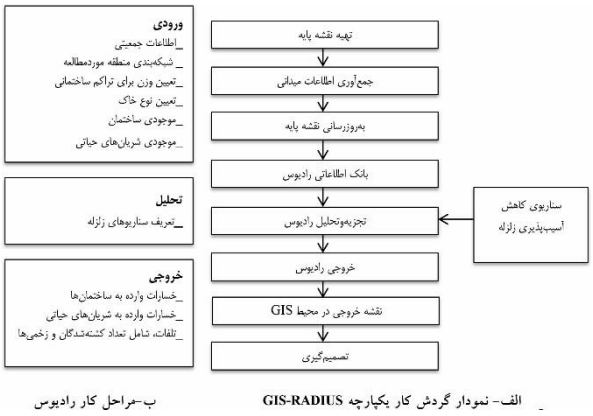
شکل ۸ – نمای کلی از سامانه مبتنی بر اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه جهت ارزیابی سریع خسارت زمین لرزه [۱۵].

۴-۲- تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS در محیط GIS

رویکرد RADIUS توسط دبیرخانه کنفرانس جهانی کاهش اثرات سوانح طبیعی در سال ۱۹۹۶ در ژاپن پی‌ریزی گردید. تمرکز این رویکرد بر تقلیل خطر پذیری لرزه‌ای شهرها به خصوص در کشورهای در حال توسعه بود. هدف اصلی این رویکرد، ایجاد ابزاری ویژه جهت مدیریت ریسک زلزله بود که بتوان در همه شهرهای زلزله‌خیز از آن استفاده نمود[۱۶]. به دلیل تفاوت اثرات زلزله در شهرهای مختلف، نرم افزار RADIUS فقط جهت تخمین خسارات اولیه استفاده می‌شود و جهت کسب نتایج دقیق‌تر نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. این نرم افزار یک برنامه کامپیوتری استاندارد است که در محیط اکسل برنامه ریزی می‌شود [۱۷].

در پژوهش های جدیدتری، ادغام GIS با RADIUS نتایج دقیق‌تر و عالی‌تری را ارائه داده است [۱۶–۱۷]. با عنایت به وجود گسل‌های زلزله‌زایی که می‌تواند شهر ساری در استان مازندران را تحت تاثیر قرار دهد، بررسی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن با استفاده از مدل

RADIUS در محیط GIS در پژوهش مدیری و همکاران [۱۷] انجام گرفت. شهر ساری با گسل‌های خزر و البرز به ترتیب 3.5 و 37.5 کیلومتر فاصله دارد لذا این شهر به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده با بهره‌گیری از مدل رادیوس و نرم افزارهای مبتنی بر GIS انجام پذیرفت. نتایج نشانگر این است که بر اساس سناریوی گسل خزر ۲۳۸۲ نفر کشته، ۱۸۹۱۰ ساختمان تخریب و ۲۲۸۹۷ نفر مجروح خواهند شد. بر اساس سناریوی گسل البرز نیز ۲۰ نفر کشته، ۳۰۸۶ ساختمان تخریب و ۲۱۰۲ نفر مجروح خواهند شد. لذا پیش بینی می‌شود که گسل خزر به سبب فاصله کم با محدوده مورد مطالعه، بیشترین میزان خسارت را به بار خواهد آورد. نتایج این مطالعه موردی می‌تواند به مدیران و تصمیم گیران در اولویت بندی پهنه‌های آسیب پذیر جهت کاهش خطر زمین لرزه و برنامه ریزی موثر به منظور خدمات اضطراری پس از رخداد زلزله کمک نماید (شکل ۹) [۱۷].

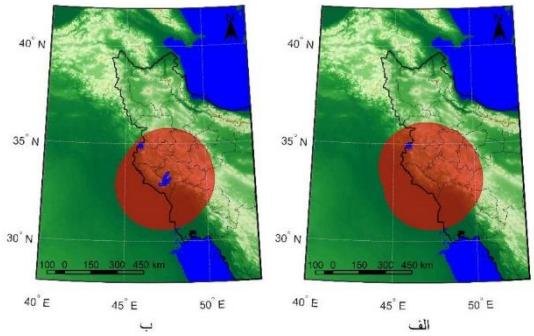


الف- نمودار گردش کار یکپارچه GIS-RADIUS ب-مراحل کار رادیوس

شکل ۹ – فلوچارت رویکرد ترکیبی و یکپارچه GIS-RADIUS [۱۷].

۳-۴- کارآیی الگوریتم پیش‌بینی M8 از راه تلفیق مکانی هشدارها

الگوریتم M8 یک الگوریتم شناسایی الگو بر اساس کاتالوگ لرزه‌ای می‌باشد که با هدف پیش‌بینی زلزله‌های بزرگتر از ۸ تدوین شده است. این الگوریتم اولین بار به صورت بازبینی‌شده به منظور پیش‌بینی زلزله های بزرگتر از ۸ در ۱۳۲ نقطه جهان به کار گرفته شده است [۱۸]. الگوریتم پیش‌بینی M8 در تحقیقی برای بررسی بازنگرانه‌ی زلزله سرپل ذهاب به کار گرفته شده است [۱۹]. نتایج نشان داد که این زلزله در محدوده زمانی میان مدت پیش‌بینی پذیر بوده است و یک پیش‌بینی بازنگرانه موفق به کارنامه الگوریتم M8 در فلات ایران اضافه گشت. بر اساس نتایج، استفاده از شبکه متراکمی از نقاط بررسی و ترکیب نواحی هشدار حاصل از حالت‌های مختلف اجرای الگوریتم M8 سبب کاهش عدم قطعیت مکانی پهنه هشدار می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که ماکزیمم افزایش تعداد پس‌لرزه، مهمترین پیش-نشانگر لرزه‌ای زلزله سرپل ذهاب است.



شکل ۱۰. نقشه‌های هشدار تجمیع شده از حالت های مختلف اجرای الگوریتم M8، مناطق سایه‌زده نواحی هشدار و علامت ستاره آبی، رومرکز زلزله سرپل ذهاب را نشان میدهد. الف) نقشه حاصل از اشتراک نواحی هشدار در تمام حالت های اجرای الگوریتم M8 ب) نقشه حاصل از اشتراک نقاط بررسی که در تمام وضعیت ها در موقعیت هشدار قرار دارند [۱۹].

۴-۴- کاربرد مدل دینامیک سیستم (SD) جهت مدیریت بحران زلزله

یکی از اساسی‌ترین عوامل که در کاهش یا افزایش میزان خسارات و تعداد تلفات انسانی در زمان وقوع زمین‌لرزه تاثیرگذار می‌باشد، وجود سیستم مدیریت بحران کارآمد است. پیچیدگی دینامیکی موجود در شرایط زمین‌لرزه نیاز به ابزارهای مناسبی دارد تا مدیران را قادر سازد در چنین شرایط پویایی قدرت تصمیم‌گیری خود را بهبود بخشند. ارتباط بین پدیده‌های رویت شده و بررسی شده می‌تواند با کاربرد ابزاری مناسب مانند دینامیک سیستم (System Dynamics) تجسم یابد [۲۰].

با توجه به موقعیت ویژه شهر تهران و پتانسیل رخداد زلزله در این شهر و با توجه به برآورد خسارت بالای مالی و جانی متعاقب آن، در تحقیق حسین زاده و همکاران [۲۱] یک مدل پویای مدیریت بحران با استفاده از متد دینامیک سیستم (SD) در این شهر توسعه یافته است تا با شبیه سازی فعالیت‌های بعد از رخداد زلزله، به مدیریت موثر بحران کمک نماید. بدین منظور پس از مدل‌سازی سیستم و تعیین اعتبار مدل ارائه شده، رفتار متغیرهای تعداد افراد محبوس و تعداد تلفات ناشی از زلزله تا مدت ۵ روز بعد از رخداد فاجعه، با حفظ روند فعلی و با عنایت به روش‌های پیشنهادی سازمان مدیریت بحران شبیه‌سازی شده‌اند. سه سیاست پیشنهادی عبارت هستند از ۱) نوسازی بافت‌های فرسوده با هزینه اجرای ۳۱۶ هزار میلیارد ریال، ۲) آموزش امداد و نجات با هزینه اجرای ۲۰۰۰ میلیارد ریال، و ۳) آموزش نحوه مقابله با زلزله از طریق رسانه‌های جمعی با هزینه اجرای ۱ میلیارد ریال در مدل اجرا و اثرات هر سیاست در نتیجه اجرای جداگانه و یا ترکیبی آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج پژوهش دلالت بر این دارد که آموزش پیش از وقوع بحران زلزله علیرغم هزینه اولیه کمتر آن نسبت به سایر راهکارها، تاثیر شگرفی در کاهش بحران پس از وقوع زلزله خواهد داشت و در صورت تامین سرمایه حدود ۱۰۰۰ میلیارد ریال در سال به

منظور اجرای سیاست‌های دوم و سوم، تلفات جانی در صورت رخداد زلزله ۱۰ مرکالی از ۱۵۴۱۰۰۰ وضعیت کنونی به ۶۸۹۰۰۰ نفر کاهش خواهد یافت [۲۱].

۵-۴- سامانه اینترنتی اعلام خودکار و ارزیابی زمین لرزه های ایران (RAISE)

محققان پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ایران مدلی جدید و مبتنی بر شرایط کشور را برای برآورد تلفات و خسارت اقتصادی ناشی از زلزله ارائه نمودند[۲۲]. فاز اول این سامانه اینترنتی اعلام خودکار و ارزیابی زمین لرزه‌های ایران در سال ۱۴۰۰ راه اندازی گردیده است. این مدل جهت برنامه ریزی مدیریت بحران و همچنین اقدامات امداد و نجات پس از رخداد زلزله در کشور کاربرد زیادی دارد و می تواند در جهت کاهش اثرات زلزله مورد استفاده مدیران ذیربط قرار گیرد. این طرح شامل توسعه مدل‌های تجربی برای برآورد تلفات و خسارت اقتصادی ناشی از زلزله به منظور استفاده در سامانه های برآورد سریع خسارت است. در بسیاری از زلزله‌های گذشته ایران و جهان تلفات و خسارات ناشی از زلزله بخاطر تاخیر در شناسایی موقعیت و ابعاد حادثه و به تبع آن تعلل در پاسخ به موقع به اثرات ناشی از آن، افزایش یافته است. به منظور کاهش تبعات ناشی از عدم اطلاع از موقعیت و اثرات احتمالی زلزله‌های کشور، در پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، توسعه سامانه ارزیابی سریع خسارات و تلفات ناشی از زلزله های ایران[۲۲]:

Rapid Assessment of Iran Seismic Events در دستور کار قرار گرفته است که از گام های مهم جهت راه اندازی این سامانه، بکارگیری الگوریتم های مناسب محاسباتی برای برآورد اثرات زلزله است. در این مدل با بررسی تجارب قبلی و به کارگیری روش‌های محاسباتی پیشرفته، مدل‌هایی بومی و کاربردی برای تخمین تلفات و خسارات اقتصادی ناشی از زلزله بر اساس سطح داده‌های موجود از سرمایه در معرض ریسک ارائه شده است. نخستین و مهم‌ترین خروجی این طرح که درحال‌حاضر قابل استفاده است، امکان برآورد اثرات زلزله در دقایقی بعد از رخداد زلزله است. بدین ترتیب مدیران بحران کشور می‌توانند برآوردی از وضعیت تلفات و خسارات زلزله در مناطق تحت تاثیر زمین لرزه را در ساعات اولیه بعد از وقوع آن کسب نموده و بر اساس آن نسبت به اعزام نیروهای امدادی و تخصیص منابع لازم در اسرع وقت و به صورت موثر اقدام نمایند [۲۲].

این سامانه بستری برای اعلام فوری اطلاعات زمین‌لرزه و پارامترهای مربوط به آن، شامل نقشه های مکان و مکانیسم کانونی زلزله‌های اعلامی از سوی پژوهشگاه است که به همراه گزارش های دیگر سازمان‌های لرزه‌نگاری کشوری و جهانی به صورت تجمیع شده، ارائه می‌شود. در سامانه مذکور نقشه های جنبش نیرومند زمین، نمودارهای جمعیت تحت تاثیر و همچنین نقشه‌های لرزه‌خیزی دستگاهی و تاریخی محدوده مورد نظر به صورت برخط نمایش داده می شود. در کنار این موضوع، شرکت‌های بیمه نیز می‌توانند بر اساس مدل‌های خسارت اقتصادی عنوان شده در این طرح، نرخ بیمه را برای گونه‌های مختلف ساختمانی در بخش‌های مختلف کشور ارائه نمایند. مدل‌های ارائه شده در این طرح بر اساس اطلاعات زلزله‌های پیشین در کشور است و از این رو تطبیق خوبی با بسیاری از رویدادهای لرزه‌ای کشور دارد [۲۲].

۵- هشداری درباره ساخت‌وساز روی حریم گسلی

با عنایت به تصویب قانون منع ساخت‌وساز در حریم گسل‌ها، این بخش از مطالعه حاضر اشاره‌ای بر سازه‌های بنا شده در حریم گسل‌های پایتخت (شهر تهران) دارد. مساحت حریم گسل‌های تهران ۷۵ کیلومتر مربع است که ۵۵ کیلومتر مربع از این مساحت، در شهر تهران واقع است. از میزان ۵۵ کیلومتر مربع حریم گسلی در شهر تهران، روی حدود ۲۵ کیلومترمربع ساخت‌وساز انجام گرفته است، به نوعی که بر اساس مطالعات صورت گرفته در حریم گسل‌های شهر تهران، ۲۴۵ سایت مهم و حساس در ۱۸ دسته‌بندی و ۳۱۸ هزار و ۹۵۵ مترمربع بافت فرسوده در محدوده حریم گسل‌های شهر تهران شناسایی شده است. در گستره حریم گسل‌های تهران ۱۱ هزار و ۶۷۰ ساختمان وجود دارد که بررسی مقاومت آنها و تصمیم به رفع خطر و کاهش خسارات از برنامه‌های با اولویت بالا است[۲۳].

تقریبا نیمی از ساختمان‌های موجود در رده ساختمان‌های ضعیف و بافت فرسوده هستند که از این نظر منطقه یک تهران مهم‌ترین منطقه در زمان رخداد زلزله است؛ چرا که ۶۵ درصد از ساختمان‌های این منطقه (۷ هزار و ۶۰۰ بنا) در حریم گسل‌ها قرار دارند. منطقه یک تهران دارای بیشترین ساختمان در حریم گسل‌های شهر تهران است و مناطق ۲ تا ۵ نیز در رده‌های بعدی قرار دارند. ۵۰ درصد از سازه‌های تهران، بافت فرسوده هستند و مناطق حصارک و فرحزاد نیز با داشتن بافت فرسوده روی گسل بنا شده‌اند که ساماندهی این مناطق باید در دستور کار مدیران قرار گیرد. در منطقه یک شهر تهران گسل‌های «شمال تهران» و «لویزان» گسترده شده است، ضمن آنکه ریسک زلزله در شهر تهران از شمال به سمت جنوب، جنوب غرب و جنوب شرقی افزایش می‌یابد. گسل ری نیز از دیگر گسل‌های مهم تهران است. به طورکلی گسترش گسل‌ها در کشور به گونه‌ای است که با دور شدن از گسلی به گسل دیگر نزدیک می‌شویم و این در حالی است که مخزن سوخت شمال تهران در خط گسل جانمایی شده است، ضمن آنکه گسترش خطوط مترو ریسک مخاطرات را در زمان وقوع زلزله افزایش خواهد داد [۲۳].

۶- نتیجه‌گیری

زمین لرزه‌ها یکی از مخرب ترین رویدادهای طبیعی هستند که ظرف مدت چند ثانیه قادر به ایجاد خسارات عظیمی در منطقه وقوع می‌باشند و چالش‌های اقتصادی شدیدی را به جوامع بشری و دولت‌ها تحمیل می‌نمایند. وقوع حوادث طبیعی همچون زلزله در حوزه‌ای شهری که پای جوامع انسانی و زیرساخت‌های بشری به میان می‌آید، اغلب به بحران‌هایی تبدیل می‌گردد که شامل ویرانی‌های کالبدی و اختلال عملکرد شهری است. بانک جهانی خسارات ناشی از زلزله ۲۰۲۳ ترکیه را بیش از ۳۴ میلیارد دلار برآورد کرده است که معادل حدود چهاردرصد

از تولید ناخالص داخلی این کشور در سال ۲۰۲۱ برآورد شده است. این در حالی است که روند بازسازی دو برابر این مبلغ هزینه خواهد داشت. کشور ایران به عنوان بخشی از کمربند لرزه‌خیز آلپ–هیمالیا که مهمترین نوار زلزله‌خیز درون قاره‌ای محسوب می‌گردد، بارها وقوع زلزله‌های مخرب و ویرانگر را تجربه نموده و تلفات و خسارات سنگینی را متحمل شده است. با توجه به الزام صریح و روشن آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد۲۸۰۰، تدقیق نقشه گسل‌ها و تعیین پهنه‌ها یا حرائم گسلی در محدوده‌های شهری الزامی است، موضوعی که تا پیش از این به دلیل نبود چنین نقشه‌ها و حرائم مصوبه و به پیامد آن عدم ابلاغ چنین نقشه‌هایی به مراجع مربوطه، منجر به وضعیتی در برخی کلانشهرها شده است که بر روی زون‌های گسلی، بیمارستان، مدارس، مخازن سوخت، برج و سایر ساختمان های بسیار مهم و خطرزا احداث گردد.

یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران بحران و متولیان امداد و نجات، تعیین تعداد تلفات و خسارات اقتصادی ناشی از رخداد زلزله در ساعات اولیه بعد وقوع حادثه است. در تعداد زیادی از زمین‌لرزه‌های گذشته ایران و جهان تلفات و خسارات ناشی از زلزله بخاطر تاخیر در شناسایی موقعیت و ابعاد حادثه و به پیرو آن تعلل در پاسخ به موقع به اثرات ناشی از آن، افزایش یافته است. روش‌ها و مدل‌های کمی و کیفی گوناگونی جهت سناریوسازی تخمین خسارات اقتصادی در سطح جهانی ارائه شده است. برخی از این مدل‌ها میزان خسارت را در بازه‌ی عددی ۱ تا ۵ طبقه‌بندی می‌نمایند، برخی دیگر نیز بر اساس مجموع جمعیت، تعداد ساختمان‌ها و نوع فاکتورهای ساختمانی، نوع زمین و انتخاب سناریوی زلزله طراحی شده است. در تحقیق حاضر، پنج متد کارآمد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با عنایت به اینکه بررسی زون مخرب هر پهنه گسلی و تعیین حریم هر زون گسلی خاص، نقش مهمی در تعیین ضریب ایمنی جهت احداث سازه‌های مهندسی دارد و میزان رعایت فاصله سازه ها از گسل به عنوان مهمترین مسائل مربوط به زمین‌لرزه در زمین‌شناسی مهندسی, مهندسی عمران و لرزه زمین-ساخت مطرح می باشند لذا کاربرد و اجرای ترکیبی از متدهای ارائه‌شده در این تحقیق برای برآورد و پیش‌بینی تلفات و خسارت اقتصادی ناشی از زلزله و بر اساس سطح اطلاعات موجود از سرمایه در معرض ریسک پیشنهاد می‌گردد. در کنار این موضوع، شرکت های بیمه نیز می‌توانند بر اساس مدل های خسارت اقتصادی ارائه شده، نرخ بیمه را برای گونه‌های مختلف ساختمانی در بخش های مختلف کشور ارائه نمایند.

مراجع

[۱] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش ۴، کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، چاپ اول ۱۳۹۳، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، نشریه ض–۲۵۳. شابک ۸–۱۲۸–۱۱۳–۶۰۰–۹۷۸.

[2] Kahandawa KARVD, Domingo ND, Park KS, Uma SR. Earthquake damage estimation systems: Literature review. Procedia Engineering. 2018; 212: 622-628.

[۳] خطیب، م.م. ، صادقی فرشباف، پ.، مفهوم ساختاری حریم گسل‌های فعال با رویکردی بر مطالعات جهانی. فصلنامه زمین ساخت. ۱۳۹۷، سال دوم . شماره ۸.

[4] Langridge RM, Morgenstern R. Active Fault Mapping and Fault Avoidance Zones for Horowhenua District and Palmerston North City. GNS Science Consultancy Report 2018/75. 2019; 70p.

[5] Simoes M, Avouac JP, Chen YG. Slip rates on the Chelungpu and Chushiang thrust faults inferred from a deformed strata terrace along the Dungpuna river, west central Taiwan. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2007; 112(B3).

[۶] بیت اللهی، ع.، تعیین حریم گسل‌های کلانشهرهای کشور؛ ضرورت و چشم‌انداز. فصلنامه تازه‌های راه، مسکن و شهرسازی. ۱۳۹۷. دوره ۱. شماره ۱.

[۷] باقری، ع.، حمزه تاش، ب.، سطوح عملکرد سازه‌ای، معرفی انواع سطح عملکرد سازه‌ای و سطح خطر لرزه‌ای. سایت سبز سازه، **https://sabzsaze.com/performance-levels/**

[8] Holzer TL, Savage JC. Global earthquake fatalities and population. Earthquake Spectra. 2013; 29(1): 155–175.

[9] Wallemacq P, House R, McClean D. Economic losses, poverty & disasters 1998-2017. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). 2018.

[۱۰] اسلامی، آ.، متقی، س. ف.، زرگران، م.، اشعری، ع.، گزارش مقدماتی زمین لرزه ۱۷ بهمن ماه ۱۴۰۱ هجری شمسی (۶ فوریه ۲۰۲۳) جنوب ترکیه، مرز ترکیه و سوریه (ویرایش ۲). پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (IIEES). ۱۴۰۱.

[11] Government of Türkiye. Türkiye Earthquakes Recovery and Reconstruction Assessment (report). 2023. http://www.mfa.gov.tr/.

[12] Zhang X, Zeng X, Nie G, Fan X. An empirical method to estimate earthquake direct economic losses using building damages in high intensity area as a proxy. Natural Hazards Research. 2021; 1(2): 63-70.

[13] Foster A, Dunham M. Volunteered geographic information, urban forests, & environmental

Justice. Computers, Environment and Urban Systems. 2014; 53 (3): 65–75. DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2014.08.001

[14] Kankanamge N, Yigitcanlar T, Goonetilleke A, Kamruzzaman M. Can volunteer crowdsourcing reduce disaster risk? A systematic review of the literature. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2019; **35**:101097. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101097.

[۱۵] سدیدی، ج، بایزیدی، م.، رضائیان، ه.، فدایی، ه.، طراحی سامانه مبتنی بر اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه جهت ارزیابی سریع خسارت زمین‌لرزه. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی،۱۴۰۰، سال هشتم، شماره۴، ۴۱-۵۴.

[16] Mazumder RK, Salman AM. Seismic damage assessment using RADIUS and GIS: A case study of Sylhet City, Bangladesh. International journal of disaster risk reduction. 2019; 34: 243-254. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.11.023.

[۱۷] مدیری، م.، اسکندری، م.، حسن زاده، س.، تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS در محیط GIS (مطالعه موردی: استان مازندران، شهر ساری). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳۹۹ ، شماره ۳۵، ۳۹-۵۶.

[18] Keilis-Borok VI. (1996). Intermediate-term earthquake prediction. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. 1996; 93 (9):3748–3755. https://doi.org/10.1073/pnas.93.9.3748.

[۱۹] رمضانی، ع.، عباسپور، ر.ع.، مجرب، م.، ارزیابی نتایج الگوریتم M8 از راه تلفیق مکانی هشدارها (مطالعه موردی: زلزله سرپل ذهاب) ، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق) ، ۱۳۹۶، دوره ۴، شماره ۴، ۳۱۹-۳۲۹.

[20] Remida, A. A systemic approach to sustainable humanitarian logistics. In book: Humanitarian Logistics and Sustainability. Springer, 2015; 11-29. DOI:10.1007/978-3-319-15455-8_2 .

[۲۱] حسین زاده، م.، احمدی، ع.، صمدی فروشانی، م.، توسعه مدل پویای مدیریت بحران زلزله در تهران با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم (SD). مخاطرات محیط طبیعی. ۱۴۰۰، دوره دهم، شماره بیست و هفتم، ۶۷-۹۰.

[۲۲] فیروزی کرمانشاهی، ع.، توسعه سامانه ارزیابی سریع خسارات و تلفات ناشی از زلزله های ایران (RAISE)، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۴۰۱، http://www.iiees.ac.ir/raise/index.html.

[۲۳] بیت‌اللهی، ع.، نقشه‌های پهنه‌های گسلی شهر تهران- حریم و محدوده‌ها ، بخش زلزله مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۴۰۰، https://www.bhrc.ac.ir/ .