# توسعه مدل ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله

**محمد فلاح تفتی**
*دانشجوی مقطع دکتری، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران*
***m.fallahTafti@iiees.ac.ir***

**کامبد امینی حسینی**
*دانشیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران*
***kamini@iiees.ac.ir***

**بابک منصوری**
*استادیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران*
***mansouri@iiees.ac.ir***

**انوشیروان انصاری**
*استادیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران*
***a.ansari@iiees.ac.ir***

**زیبا ابراهیمیان**
*استادیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران*
***ebrahimian@iiees.ac.ir***

**کلید واژه‌ها:** *مدیریت بحران، مدل های ارزیابی، خسارات، تلفات، ریسک*

## چکیده

تحقیقات بسیار گسترده‌ای تاکنون انجام گرفته است تا مدل‌هایی به منظور ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله برای مناطق مختلف با سناریوهای ویژه و منحصر به فرد تولید کند. مدل‌های بسیاری نیز در سرتاسر دنیا تولید شده تا محاسبات لازم را در این رابطه انجام دهد. در ایران تاکنون مدلی جامع که به بررسی و ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله بپردازد، متاسفانه ارائه نشده است و کارهایی که انجام گرفته است نیز موردی و اغلب به عنوان پروژه‌های تحقیقاتی و همچنین تنها به جزئی از یک مدل جامع پرداخته است. در این مقاله سعی بر این است که ابتدا بر اساس مطالعات مهم انجام شده ابعاد مختلف مدل‌های ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله بررسی شود و در نهایت پس از شناخت پارامترهای تاثیرگذار در این زمینه، مدلی ارائه گردد که بتواند در عین جامع بودن ملاحظات مورد نظر را برای کشور برآورده کند. در این مقاله الگوریتم‌های مورد نیاز برای توسعه مدل ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله در یک فرمت کلی و جامع ارائه خواهد شد.

## مقدمه

کشور ایران به واسطه موقعیت تکتونیکی، وجود گسل‌های فعال، رخداد زلزله‌های بزرگ در طول تاریخ و نیز ثبت پیوسته خردزمین لرزه‌ها، از پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی برخوردار است. کلیه مطالعات انجام شده در این راستا نیز مؤید احتمال بالای وقوع زلزله‌های ویرانگر در اغلب نقاط کشور می‌باشند. از طرفی رشد ناهماهنگ و غیراصولی شهرها و سایر سکونتگاهها در طول تاریخ و به خصوص طی یک قرن اخیر، باعث شده است که آسیب‌پذیری کشور در برابر زلزله‌های احتمالی بیش‌از پیش افزایش یابد. ساخت‌وساز در حریم گسل‌ها، عدم توجه به مقاومت لرزه‌ای بناها و تأسیسات حیاتی، گسترش ناهمگون و آسیب‌پذیر بافت و ساختار شهرها و بسیاری از موارد دیگر، همگی نشان می‌دهند که در صورت وقوع زلزله‌ای بزرگ در کشور، تلفات و صدمات زیادی به کشور وارد خواهد شد که جبران آن نیاز به صرف زمان و هزینه هنگفتی دارد. مجموع خسارات

مستقیم و غیرمستقیم وارده به شهرها در صورت رخداد زلزله‌ای بزرگ در آنها، بدون در نظر گرفتن ارزش جان انسان‌ها و نیروهای ازدست‌رفته که البته قابل ارزش‌گذاری نمی‌باشد، صدها هزار میلیارد ریال برآورد می‌شود و هزینه نوسازی و بازسازی ساختارها و ساختمان‌های آسیب‌دیده نیز به مراتب بیش از این مقدار تخمین زده می‌شود که می‌تواند اقتصاد کشور را با چالشی عمیق مواجه نماید.

کاهش ریسک یا خطرپذیری لرزه‌ای در کشور جز با برنامه‌ریزی‌های هدفمند، واقعی و فرابخشی درازمدت (و البته هماهنگ) تحقق نمی‌یابد. اقدامات انجام شده در کشور نیز تاکنون اثربخشی قابل قبولی در کاهش ریسک زلزله و بهبود مدیریت بحران نداشته است. لذا برای ارتقای ایمنی کشور در برابر زلزله می‌بایست اقدامات گسترده‌ای در حوزه‌های پیشگیری، آمادگی، واکنش اضطراری و بازسازی اجرا شود و راهکارهای لازم به منظور کاهش صدمات و تلفات ناشی از زلزله احتمالی با انجام سرمایه‌گذاریهای لازم و در قالب پروژه‌های کوتاه‌مدت تا بلند مدت به اجرا گذاشته شوند.

یکی از اقداماتی که به منظور شناخت وضعیت خطرپذیری لرزه‌ای کشور و بهبود عملیات واکنش اضطراری می‌بایست در مقیاس ملی به اجرا گذاشته شود، توسعه سامانه‌های ارزیابی اثرات زلزله می‌باشد. مطالعات مختلفی تاکنون در این خصوص در کشور انجام شده است که جنبه‌هایی از موضوعات مرتبط را مورد رسیدگی قرار داده‌اند. از آن جمله می‌توان به مطالعات مرکز مطالعات زلزله و محیط زیست تهران و جایکا (JICA and CEST, 2000)، مطالعات منصوری و همکاران (۱۳۹۰) و مطالعات قائمقامیان و همکاران (۱۳۸۹) اشاره کرد. همچنین مدلی برای برآورد اثرات زلزله در شهر تهران توسط سازمان پیشگیری و مدیریت بحران تهران با همکاری جایکا و دانشگاه خواجه نصیر توسعه داده شده است که برخی از المانهای برآورد ریسک را پوشش می‌دهد.

در این مقاله سعی شده است که ابتدا بر اساس مطالعات مهم انجام شده در این رابطه، ابعاد مختلف مدل‌های ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله بررسی شود و در نهایت پس از شناخت پارامترهای تاثیرگذار در این زمینه، مدلی ارائه گردد که بتواند در عین جامع بودن، نیازهای کشور را در حوزه شناخت آسیب‌پذیری و بهبود مدیریت واکنش اضطراری برآورده کند. بدین‌منظور لازم است ضمن ارزیابی مولفه‌های مهم در برآورد خسارات و تلفات ناشی از زلزله، الگوریتمها و مدلهای مورد نیاز و نیز نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مرتبط بررسی و ارزیابی گردد.

## کلیات مدل ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله

به منظور برنامه‌ریزی برای کاهش خطرپذیری لرزه‌ای و بهبود فرآیند واکنش اضطراری، وجود مدل ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله ضروری است. این مدل می‌بایست قابلیت انجام محاسبات قبل (براساس سناریوهای احتمالی) و پس از رخداد زلزله را داشته باشد. بدین مفهوم که مدل می‌بایست ضمن دارا بودن قابلیت برآورد اثرات احتمالی زلزله‌ها، به سرعت آخرین اطلاعات را از وقوع زلزله دریافت و تحلیل‌های لازم را برای تعیین اثرات بحران به صورت منطقه‌ای یا ملی انجام دهد. لذا در توسعه مدل لازم است به موضوعات زیر توجه نمود:

- مدل می‌بایست از لحاظ ساختاری قابل انعطاف بوده تا بتواند اطلاعات مربوط به کاهش خطرپذیری و مدیریت بحران را از ابعاد مختلف، شناسایی و تهیه نماید.
- مدل باید کاربردی باشد، به گونه‌ای که اقدامات مورد نیاز در جنبه‌های مختلف را با هدف اصلی کاهش خسارات و تلفات مشخص نماید.
- پیشرفت‌های اخیر در زمینه ارزیابی خطرات لرزه ای می‌بایست در این مدل مد نظر قرار گیرد.
- مدل می‌بایست قابلیت دستیابی به اهداف محاسباتی مطلوب را در اسرع وقت داشته باشد (قبل از زلزله: محاسبه خطرپذیری و جزئیات اطلاعات همراه با اعتماد به نتایج؛ بعد از زلزله: محاسبه دقیق اطلاعات مورد نیاز همراه با سرعت محاسباتی و اعتماد به نتایج).
- این مدل باید به سادگی در سرتاسر ایران نسبت به شرایط مختلف اجتماعی، اقتصادی، محیطی و نیز ساخت و سازهای مختلف قابل پذیرش و تطبیق باشد.
- مدل‌سازی باید به گونه‌ای باشد که قادر به تغییر و ارتقا نسبت به پیشرفت اطلاعات در آینده باشد (نوع جدید ساخت و ساز، اقدامات بازسازی، زلزله‌های آینده، توسعه و پیشرفت آینده در زمینه تکنولوژی).
- مدل می‌بایست توانایی ارائه راهکارهای مدیریت واکنش اضطراری در مدت زمان کمی پس از زلزله را داشته باشد.
- مدل می‌بایست با ساختار مدولار تهیه شده تا امکان توسعه در هر بخش را داشته و در عین حال امکان اصلاح و ویرایش یک مدول به گونه‌ای که دیگر بخش‌های مدل تحت تاثیر قرار نگیرد، فراهم باشد.

تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با ارزیابی تلفات و خسارات ناشی از زلزله به منظور شناسایی احتمالات موجود در خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی در اثر زلزله صورت گرفته است. به منظور ایجاد یک مدل کارآمد به منظور محاسبه تلفات و خسارات ناشی از زلزله می‌بایست مولفه‌های ریسک و آسیب‌پذیری تعیین شوند. بدین منظور، در ابتدا لازم است تا محدوده مورد نظر که در آن خطرات مرتبط با زلزله باید

بررسی شود، تعیین گردد. پس از این مرحله می‌بایست آسیب‌پذیری سازه‌ها و زیرساخت‌هایی که در معرض این گونه خطرات و در محدوده مورد مطالعه می‌باشند، تعیین شود و بعد از آن توزیع آسیب را می‌توان بر اساس کلاس‌های مختلف سازه‌ها با استفاده از توابع شکنندگی برآورد نمود. در گام بعد لازم است توزیع تلفات و مصدومان زلزله بر اساس توابع مرگ و میر تعیین گردد. تمامی این مراحل تشکیل‌دهنده مولفه‌های مورد نیاز برای راه‌اندازی یک سامانه ارزیابی خسارات و تلفات در فرآیند مدیریت بحران می‌باشند. در شکل شماره ۱ فلوچارت مورد نظر به منظور توسعه مدل ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله برای کشور ایران با رویکرد هوشمندسازی جهت کاهش ریسک و ارتقای مدیریت بحران ارائه شده است.

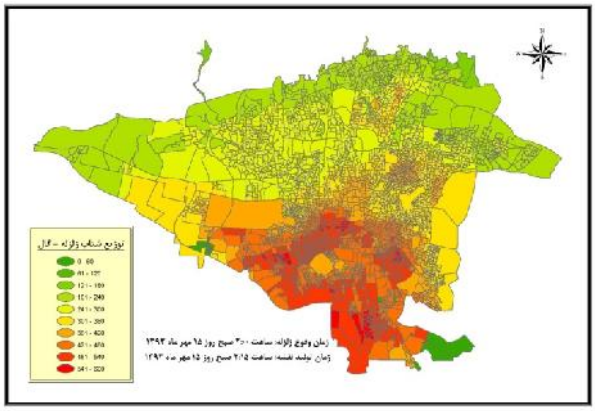
***شکل ۱: کلیات مدل ارائه شده به منظور ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله***

## بررسی مشخصات و ویژگی‌های مدول‌های مربوط به مدل ارائه شده و تعیین مولفه‌های مورد نیاز

معمولا تا شناختی درست و جامع از پارامترهای تاثیرگذار و سهیم در توسعه یک مدل جامع به منظور ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله فراهم نگردد و همچنین چگونگی ارتباط مابین این پارامترها مشخص نشده باشد، امکان رسیدن به نتیجه مطلوب میسر نخواهد شد.

- **مدول برآورد بزرگای زلزله:** در این مدول از اطلاعات جامع و کامل از وضعیت لرزه‌خیزی ایران به گونه‌ای که تمامی گسلهای فعال و غیر فعال در آن معین شده‌اند و همچنین یک تاریخچه کامل از زمین‌لرزه‌های به وقوع پیوسته در ایران از ابتدا تاکنون به همراه ریز جزئیات مربوط به آنها و همچنین اطلاعات زمین‌شناختی و حتی روابط مربوطه در این زمینه که تماما برای ایران بومی شده است، استفاده خواهد شد. همچنین با استفاده از یک شبکه لرزه‌نگاری که به صورت آن لاین به ارسال داده‌های زمین‌لرزه‌های اتفاق افتاده پرداخته و اطلاعات آن را به مرکز ارسال کند، بزرگی زمین‌لرزه‌های اتفاق افتاده در هر منطقه تعیین می گردد. در این مدول قابلیت استفاده از سناریوهای زمین‌لرزه‌های محتمل نیز ملحوظ شده تا امکان بررسی و ارزیابی خسارات و تلفات احتمالی ناشی از رخداد زلزله فراهم شود. لازم به ذکر است در این مدول از نتایج تحقیقاتی که توسط پژوهشگران دیگر انجام شده است و نیز از داده‌های شبکه لرزه‌نگاری و شتاب‌نگاری استفاده خواهد شد.
- **مدول برآورد جنبش زمین و مخاطرات مرتبط در سطح محدوده مورد نظر:** همانطور که اشاره شد در مدل توسعه داده شده، پس از رخداد زمین‌لرزه‌ای واقعی و یا براساس سناریوی زلزله که در مدول مربوط به "برآورد بزرگای زلزله" تعریف شده است می‌توان مشخصات زمین‌لرزه مانند شتاب، سرعت، جابجایی، بزرگا و .. را تعیین نمود. در مدول برآورد جنبش زمین و مخاطرات مرتبط، با استفاده از اطلاعات اخذ شده در مدول قبلی و براساس اطلاعات مربوط به کاهندگی، ضریب تشدید، ویژگی‌های زمین‌ساختی و

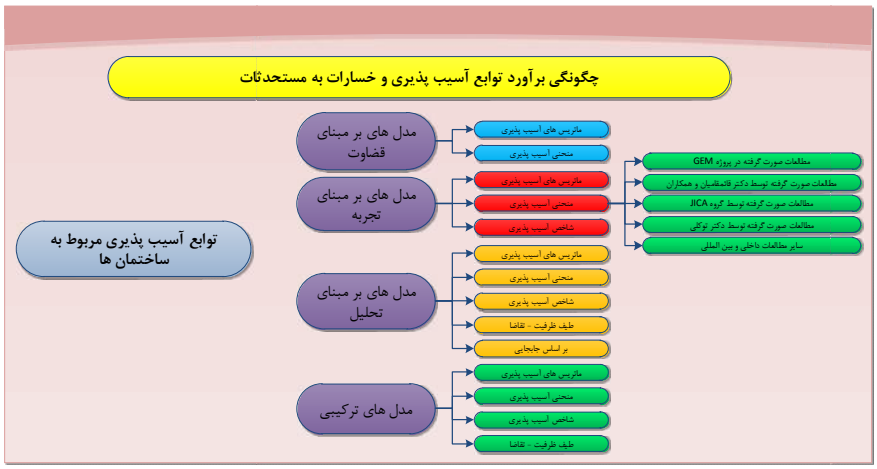
زمین‌شناسی و معرضیت، مشخصات زمین‌لرزه در سطح بلوک برای محدوده مورد نظر تعیین می‌شود. بدین‌ترتیب با داشتن اطلاعات زمین‌لرزه در مقیاس و تقسیم‌بندی‌های مکانی مناسب و بر اساس اطلاعات زمین‌شناختی می‌توان ویژگیهای جنبش شدید زمین را در سطح محدوده مورد مطالعه برآورد نمود. شکل ۲ نمونه‌ای از نتایج مدل برای تعیین شتاب زلزله در شهر تهران را نشان می‌دهد.



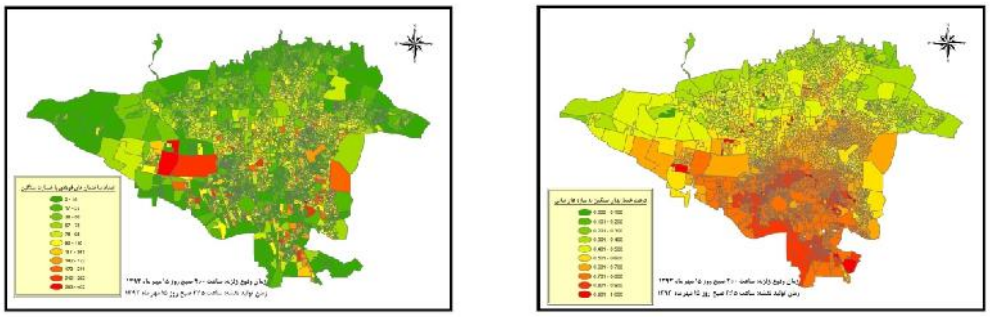
***شکل ۲: توزیع شتاب زلزله در سناریوی فعال شدن گسل ری برای شهر تهران***

- **توسعه بانک‌های اطلاعاتی مورد نیاز:** داده‌ها و اطلاعاتی که قبل از زلزله در رابطه با وضعیت سازه‌ای و انسانی و معرضیت آنها جمع‌آوری می‌شوند، جهت توسعه مدل ارزیابی خسارات و تلفات ناشی از زلزله بسیار ارزشمند می‌باشند. اگر چه تعیین ویژگی‌های این بانک‌های اطلاعاتی ساده است، اما گردآوری و تنظیم آنها بسیار زمان‌برتر و پرهزینه است. لذا کیفیت اطلاعات می‌تواند از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت باشد. هر یک از مدل‌های موجود برآورد خسارات و تلفات ناشی از زلزله، نیازمند ورودی‌های متفاوتی است. با این حال، اطلاعات ورودی عموما شامل محل ساختمان، سن، کاربرد، ارتفاع و نوع سازه ساختمان‌ها می‌باشد که اطلاعات آن توسط ممیزین جمع‌آوری شده است. دیگر اطلاعات می‌تواند شامل اطلاعاتی چون مقاومت سازه و تعداد طبقات باشد. در خصوص واکنش اضطراری نیز وضعیت کاربری‌هایی نظیر امکانات مراقبت‌های پزشکی (بیمارستان‌ها و مراکز درمانی)، مدارس (ابتدایی، راهنمایی و دانشگاهها) و خدمات اضطراری و ایستگاههای آتش‌نشانی، آمبولانس، ایستگاههای پلیس، خدمات اجتماعی و ارتش، می-بایست در مقایسه با سایر کاربری‌ها و نیز در مواجهه با رویداد زلزله مورد بررسی و در بانک اطلاعاتی وارد گردد. در این طرح از پایگاه اطلاعات رقومی سرشماری پارس و اطلاعات بر گرفته از مرکز آمار ایران که در برگیرنده اطلاعاتی همچون محل ساختمان، سال ساخت، نوع ساختمان، تعداد خانوار و ..... می باشد استفاده شده است. همچنین از داده‌های بانک اطلاعاتی توسعه داده شده در پروژه GEM-EMME که در سطح بلوک‌هایی به ابعاد ۵ کیلومتر در ۵ کیلومتر برای سراسر ایران تهیه شده است استفاده شده. در مقیاس شهری نیز از همین اطلاعات برای بلوک‌هایی به ابعاد حدود ۸۰۰ متر در ۸۰۰ متر بهره‌برداری می‌شود.
- **محاسبه آسیب‌پذیری مستحدثات:** تحلیل خرابی و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها یکی از مباحث مهم در تخمین تلفات و خسارات ناشی از زمین‌لرزه می‌باشد. این ارزیابی، اطلاعات با ارزشی را برای برنامه‌ریزی‌های پس از زمین‌لرزه و کاهش خطرپذیری در اختیار تصمیم‌گیران در حوزه مدیریت بحران قرار می‌دهد. بدین‌ترتیب مدول ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمانها و زیرساخت‌ها یکی از اصلی‌ترین مدولهای مدل ارزیابی تلفات و خسارات می‌باشد. آسیب‌پذیری لرزه‌ای یک سازه را می‌توان بصورت رفتار سازه نسبت به لرزش زمین در یک شدت خاص تعریف نمود. پس از تهیه اطلاعات مربوط به معرضیت در این مدول به برآورد شدت خسارات وارده به سازه‌ها پرداخته می‌شود. در این راستا می‌بایست به بررسی و تعیین خرابی‌های فیزیکی مستقیم و غیرمستقیم که شرح آنها در ذیل آمده است، پرداخته شود. خرابی‌های فیزیکی مستقیم عبارتست از خسارات وارده به مستحدثات ناشی از لرزش مستقیم زمین که تحت اثر زلزله ایجاد می‌گردد. روش‌هایی مختلف در گذشته برای ارزیابی آسیب‌پذیری پیشنهاد شده است، که به چهار طبقه اصلی تقسیم می‌شوند: روش‌های قضاوتی، روش‌های تجربی، روش‌های تحلیلی و روش‌های ترکیبی (شکل ۳). این تقسیم‌بندی بر اساس اینکه اطلاعات آسیب بر اساس مشاهدات بعد از زلزله، نظر کارشناسی، محاسبات آنالیزی و یا ترکیب اینها حاصل شده، انجام گرفته است. البته منابع مشاهده‌ای (داده‌های تجربی حاصل از مشاهدات بعد از زلزله) واقع گرایانه‌تر است چرا که تمامی جزئیات عملی مواجه شده در اندرکنش خاک- سازه، نوع ساختمان، ویژگی سایت، مسیر و ویژگی‌های منبع را به نوعی در نظر می‌گیرد. البته در این روش خطاهایی نیز در طبقه‌بندی ساختمان‌های آسیب‌دیده به ویژه برای حالت‌های آسیب اندک و کم در محاسبات دیده می‌شود. این مشکل به دلیل اجرای سریع ارزیابی‌ها و بررسی‌های بعد از زلزله توسط مهندسین با تجربیات مختلف و استفاده از

معیارهای تعریف شده ایجاد می‌شود. لازم به ذکر است که در این مطالعه از مدلهای توسعه داده شده بر مبنای روشهای تجربی برای محاسبه خسارات استفاده شده است. در شکل ۴ نتایج استفاده از مدل برای برآورد خسارات در ساختمانهای بنایی و اسکلت فلزی شهر تهران نشان داده شده است.




***شکل ۳: چگونگی برآورد توابع آسیب‌پذیری و خسارات مستحدثات***



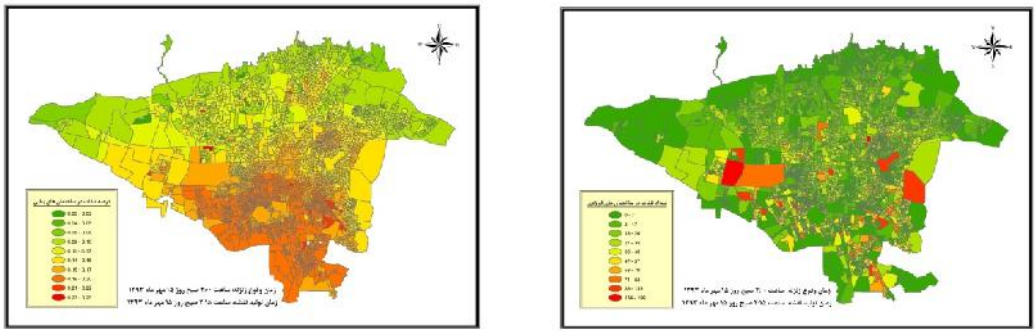
***(الف)*** ***( ب)***

***شکل ۴: درصد و تعداد خسارت سنگین به ساختمان های (الف) بنایی و (ب) اسلکت فلزی در سناریوی فعال شدن گسل ری برای شهر تهران***

- **مدول برآورد تلفات و آسیب‌های جانی ناشی از زلزله:** مهمترین هدف برنامه‌ریزی مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای، حفظ جان انسانها و کاهش صدمات جسمی و روحی ناشی از زلزله می‌باشد. از این رو با برآورد صحیح خسارات جانی می‌توان نسبت به برنامه‌ریزی برای کاهش تلفات اقدام نمود. البته برآورد صدمات انسانی (میزان کشته و زخمی‌شدگان) به علت پارامترهای فراوانی که در آن دخیل هستند، امری دشوار است. معهذا روشهایی به این منظور ارائه شده است که براساس شدت زلزله و میزان آسیب‌پذیری و وضعیت توزیع جمعیت و پارامترهای امدادی می‌توان برآوردی از تلفات بدست آورد. بدین‌منظور لازم است اطلاعات اساسی از توزیع جمعیت در انواع مختلف مستحدثات وجود داشته باشد تا با استفاده از توابع مرگ و میر بتوان تلفات و مصدومان احتمالی زلزله را پیش‌بینی و برآورد نمود. این اطلاعات به طور مؤثر در برنامه‌ریزی‌های مراحل آمادگی و برنامه‌ریزی عملیات مقابله در شرایط بحران مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های برآورد خسارت جانی از دیدگاههای متفاوت به سه دسته کلی تجربی، نیمه تجربی و تحلیلی قابل تقسیم می‌باشند (منصوری و همکاران، ۱۳۹۰). در روشهای تجربی، ملاک اطلاعات گزارش شده براساس شدت زلزله‌های بوقوع پیوسته (شدت دستگاهی زلزله مانند شدت اصلاح شده مرکالی یا مشابه) و آمار ساکنین، مجروحین و کشته شدگان طبق گزارشات و برداشتهای میدانی می‌باشد. در این نگرش، یک روند کلی از طریق برازش داده‌های مرتبط با زلزله‌های متعدد یک کشور یا منطقه یا جهان بدست می‌آید. اینگونه مدل‌ها البته ابتدایی بوده و از دقت پائینی برخوردار می‌باشند. در مدلهای نیمه تجربی، آمار جمعیت (شامل میزان تراکم جمعیت در شب و روز) براساس کاربری ساختمانها و میزان تخریب گونه‌های سازه‌ای موجود بدست می‌آید. برآورد میزان تلفات براساس تخمین جمعیت حاضر در هرگونه سازه‌ای در زمان وقوع زلزله و نیز در نظر گرفتن شدت زلزله و احتمال

فروریزش ساختمانها در شدت زلزله مورد نظر انجام می‌شود. احتمال فروریزش در این روش بصورت قضاوتی یا طبق تجربه زلزله‌های گذشته بیان می‌گردد. مدل تحلیلی بسیار مشابه روش نیمه تجربی است با این تفاوت که یک مدل تحلیلی مبین احتمال فروریزش گونه‌های سازه‌ای مورد نظر می‌باشد. خروجی این مدول بصورت درجه‌بندی میزان مصدومیت در سه سطح مشخص (سطح ۱: مرگ در لحظات اول، سطح ۲: جراحات جدی و تهدید کننده جانی و سطح ۳: جراحات سطحی) می‌تواند بیان شود. داده‌های ورودی لازم نیز عبارتند از: زمان وقوع زلزله، داده‌های بدست آمده از مدولهای دیگر برنامه و اطلاعات مختص مورد نیاز در مدول تلفات (مانند: کاربری) که به شرح زیر تعریف می‌گردند (شکل ۵):

- زمان وقوع زلزله: در این مدل، از منحنی رفتار ارائه شده در مطالعات منصوری (۱۳۹۰) استفاده شده است. این سناریوها برای در نظر گرفتن بیشترین میزان تلفات برای افراد در منازل مسکونی، افراد در محل کار یا مدرسه و افراد در طی ساعات پرتردد پیش بینی شده‌اند.
- داده‌های بدست آمده از مدولهای دیگر برنامه: این داده‌ها شامل توزیع جمعیت، بانک اطلاعات ساختمانی (توزیع گونه‌های ساختمان) و احتمال سطوح مختلف خسارت می‌باشند. این اطلاعات در مقیاس و تقسیم‌بندی‌های مکانی مناسب و براساس اطلاعات قابل دسترسی تهیه خواهد شد.
- اطلاعات مختص مورد نیاز در مدول تلفات (مانند: کاربری): این قسمت به برآورد تلفات ناشی از خسارت زیرساختها می‌پردازد و تلفات (شامل جراحات) ناشی از حملات قلبی، اثرات روانی، نشت مواد سمی، جراحات به وجود آمده در مراحل امداد و نجات در آن به حساب نمی‌آیند.



*(الف)* *(ب)*

***شکل ۵: درصد و تعداد تلفات در (الف): ساختمان‌های بنایی و (ب): اسکلت فلزی در سناریوی فعال شدن گسل ری برای شهر تهران***

## نتیجه‌گیری

در این مقاله خلاصه‌ای از مدل در حال توسعه ارزیابی اثرات زلزله در ایران که مبتنی بر اطلاعات و توابع بومی شده است، ارائه گردید. خروجی‌های این مدل در موارد زیر قابل استفاده می‌باشد:

- برنامه‌ریزی کاربری اراضی و تصمیم‌گیری امکانات مورد نیاز؛
- اولویت‌بندی در مقاوم‌سازی مستحدثات و بافتهای شهری (براساس برآوردهای خرابی و مصدومین حاصله)؛
- برنامه‌ریزی عملیات اضطراری در سطوح محلی، منطقه‌ای و استانی (براساس برآورد مصدومین و خرابی‌های ساختمانها و زیرساختهای امدادی)؛
- تعیین نیازهای پزشکی و اسکان موقت (براساس تخمین مصدومین و بی‌خانمانها)؛
- برنامه‌ریزی در حمایت از آسیب‌دیدگان (براساس خسارات ناشی از زلزله) و برآورد هزینه‌هائی که دولت باید برای حمایت و مدیریت امور آسیب‌دیدگان در مرحله بازسازی بپردازد.

با راه‌اندازی سامانه مرتبط با این مدل انتظار می‌رود تا امکان تعیین اثرات احتمالی زلزله (قابل استفاده در برنامه‌های پیشگیری) و نیز برآورد خسارات و تلفات (قابل استفاده در بهبود فرایند واکنش اضطراری) زلزله فراهم شود. البته لازم است که موضوعات مختلفی در آینده و در توسعه این مدل مورد توجه قرار گیرد که از آن جمله می‌توان به خطر آتش‌سوزی، نشت مواد خطرناک، وضعیت شریانهای حیاتی و زیرساختها، مخاطرات زمین‌شناختی همراه با زلزله (نظیر زمین لغزش، روانگرایی و فرونشست زمین) و بسیار موارد دیگر اشاره نمود. با توسعه چنین مدلهایی

می‌توان نسبت به برنامه ریزی توسعه پایدار در مناطق شهری و سایر سکونتگاهها توجه لازم مبذول گردد تا ضمن کاهش آسیب‌پذیری کشور در برابر زلزله، امکان بهبود اقدامات مدیریت واکنش اضطراری نیز فراهم شود.

## فهرست مراجع

قائمقامیان م (۱۳۸۹) تعیین ضرایب بزرگنمایی ساختگاه و استخراج توابع شکنندگی و روابط برآورد تلفات انسانی در اثر زلزله برای ساختمان های شهر تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

قائمقامیان م، امینی حسینی ک و همکاران (۱۳۹۰) برآورد خسارات ساختمانی و تلفات انسانی Δ مطالعه موردی منطقه یک شهر تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

قائمقامیان م و خانزاده ح (۱۳۸۷) طبقه بندی انواع ساختمان ها و برآورد تابع خسارت برای ساختمان های غیر مهندسی ساز در شهر بم، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

منصوری ب، امینی حسینی ک و همکاران (۱۳۹۰) توسعه مدل لرزه ای خسارت جانی (مطالعه موردی منطقه هفده شهر تهران)، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

Japan International Cooperation Agency, JICA and Center for Earthquake Studies of Tehran, CEST (2000), The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran, Main Report, Tehran, Iran

Kircher CA, Whitman, RV and Holmes WT (2006) HAZUS Earthquake Loss Estimation Methods", Natural Hazards Review, Vol. 7, No. 2, pp. 45-59

Oliveira CS, Mota de Sá F and Ferreira MA (2005) Application of Two Different Vulnerability Methodologies to Assess Seismic Scenarios in Lisbon", Proceedings of the International Conference: 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake, Lisbon, Portugal, Paper No. 37

Yeh CH, Loh CH and Tsai KC (2006) Overview of Taiwan Earthquake Loss Estimation System", Natural Hazards, Vol. 37, No. 1-2, pp. 23-37