

توسعه مدل احتمالاتی جهت تخمین تلفات جانی ناشی از زمین لرزه مبتنی بر مکانیسم خرابی ساختمان‌ها: مطالعه موردی منطقه ۳ تهران

محمد رضا ذوالفقاری

دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

mrzolfaghari@hotmail.com

سید محسن موسوی قیه قشلاقی

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

mmousavi@mail.kntu.ac.ir

کلید واژه‌ها: ارزیابی ریسک زمین لرزه، تلفات جانی، الگوی خرابی ساختمانی، کاهش فضای داخلی، مدل احتمالاتی

چکیده

بر اساس آخرین تحقیقات ارائه شده مشخص شده است که میزان تلفات و جراحات زمین‌لرزه با نحوه خرابی ساختمان‌ها و میزان کاهش فضای داخلی ناشی از ریزش آوار ارتباط مستقیم دارد و تاکنون مدل‌های ارائه شده برای تخمین تلفات، اثر این عوامل را در نظر نگرفته‌اند. در این پژوهش به طراحی و توسعه مدل احتمالاتی به منظور تخمین تلفات جانی بر اساس آسیب‌پذیری سازه‌ای، الگوهای خرابی ساختمانی و میزان کاهش فضای داخلی ساختمان در اثر ریزش آوار پرداخته شده است. همچنین سعی شده است تا علاوه بر آسیب‌پذیری ساختمانی عوامل جمعیتی نیز در نظر گرفته شود. برای تعیین جمعیت در معرض خطر درون ساختمان ضرابی تعریف شده و به جمعیت ساکن گزارش شده از سرشماری‌های جمعیتی اثر داده شده است.

با در نظر گرفتن احتمال هر یک از مراحل و با روش درخت منطقی ماتریس احتمالاتی تلفات و جراحات بر اساس نوع آسیب وارده و شدت آسیب، مختص هر یک از ساختمان‌ها بدست می‌آید. با اثر دادن این ماتریس در تعداد افراد در معرض خطر تعداد افراد به تفکیک نوع و شدت آسیب وارده تخمین زده می‌شود. در ادامه با استفاده از مدل پیشنهادی، تحلیلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی و تلفات جانی برای ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری شهر تهران و با استفاده از سناریوهای محتمل شبیه‌سازی شده برای شهر تهران انجام شده و مقادیر تلفات و جراحات پیش‌بینی شده ارائه شده است.

مقدمه

با وجود پیشرفت‌ها و دستاوردهای شگرف فناوری در سده گذشته در بیشتر مناطق جهان روند کاهش خسارت‌های جانی زلزله در مقیاس جهانی به نسبت کم بوده و در آغاز سده بیست و یکم شاهد کشته‌شدگان زیاد و روستاها و شهرهای تخریب شده هستیم. تلفات جانی و مجروحین به عنوان مهم‌ترین ضربه‌ی اجتماعی ناشی از زلزله هستند. از این رو بررسی چگونگی فرایند مرگ و میر و عوامل موثر بر آن به منظور کاهش تلفات و جراحات با استفاده از مدل‌های تخمین تلفات اهمیت فراوان دارند.

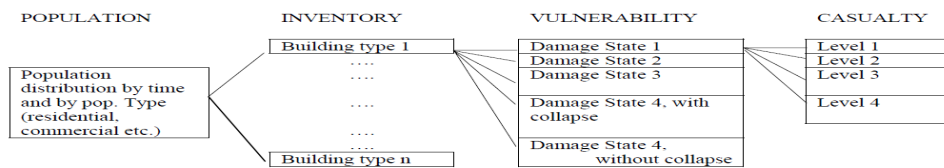
اولین گام در زمینه کاهش تلفات ناشی از زلزله‌ها شناخت عوامل و پدیده‌های موثر در تلفات می‌باشد. ارتباط بین بسیاری از پارامترهای زلزله و میزان تلفات به اثبات رسیده است که از جمله این عوامل می‌توان به شدت زلزله، شتاب زلزله، تراکم جمعیتی منطقه، عمق زلزله، مدت زمان زلزله و زمان روی دادن آن و عکس‌العمل و رفتار انسانی اشاره نمود. اکثر مدل‌های ارائه شده به صورت منطقه‌ای بر اساس تجزیه و تحلیل‌های آماری و رگرسیون^۱ داده‌ها بین میزان تلفات و شدت زلزله و میزان ساکنین حاصل از زلزله‌های پیشین بدست آمده و از این رو مدل‌های تجربی نامیده شده‌اند.

^۱ REGRESSION



اولین تحقیقات قابل توجه پس از زمین‌لرزه بزرگ نوبی ژاپن در سال ۱۸۹۱ میلادی آغاز شده است. به دلیل ماهیت تصادفی پدیده مرگ و میر در اثر زمین‌لرزه مدل‌های ابتدایی سعی بر تخمین نه چندان دقیق تلفات بر اساس شدت و مقیاس بزرگی زمین‌لرزه داشته‌اند. اولین مدل توسط کاواسومی در سال ۱۹۵۴ ارائه شد (Kawasumi H (1954))، در ادامه روابط رگرسیونی به عنوان توابع آسیب‌پذیری^۲ انسانی برای انواع مختلف سازه‌ها توسط محققین دیگر مانند اوهارا، اوکادا و میاکوشی ارائه شده است (Okada, Kagami (1991a)). میزان قابلیت اعتماد این مدل‌ها ارتباط مستقیمی با کافی بودن داده‌ها و در دسترس بودن آن‌ها دارد که دسترسی به این‌گونه داده‌ها بسیار مشکل می‌باشد. به منظور غلبه بر این مشکلات روش‌های نیمه تجربی و تحلیلی برای تخمین تلفات مورد توجه قرار گرفت.

مدل‌ها تحلیلی میزان تلفات و جراحات را با استفاده از میزان تخریب سازه‌ها در اثر زلزله بدست می‌آورند. احتمال خرابی سازه‌ها تحت اثر شتاب زلزله و همچنین احتمال تلفات و جراحات در اثر قرار گرفتن سازه‌ها در سطوح مختلف خرابی نقش اساسی را در تخمین تلفات بر اساس روش‌های تحلیلی ایفا می‌کنند (Coburn and Spence (2002)). اولین مدل‌ها در این زمینه توسط ویتمن و آیین‌نامه ATC-13 آمریکا ارائه شده است (Coburn et al (1987)). در سال ۱۹۹۲ مدلی تحلیلی توسط کوبرن و همکاران ارائه شد (Coburn et al (1992)). در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۳ آیین‌نامه‌های HAZUS99 و HAZUS-MH با همکاری موسسه ملی علوم ساختمان^۳ ارائه شدند (FEMA, (1999)).



شکل ۱: روش درخت منطقی مورد استفاده توسط روش HAZUS (HAZUS-MH-MR3 (2003))

در مقایسه با تابع آسیب‌پذیری سازه که می‌تواند به صورت تابعی از شدت زمین‌لرزه بیان شود، رابطه بین میزان مرگ و میر با خسارت سازه‌ای وارد به ساختمان بسیار پیچیده بوده و تابع بسیاری از عوامل است. تحقیقات صورت گرفته توسط اوکادا در سال ۱۹۹۱ نشان داد که احتمال وقوع مرگ و میر تا حد بسیار زیادی به میزان کاهش فضای داخلی سازه مرتبط است (Furukawa et al (2010)).

در ادامه هنگ جیان و همکاران در سال ۲۰۰۱ این نتیجه رسیدند که استفاده از سطوح خرابی سازه‌ای معمول روش مناسبی برای تعیین تلفات انسانی نیست. آن‌ها پیشنهاد نمودند که در سطوح خرابی با شدت زیاد دسته‌بندی جدیدی برای متمایز کردن خانه‌های ویران شده‌ای که دارای یک فضای خالی حیات بخش هستند از سایرین اعمال گردد (Hengjian et al (2003)). تاباتا و همکاران سعی بر توسعه مدل تخمین تلفات بر اساس رابطه تجربی بین میزان تخریب سازه‌ای و کاهش فضای داخلی برای سازه‌های چوبی داشته‌اند (Tabata et al (2004)). همچنین تحقیقاتی با مدل‌سازی‌های پیشرفته به کمک روش المان‌های گسسته سه بعدی^۴ توسط فوروکاوا و همکاران صورت گرفته است. در این مطالعه رابطه بین میزان خسارت سازه‌ای و میزان کاهش فضای داخلی سازه‌ها و همچنین رابطه بین کاهش فضای داخلی و میزان احتمال وقوع مرگ و میر و جراحات بدست آمده است (Furukawa et al (2009)). در این مقاله به تشریح مدل پیشنهادی احتمالاتی برای تخمین تلفات جانی در ساختمان‌های مسکونی در اثر زمین‌لرزه با در نظر گرفتن بسیاری از پارامترهای مؤثر در فرآیند تلفات جانی پرداخته شده است.

مدل احتمالاتی پیشنهادی این مطالعه برای تخمین تلفات جانی زمین لرزه

بر اساس مشاهدات عامل اصلی تلفات، آسیب‌های سازه‌ای مخصوصاً تخریب ساختمان‌های مسکونی می‌باشد. تاکنون تحقیقات بسیاری در مورد تقسیم‌بندی شدت تخریب ساختمان‌ها در اثر زمین‌لرزه صورت گرفته این دسته‌بندی‌ها بیشتر به منظور ارزیابی آسیب ساختمان‌ها از لحاظ سازه‌ای مناسب بوده و الگوهای خرابی^۵ را که عامل بسیار مهم و حیاتی در ارزیابی آسیب‌های انسانی می‌باشد را در نظر نمی‌گیرند (Hengjian et al (2003)). از این رو در این مدل احتمالاتی سعی بر آن است تا علاوه بر در نظر گرفتن آسیب‌پذیری سازه‌های الگوهای خرابی محتمل برای هر یک از تیپ‌های ساختمانی در نظر گرفته شود. در شکل (۲) الگوریتم و سازوکار مدل پیشنهادی ارائه شده است. در این مدل با استفاده از روابط کاهندگی شدت شتاب بر روی سازه‌ی مورد نظر که مرکز یک واحد مسکونی می‌باشد، بدست می‌آید. سپس بر اساس نوع سازه و سیستم سازه‌ای آن و با استفاده از نمودارهای شکنندگی مخصوص میزان آسیب وارده مشخص می‌شود. با توجه به این که فرایند مرگ و میر بیشتر در سازه‌های با تخریب بالا و آسیب شدید دیده می‌شود در نتیجه میزان آسیب‌پذیری سازه فقط در دو سطح تخریب کامل و تخریب شدید ارزیابی می‌شود. در

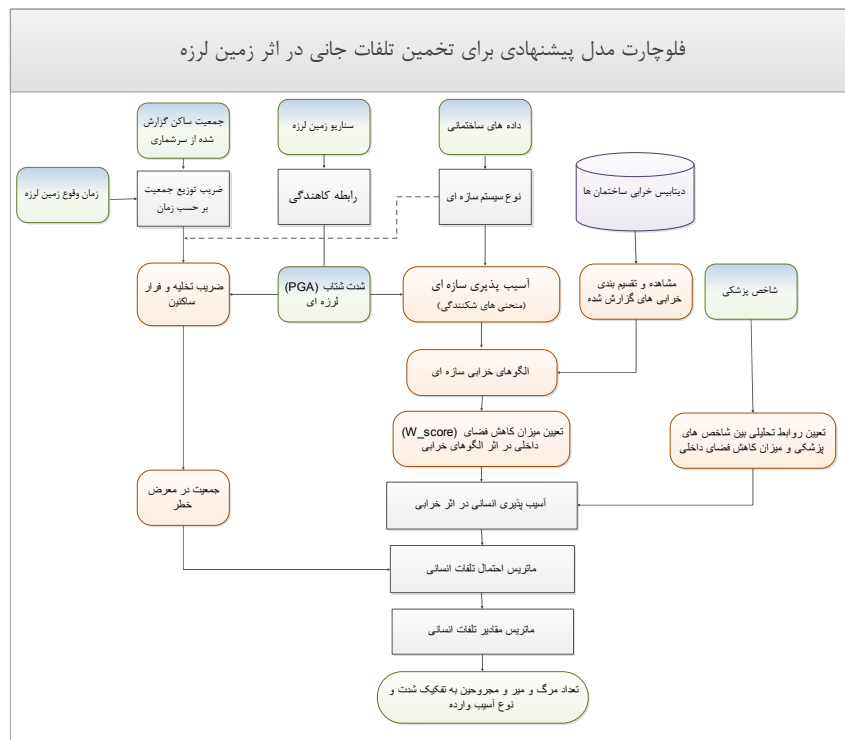
² Vulnerability function

³ NIBS: national institute of building science

⁴ 3-Dimensional Distinct Element Method (3D-DEM)

⁵ Damage pattern

ادامه بایستی الگوهای خرابی برای هر یک از سطوح آسیب در نظر گرفته شود همان طور که بیان شد الگوهای خرابی سازه و در نتیجه میزان کاهش فضای داخلی نقش بسیاری در فرایند تخمین تلفات دارد.
به منظور ارزیابی بهتر نوع آسیب وارده به مجروحین شاخص های جراحت^۶ مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۲: الگوریتم و سازوکار پیشنهادی برای تخمین تلفات جانی زمین لرزه

با انجام فرایند فوق برای هر سازه یک ماتریس که میزان احتمال وقوع هر فرد در یک سطح خاص از یک نوع شاخص جراحت را نشان می دهد به دست می آید و اصطلاحاً به آن ماتریس تلفات انسانی^۷ گفته می شود. با ضرب این ماتریس در تعداد افراد تحت خطر زمین لرزه تعداد افراد مجروح و تعداد تلفات بدست می آید.

نحوه مدل سازی الگوهای خرابی سازه ای

در نتیجه تحقیقات اوکادا و تاکایی بعد از زلزله ی ۱۹۹۵ کوبه ی ژاپن، چارتهی برای تعیین مشخصات الگوی خرابی های مختلف ساختمان ها در مقابل آسیب پذیری ساختمان ارائه شد که در بررسی های بعد از زلزله مورد استفاده قرار گیرد؛ اما قسمت اعظم این تحقیق در رابطه با ساختمان های چوبی بوده است. علاوه بر این تحقیقاتی از سال ۲۰۰۴ بر روی اشکال خرابی سازه ها انجام شده است که هدف از آن تهیه ی یک بانک اطلاعات خرابی برای ساختمان ها بر اساس خرابی در زلزله های گذشته است. نمونه ای از کاتالوگ خرابی که شامل انواع مختلف خرابی های ساختمان ها از لحاظ تغییرات در ویژگی های هندسی ساختمان مانند کاهش میزان حجم، کاهش ارتفاع سازه نسبت به حالت اولیه، انحراف و کج شدگی^۸ و غیره می باشد، توسط مارکوس و همکاران در قالب سیستمی جدید از طبقه بندی ساختمان های خراب شده ارائه شده که به دلیل قابلیت استفاده برای تخمین تلفات جانی زمین لرزه حائز اهمیت می باشد (Schweier et al (2004)). به منظور تعیین فراوانی وقوع الگوهای خرابی، دیتابیس بزرگی از سازه های تخریب شده در زلزله های متفاوت جمع آوری شد. برای تهیه این بانک اطلاعاتی از گزارشات و تصاویر زلزله های مهم که از زلزله ی ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو شروع و به زلزله ی ۲۰۱۰ شیلی ختم می شود، شامل ۱۵۹ گزارش و ۹۰۰۰ عکس بوده، استفاده شده است. ۴۷، ۳۸، ۶ و ۹ درصد از اطلاعات موجود در این دیتابیس به ترتیب مربوط به اطلاعات زلزله ایران، ترکیه، هائیتی و ما باقی کشورها می باشد (احسان حسین زاده ارومی، ۱۳۹۰). دیتابیس جمع آوری شده توسط ذوالفقاری و حسین زاده (۱۳۹۰) که به آن اشاره شد از لحاظ تطابق آن با کاتالوگ لرزه ای



















⁶ Injury criteria

⁷ Casualty matrix

⁸ Inclination



ارائه شده توسط مارکوس و همکاران مورد بررسی قرار گرفته و درصد فراوانی وقوع برای هر یک از الگوهای خرابی به تفکیک نوع ساختمان و سطح خرابی ساختمان تخمین زده شد.

 1. Inclined plane	 2. Multi layer collapse	 3. Outspread multi layer collapse	 4 a) Pancake collapse, first floor	 4b) Pancake collapse, intermediate story	 4c) Pancake collapse, upper story
 5. Pancake collapse, all stories	 5a) Pancake collapse, several lower stories	 5b) Pancake collapse, intermediate stories	 5c) Pancake collapse, upper stories	 6. Heap of debris on uncollapsed stories	 7a) Heap of debris
 7b) Heap of debris with planes	 7c) Heap of debris with vertical elements	 8. Overturn collapse, separated	 9a) Inclination	 9b) Overturn collapse	 10. Overhanging elements

شکل ۳: الگوهای خرابی (SCHWEIER and MARKUS (2006))

پس از به دست آوردن سطح آسیب پذیری سازه‌ها و همچنین برای الگوهای خرابی ممکن برای هر تیپ ساختمانی حال بایستی رابطه بین الگوهای خرابی با میزان آسیب پذیری انسانی مورد بررسی قرار گیرد. اوکادا و تاکایی در سال ۱۹۹۹ شاخصی به نام آسیب فضای داخلی یا کاهش فضای داخلی ارائه داده و نشان دادند که رابطه مستقیمی بین این شاخص و آسیب‌های وارده به افراد وجود دارد (Okada S, Takai N (1999)).

شاخص‌های پیشنهادی کاهش فضای داخلی (W_Score)

این شاخص‌ها به چهار دسته تقسیم می‌شوند و هر کدام به نوعی میزان آسیب وارده به فضای داخلی سازه را نشان می‌دهند. این شاخص‌ها اصطلاحاً شاخص‌های W^۹ نامیده شده و به صورت عددی بین صفر و یک بیان می‌شوند. شاخص اول با نام شاخص کاهش سطحی^{۱۰} شناخته شده و از نسبت مساحت کاهش یافته سطح افقی (A1) به سطح افقی اولیه بدست می‌آید (Tabata and Takai, Okada(2004)).

شاخص‌های پزشکی استفاده شده برای تخمین تلفات

تاکنون مدل‌های ارائه شده برای تخمین تلفات زمین‌لرزه آسیب‌پذیری انسانی را فقط از لحاظ شدت آسیب و جراحت وارده به فرد مورد بررسی قرار داده‌اند و نوع و کیفیت جراحت مورد توجه قرار نگرفته است. جراحات وارده با استفاده از شاخص‌های جراحت بررسی می‌شوند در واقع این شاخص‌ها توابعی هستند که پارامترهای فیزیکی (مانند شتاب و نیرو) را به احتمال جراحت قسمت‌های معینی از بدن فرد مرتبط می‌سازند. در مدل ارائه شده چندین شاخص پزشکی که نشان دهنده کیفیت آسیب و شدت وارده به فرد در اثر زمین لرزه باشد مورد استفاده قرار گرفته است. مورد اول شاخص جراحت سر (HIC)^{۱۱} می‌باشد که از این شاخص به منظور ارزیابی آسیب احتمالی وارده به سر در اثر فرو ریزش آوار استفاده می‌شود. مورد دوم شاخص جراحت سینه (Chest-G) این شاخص برای آسیب پذیری جراحت وارده بر سینه در اثر ریزش و اصابت آوار در حالی که فرد در حالت دراز کش قرار دارد استفاده می‌شود و مورد سوم شاخص فشار وارده به فرد (compression-G) می‌باشد (Cihalova, L.Hyncik(2008)).

ارتباط آسیب‌پذیری انسانی با خرابی ساختمان‌ها

میزان و چگونگی آسیب وارده به افراد نسبت مستقیم با کاهش فضای داخلی ساختمان به ویژه کاهش سطحی (W1) دارد. از این رو برای تعیین آسیب‌پذیری انسانی^{۱۲} نیاز به توسعه روابط بین شاخص‌های کاهش سطحی که بیانگر میزان تخریب ساختمان است، با شاخص‌های پزشکی معرفی شده که نشان دهنده سطح آسیب وارده به فرد در اثر ریزش آوار است، می‌باشد. در این صورت با در دست داشتن تغییرات شاخص کاهش سطحی می‌توان درباره نحوه و چگونگی آسیب‌دیدگی افراد و شدت آسیب‌دیدگی تخمین درست و منطقی داشت. در این پژوهش از روابط توسعه داده شده توسط فوروکاوا و همکاران (۲۰۰۹ و ۲۰۱۰) استفاده شده است. نمودارهای آسیب‌پذیری بر حسب شاخص کاهش سطحی (W1) و احتمال روی داد برای هر شاخص پزشکی و هر شدت آسیب در زیر ارائه شده است.

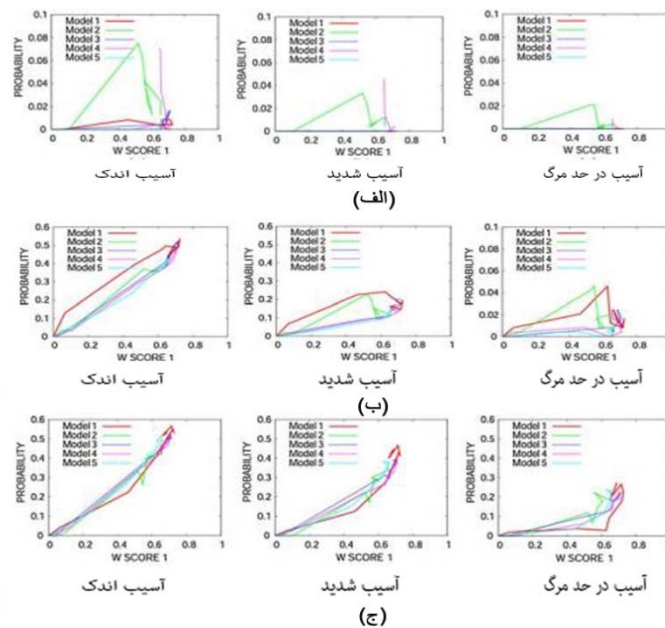
⁹ W_score

¹⁰ Plane loss

¹¹ Head Injury Criterion (HIC)

¹² Human vulnerability

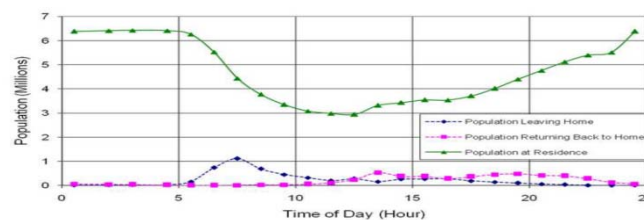




شکل ۴: رابطه بین شاخص کاهش سطحی و احتمال آسیب دیدگی (الف) از ناحیه سر (HIC) (ب) از ناحیه سینه (Chest-G) (ج) در اثر فشار (compression) (Furukawa et al (2009))

عوامل جمعیتی موثر بر میزان تلفات

همان‌طور که در فصل قبل اشاره شد یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان تلفات و جراحت جمعیت تحت خطر و توزیع جمعیت می‌باشد. در واقع میزان تلفات تابعی از تعداد جمعیت و تراکم جمعیتی منطقه‌ی تحت خطر می‌باشد. زمان روی دادن زمین‌لرزه تأثیر زیادی بر میزان تلفات دارد. از یک سو عکس‌العمل و رفتار ساکنین در برابر زمین‌لرزه تابع زمان لرزه بوده و از سوی دیگر زمان روی دادن زمین لرزه مشخص کننده درصد اشغال ساختمان و تعداد افراد حاضر درون ساختمان می‌باشد. از این رو بدست آوردن تابع توزیع جمعیتی ساکنین بر حسب زمان برای تخمین افراد در معرض خطر زمین لرزه بسیار مهم و حیاتی می‌باشد. در این مدل از نتایج ارائه شده توسط منصور و همکاران (۱۳۹۰) که بر اساس سرشماری و آمار ترافیکی شهر تهران بوده، استفاده شده است (منصوری و همکاران (۱۳۹۰)).



شکل (۵): توزیع جمعیتی ساکنین بر حسب زمان (منصوری و همکاران (۱۳۹۰))

طبیعتاً پس از وقوع زمین‌لرزه و احساس آن، ساکنین سعی بر فرار و تخلیه کردن ساختمان خواهند نمود. زمان خروج از ساختمان وابسته به عوامل زیادی از قبیل اندازه واحد مسکونی، تعداد طبقات، پیچیدگی نقشه، تعداد افراد در حال خروج و سن افراد می‌باشد (Coburn and Spence (2002)). به منظور تخمین افراد تخلیه شده در این مدل از ضرایب ارائه شده توسط مدل کوبرن که در تحقیقات جایکا برای ساختمان‌های تهران اصلاح و ارائه شده بود، استفاده می‌شود. در این تحقیقات میزان افراد محبوس شده در اثر ریزش ساختمان‌ها تابعی از نوع ساختمان و شدت زمین لرزه بر حسب مقیاس مرکالی^{۱۳} (MMI) می‌باشد (JICA, 2000). با اعمال ضرایبی که در نظر گیرنده زمان روی دادن لرزه و امکان فرار ساکنین در طول زمین‌لرزه هستند، در جمعیت ساکن می‌توان تخمینی از افراد در معرض خطر بدست آورد. جمعیت در معرض خطر در واقع به افرادی گفته می‌شود که امکان فرار در زمان زلزله را نداشته و در طول زمان روی دادن زمین لرزه درون ساختمان حضور داشته‌اند.

$$population \ exposure = population * Occupancy \ rate * Escape \ \& \ evacuation \ rate$$

¹³ Modified mercali Intensity

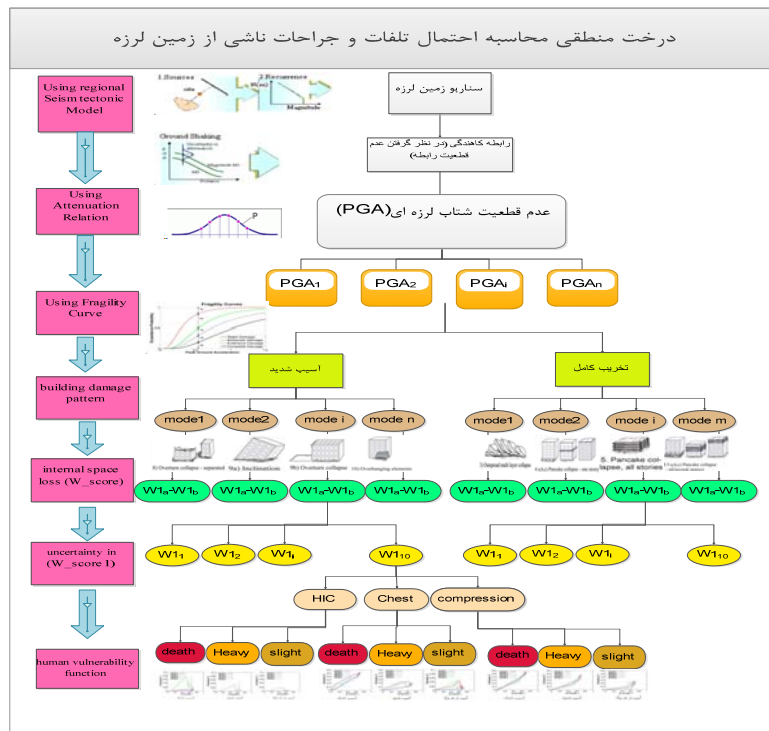


جدول 1: درصد محبوس شدگان در اثر فرو ریزش ساختمان‌ها (JICA, 2000)

شدت MMI	خشت و آجر	تعداد محبوس شدگان در اثر ساختمانهای فروریخته (واحد:%)						ضرب M ₀
		تمام خوب	بتن مسلح - 2	بتن مسلح - 1	اجری - فولادی	فولادی - 2	فولادی - 1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2	1	1	1	1	1	1	3
8	10	4	4	4	4	4	4	10
9	30	15	15	15	15	15	15	30
10	60	30	30	30	30	30	30	60
11	90	45	45	45	45	45	45	90
12	100	50	50	50	50	50	50	100

محاسبه ماتریس احتمال تلفات و جراحات

روند محاسبه احتمال برای هر نوع آسیب و سطح شدت بر پایه‌ی درخت منطقی استوار است. در درخت منطقی هر گره نشان دهنده‌ی یک پارامتر غیر مطمئن و شاخه‌های توسعه یافته از هر گره نشان دهنده‌ی جایگزین‌های احتمالی برای نشان دادن عدم قطعیت می‌باشد. با ضرب احتمال شاخه‌ها در هم برای هر نوع آسیب و سطح شدت یک مقدار احتمال بدست می‌آید. حاصل جمع احتمال ضرب شده برای شاخه‌ها یک ماتریس سه در سه می‌باشد که ستون‌ها نشان دهنده‌ی نوع آسیب که از شاخص‌های پزشکی بدست آمده و سطرها که نشان دهنده شدت آسیب وارده می‌باشند. رابطه نیز ماتریس احتمالی تلفات را نشان می‌دهد که برای هر سازه منحصر به فرد بوده و تابعی از نوع ساختمان، نوع سیستم سازه‌ای، شتاب وارده به سازه، الگوهای خرابی در نظر گرفته شده برای سازه و کاهش فضای داخلی هر یک از مودها می‌باشد.



شکل 6: فلوچارت درخت منطقی استفاده شده برای محاسبه احتمالات

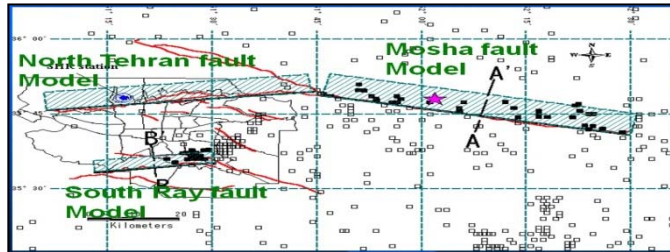
$$\text{casualty probability Matrix} = \begin{matrix} & \text{HIC} & \text{ChestG} & \text{compression} \\ \begin{matrix} \text{death} \\ \text{heavy} \\ \text{slight} \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{21} \\ P_{31} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} P_{12} \\ P_{22} \\ P_{32} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} P_{13} \\ P_{23} \\ P_{33} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

تخمین مقدار تلفات و جراحات

برای بدست آوردن تعداد افراد مرده و تعداد افراد مجروح بایستی ماتریس احتمال تلفات را در تعداد افراد در معرض خطر که در قسمت قبل بدست آمده به صورت درایه به درایه ضرب کرد. در این صورت تعداد افراد به تفکیک نوع و شدت آسیب محاسبه می‌شود.

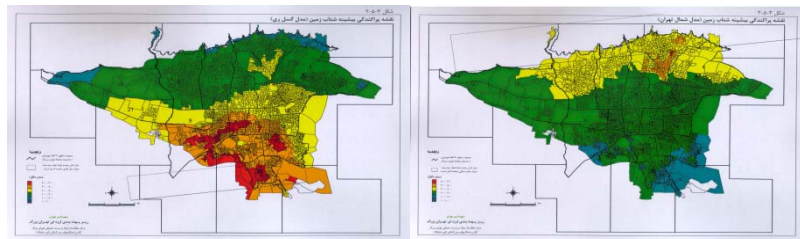
مطالعه موردی تخمین تلفات جانی برای منطقه ۳ شهری تهران

در ادامه با استفاده از مدل پیشنهادی، تحلیلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی و تلفات جانی برای ساختمان‌های منطقه ۳ شهرداری تهران با در دست داشتن اطلاعات ساختمانی این منطقه با دقت پارسل و اطلاعات جمعیتی برای بلوک‌های آماری و با در نظر گرفتن سناریوهای لرزه‌ای محتمل برای این منطقه انجام شده و مقادیر تلفات و جراحات احتمالی بدست آمده است. به منظور ارزیابی و مقایسه نتایج روش پیشنهادی برای تخمین تلفات از روش تخمین تلفات ارائه شده توسط آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) که سابقاً نیز برای تخمین تلفات کل شهر تهران بکار گرفته شده بود و گزارشات آن برای تمامی مناطق شهر تهران منتشر شده است، استفاده شده است.



شکل ۷: موقعیت زلزله‌های سناریو و فاصله تا منطقه ۳

مطالعه موردی بر اساس سناریوهای لرزه‌ای ناشی از محتمل‌ترین گسل‌های بررسی شده بر اساس گزارشات جایکا صورت گرفته است که این سناریوها عبارتند از گسل شمال تهران (طول: حدود ۹۰ کیلومتر) و گسل ری جنوبی (طول: حدود ۲۰ کیلومتر). مقادیر بیشینه شتاب گزارش شده توسط جایکا برای سناریوهای محتمل به صورت زیر بوده و نقشه پراکندگی بیشینه شتاب زمین در نشان داده شده است و در نتیجه برای مدل پیشنهادی نیز از این شتاب‌های گزارش شده استفاده شده است.



شکل ۸: نقشه پراکندگی بیشینه شتاب زمین مدل گسل ری و مدل گسل شمال تهران (JICA, 2000)

نتایج مطالعه موردی بر اساس سناریوهای لرزه‌ای

در جدول زیر مقادیر تلفات ناشی از سناریوهای لرزه‌ای محتمل برای منطقه ۳ برای هر دو روش پیشنهادی و روش جایکا ارائه شده است. با توجه به نتایج می‌توان مشاهده نمود که مقادیر تلفات (مرگ) برای روش پیشنهادی برای دو سناریو لرزه‌ای گسل شمال تهران و گسل ری که در نتیجه آن‌ها بیشینه شتاب بالایی در منطقه مشاهده شده، کمتر از مقادیر ارائه شده توسط جایکا می‌باشد.

جدول ۲: گزارش تلفات جانی برای سناریوهای مختلف

روش پیشنهادی	روش جایکا	سناریو زمین لرزه
4031	10944	مدل گسل شمال تهران
3257	4750	مدل گسل ری

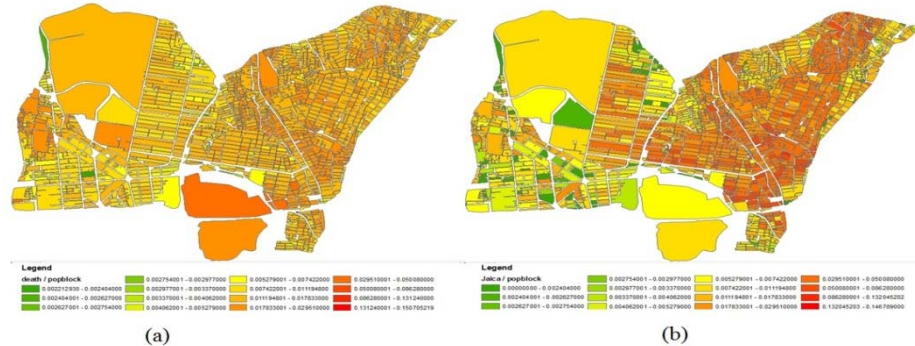
نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تخمین سریع تلفات و آسیب‌دیدگی بلافاصله پس از روی دادن زمین‌لرزه تهیه شده است. در این پایان‌نامه هدف در نظر گرفتن الگوهای خرابی ساختمان‌ها و میزان کاهش حجم داخلی برای این الگوها و بررسی اثر آن‌ها بر روی تلفات بوده است. در این بررسی سعی شده تا عدم قطعیت‌های بیشتری از فرآیند مرگ و میر در اثر زمین‌لرزه در نظر گرفته شود. با داشتن اطلاعات کافی می‌توان احتمال تلفات و



جراحات را برای هر یک از ساختمان‌ها بدست آورد و همچنین احتمال نوع آسیب‌دیدگی و به دام افتادن درون ساختمان نیز محاسبه شده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق می‌توان به نتایج ذیل دست یافت:

- ✓ ارائه روش تحلیلی برای تخمین تلفات بر اساس نحوه خرابی ساختمان
- ✓ بدست آوردن تلفات و آسیب‌پذیری افراد بر اساس نوع و شدت جراحات وارده



شکل ۹: توزیع مکانی تلفات جانی در اثر سناریو گسل ری الف) بر اساس روش پیشنهادی (ب) روش جایکا

فهرست مراجع

حسین‌زاده ارومی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، (۱۳۹۰) پایان نامه کارشناسی ارشد "مدل‌سازی الگوهای خرابی و گونه‌های فروریزش مختلف ساختمان‌های شهری در زمان وقوع زمین‌لرزه"

منصوری ب و همکاران "توسعه مدل لرزه‌ای خسارت جانی-مطالعه موردی منطقه هفده از شهر تهران" گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

Coburn AW, Spence PR and Pomoni A (1992) "factors determining human casualty in earthquake mortality prediction in building collapse" earthquake ENGINEERING tenth world conference

Furukawa A and Yutaka O (2009) "Failure process of masonry buildings during earthquake and associated casualty risk evaluation" Nat Hazards 49:25-51

Aiko Furukawa, Robin Spence, Yutaka O and So E (2010) "Analytical study on vulnerability functions for casualty estimation in the collapse of adobe buildings induced by earthquake" Bull Earthquake Eng 8:451-479

Schweier C, Markus M and Steinle E (2004). Simulation of earthquake caused building damages for the development of fast reconnaissance techniques

Christine S and Michael M (2006) "Classification of Collapsed Buildings for Fast Damage and Loss Assessment" Bulletin of Earthquake Engineering (2006) 4:177-192

Coburn A and Spence R (2002) Earthquake protection, 2nd edn. Wiley, Chichester

Coburn A, Murakami W, Ohashi H and Yutaka O (1987) "Factors affecting fatalities and injury in earthquakes: Internal report December 1987." Japan. Hokkaido University. Department of Architectural engineering

FEMA (1999) "HAZUS99 user and technical manuals". Federal Emergency Management Agency Report: HAZUS

HAZUS-MH-MR3 (2003) Earthquake Model Technical Manual, Federal Emergency Management agency, Washington, DC

Hengjian et al, "building damage and casualties after earthquake" natural hazard, 2003, (29):384-403

japan international corporation agency, JICA, 2000 the study on seismic microzonation of the greater Tehran

area in the Islamic republic of iran , final report, main report SSF JR 00-186

Kawasumi H (1954) Intensity and magnitude of shallow earthquakes. *Bur Cent Seism Intern* 19:99–114

Cihalova L and Hyncik L (2008) “Impact injury prediction by FE human body model” *Applied and Computational Mechanics* 2 243–254

LU HENGJIAN et al. (2003) “Building Damage and Casualties after an Earthquake Relationship between Building Damage Pattern and Casualty Determined Using Housing Damage Photographs in the 1995 Hanshin-Awaji Earthquake Disaster” *Natural Hazards* 29: 387–403, 2003. © 2003 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands

Tabata N, Takai N, Okada S ”CASUALTY ESTIMATION MODEL BASED ON THE MECHANISM OF HUMAN INJURY IN DAMAGED BUILDINGS” 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver

Okada S and Kagami H (1991a) Inventory vulnerability functions for earthquake damage evaluation in terms of the intensity scale of the Japan Meteorological Agency. *Jishin II* 44:93–108 (in Japanese with English abstract)

Okada S and Takai N (1999) The basic framework for casualty modeling of victims of earthquake. (1) Classification of structural types and damage patterns of buildings, and damage index function²³ (in Japanese with English abstract)