

مدل های تحلیل انسداد شبکه حمل و نقل شهری ناشی از فروریزش ساختمان های مجاور مسیر در اثر زلزله

یاسر حسینی^۱

دانشجوی دکتری زلزله دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

hosseini@email.kntu.ac.ir

رضا کرمی محمدی

دانشیار گروه مهندسی زلزله، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

rkarami@kntu.ac.ir

چکیده

فروریزش ساختمان ها متداول ترین عامل انسداد راه ها بعد از زلزله است. تجربه زلزله های گذشته بیانگر آن است که رخداد برخی از مکانیزم های سازه ای از جمله مکانیزم طبقه نرم، مکانیزم تیر ضعیف- ستون قوی، پدیده ستون کوتاه، ضعیف بوده شالوده و پتانسیل بلند شدگی، مقاومت پایین گره های اتصال، سیستم باربری جانبی ضعیف، روانگرایی و ... می تواند منجر به فروریزش کامل ساختمان گردد. انسداد شبکه راه های اضطراری بر اثر آوار ناشی از تخریب ساختمانها پس از وقوع زلزله می تواند منجر به ایجاد نقاط کور در شهر شود و عملیات امداد و نجات را با مشکلات جدی روبه رو کند. در این پژوهش به مرور تجربیات انسداد مسیر های شهری به دلیل آسیب ساختمان های مجاور در زلزله های گذشته پرداخته شده است و انواع مکانیزم های فروریزش ساختمان ها تشریح گردیده است. سپس انواع مدل های گسترش آوار ساختمانی و روابط ارائه شده در ادبیات فنی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت انواع مختلف متدولوژی های محاسبه احتمال انسداد مسیر تحت فرو ریزش ساختمان های مجاور ارائه شده است.

واژه های کلیدی: انسداد شبکه حمل و نقل، فروریزش ساختمان، مکانیزم های سازه ای، گسترش آوار ساختمانی، زلزله.

^۱- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

زلزله تأثیر گذار هستند. بنابراین مطالعه ی این موارد و مشخص کردن مسیرها و محدوده های آسیب پذیر یا امن، با توجه به معیارهای ذکر شده، امکان برنامه ریزی مناسب را فراهم می کند.

۲- تجربیات انسداد راه ها در زلزله های گذشته به دلیل آسیب ساختمان های مجاور مسیر

مشهور ترین عامل انسداد راه های شهری بعد از زلزله فروریزش ساختمان های مجاور مسیر می باشد. در این بخش نمونه هایی از این تجربیات در زلزله های گذشته مرور شده است. در زلزله ۱۹۰۶ سان فرانسيسکو، تعداد زیادی از راه ها مسدود شده و امدادگران توانایی اطفاء حریق در برخی از مناطق شهر را نداشته اند. علت اصلی انسداد راه های شهر ریزش آوار ساختمان در مسیرها بود. در زلزله ۱۹۸۵ مکزیک، ریزش حجم وسیعی از آوار ساختمانی باعث مسدود شدن بسیاری از راه های شهر مکزیکوسیته شده است. ۴۱۲ ساختمان به طور کامل واژگون شده و تعداد ۳۱۲۴ ساختمان دیگر آسیب های شدید سازه ای دیدند. در چندیدن خیابان به دلیل فرو ریختن تعداد زیادی ساختمان و ریختن آوار آنها، مسیر عبور و مرور کاملاً برای هرگونه ترافیک غیر ممکن شد. زلزله ی ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ در کوبه ژاپن، یکی از مهمترین رویدادهای زلزله در تاریخ بود که نقش مهم شبکه های ارتباطی را در کاهش خطرات زلزله نشان داد. در این زلزله ساختمان های متعددی به علت پدیده روانگرایی واژگون و از این طریق تعداد زیادی از خیابانهای اصلی شهر مسدود شدند. این زلزله اثرات قابل توجهی بر برنامه ریزی های آمادگی در برابر زلزله در ژاپن گذاشت؛ زیرا واکنش نسبتاً غیر سریع و عدم آمادگی کافی در مواجهه با اثرات

رویدادهای مخرب لرزه ای هر ساله سهم عمده ای در ایجاد خسارات مالی و جانی در سراسر جهان دارند. یکی از ارکان مدیریت بحران در زمان وقوع زلزله، پیشگیری و کاهش تلفات ناشی از زلزله است. بنابراین پس از وقوع زلزله، کاهش زمان رسیدن گروه های امداد و نجات به حادثه دیدگان اهمیت ویژه ای می یابد. با توجه به کاهش ظرفیت راه ها و شبکه ی معابر بر اثر گسترش آوار و افزایش عبور و مرور پس از زلزله جهت خروج از مناطق پرخطر، ترافیک سنگینی بر شبکه ی معابر تحمیل می شود و این شبکه را به عامل تعیین کننده و مهمی در تصمیم گیری های مدیریت بحران تبدیل می کند. شبکه ی معابر شهری از مهمترین اجزای شهر در مواقع بحران محسوب می شود. در صورتی که شبکه ی معابر یک شهر به دلایلی مانند عرض کم معابر، تمرکز زیاد جمعیت و بافت شهری متراکم، بلند مرتبه سازی های غیراصولی و ... دچار نارسائی باشد، کارایی خود را در مواقع بحران از دست می دهد. در صورتی که شبکه ی ارتباطی پس از زلزله آسیب نبیند و کارایی خود را حفظ کند، تلفات ثانویه و خسارات غیرمستقیم زلزله کاهش خواهد یافت زیرا امکان گریز از موقعیت های خطرناک و دسترسی به مناطق امن فراهم می شود و تردد وسایل نقلیه ی امدادی تسهیل میگردد. از عوامل مؤثر بر آسیب پذیری شبکه ی معابر میتوان به آسیب پذیری بنا، نسبت سطح ساخته شده به سطح معابر (درجه ی محصور شدگی)، قوس معبر، عرض معبر، تعداد گره و تقاطع، شیب معبر، مقاومت خاک و فاصله از گسل اشاره کرد. همچنین کاربری زمین، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، کیفیت ابنیه، عرض راهها، ارتفاع ساختمانها، سلسله مراتب معابر و دوری و نزدیکی به مراکز درمانی نیز در افزایش و کاهش تلفات و خسارات

های تجاری در طبقات پایین ساختمانهای بلند) مستعد رخداد چنین مکانیزمی هستند. در طبقه نرم، ستونها تحت اثر تغییر شکل بزرگی قرار گرفته و در بالا و پایین آنها مفصل پلاستیک ایجاد می شود. در این حالت جابجایی نسبی طبقه ی مذکور بیش از حد بالا رفته و ساختمان فرو ریخته یا در آستانه ی فرو ریزش قرار می گیرد. در بسیاری از زلزله های پیشین فرو ریزش کل سازه تحت اثر مکانیزم طبقه نرم و انسداد کامل مسیر مجاور مشاهده شده است.

۲-۳- مکانیزم تیر ضعیف- ستون قوی

قوی تر بودن تیرها از ستونها در قاب های خمشی، ستونها را در خط مقدم تسلیم و غیر خطی شدن قرار می دهد. اما به دلیل وجود بار ثقلی روی ستونها، چنین سیستمی قابلیت اتلاف انرژی بالایی نداشته و در مقابل زلزله بسیار آسیب پذیر است. در زلزله های پیشین نمونه های زیادی از تخریب ناشی از سالم ماندن تیرها و غیر خطی شدن ستون ها و پخش آوار فراوان در اطراف ساختمان دیده می شود.

۳-۳- پدیده ستون کوتاه

در این پدیده با کاهش طول آزاد ستون، جذب نیروی آن چند برابر شده و از آنجا که مقاومت آن ثابت مانده است، ستون محکوم به زوال و خرابی است.

۴-۳- مقاومت پایین گره اتصال

یکی از پر آسیب ترین و شایع ترین مکانیزم های خرابی سازه ها در زلزله است. در چنین حالتی، در صورت گسترده بودن خرابی اتصالات در سطح طبقات، امکان رخداد مکانیزم پن کیک در ساختمان وجود دارد که توام با پخش

چنین رویداد ویرانگری، انتقادات گسترده ای را به دولت ژاپن وارد کرد. پس از این زلزله به نقش مهم شبکه های ارتباطی توجه بیشتری شد و پژوهشهای مختلفی در این زمینه در سراسر دنیا صورت گرفت. تنها در بافت مرکزی و قدیمی شهر تعداد ۲۵۸ ساختمان واژگون و ۱۴۳ مورد دیگر تقریباً دچار فرو ریزش شدند. در زلزله ۲۰۱۰ هائیتی انسداد اکثر راه ها به دلیل واژگونی ساختمانها و ریزش آوار، امداد رسانی و جابجایی اجساد را تقریباً مختل کرده بود و تا چند روز امکان امداد رسانی به بسیاری از مناطق وجود نداشته است.

۳- مکانیزم های فروریزش ساختمان ها

تجربه زلزله های گذشته بیانگر آن است که رخداد برخی از مکانیزم های سازه ای میتواند منجر به فرو ریزش ساختمان گردد. برخی از این مکانیزم ها به شرح ذیل هستند.

۱-۳- مکانیزم طبقه ی نرم^۲

یکی از مخرب ترن و خطرناک ترین مکانیزم های فروریزش ساختمان در حین زلزله، مکانیزم طبقه نرم است. طبق تعاریف آیین نامه ای، طبقه نرم طبقه ای است که سختی جانبی آن بین ۶۰-۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود یا بین ۸۰-۷۰ درصد متوسط سختی سه طبقه ی روی خود باشد. طبقه خیلی نرم نیز طبقه ای است که سختی جانبی آن کمتر از ۶۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود یا کمتر از ۷۰ درصد متوسط سختی های سه طبقه روی خود باشد. این مسئله باید حتما در پایان کار طراحی کنترل شود. معمولاً ساختمان های دارای پارکینگ یا طبقه ای مرتفع تر از سایر طبقات (مانند کاربری

² Soft story

بوجود می آید. ضمناً ملاحظات معماری نیز در بسیاری موارد به توزیع غیر متقارن اجزای باربر جانبی منجر می شود که همه این موارد به افزایش احتمال این پدیده دامن می زند.

۳-۷- روانگرایی

روانگرایی خاک پدیده‌ای است که در آن خاک اشباع در اثر تنش شدید وارد شده ناشی از زلزله، مقاومت و سختی خود را به طور کامل از دست می دهد و مانند یک مایع رفتار می کند. واژگونی ساختمان ها در اثر روانگرایی از جمله مکانیزم هایی هست که در زلزله های گذشته مشاهده شده است.

۴- مدل های گسترش آوار ساختمانی

یکی از مهمترین پژوهشهای موجود در زمینه ی تخمین طول گسترش آوار، پژوهش (Risk-UE (200-2004 است که در چارچوب پروژه ی Risk-UE در سالهای ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴ برای تخمین ریسک زلزله در شهرهای اروپا صورت گرفته است. پروژه ی Risk-UE نتیجه ی همکاری ۱۰ گروه متخصص برای بررسی مخاطرات زلزله در ۷ شهر اروپایی، جهت تهیه ی دستورالعمل های لازم برای مقابله با خطرات زلزله در اروپا است. از میان پروژه های مشابه با Risk-UE می توان به پروژه ی HAZUS 1999 در سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ در آمریکا، پروژه ی RADIUS 1999 و پروژه ی GEMITIS در فرانسه اشاره کرد. در پژوهش Risk-UE آوار ساختمانی به دو دسته ی اصلی تقسیم می شود:

(۱) آوار ناشی از خرابی اجزای غیرسازه ای حساس به جابجایی (مانند دیوارهای جدا کننده، دیوارهای پانلی

حجم وسیعی از آوار است. در سازه های فولادی عدم اجرای ورق های پیوستگی، ورق های مضاعف کننده و سخت کننده ها در چشمه اتصال و در سازه های بتنی عدم امتداد خاموت گذاری منظم ستون در گره اتصال و متراکم نشدن خوب بتن در این ناحیه، از مهمترین عوامل رخداد مکانیزم فوق هستند.

۳-۵- سیستم باربر جانبی ضعیف

نداشتن طراحی لرزه ای و رعایت نکردن تناسب بندی لازم، اتصال نامناسب هسته ی باربر جانبی به دیافراگم کف و انقطاع آن در ارتفاع سازه از نمونه های رایج ضعف سیستم باربر جانبی در ساخت و ساز های شهری است که باعث فرو ریزش ساختمان در زلزله می شود.

۳-۶- ضعیف بودن شالوده و پتانسیل بلندشدگی^۳

بلند شدگی پی زمانی اتفاق می افتد که در اثر توزیع نیروهای محوری در اجزای باربر، برآیند این نیروها خارج از مرکز سطح فونداسیون اثر کند و بزرگی یا خروج از مرکزیت این نیرو به حدی باشد که بتواند بر نیروهای مقاوم که همان نیروهای ثقلی می باشند، غلبه کرده و با ایجاد لنگر محرک باعث بلند شدن پی از روی خاک متکی بر آن (درسمت مخالف نقطه اثر برآیند) گردد. اگر بارهای ثقلی در پلان یکنواخت توزیع شوند، می توان گفت که در پی این ساختمان در اثر بارهای ثقلی، بلند شدگی ایجاد نمی شود. اما خطر uplift بیشتر ناشی از اعمال بارهای جانبی به سازه می باشد، زیرا همواره در اثر بارهای جانبی لنگر محرک برای ایجاد uplift، حتی زمانی که اجزای باربر جانبی به صورت کاملاً متقارن در پلان پی توزیع شده باشند،

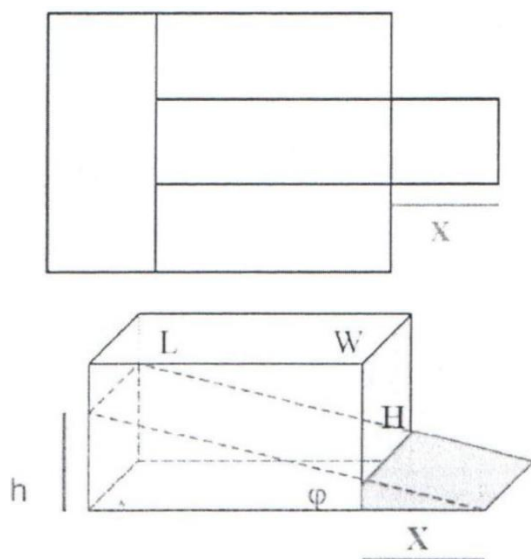
³ Uplift

پارامترهایی مانند مساحت اشغال شده توسط آوار، تعداد طبقات ساختمان، نوع سازه، نوع خسارت و ... باشد. به عنوان مثال، یکی از ساده ترین روابط پیشنهاد شده برای محاسبه ی برد آوار به صورت رابطه ی (۱) است که در آن، X بیشترین فاصله ی پرتاب آوار بر حسب متر است.

$$X \leq \frac{2}{3} \times \text{تعداد طبقات} \quad (1)$$

با توجه به نحوه ی قرارگیری ساختمانها در میان ساختمانهای مجاور، مدلهای زیر برای حجم کلی و گستردگی آوار پیشنهاد شده است:

- ساختمانهای احاطه شده از ۳ طرف: با فرض اینکه حجم توده ی آوار به شکل یک شیب ساده است، میزان گسترش آوار به صورت شکل ۱ است. در شکل ۱، ارتفاع، طول و پهنای ساختمان به ترتیب با H ، L و W و برد توده آوار با X نمایش داده شده است.



شکل (۱). گسترش آوار در ساختمانهای احاطه شده از ۳ طرف (Risk-UE 2004-200)

بیرونی، نما، شیشه و ...، که حجم این نوع آوار، مستقل از سیستم باربر لرزه ای ساختمان است و به جابجایی نسبی میان طبقات (دریفت) وابسته است. (۲) آوار ناشی از آسیب به اعضای سازه ای (تیر، ستون، دیوار برشی و ...) حجم آوار و نحوه ی پراکندگی این نوع از آوار، با توجه به تجربیات زلزله های گذشته، بسیار متغیر است و به موارد زیادی بستگی دارد که پیشبینی آن را بسیار دشوار می سازد.

با توجه به نتایج Risk-UE میزان گسترش آوار به دو عامل بستگی دارد:

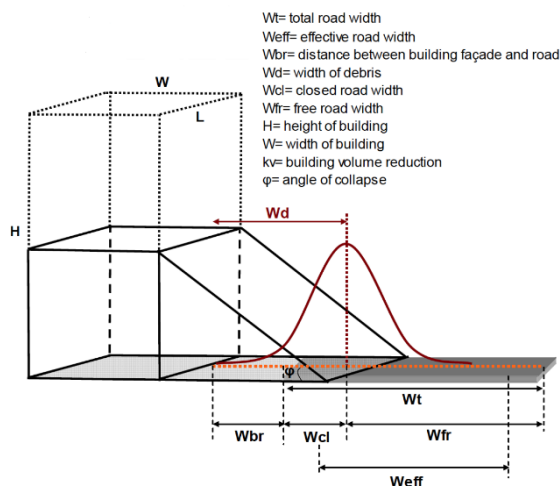
- (۱) ارتفاع ساختمان
- (۲) رفتار و مد خرابی ساختمان های مجاور
- (۳) واژگونی ساختمان
- (۴) فروریزش پنکیکی (درجا)

در نهایت، دو نوع ساز و کار توسط Risk-UE برای تخمین میزان گسترش آوار به کار گرفته شده است:

- (۱) روش تجربی
 - (۲) روش تحلیلی
- و از میان ساختمانهای مورد مطالعه، ساختمانهای بتن مسلح و فولادی، با استفاده از روش تحلیلی و ساختمانهای بنایی با استفاده از روش تجربی مورد ارزیابی قرار گرفته اند. بر اساس Risk-UE یک رابطه ی پیشنهادی جهت محاسبه ی پیشروی آوار در برخی ساختمانها، می تواند شامل

روابط پیشنهاد شده توسط D'Agostino et al. 2019 از جمله روشهایی هستند که در ادبیات فنی برای محاسبه ی حجم و طول آوار مورد استفاده قرار گرفته اند. این روابط بصورت تجربی از مطالعه زلزله های گذشته به دست آمده اند و برای حالت های مختلف فروپاشی ساختمان ها میزان پیشروی آوار را بصورت احتمالاتی و تحت توزیع نرمال ارائه می دهند. در ادامه به بررسی هریک از روابط ارائه شده پرداخته می شود.

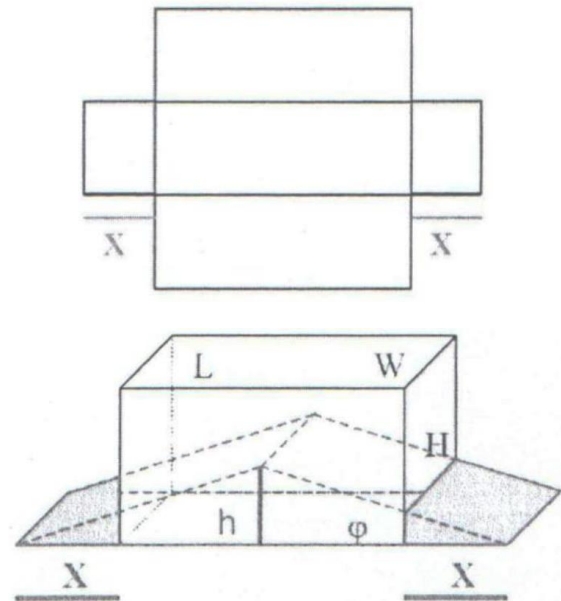
- گسترش آوار از یک جهت: این حالت در فرو ریزش ساختمان هایی رخ می دهد که از سه طرف محصور در ساختمان های مجاور هستند. شکل ۴ نمای شماتیک گسترش آوار در یک جهت را نشان می دهد.



شکل (۴). روشی احتمالاتی برای محاسبه ی عرض آوار (D'Agostino et al. 2019)

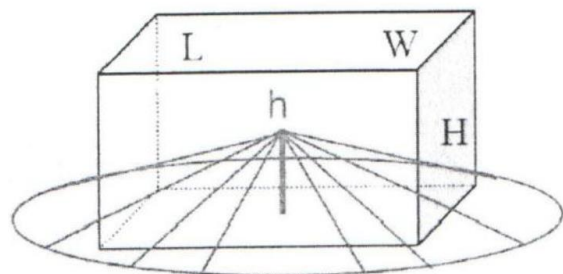
$$w_d = \sqrt{w^2 + \frac{2 * k_v * w * H}{\tan \varphi}} \quad (2)$$

- ساختمانهای احاطه شده از ۲ طرف: با استفاده از فرضیات ساده کننده، نحوه ی گسترش آوار در این حالت به صورت شکل ۲ خواهد بود.



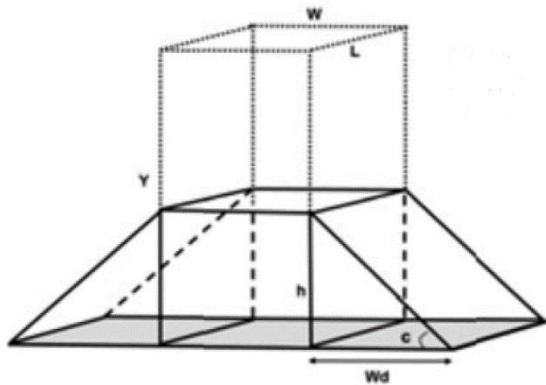
شکل (۲). گسترش آوار در ساختمانهای فرو ریخته احاطه شده از ۲ طرف (Risk-UE 200-2004)

ساختمانهای جدا از سایر ساختمانها: در صورت در نظر گرفتن برخی فرضیات ساده کننده، میزان گسترش آوار در این حالت به صورت شکل ۳ است.



شکل (۳). گسترش آوار در ساختمانهای فرو ریخته بدون ساختمان مجاور (Risk-UE 200-2004)

مجاور هستند. شکل ۶ نمای شماتیک گسترش آوار در دو جهت را نشان می دهد. همچنین رابطه ۴ نشان دهنده عرض پیش روی آوار (w_d) می باشد.



شکل (۶). روشی احتمالاتی برای محاسبه ی عرض آوار (Argyroudis, Jacopoa and Gehl 2015)

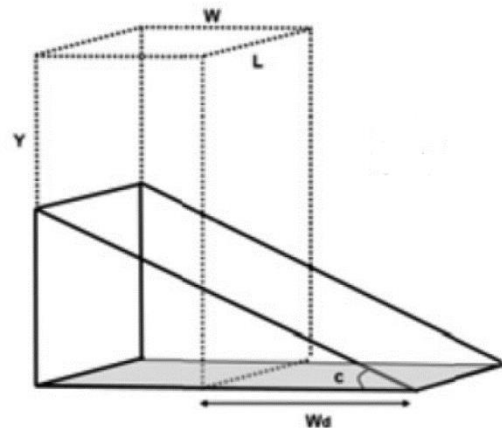
$$w_d = \sqrt{\frac{w^2}{4} + \frac{k_v * w * Y}{\tan c}} - \frac{w}{2} \quad (4)$$

• واژگونی ساختمان: منظور از واژگونی منحرف شدن کل ساختمان به یک سمت می باشد. این حالت بحرانی ترین نوع انسداد مسیرهای شهری ناشی از آوار ساختمان می باشد. از عمده دلایل واژگونی ساختمانها، گسیختگی خاک به دلیل وقوع پدیده روانگرایی می باشد. شکل ۷ نمای شماتیک گسترش آوار ناشی از واژگونی کامل ساختمان را نشان می دهد. همچنین رابطه ۵ نشان دهنده عرض پیش روی آوار (w_d) در این حالت می باشد.

$$w_d = \cos(c) * \frac{w}{2} + \cos(90 - c) * Y - \frac{w}{2} \quad (5)$$

در رابطه ۲ و شکل ۴، w_t عرض تمام راه، w_{eff} عرض مؤثر راه، w_{br} فاصله میان نمای ساختمان تا مسیر، w_d عرض آوار، w_{cl} عرض مسدود شده از مسیر، w_{fr} عرض مسدود نشده از مسیر، H ارتفاع ساختمان، w عرض ساختمان، k_v ضریب کاهش حجم ساختمان و φ زاویه ی تشکیل شده توسط سطح آوار با خط افق است. با مطالعه رویداد های لرزه ای گذشته k_v و φ دو متغیر تصادفی با میانگین های $E[k_v] = 50\%$ و $E[\varphi] = 45^\circ$ و با ضریب تغییرات 30% پیشنهاد شده است.

شکل ۵ حالت دیگر از گسترش آوار در یک جهت را نشان می دهد. همچنین رابطه ۳ نشان دهنده عرض پیش روی آوار (w_d) می باشد.



شکل (۵). روشی احتمالاتی برای محاسبه ی عرض آوار (Argyroudis, Jacopoa and Gehl 2015)

$$w_d = \sqrt{\frac{2 * k_v * w * Y}{\tan c}} - w \quad (3)$$

گسترش آوار از دو جهت: این حالت در فرو ریزش ساختمان هایی رخ می دهد که از دو طرف محصور در ساختمان های

می باشد. همچنین پارامتر a میانگین طول گسترش آوار می باشد که طبق رابطه (۸) محاسبه می شود:

$$a = 2.58 \times P_r^{0.379} + 0.21 \times \left(\frac{B_r}{B_c}\right)^{2.23} + 4.9 \times B_c^{12} \quad (8)$$

که در این رابطه B_c ضریب سطح طبقات می باشد.

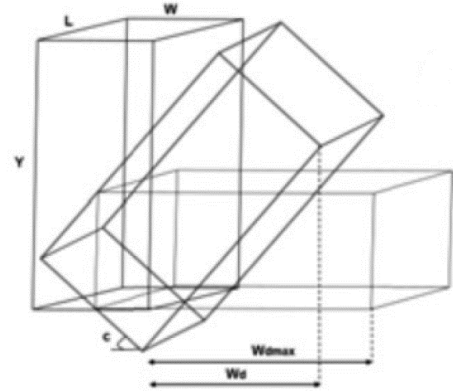
در نهایت احتمال انسداد در مسیر l ام، P_l طبق روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می شود:

$$P_l = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{(i)}) \quad (9)$$

$$P_{(i)} = P_{r(i)} \times P_{f(i)} \times P_{b(i)} \quad (10)$$

که در آن n تعداد کل ساختمان های مجاور مسیر و $P_{(i)}$ احتمال انسداد مسیر در مقابل ساختمان i می باشد.

مغیثی ۱۳۹۰ در یک پژوهش به طراحی و توسعه مدلی احتمالاتی برای تحلیل انسداد جاده ای شبکه حمل و نقل درون شهری بعد از وقوع زلزله پرداخته اند و در آن از روشهای شبیه سازی مونت کارلو و درخت منطقی، برای مدل سازی عدم قطعیت ها استفاده کرده اند. در این پژوهش اشکال خرابی، درصد وقوع و پیشروی آوار برای انواع ساختمانها براساس تصاویر و گزارشات زلزله های تاریخی گذشته تخمین زده شده است. با توجه به پیشروی آوار تخمین زده شده میزان آواری که پیشروی کرده است بصورت نسبتی از عرض مسیر مجاورش معرفی گردیده است و در نهایت برای هر تیپ ساختمانی، در هر سطح آسیب، و با توجه به مسیر مجاورش، منحنی توزیع احتمالاتی (شکل ۸) بدست آمده است. در حقیقت نمودار توزیع احتمالی معرف آن است که یک ساختمان با چه احتمالی می تواند مسیر



شکل (۷). روشی احتمالاتی برای محاسبه ی عرض آوار (Argyroudis, Jacopoa and Gehl 2015)

۵- محاسبه احتمال انسداد مسیر

Ohgai and Yamamoto 2014 چهارچوبی برای محاسبه احتمال انسداد یک مسیر بر اساس احتمال فروریزش ساختمان، احتمال گسترش جریان آوار به مسیر مجاور ساختمان و احتمال انسداد ناشی از گسترش آوار را پیشنهاد کردند. در روش پیشنهادی این پژوهش احتمال فروریزش ساختمان ها (P_r) بر اساس منحنی های شکنندگی صورت گرفته است. احتمال گسترش جریان آوار به مسیر مجاور طبق رابطه تجربی (۶) پیشنهاد شده است:

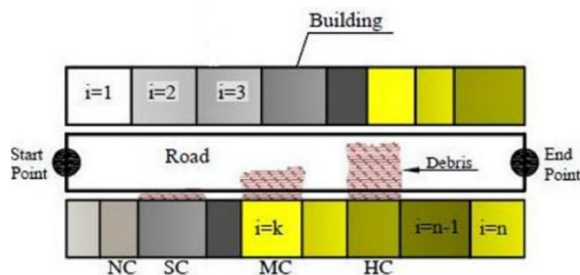
$$P_f = 1.1753 \times B_c - 0.0541 \quad (6)$$

که در آن B_c ضریب مربوط به سطح اشغال ساختمان ها می باشد. احتمال انسداد مسیر ناشی از آوار گسترش یافته طبقه رابطه (۷) محاسبه می شود:

$$P_b = e^{\left(-\frac{w_r + w_b - w_t}{a}\right)} \quad (7)$$

که در آن w_r عرض مسیر از مقابل یک ساختمان می باشد، w_b عرض پیاده راه، w_t عرض عبوری وسایل نقلیه مسیر

احتمال انسداد جاده ای در هریک از چهار حالت به تخریب و پیشروی آوار ساختمان وابسته می باشد. تخریب شدید و پیشروی آواری زیاد ساختمان، سبب افزایش احتمال انسداد جاده ای می شود که در شکل ۱۰ بصورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل (۱۰). حالات مختلف انسداد از طریق پیشروی آوار ساختمان های مجاور یک راه (Zolfaghari and Mogheisi 2011).

برای محاسبه احتمال انسداد ناشی از فرو ریزش آوار برای یک ساختمان در سطوح مختلف رابطه (۱۱) ارائه شده است:

$$P_{fclosure} = \sum_{i=1}^{Noeq} P_{EQ} \times \sum_{j=1}^{NoPGA} P_{PGA} \times \sum_{k=1}^4 P_{Ds} \times \sum_{l=1}^{Noexd} P_{EXD} \times \sum_{m=1}^4 P_{closure} \quad (11)$$

در مدل فوق احتمال وقوع حالات مختلف خرابی لرزه ای که منجر به فرو ریزش و پیشروی آوار ساختمانی که عامل وقوع انسداد مسیر می باشد برای هر واحد ساختمان به دست آمده است. با توجه به اینکه در مجاورت یک راه درون شهری، ساختمان هایی با دسته بندی های مختلفی قرار دارند هر یک از این ساختمان ها می توانند با توجه به نوع خرابی و پیشروی آوار ایجاد شده در اثر زلزله، حالات مختلف انسداد جاده ای را به وجود بیاورند.

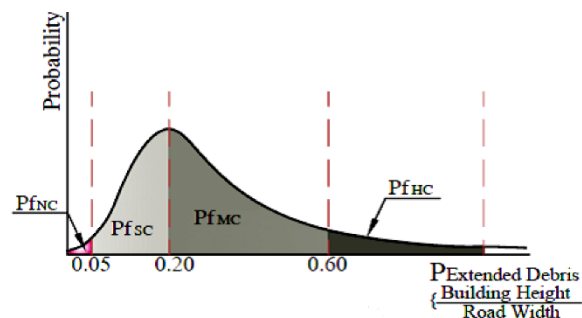
مجاورش را دچار حالات مختلف انسداد جاده ای کند. با توجه به نمودار توزیع احتمال و عرض مسیر در مجاورت ساختمان، احتمال انسداد راه به علت فرو ریزش آوارهای ساختمانی را به ۴ سطح مختلف بدون انسداد ($P_{Non\ Closure}$)، انسداد کم ($P_{Slight\ Closure}$)، انسداد متوسط ($P_{Moderate\ Closure}$) و انسداد زیاد ($P_{Heavy\ Closure}$) تقسیم بندی شده است که حدود این حالات در شکلهای ۷ و ۸ نشان داده شده است.

$$0 \leq (P_{Non\ Closure}) \leq 0.05$$

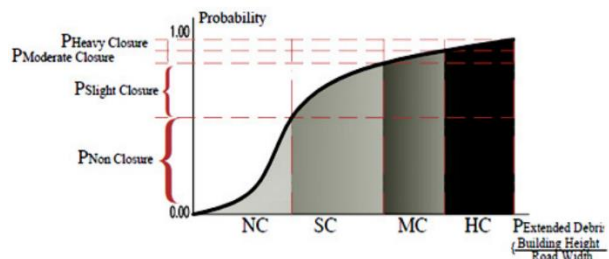
$$0.05 \leq (P_{Slight\ Closure}) \leq 0.2$$

$$0.2 \leq (P_{Moderate\ Closure}) \leq 0.6$$

$$(P_{Heavy\ Closure}) > 0.6$$

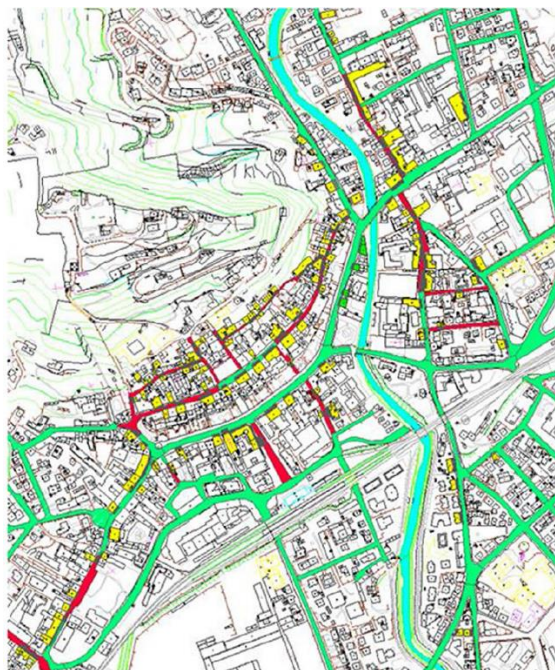


شکل (۸). تقسیم بندی نمودار توزیع به حالات مختلف انسداد (Zolfaghari and Mogheisi 2011)



شکل (۹). تقسیم بندی نمودار توزیع تجمعی احتمال پیشروی آوار ساختمانی به حالات مختلف انسداد (Zolfaghari and Mogheisi 2011)

برای ارزیابی عملکرد باقیمانده شبکه حمل و نقل شهری بعد از زلزله از ارائه کردند. در این پژوهش از منطق فازی برای محاسبه میزان پیشروی آوار ساختمانی استفاده شده است. مدل فازی بر اساس مجموعه ای از ساختمان هایی که در زلزله های گذشته دچار فروریزش شده اند کالبره شده است و درصد انسداد مسیر به عنوان تابعی از عرض مسیر و ارتفاع ساختمان مجاور ارائه شده است. در نهایت متدولوژی پیشنهاد شده در این پژوهش بروی یک شبکه حمل و نقل در ایتالیا پیاده شده است. شکل ۱۲ بصورت گرافیکی عملکرد باقیمانده شبکه مذکور را بعد از زلزله سناریو با بزرگای ۶,۳ نشان می دهد. در این شکل مسیر قرمز به معنای انسداد کامل می باشد و در مسیر های سبز عرض باقیمانده مسیر بیشتر از مقدار حداقل (۲,۵ متر) می باشد.



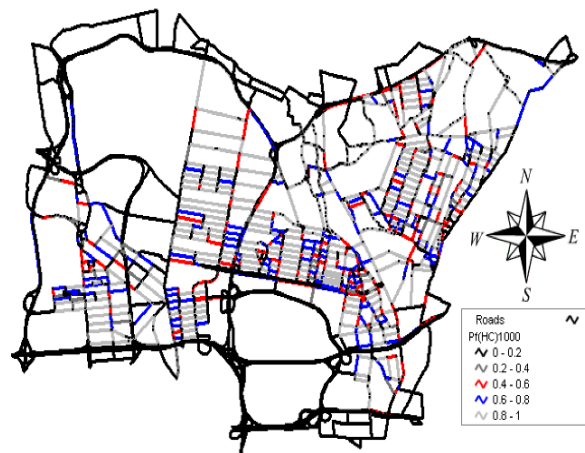
شکل (۱۲). عملکرد باقی مانده شبکه حمل و نقل برای زلزله سناریو (Zanini et al. 2016)

در نهایت رابطه (۱۲) برای محاسبه احتمال اینکه حداقل یکی از ساختمان های مجاور راه، در حالت انسداد مورد نظر باشد ارائه شده است:

$$p_f(x \geq 1) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{closure}) \quad (12)$$

که در آن n تعداد ساختمان های مجاور به یک مسیر و X حالت انسداد جاده ای مورد نظر می باشد.

به عنوان مطالعه موردی در شکل ۱۱ احتمال انسداد بیش از ۶۰ درصد عرض مسیر برای زلزله ای با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله برای منطقه ۳ تهران نشان داده شده است.



شکل (۱۱). نقشه احتمال وقوع انسداد مسیر

Goretti and Sarli 2006 یک روش احتمالی برای ارزیابی عملکرد کوتاه و بلندمدت شبکه های جاده ای پس از زلزله با توجه به اثر متقابل بین ساختمان ها و جاده ها در مناطق شهری پیشنهاد کردند. در این مطالعه، توزیع بواسون برای تعداد انسداد در هر جاده فرض شده است.

Zanini و همکاران در سال ۲۰۱۶ چهارچوب احتمالاتی

HAZUS. 1999. Technical manual FEMA, national institute of building sciences, december. <http://www.fema.gov/hazus/>

Ohgai A, T, Yamamoto. 2014. Evaluating emergency response activities during earthquakes in local cities of japan. International Review for Spatial Planning and Sustainable Development 2(1):4-22.

RADIUS. 1999. Risk assessment tools for diagnosis of urban areas against seismic disasters, report: United Nations initiative towards earthquake safe cities. <http://www.geohaz.org/radius/>

RISK-UE. 2001-2004. An advanced approach to earthquake risk scenarios, with applications to different European cities. <http://www.risk-ue.net/>

Zanini M.A., F, Faleschini and P, Zampieri et al. 2016. Post-quake urban road network functionality assessment for seismic emergency management in historical centres. Structure and Infrastructure Engineering 13:1117-1129.

Zolfaghari M.R and Mogheisi M. 2011. Probabilistic Seismic Damage Assessment for Urban Transportation Network. 6th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran.

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش به ارائه مدل های مختلف تحلیل انسداد شبکه حمل و نقل شهری ناشی از فروریزش ساختمان های مجاور مسیر در اثر زلزله پرداخته شد. تجربیات انسداد شبکه حمل و نقل شهری در زلزله های گذشته بررسی شد و انواع مکانیزم های فروریزش ساختمان تشریح گردید. همچنین به مرور انواع مدل های ارائه شده برای پیشروی آوار ساختمانی در ادبیات فنی پرداخته شد. و در نهایت انواع روشهای ارائه شده برای محاسبه احتمال انسداد مسیر مورد بررسی قرار گرفت.

منابع

مغیثی، میثم. ۱۳۹۰. مدلسازی احتمالاتی انسداد شبکه حمل و نقل درون شهری پس از وقوع زلزله، مطالعه موردی منطقه ۳ شهری تهران. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

Argyroudis, S, S, Jacopoa and P, Gehl. 2015. Systemic Seismic Risk Assessment of Road Networks Considering Interactions with the Built Environment. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 30:524-540 .

D'Agostino, G., A.D. Pietro, S. Giovinazzi, L.L. Porta, M. Pollino, V. Rosato, A. Tofani. 2019. Earthquake simulation on urban area improving contingency plans by damage assessment. Critical Information Infrastructures Security. CRITIS Lecture Notes in Computer Science, vol 11260. Springer, Cham.

Goretti and V Sarli. 2006. Road network and damaged buildings in urban areas: short and long-term interaction. Bulletin of Earthquake Engineering 4:159-175.



Abstract

The collapse of buildings is the most common cause of road blockages after an earthquake. The experience of past earthquakes indicates that the occurrence of some structural mechanisms such as soft floor mechanism, weak beam-strong column mechanism, short column phenomenon, weak foundation and lifting potential, low connection node strength, weak lateral bearing system, Liquefaction, etc. can lead to complete collapse of the building. Obstruction of the emergency road network due to debris caused by the collapsed buildings after the earthquake can lead to blind spots in the city and cause serious problems in rescue operations. In this research, the experiences of blocking urban routes due to damage to adjacent buildings in past earthquakes have been reviewed and various mechanisms of the collapse of buildings have been described. Then the construction debris expansion models and relationships presented in the technical literature have been investigated. Finally, different types of methodologies for calculating the probability of obstruction of the path under the collapse of adjacent buildings have been presented.

Key Words: transport network blockage, Building collapse, structural mechanisms, building debris expansion, earthquake.