

مدلسازی عدم قطعیت‌های مرتبط با اشتعال‌های داخل ساختمانی پس از زلزله به روش شبیه‌سازی مونت کارلو

محمد رضا ذوالفقاریⁱ*؛ الناز پیغالهⁱⁱ

چکیده

در این مقاله روش تحلیلی برای تخمین احتمال وقوع اشتعال‌های داخل ساختمانی پس از زلزله ارائه شده است. در این روش برخلاف روش‌های مدلسازی موجود که بر اساس کارهای آماری می‌باشند، بسیاری از عوامل موثر بر وقوع اشتعال‌های پس از زلزله، و عدم قطعیت‌های آنها در نظر گرفته شده و با استفاده از جمع احتمالی احتمال وقوع اشتعال در هر المان قابل اشتعال، احتمال وقوع اشتعال برای هر ساختمان را جداگانه محاسبه می‌کند. بر اساس روش پیشنهادی، یک برنامه کامپیوتری بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مدلسازی اشتعال‌های داخل ساختمان پس از زلزله نیز تهیه شده است. تئوری این مدل برای جلوگیری از اندرکنش‌های پارامترهای موثر بر وقوع اشتعال‌ها، بر پایه گزینه زلزله است. اما قابلیت این را دارد که برای تعداد زیادی زلزله و روابط کاهندگی مختلف احتمال‌های اشتعال‌ها را به روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای هر ساختمان تجمیع کرده و به همراه نرخ متوسط سالانه (یا دوره بازگشت) وقوع این احتمال‌ها ارائه نماید. این مدل برای منطقه ۳ در شمال شرق شهر تهران مورد استفاده قرار گرفته و نتایج اولیه حاصل از تحلیل احتمالی مدل اشتعال پس از زلزله برای این منطقه به روش مونت کارلو ارائه شده است.

کلمات کلیدی

اشتعال پس از زلزله، اشتعال داخل ساختمان، عدم قطعیت، روش تحلیل احتمالی، مدلسازی، روش مونت کارلو

Inter-Structural Ignition Following Earthquake Modeling, Uncertainty Analysis using Monte Carlo Simulation

M.R. Zolfaghari, E. Peyghaleh

ABSTRACT

This paper presents an analytical approach for probabilistic assessment of inter-structure fire following ignitions. In this method, unlike the conventional methods which are based on statistical ignition rate, various sources of ignitions and their associated uncertainties are taken into consideration. Using probabilistic algorithms, ignition probabilities for each source of ignition as well as overall ignition probabilities for each building are estimated. A GIS-based computer software are designed and implemented based on the proposed approach in order to estimate regional ignition probability. A scenario-based approach is used in this model in order to remove potential sources of probabilistic correlation. However, the model is capable of providing full probabilistic ignition results using a Monte Carlo simulation approach. Using the proposed model, the built environment data as well as

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۱۱/۲

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۸/۳/۱۱

ⁱ * نویسنده مسئول و استادیار دانشکده مهندسی عمران؛ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛

Email: MZolfaghari@Kntu.ac.ir

ⁱⁱ دانشجوی دکتری مهندسی عمران-سازه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ Email: e_peyghaleh@yahoo.com

seismotectonic of northern Iran are used in order to estimate preliminary ignition probabilities for district 3 in northeastern Tehran.

KEYWORDS :

Ignition following earthquake, Inter structural ignition, Uncertainties Probabilistic analysis Method, Modeling, Monte Carlo Simulation, GIS

۱- مقدمه

۲- مروری بر کارهای قبلی

آتش‌سوزی پس از زلزله به عنوان یکی از خطرات ناشی از زلزله تاکنون خسارت‌های جانی و مالی بسیاری را برجای گذاشته است. در شهرهایی همچون، «کوبه» ۱۹۹۵ و «سن‌فرانسیسکو» ۱۹۰۶ خسارت‌های ناشی از وقوع آتش‌سوزی پس از زلزله از خسارت‌های ناشی از لرزش زمین نیز بیشتر بوده است [۱]. آتش‌سوزی پس از زلزله متشکل از آتش‌سوزی‌های فراوان همزمان با ماهیتی پیچیده، وسیع از نظر حجم خسارت و قابل گسترش در زمان است.

تحقیقات درباره آتش‌سوزی پس از زلزله و مدل‌سازی این پدیده دامنه گسترده ای دارد. در این میان تحقیقات انجام شده درباره اشتعال و مدل‌سازی آن سهم کمتری داشته است. فعالیت‌های تحقیقاتی انجام شده بر روی اشتعال‌های پس از زلزله که به مدل‌سازی این پدیده منجر شده، بیشتر غیرتحلیلی و بر اساس داده‌های آماری آتش‌سوزی پس از زلزله‌های آمریکا و ژاپن بوده است [۱]، [۲]، [۳]. در این مدل‌ها براساس پیشینه شتاب زمین (PGA) یا شدت مرکالی اصلاح شده (MMI) در زلزله‌های گذشته، تعداد اشتعال‌های موثر (اشتعال‌هایی که نیاز به پاسخ آتش‌نشانی دارند) در واحد مساحت (یک میلیون فوت مربع) را از اطلاعات استخراج کرده و بر آنها منحنی‌هایی برازش می‌دهند. با قرار دادن شتاب زلزله گزینده در آن منحنی‌ها می‌توان تعداد اشتعال‌های موثر را برای واحد مساحت محاسبه نمود [۲]. «Mizuno» و همکاران در سال ۱۹۷۸ اولین مدل اشتعال پس از زلزله را ارائه نمودند [۲]. بعدها در سال ۱۹۸۶ «Scawthorn» و در سال ۱۹۹۵ «Eidinger» روابط جدیدی را بر مبنای روش یادشده ارائه نمودند [۳]. در سال ۱۹۹۷ مدل اشتعال پس از زلزله دیگری که برخلاف مدل‌های پیشین پارامترهایی نظیر جنس ساختمان‌ها، کاربری و زمان زلزله را در بدست آوردن منحنی‌های گفته شده مد نظر قرار داده بود، توسط «سازمان آتش‌نشانی توکیو» ارائه شد [۲].

مدلی که در این مقاله ارائه می‌شود با هدف استفاده آن در مدل تحلیل خطرپذیری آتش‌سوزی پس از زلزله برای شهر تهران طراحی شده است. یک مدل کامل تحلیل خطرپذیری آتش‌سوزی پس از زلزله شامل فازهای: زلزله، اشتعال، کشف، گزارش، پاسخ، گسترش و فرونشانی آتش است. با توجه به اینکه تهران شهری با لرزه خیزی بالا و بافت ساختمانی فرسوده و متراکم است و علاوه بر این دارای شبکه گاز رسانی پر فشار نیز می‌باشد، پتانسیل رویداد آتش‌سوزی پس از زلزله در این شهر بالا است. اما از آنجا که بافت ساختمانی شهر تهران از مصالح مقاوم در برابر آتش است احتمال گسترش آتش‌سوزی در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرد. بنابراین در این مدل تنها به مدل‌سازی وقوع اشتعال پس از زلزله پرداخته شده است.

بررسی زمین لرزه‌های پیشین نشان داده است که بسیاری از اشتعال‌هایی که سبب آتش‌سوزی‌های شدید پس از زلزله شده‌اند، در داخل ساختمان‌ها رخ داده‌اند. اشتعال‌های داخل ساختمانی بیش از هر چیز به چگونگی پاسخ سازه‌ها و محتویات آنها به جنبش زمین وابسته است. انواع مختلف اشتعال می‌تواند به علت تخریب اجزای سازه‌ای، تخریب اجزای غیرسازه‌ای ساختمان و واژگونی محتویات ساختمان رخ دهد. بنابراین در این مدل، اشتعال‌های داخل ساختمان‌ها و عوامل موثر بر وقوع آنها در نظر گرفته شده است. از جمله عوامل دیگری که بر وقوع اشتعال‌ها داخل ساختمان‌ها پس از زلزله تاثیر می‌گذارند می‌توان به، چگالی ساختمان‌ها (مساحت، تعداد طبقات)، انواع محتویات آنها، کاربری ساختمان‌ها، زمان زلزله اشاره نمود. همه این عوامل نیز در مدل در نظر گرفته شده‌اند.

۳- اشتعال‌های پس از زلزله

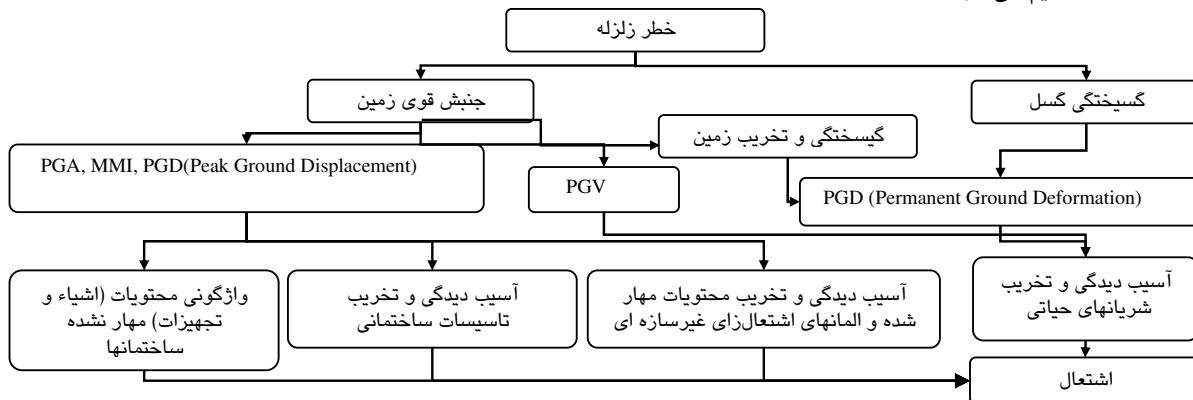
در این مقاله، روشی تحلیلی برای مدل‌سازی اشتعال پس از زلزله با استفاده از تحلیل احتمالی انواع مختلف اشتعال و عدم قطعیت‌های مرتبط با آنها، ارائه شده‌است. شکل (۱): انواع مختلف اشتعال‌های پس از زلزله، بر اساس نوع پیدایش و منابع آنها را نشان می‌دهد. انواع مختلف اشتعال‌های پس از زلزله را، بر اساس نوع پیدایش آنها و با جزئیات بیشتر برای اشتعال‌های

۱. اشتعال‌هایی که به علت آسیب دیدگی تاسیسات ساختمان‌ها رخ می‌دهند[۴].
 ۲. اشتعال‌هایی که به علت آسیب دیدگی محتویات مهار شده ساختمان‌ها و یا المان‌های اشتعال‌زای غیرسازه ای رخ می‌دهند[۴].
 ۳. اشتعال‌هایی که به علت واژگونی محتویات مهار نشده ساختمان‌ها رخ می‌دهند[۴].
- دو نوع اول، بیشتر به رفتار لرزه ای ساختمان وابسته هستند، بنابراین وقوع این نوع اشتعال‌ها، کنترل شونده توسط آسیب پذیری لرزه ای و شکل پذیری سازه است. نوع سوم اشتعال، بیشتر کنترل شونده توسط شتاب زلزله بوده و کمتر وابسته به تخریب ساختمان می‌باشد.
- برای برآورد احتمال وقوع اشتعال پس از زلزله در هر ساختمان در منطقه زلزله‌زده، روش احتمالی برپایه گزینه‌های زلزله ارائه شده است. توزیع احتمالی جنبش قوی زمین (MMI و PGA) برای زلزله گزینه با استفاده از روابط کاهندگی و به کمک پارامترهای بزرگی زلزله و فاصله محل زلزله تا محل ساختمان در منطقه زلزله زده، محاسبه می‌شود. با استفاده از مقادیر احتمالی جنبش زمین، توزیع احتمالی تخریب سازه و بیشینه شتاب طبقات ساختمان‌ها در اثر زلزله گزینه محاسبه می‌شود. به کمک مقدار تخریب لرزه‌ای ساختمان، و شتاب طبقات آن، احتمال انواع اشتعال‌های داخل ساختمانی (در تک تک دستگاه‌ها، محتویات و تاسیسات موجود در ساختمان)

داخل ساختمان نشان می‌دهد. خطرهای زلزله، شامل جنبش زمین، گسلش سطحی، روانگرایی و زمین لغزش می‌توانند سبب تخریب و اختلال در عملکرد ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی شوند. نتیجه این تخریب‌ها می‌تواند سبب رویداد اشتعال و تبدیل آن به آتش‌سوزی شود. به طور مثال تخریب در ساختمان‌ها و تاسیسات همگانی شهری (شبکه برق و گاز)، پتانسیل اشتعال را بالا می‌برد. آسیب‌دیدگی شبکه برق هوایی و گاز شهری باعث وقوع اشتعال‌های خارج ساختمان، در خیابان‌ها و فضاهای عمومی می‌شود. از طرف دیگر اشتعال‌های داخل ساختمانی بیشتر وابسته به پاسخ سازه ساختمان به خطرات زلزله و بیش از همه جنبش زمین هستند. اشتعال‌های داخل ساختمانی براساس تجارب تاریخی بیشترین عامل رخداد آتش‌سوزی‌های پس از زلزله بوده‌اند[۱].

۴- مدل‌سازی اشتعال‌های داخل ساختمانی پس از زلزله

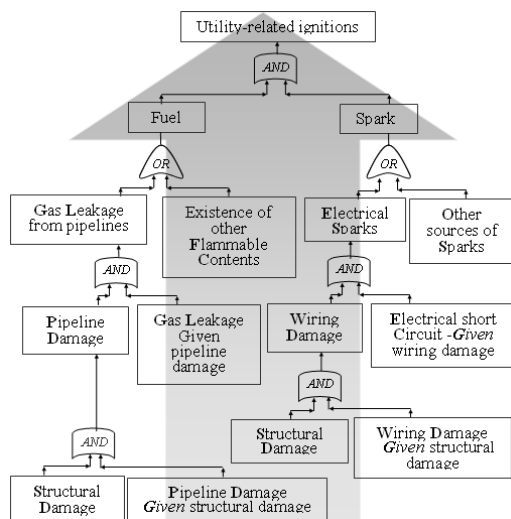
ساختمان‌هایی که در برابر جنبش زمین قرار می‌گیرند، بر اساس نوع سازه و کاربری، می‌توانند سبب وقوع انواع اشتعال شوند. در این مقاله، همانطور که در شکل (۱) انواع مختلف اشتعال‌های پس از زلزله، بر اساس نوع پیدایش و منابع آنها را نشان می‌دهد. نشان داده شده‌است، اشتعال‌های داخل ساختمانی به سه دسته تقسیم می‌شوند:



شکل (۱): انواع مختلف اشتعال‌های پس از زلزله، بر اساس نوع پیدایش و منابع آنها را نشان می‌دهد.

یاد شده به اختصار بیان شده است. بیان جزئیات مدل‌ها و چگونگی محاسبات آنها خارج از بحث این مقاله است. هدف اصلی این مطالعه، مدل‌سازی احتمالی اشتعال‌های داخل

محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن خطر زلزله به صورت زلزله‌های گزینه می‌توان، نتایج تحلیل برای انواع اشتعال‌های در نظر گرفته شده را با کمترین اندرکنش ترکیب نمود. در ادامه این مقاله روش مدل‌سازی احتمالی سه نوع اشتعال



شکل (۲): درخت وقوع (Event Tree) اشتعال‌های تاسیسات

۴-۲- اشتعال‌های اجزاء غیرسازه‌ای ساختمان و محتویات

مهارشده

این نوع اشتعال‌ها به علت آسیب دیدگی یا تخریب اعضای غیر سازه ای اشتعال‌زا نظیر شومینه و یا تخریب محتویات مهار شده ساختمان مانند موتورخانه در ساختمان‌ها به وجود می‌آید. تخریب این اعضا نیز وابسته به تخریب کلی ساختمان در اثر زلزله بوده و معمولاً در برابر شتاب زلزله مقاومت کافی دارند. دیگر محتویات اشتعال‌زایی که تخریب آنها وابسته به تخریب کلی ساختمان می‌باشد، نظیر اتومبیل‌ها نیز در این دسته قرار می‌گیرند. وقوع اشتعال در برخی از این محتویات و اعضای غیر سازه ای، وابسته به زمان زلزله نیز هستند. برای نمونه احتمال اشتعال در موتورخانه یک ساختمان در روزهای گرم سال کمتر از روزهای سرد سال است. برخی دیگر از این محتویات و اعضای غیر سازه ای نیز وابسته به کاربری‌های ساختمان هستند. به طور مثال احتمال وجود دستگاه‌های صنعتی در ساختمان‌های با کاربری صنعتی بیشتر از ساختمان‌های دیگر است. بنابراین مدل‌سازی این اشتعال‌ها در دو دسته المان‌های گرمایشی (وابسته به زمان زلزله) و المان‌های غیرگرمایشی (وابسته به کاربری ساختمان) به طور جداگانه انجام می‌شود. درخت وقوع اشتعال‌ها در المان‌های گرمایشی مشابه مدل اشتعال‌های تاسیساتی می‌باشد.

در این مدل نیز، واحدهای هر ساختمان به عنوان واحد تحلیل در نظر گرفته شده اند و برای هر واحد ساختمان احتمال قرار گرفتن ساختمان در سطوح مختلف تخریب ساختمان به کمک مقادیر توزیع MMI در منطقه، مشخصات سازه ای و ابعاد ساختمان و منحنی‌های آسیب‌پذیری مرتبط با آن سازه

ساختمان پس از زلزله، با در نظر گرفتن تاثیر منابع عدم قطعیت مربوط به عوامل موثر در وقوع اشتعالها و به ویژه اثر لرزه خیزی منطقه بوده است. داوری مهندسی، مدل‌های تحلیلی، داده‌های آماری و همچنین فرضیاتی برای در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها به کار گرفته شده است. تلاش برای کمی کردن انواع و محدوده عدم قطعیت‌های بیان شده خارج از دامنه این کار بوده و نیاز به تحقیقات و آزمایش‌ها بیشتری دارد [۴].

۴-۱- اشتعال‌های تاسیسات ساختمان

جنبش قوی زمین سبب ایجاد آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای در ساختمان‌ها می‌شود. از جمله المان‌های غیرسازه‌ای ساختمان، تاسیسات ساختمان نظیر لوله‌های گاز و سیم کشی برق می‌باشند، که در سرتاسر ساختمان به صورت افقی و عمودی به کار رفته اند. این تاسیسات بیش از شتاب زلزله وابسته به تغییر مکان نسبی طبقات سازه و نوع پاسخ سازه به زلزله بوده و بنابراین مقدار و احتمال آسیب دیدگی در آنها وابسته به مقدار تخریب کلی ساختمان است. تخریب در این المان‌ها یکی از دلایل ایجاد اشتعال در ساختمان‌ها پس از زلزله می‌باشد. بنابراین در این مدل، وقوع اشتعال‌های تاسیساتی وابسته به تخریب کلی ساختمان‌ها در نظر گرفته شده است.

شکل (۲): درخت وقوع (Event Tree) اشتعال‌های تاسیسات درخت وقوع (Event Tree) اشتعال‌های تاسیسات را نشان می‌دهد. جهت حرکت در درخت‌های واقعه از پایین به سمت بالا است و اپراتورهای «AND» و «OR» به ترتیب ضرب و جمع احتمال‌ها را نشان می‌دهند. این شکل روند مدل‌سازی اشتعال‌های تاسیساتی برای یک واحد تحلیل است. واحدهای موجود در هر آپارتمان به عنوان واحد تحلیل در این مدل در نظر گرفته شده اند. بنابراین ابتدا برای هر واحد ساختمان احتمال قرارگرفتن ساختمان در سطوح مختلف تخریب به کمک مقادیر توزیع MMI در منطقه، مشخصات سازه ای و ابعاد ساختمان و منحنی‌های آسیب‌پذیری مرتبط با آن سازه در پایین ترین سطح درخت محاسبه می‌شود. برای سطوح مختلف خرابی ساختمان در این مدل، احتمال خرابی شبکه گاز و برق محاسبه شده و بر اساس این احتمال نیز احتمال نشت گاز از لوله‌ها و یا ایجاد جرقه در سطح میانی درخت نیز محاسبه شده است. همچنین احتمال وجود دیگر محتویات قابل اشتعال و دیگر منابع ایجاد جرقه نیز در آن واحد ساختمانی در نظر گرفته شده‌است. نتیجه تحلیل این مدل احتمال وقوع اشتعال برای یک واحد ساختمان (آپارتمان) در هر سطح خرابی است [۴].

محاسبه شده است. برای سطوح مختلف خرابی ساختمان در این مدل، احتمال خرابی المان‌های گرمایشی محاسبه شده و بر اساس این احتمال نیز احتمال نشت سوخت و یا ایجاد جرقه در این اجزاء نیز محاسبه شده است. همچنین احتمال وجود دیگر محتویات قابل اشتعال و دیگر منابع ایجاد جرقه نیز در آن واحد مسکونی در نظر گرفته شده است. در نتیجه استفاده از این مدل بیشترین احتمال وقوع اشتعال برای یک واحد ساختمان در هر سطح خرابی ممکن محاسبه می‌شود. این احتمال با در نظر گرفتن بحرانی ترین زمان برای زلزله به دست می‌آید. (زمانی که این دستگاه‌ها در حال کار هستند). با اعمال ضریب اصلاح به علت زمان زلزله در طول روز و در طول سال مقدار احتمال اشتعال وقوع اشتعال برای یک واحد ساختمان در هر سطح خرابی ممکن، در زمان زلزله محاسبه می‌شود. برای مدل‌سازی احتمال اشتعال در ساختمان به علت سیستم‌های غیرگرمایشی مشابه سیستم‌های گرمایشی عمل می‌شود. با این تفاوت که به جای ضرایب اصلاح زمان زلزله، ضرایب اصلاح به علت کاربری ساختمان در احتمال اشتعال مربوطه اعمال می‌شود. این ضرایب معرف احتمال وجود دستگاه‌های اشتعال‌زا در کاربری‌های مختلف هستند [۴].

۳-۴- اشتعال‌های محتویات مهارنشده ساختمان

ساختمان‌ها با توجه به کاربری آنها ممکن است دارای انواع محتویات مهارنشده باشند. این محتویات نسبت به شتاب زلزله آسیب‌پذیر هستند. شتاب می‌تواند سبب واژگونی و آسیب‌دیدگی آنها شده و منجر به وقوع اشتعال شود. این محتویات می‌توانند، موادی با اشتعال پذیری بالا و یا دستگاه‌ها و تجهیزات برقی و یا دستگاه‌های دارای شعله باز و یا مواد اشتعال‌زا باشند. نوع و حجم محتویات ساختمان‌ها با کاربری آنها نیز تغییر می‌کند. به طور مثال در کارخانه‌های مواد شیمیایی قفسه‌های حاوی مواد اشتعال‌زا و یا در ساختمان‌های مسکونی اجاق‌های خوراک‌پزی گازی می‌توانند نمونه ای از این محتویات مهارنشده اشتعال‌زا باشند. احتمال اشتعال با توجه به نوع دستگاه، به زمان زلزله در روز و سال نیز وابسته است. به طور مثال چنانچه زلزله در ساعات ظهر رخ دهد احتمال وقوع اشتعال ناشی از واژگونی اجاق گاز بیشتر از زمانی است که زلزله در ساعات شب رخ دهد. برای هر یک از محتویات داخل ساختمان، درخت وقوع اشتعال در نظر گرفته شده است. این درخت روند مدل‌سازی اشتعال برای هر یک از دستگاه‌های موجود در هر یک از واحدهای ساختمانی را نشان می‌دهد. برای مدل‌سازی این اشتعال ابتدا باید احتمال واژگونی هر یک از دستگاه‌ها در هر

واحد مسکونی محاسبه شود. برای این منظور به کمک توزیع بیشینه شتاب زمین در منطقه (PGA)، مشخصات سازه ای و ابعاد ساختمان و روابط آیین نامه ای مرتبط با آن سازه، شتاب طبقات ساختمان محاسبه می‌شود. سپس با در نظر گرفتن مشخصات هر دستگاه و عدم قطعیت در ابعاد و جرم آن، توزیع احتمال شتاب بحرانی واژگونی برای آن دستگاه محاسبه شده و با مقایسه آن با شتاب طبقه، احتمال واژگونی دستگاه مورد نظر در واحد آپارتمانی مربوطه محاسبه می‌شود. سپس احتمال نشت مواد سوختی و ایجاد جرقه در صورت واژگونی آن دستگاه محاسبه می‌شود. احتمال وجود دیگر منابع ایجاد جرقه و مواد سوختی نیز در نظر گرفته شده است.

بنابراین برای هر دستگاه که در هر واحد ساختمانی وجود دارد احتمال اشتعال به روش یاد شده محاسبه می‌شود. این احتمال باید برای زمان زلزله و احتمال وجود دستگاه در کاربری‌های مختلف با ضرایب کاهنده اصلاح شود [۴].

۴-۶- ترکیب احتمالی اشتعال‌ها و محاسبه احتمال

اشتعال‌ها برای کل ساختمان

در مدل‌های گفته شده در بالا احتمال وقوع اشتعال در یک واحد و یا یک دستگاه در هر واحد ساختمان بدست آمده است. برای به دست آوردن احتمال وقوع دست کم x اشتعال (هر یک از سه نوع اشتعال تاسیساتی، اشتعال اجزاء غیر سازه ای و اشتعال محتویات مهار نشده و حتی اشتعال کلی) در ساختمان می‌بایست احتمال وقوع هر یک از اشتعال‌ها را برای تک تک واحدهای ساختمانی در آن ساختمان، تک تک سطوح خرابی (در دو حالت اشتعال تاسیساتی و اجزاء غیر سازه ای) و تک تک دستگاه‌های موجود در کل واحدهای ساختمانی آن ساختمان (در حالت اشتعال محتویات مهار نشده) محاسبه نمود. سپس احتمال وقوع تعداد x اشتعال را به کمک (۱) که رابطه جمع احتمال‌ها است، محاسبه نمود.

$$P(x|n) = p_1 \times p_2 \times \dots \times p_x \times (1-p_{n-1}) \times (1-p_{n-2}) \times \dots \times (1-p_{n-x}) + \dots + p_n \times p_{n-1} \times \dots \times p_x \times (1-p_1) \times (1-p_2) \times \dots \times (1-p_{n-x}) \quad (1)$$

در (۱) احتمال وقوع اشتعال، $(1-p)$ احتمال عدم وقوع اشتعال، x تعداد اشتعال‌های مورد نظر برای اتفاق افتادن n تعداد کل اشتعال‌هایی است که احتمال وقوع دارند. احتمال وقوع حداقل x اشتعال از (۲) به دست می‌آید.

$$P(\min x) = 1 - P(0|n) - P(1|n) - \dots - P(x-1|n) \quad (2)$$

احتمال اشتعال در هر یک از چهار نوع یاد شده به تخریب ساختمان وابسته است. تخریب شدید ساختمان، سبب کاهش

احتمال اشتعال می‌شود. بنابراین این امر نیز باید در ساختمان‌هایی که احتمال تخریب کلی آنها بیش از مقدار خاصی است، لحاظ شود [۴].

۵- اثر زلزله‌ها و روابط کاهندگی^۲ مختلف در

برآورد احتمال اشتعال

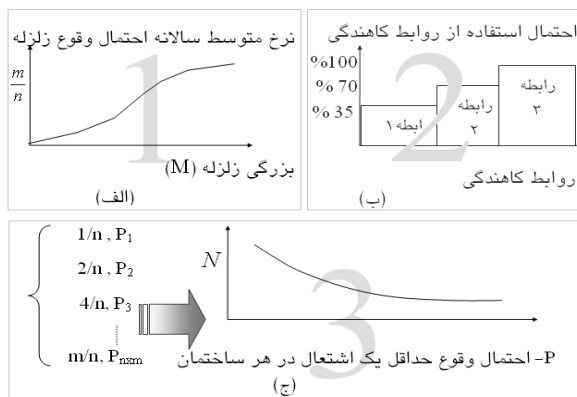
مدل پیشنهادی اشتعال‌های ساختمانی به منظور اجتناب از اندرکنش‌های غیرقابل تحلیل در مدلسازی، براساس گزینه‌های زلزله است. اما این مدل برای تامین اهداف خاص ذیل به گونه ای طراحی شده است که در صورت نیاز قادر به در نظر گرفتن گزینه‌های مختلف و ترکیب نتایج حاصل از تحلیل برای زلزله‌های مختلف با روش‌های احتمالی مختلف را داشته باشد.

- بررسی احتمال وقوع اشتعال‌های پس از زلزله، برای زلزله‌های مختلف منطقه
- بررسی عدم قطعیت مرتبط با محل زلزله
- بررسی عدم قطعیت مرتبط با زمان زلزله در روز و سال
- استفاده از روابط کاهندگی مختلف برای در نظر گرفتن خواص زمین شناسی و خاک منطقه مورد نظر

گزینه‌های زلزله ای که می‌توان برای منطقه مورد مطالعه در این مدل مورد استفاده قرار داد، از کاتالوگ‌های زلزله‌های تاریخی و دستگاهی، مرتبط با آن منطقه استخراج می‌شود. علاوه بر زلزله‌های تاریخی و دستگاهی همچنین می‌توان از زلزله‌های شبیه‌سازی سازی شده توسط مدل تحلیل خطر احتمالی زلزله نیز استفاده نمود. به هر حال این کاتالوگ‌ها باید دارای بازه زمانی مشخصی باشند. علاوه بر زلزله‌های مختلف برای هر منطقه می‌توان چندین رابطه کاهندگی برای پارامترهای لرزه‌ای تعریف نموده و در مدل‌سازی مورد استفاده قرار داد.

در روش مونت کارلو^۳ که برای مطالعه موردی در این پژوهش استفاده شده‌است، مدل ارائه شده برای هر کدام از گزینه‌های زلزله به صورت جداگانه تحلیل می‌شود. در این روش زلزله‌ها به ترتیب بزرگی مرتب شده و منحنی توزیع جمعیتی احتمال وقوع آنها تشکیل می‌شود. نمونه‌ای از این توزیع در شکل (۳) : روند ترکیب احتمال وقوع حداقل یک اشتعال برای زلزله‌های مختلف به روش مونت کارلو؛ n در این روابط، تعداد سالهای کاتالوگ زلزله و m تعداد زلزله و N نرخ متوسط سالانه جمعیتی احتمال وقوع حداقل یک اشتعال در هر ساختمان می‌باشد. در بخش (الف) نشان داده شده‌است. برای هر زلزله، رابطه کاهندگی نیز از منحنی توزیع جمعیتی روابط کاهندگی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. شکل این توزیع در شکل (۳) : روند ترکیب احتمال وقوع حداقل یک اشتعال برای زلزله‌های

مختلف به روش مونت کارلو؛ n در این روابط، تعداد سالهای کاتالوگ زلزله و m تعداد زلزله و N نرخ متوسط سالانه جمعیتی احتمال وقوع حداقل یک اشتعال در هر ساختمان می‌باشد. در بخش (ب) نشان داده شده‌است. با انجام این تحلیل، احتمال وقوع حداقل یک اشتعال برای هر ساختمان در هر تحلیل محاسبه می‌شود. این احتمالها به روش مونت کارلو با یکدیگر ترکیب شده و تابع توزیع نرخ متوسط سالانه جمعیتی احتمال وقوع حداقل یک اشتعال برای هر ساختمان (یا معکوس آن یعنی دوره بازگشت جمعیتی این احتمال) بدست می‌آید. نمونه عددی و منحنی این توزیع در شکل (۳) : روند ترکیب احتمال وقوع حداقل یک اشتعال برای زلزله‌های مختلف به روش مونت کارلو؛ n در این روابط، تعداد سالهای کاتالوگ زلزله و m تعداد زلزله و N نرخ متوسط سالانه جمعیتی احتمال وقوع حداقل یک اشتعال در هر ساختمان می‌باشد. در بخش (ج) نشان داده شده‌است. نرخ متوسط سالانه جمعیتی، تعداد وقوع مقدار احتمال‌های بیشتر از احتمال حداقل یک اشتعال در یک ساختمان در یک سال را نشان می‌دهد. نرخ متوسط سالانه جمعیتی را می‌توان به نرخ متوسط سالانه غیرتجمعی تبدیل نمود. نرخ متوسط سالانه غیرتجمعی تعداد وقوع احتمال حداقل یک اشتعال در یک ساختمان در یک سال می‌باشد. شکل (۳) : روند ترکیب احتمال وقوع حداقل یک اشتعال برای زلزله‌های مختلف به روش مونت کارلو؛ n در این روابط، تعداد سالهای کاتالوگ زلزله و m تعداد زلزله و N نرخ متوسط سالانه جمعیتی احتمال وقوع حداقل یک اشتعال در هر ساختمان می‌باشد. روند ترکیب احتمال وقوع حداقل یک اشتعال برای زلزله‌های مختلف و روابط کاهندگی مختلف را به تفکیک گام‌های آن به روش مونت کارلو نشان می‌دهد [۴].



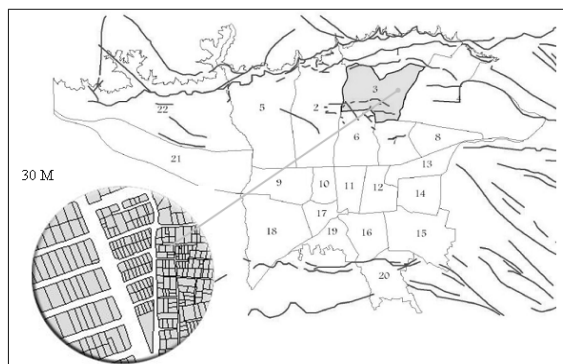
شکل (۳) : روند ترکیب احتمال وقوع حداقل یک اشتعال برای زلزله‌های مختلف به روش مونت کارلو؛ n در این روابط، تعداد سالهای کاتالوگ زلزله و m تعداد زلزله و N نرخ متوسط سالانه جمعیتی احتمال وقوع حداقل یک اشتعال در هر ساختمان می‌باشد.

۶- مطالعه موردی منطقه ۳ شهر تهران

بر مبنای مدل پیشنهادی مطرح شده نرم افزار برآورد خطر اشتعال پس از زلزله براساس GIS^۰ طراحی شده است. این نرم افزار قابلیت تحلیل برای هر تعداد گزینه زلزله و ترکیب نتایج آنها به روش مونت کارلو را، برای هر منطقه‌ای با داشتن اطلاعات مربوط به ساختمان‌های آن دارد.

در این مطالعه منطقه ۳ برای تحلیل مدل اشتعال مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۴) : نقشه مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، گسل‌های شهر تهران و ساختمان‌های منطقه ۳ شهر تهران نقشه مناطق ۲۲ گانه شهر تهران را نشان می‌دهد. همانطور که در نقشه نشان داده شده است، منطقه ۳ در قسمت شمالی شهر تهران و نزدیک به گسل‌های شمالی شهر تهران قرار گرفته است. قرار گرفتن تهران در نزدیکی گسل‌های فراوان احتمال رویداد زمین لرزه با خسارتهای شدید در این شهر را ممکن ساخته است [۵].

شکل (۴) : نقشه مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، گسل‌های شهر تهران و ساختمان‌های منطقه ۳ شهر تهران نقشه بخشی از بافت ساختمانی منطقه ۳ شهر تهران را به صورت بزرگتر در دایره کناری نیز نشان می‌دهد. در این نقشه بزرگنمایی شده هر چندضلعی معرف عرصه یک ساختمان می باشد. بافت منطقه ۳ بیشتر مسکونی می باشد. این منطقه سکونت گاه اقبال مرفه است. به این اعتبار بناهای مسکونی این منطقه کیفیت ساختمانی قابل قبولی را دارند [۵].

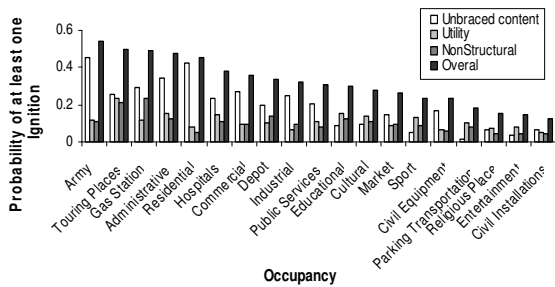


شکل (۴) : نقشه مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، گسل‌های شهر تهران و ساختمان‌های منطقه ۳ شهر تهران

برای تحلیل اطلاعات مربوط به ساختمان‌های منطقه ۳، نظیر مساحت، تعداد طبقات، نوع کاربری و نوع سازه ساختمان بر اساس نقشه موقعیت جغرافیایی ذخیره شده و به برنامه داده شده است. برای تعیین تعداد واحدهای هر ساختمان، بر اساس

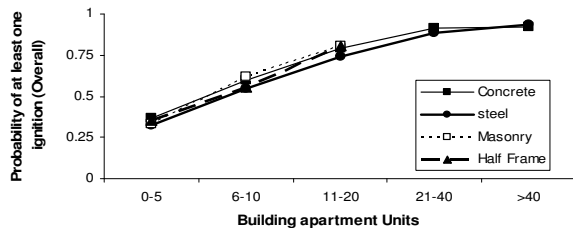
اطلاعات موجود و داوری مهندسی، فرضیاتی در نظر گرفته شده است. در این مدل برای منحنی‌های آسیب‌پذیری سازه‌ها از ماتریس‌های خرابی ۱۳-ATC [۶] استفاده شده و برای محاسبه شتاب طبقات از روش تحلیل استاتیکی معادل در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران [۷] استفاده شده است. همچنین انواع دستگاه‌ها و احتمال وجود آنها در داخل ساختمان‌های این منطقه با کاربری‌های مختلف نیز بر اساس آمار و داوری مهندسی تعیین شده‌اند.

زلزله‌هایی که برای تحلیل مدل اشتعال برای منطقه ۳ در نظر گرفته شده‌اند، زلزله‌های شبیه‌سازی شده ۱۰۰۰ ساله برای شهر تهران هستند. این زلزله‌ها با استفاده از یکی از مطالعات مربوط به لرزه‌خیزی تهران تعیین شده است [۸]. این زلزله‌ها در محدوده ۳۰۰ کیلومتر حول منطقه ۳ قرار گرفته و شامل ۵۲۲ زلزله هستند [۸]. اطلاعات مرتبط با این کاتالوگ شامل، بزرگی گشتاوری، عمق، طول و عرض جغرافیایی، و زمان زلزله می‌باشد. روابط کاهندگی که در این مدل مورد استفاده قرار گرفته‌اند، رابطه «Ambraseys 1995» [۹] و «Zare 1999» [۱۰] برای PGA و رابطه «KiehwaleeandJungKiKim» برای MMI می‌باشند [۱۱]. در ادامه نتایج تحلیل احتمال وقوع اشتعال داخل ساختمان‌های منطقه ۳ پس از زلزله گزینه بیان شده است. همچنین حساسیت نتایج به اطلاعات مورد استفاده قرار گرفته و فرضیاتی که در مدل‌سازی استفاده شده اند بررسی می‌شود. همانطور که مطرح شد، برای هر ساختمان نرخ متوسط سالانه جمعی احتمال حداقل یک اشتعال (و یا دوره بازگشت) در چهار حالت اشتعال تاسیساتی، اشتعال در اجزای غیر سازه ای و محتویات مهار شده و اشتعال در محتویات مهار نشده و اشتعال در حالت کلی محاسبه می‌شود. شکل (۵) : توزیع جغرافیایی احتمال اشتعال‌های داخل ساختمانی پس از زلزله در منطقه ۳ شهر تهران نقشه احتمالی اشتعال‌های پس از زلزله در منطقه ۳ شهر تهران، را نشان می‌دهد. در این شکل، احتمال وقوع حداقل یک اشتعال کلی با نرخ متوسط سالانه وقوع ۰/۰۱ (دوره بازگشت ۱۰۰ ساله) در هر یک از ساختمان‌ها نشان داده شده است.



شکل (۷): مقدار متوسط احتمال وقوع حداقل یک اشتعال با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در برابر کاربری ساختمانها

نوع سازه‌های ساختمان‌های منطقه ۳ بر مبنای اطلاعات موجود، شامل ساختمان‌های اسکلت فولادی، اسکلت بتنی، نیمه اسکلت و مصالح بنایی می‌باشد. از آنجا که علاوه بر سازه ساختمان، تعداد طبقات و مساحت ساختمان نیز بر احتمال اشتعال‌ها اثر می‌گذارد، برای بررسی اثر سازه‌ها به صورت مجزا، نتایج بر اساس این مقادیر نرمالیزه شده‌اند. شکل (۸): مقادیر متوسط احتمال وقوع حداقل یک اشتعال کل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در برابر تعداد واحدهای موجود در منطقه برای هر چهار نوع سازه موجود در منطقه متوسط احتمال وقوع حداقل یک اشتعال با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در ساختمان‌های با تعداد واحدهای آپارتمانی یکسان و سازه‌های یکسان در برابر واحدهای ساختمانی را نشان می‌دهد.

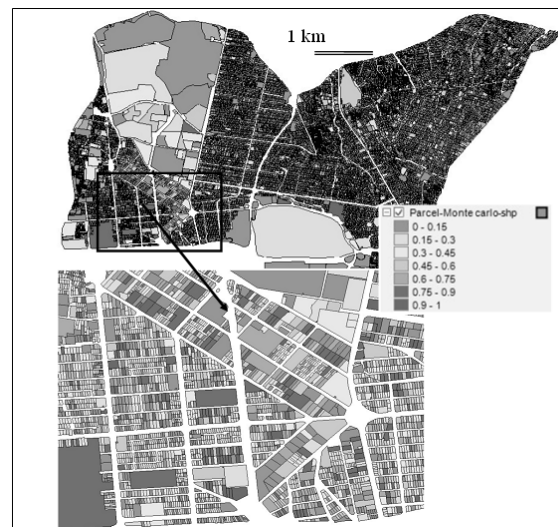


شکل (۸): مقادیر متوسط احتمال وقوع حداقل یک اشتعال کل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در برابر تعداد واحدهای موجود در منطقه برای هر چهار نوع سازه موجود در منطقه

همانطور که از توابع آسیب پذیری و ضریب رفتار سازه‌ها انتظار می‌رود، هر چه سازه قوی تر بوده و قابلیت تحمل اثرات زلزله را داشته باشد و به علاوه هرچه شکل پذیر تر باشد، مقدار شتاب زلزله و احتمال تخریب اجزاء سازه ای و غیر سازه‌ای آن کاهش یافته و احتمال وقوع اشتعال در آن کمتر می‌شود.

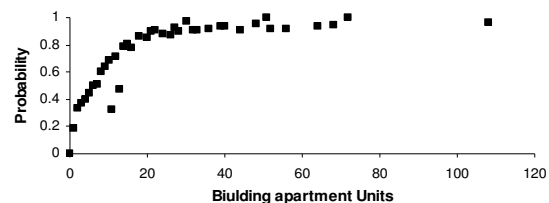
۷- نتیجه

در این مقاله روش تحلیلی برای تخمین احتمال وقوع اشتعال‌های داخل ساختمان پس از زلزله مدل شده است. در این



شکل (۵): توزیع جغرافیایی احتمال اشتعال‌های داخل ساختمانی پس از زلزله در منطقه ۳ شهر تهران

شکل (۶): مقدار متوسط احتمال حداقل یک اشتعال با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، در برابر تعداد واحدهای آپارتمانی ساختمان مقدار متوسط احتمال حداقل یک اشتعال کل برای تمامی ساختمان‌ها با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله را، در برابر تعداد واحدهای آپارتمانی نشان می‌دهد. تعداد محتویات ساختمان و حجم تاسیسات و اجزاء غیر سازه ای ساختمان به طور مستقیم وابسته با اندازه و ابعاد ساختمان‌ها هستند. در این مدل تعداد واحدهای آپارتمانی ساختمان به عنوان واحد حجم این محتویات و تاسیسات در نظر گرفته شده است. افزایش تعداد واحدهای ساختمان، افزایش محتویات و تاسیسات ساختمانی را در پی داشته و همانطور که در این شکل نیز نشان داده شده باعث افزایش احتمال اشتعال در ساختمان می‌شود.



شکل (۶): مقدار متوسط احتمال حداقل یک اشتعال با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، در برابر تعداد واحدهای آپارتمانی ساختمان شکل (۷): مقدار متوسط احتمال وقوع حداقل یک اشتعال با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در برابر کاربری ساختمان‌ها مقدار متوسط احتمال حداقل یک اشتعال (هر چهار نوع) با دوره بازگشت ۱۰۰ سال را برای تمامی ساختمان‌ها با کاربری‌های یکسان، در برابر نوع کاربری ساختمان نشان می‌دهد.

روش می تواند جایگزینی قابل قبول برای مدل آماری برآورد
 اشتعال در مدل های فعلی آتش سوزی پس از زلزله باشد. مدل
 طراحی شده برخلاف مدل های موجود، می تواند محل هایی را که
 احتمال اشتعال در آنها بیشتر است، شناسایی کرده و بنابراین
 می توان آن را در بحث مدیریت بحران نیز مورد استفاده قرار
 داد. برای نشان دادن قابلیت برنامه اطلاعات مرتبط با منطقه ۳
 شهر تهران مورد استفاده قرار گرفته و نتایج اولیه حاصل از
 تحلیل مدل اشتعال پس از زلزله برای این منطقه ارائه شده
 است. در انجام این تحلیل توزیع مرتبط با عدم قطعیت های هر
 پارامتر، بر اساس اطلاعات موجود، داوری مهندسی و فرضیات
 قابل قبول در نظر گرفته شده است. برای تعیین دقیق و کمی این
 عدم قطعیت ها نیاز به تحقیقات بیشتری وجود دارد.

مدل اغلب عوامل موثر بر وقوع اشتعالها نظیر شدت و شتاب
 زلزله، مساحت ساختمانها، نوع سازه ساختمانها، پاسخ آنها
 به زلزله، کاربری ساختمانها، انواع محتویات ساختمانها و
 زمان وقوع زلزله، و عدم قطعیت های موجود در آنها را نیز در
 نظر گرفته شده است. با استفاده از روش تجمیع احتمالی،
 احتمال وقوع اشتعال در هر المان قابل اشتعال که از تحلیل
 حاصل شده اند، را ترکیب کرده و احتمال وقوع اشتعال برای
 هر ساختمان را به صورت جداگانه محاسبه می کند. همچنین این
 مدل برخلاف مدل های موجود قابلیت تحلیل چندین زلزله و
 ترکیب آنها به روش مونت کارلو را نیز داراست. بر اساس
 روش پیشنهادی یک برنامه کامپیوتری برای مدل سازی
 اشتعال های داخل ساختمان پس از زلزله تهیه شده است. این
 برنامه در قالب یک الگوی GIS تهیه شده که در کنار تحلیل
 احتمالی قدرتمند، قابلیت نمایش نتایج را نیز دارد. در نتیجه این

۸- مراجع

- BUILDING AND HOUSING RESEARCH CENTER; IRANIAN CODE OF PRACTICE FOR SEISMIC RESISTANT DESIGN OF BUILDINGS (STANDARD 2800), CHAPTER 2, EDITION 2, 31-57, BUILDING AND HOUSING RESEARCH CENTER, IRAN, 1999. [۷]
- ZOLFAGHARI M; "MULTIPLE SEISMIC SOURCE MODELS FOR PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF TEHRAN" JOURNAL OF EARTHQUAKE ENGINEERING (UNDER THE REVIEW PROCESS) [۸]
- J. DOUGLAS; A COMPREHENSIVE WORLDWIDE SUMMARY OF STRONG-MOTION ATTENUATION RELATIONSHIPS FOR PEAK GROUND ACCELERATION AND SPECTRAL ORDINATES (1969 TO 2000) (CHAPTER 2: SUMMARY OF PUBLISHED ATTENUATION RELATIONS FOR PEAK GROUND ACCELERATION), REPORT NO. 01-1, ENGINEERING SEISMOLOGY AND EARTHQUAKE ENGINEERING, 2001 [۹]
- ZARE. M.; GHAFORY ASHTIANY. M.; BARD.P.Y.; "ATTENUATION LAW FOR THE STRONG MOTION IN IRAN", THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEISMOLOGY AND EARTHQUAKE ENGINEERING ,VOL 1,PP.345-354, TEHRAN,IRAN,1999. [۱۰]
- KIEHWA. LEE; JUNG-KI. KIM; "INTENSITY ATTENUATION IN THE SINO-KOREAN CRATON", BULLETIN OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, v. 92, NO. 2, P. 783-793, 2002. [۱۱]
- CHEN; CHARLES SCAWTHORN.; EARTHQUAKE ENGINEERING HANDBOOK(CHAPTER 29 : " FIRE FOLLOWING EARTHQUAKE"),CRC PRESS LRC., 2003. [۱]
- CHARLES SCAWTHORN.; JOHN M. EIDINGER.; ANSHEL J. SCHIFF, FIRE FOLLOWING EARTHQUAKE (CHAPTER 4: "ANALYSIS AND MODELING"), ASCE,USA, 2005. [۲]
- SCAWTHORN, C.; "SIMULATION MODELING OF FIRE FOLLOWING EARTHQUAKE", PROC., U.S. NATIONAL CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING, CHARLESTON, SOUTH CAROLINA, 1675-1685, 1986. [۳]
- ذوالفقاری، محمدرضا؛ پیغاله، الناز؛ "پایان نامه کارشناسی ارشد : تحلیل خطرپذیری آتش سوزی پس از زلزله ، مطالعه موردی بخشی از شهر تهران" ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده مهندسی عمران، تهران ، ایران، ۱۳۸۶. [۴]
- شرکت مهندسی مشاور شاران، مطالعات کاربری زمین برای منطقه ۳ شهر داری شهر تهران، تهران، ایران، ۱۳۸۵. [۵]
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA); "ATC-13, EARTHQUAKE DAMAGE EVALUATION DATA FOR CALIFORNIA", FEMA, 1985. [۶]

۹- زیر نویس ها

- ۱ Scenario
 ۲ Attenuation
 ۳ Catalog
 ۴ Monte Carlo
 ۵ Geographical Information System(GIS)