فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ نهم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۳۹۸
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 9, No.3, Serial 33 (Fall 2019)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲

ارزیابی مؤلفه‌های مؤثر در افزایش ریسک خسارات ساختمان‌های شهری در آتش‌سوزی پس از بحران زلزله به روش AHP

محیا قوچانی[۱]، محمد تاجی[۲] و مجتبی دربانیان[۳]

۱. کارشناس ارشد معماری، گروه تحقیقاتی تصمیم‌گیری هوشمندانه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود، ایران.
۲. استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود، ایران.(نویسندهمسئول) mohammadtaji@yahoo.com
۳. کارشناس ارشد عمران گروه تحقیقاتی تصمیم گیری هوشمندانه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: زلزله می‌تواند سر منشأ بسیاری از سوانح ثانویه باشد. از این میان آتش‌سوزی یکی از مهم‌ترین نمودهای مخاطرات ثانویه پس از زلزله محسوب می‌گردد. آتش‌سوزی پس از زلزله در نواحی شهری در مواردی می‌تواند خساراتی به مراتب شدیدتر از خود زلزله بر جای گذارد. پس از رخداد زلزله با توجه به وجود منابع ایجادکنندهٔ آتش، مانند شریان‌های گاز و برق و با وجود احتمالی ایستگاه‌های نگهداری یا توزیع گاز، ریسک حاصل از آتش‌سوزی به شدت افزایش می‌یابد. از طرف دیگر وضع عمومی محیط شهری پیرامون می‌تواند نقش بسیار مهمی بر رفتار آتش داشته باشد.

روش: در این پژوهش، با استفاده از روش تحقیق توصیفی- تحلیلی، به منظور تصمیم‌سازی برای ارزیابی ریسک آتش‌سوزی پس از سانحه، از میان انواع روش‌های موجود در این زمینه، معیارها و زیر معیارهای تأثیرگذار بر آتش‌سوزی پس از زلزله و آسیب‌پذیری مناطق شهری استخراج گردید. این معیارها مشتمل بر چهار معیار اصلی دسترسی، سازه‌ها، روش‌های مقابله و عوامل خطرزا بود به طوری که هر کدام دارای زیرمعیارهایی می‌باشند. سپس این زیرمعیارها توسط گروه خبرگان و به روش مقایسه زوجی، اولویت‌بندی شدند. در آخر به منظور بررسی تاثیر جنس سازه بر میزان آسیب پذیری، پدیدهٔ آتش‌سوزی پس از زلزله در ساختمان فولادی مدل‌سازی و تحلیل شده است.

یافته‌ها: شاخص جنس سازه، ریسک آتش‌سوزی پس از بحران زلزله را در ساختمان افزایش می‌دهد. وسعت آتش‌سوزی بر روی سازه‌ای که دارای پوشش ضدحریق بر روی ستون‌های خود است تأثیر چندانی ندارد و نوع خرابی به مشخصات و مقاومت تیر در برابر آتش‌سوزی وابسته است. در سازهٔ بدون پوشش ضدحریق، سناریو آتش‌سوزی تأثیر بسزایی در رفتار کلی سازه خواهد داشت. به‌طوری‌که با گسترش آتش‌سوزی، عملکرد کلی سازه دچار اختلال شده و مقاومت لازم در برابر بارهای وارده را نخواهد داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه نشان داد برای ارزیابی ریسک آتش‌سوزی ناشی از زلزله معیارهای جنس سازه، تعداد علمک‌های گاز شهری و ارتفاع سازه دارای بیشترین نقش بوده که باید بررسی شوند. در صورت کوتاهی و در نظر نگرفتن هر کدام از معیارهای مذکور، ممکن است شدت حادثه گسترش پیدا کرده و موجب افزایش تلفات و خسارات شود. همچنین پیشنهاد می‌شود از پوشش‌های ضد حریق بر روی ستون در مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود در برابر آتش‌سوزی پس از زلزله با توجه به محدودیت‌های اقتصادی و فنی، استفاده شود.

کلید واژه‌ها: ارزیابی ریسک، آتش‌سوزی، بحران زلزله، پوشش ضد حریق.

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** قوچانی، محیا؛ تاجی، محمد؛ دریانیان، مجتبی (پاییز، ۱۳۹۸)، ارزیابی مؤلفه‌های مؤثر در افزایش ریسک خسارات ساختمان‌های شهری در آتش‌سوزی پس از بحران زلزله به روش AHP. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۹ (۳)،۲۹۳-۳۰۶.

Evaluation of the Effective Factors on Increasing the Risk of Damages to Urban Buildings in Post-earthquake Fire Crisis by AHP Method

Mahya Ghouchani[1], Mohammad Taji[2] & Mojtaba Darbaniyan[3]

1. Master of Architecture, Intelligent Decision Research Group, Islamic Azad University of Shahrood Branch, Shahrood, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran. (corresponding author) mohammadtaji@yahoo.com
3. Master in Civil Engineering, Intelligent Decision Making Research Group, Islamic Azad University, Shahrood Branch, Shahrood, Iran.

Abstract

Background and objectives: Earthquake can be the source of many secondary disasters. Fire is one of the most important secondary hazards after the earthquake. In some cases, post-earthquake fires, in urban areas, may cause far more severe damages than the earthquake itself. After the earthquake, the risk of fire is greatly increased due to the existence of sources of fire, such as arteries of gas and electricity, with the possible presence of gas storage or distribution stations. On the other hand, the general conditions of the around urban environment may play a very important role in fire behavior.

Method: In this study, by using descriptive-analytical research method, in order to determine the evaluation of post-disaster fire risk, among the various available methods in this field, the effective criteria and sub-criteria on the post-earthquake fire and vulnerability of urban areas were extracted. These criteria included four main criteria of access, structures, methods of confronting, and risk factors, so, each has sub-criteria. These sub-criteria were then prioritized by the expert group using paired comparison method. At the end, in order to study the impact of structural material on the vulnerability, the phenomenon of post-earthquake fire in the steel building is modeled and analyzed.

Finding: The structural index increases the risk of post-earthquake fire in buildings. The extent of the fire does not have a significant effect on the structures that have fire-proof cover on their columns, and the type of damages depends on the characteristics and resistance of the beam to the fire. In non-fire-proof construction, the fire scenario will have a significant impact on the structure's overall behavior. As the fire spreads, the whole function of construction will be disrupted and will not withstand the loads.

Conclusion: The results of the study showed that in order to assess the risk of fire caused by earthquake, structural criteria, number of urban main gas valves and structural height have the most significant role to be considered. In the case of failure or not considering any of the above criteria, the accident may extend and fatalities and loses will increase. It is also recommended to use fire-proof covers on the pillars to reinforce existing buildings after the earthquake due to economic and technical constraints.

Keywords: Risk Assessment, Fire, Earthquake Crisis, Fire-proof cover.

▶**Citation (APA 6th ed.):** Ghouchani M, Taji M, Darbaniyan M. (2019, Fall). Evaluation of the Effective Factors on Increasing the Risk of Damages to Urban Buildings in Post-earthquake Fire Crisis by AHP Method. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 9*(3), 293-306.

مقدمه

آتش‌سوزی پس از زلزله به عنوان آتش‌سوزی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم ناشی از زلزله است، توصیف می‌گردد. در میان حوادث پس از زلزله و بلایای ثانویه لرزه‌ای، آتش‌سوزی پس از زلزله معمولاً جزء خطرناک‌ترین آن‌ها می‌باشد که تجارب زلزله‌های تاریخی نمایانگر همین موضوع می‌باشد. سوانح ثانویه لرزه‌ای مانند آتش‌سوزی، ممکن است خسارت به مراتب بیشتر از زلزله ایجاد نموده و جامعه را به طور جدی در معرض خطر قرار دهد (جیه[1]، ۲۰۰۱). زمین‌لرزه‌های بزرگ می‌توانند باعث آسیب شدید به ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها شوند. از طرفی زلزله تا حد زیادی غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد و آتش‌سوزی‌های ناشی از زمین‌لرزه‌های بزرگ حتی کمتر از آن قابل پیش‌بینی هستند. سوابق تاریخی نشان می‌دهد که آتش‌سوزی‌های کوچک که غالباً در اثر زلزله آغاز شده‌اند، گاهی اوقات به آتش‌سوزی‌های گسترده و مخرب تبدیل شده و باعث آسیب شدید، بر زندگی و اموال مردم شده‌اند. اولین نگرانی در این رابطه، در مورد خسارات آتش بر ساختمان‌های منحصر به فرد، که در آن احتمال از دست رفتن زندگی در ساختمان‌های بلند بسیار بیشتر از ساختمان‌های کوتاه‌تر است، می‌باشد. نگرانی‌های بعدی دربارهٔ امکان خرابی ناشی از آتش‌سوزی گسترده در سطح شهر است. از جمله عواملی که احتمال تبدیل آتش‌سوزی کوچک به آتش‌سوزی بزرگ و گسترده را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توان به میزان خسارت زلزله، نوع و تراکم ساخت و ساز ساختمانی، شرایط باد، از دست دادن منابع آب و قابلیت‌های آتش‌نشانی اشاره کرد (بوتینگ[2]، ۲۰۰۰).

سوابق تاریخی نشان می‌دهد خطرات ناشی از آتش‌سوزی بعد از زلزله، گاهی می‌تواند خیلی شدیدتر و تهدیدکننده‌تر از زمین‌لرزه باشد (بوردن[3]، ۱۹۹۶). زلزله ۱۹۰۶ "سان فرانسیسکو"[4] و زلزله ۱۹۲۳ "گریت کانمتو"[5]، که آتش‌سوزی‌های بعد از این زمین‌لرزه‌ها جزء بزرگترین آتش‌سوزی‌ها از این نوع می‌باشند (اسکاتورن[6]، ۲۰۰۳). در آتش‌سوزی سال ۱۹۰۶ سان فرانسیسکو بیش از ۲۸۰۰۰ ساختمان در مساحت ۱۲ کیلومتر مربع تخریب شد. این آتش‌سوزی باعث خسارتی معادل ویران شدن ۲۵۰میلیون ساختمان شد که ۷۷ درصد این خرابی‌ها در اثر آتش‌سوزی پس از زلزله بود. لذا نتیجه عملکرد ساختمان‌ها در مقابل آتش و همچنین مجموعه‌ای از کارگاه‌های بین‌المللی در خصوص ایمن‌سازی سازه‌ها در مقابل آتش بر آن داشت که آئین‌نامه‌هایی مانند اس. آی. اف[7] ۲۰۰۰،اس. آی. اف ۲۰۰۲،اس. آی. اف ۲۰۰۴ تدوین گردند (لی جورج. سی[8]، ۲۰۰۸). تا کنون تحقیقات زیادی در مورد عملکرد ساختمان‌ها در معرض زلزله و آتش‌سوزی‌های پس از آن صورت پذیرفته است. کرته و لندولف[9] (۲۰۰۳) در قالب یک مدل ساده، خسارت‌های ناشی از زلزله و آتش‌سوزی ناشی از آن را بررسی و ارائه نمودند. نتایج تحقیقات نشان می‌داد که سیستم‌های حفاظت در برابر آتش جهت جلوگیری از صدمات اضافی به ساختمان‌ها بسیار کار آمد می‌باشند (بهنام و رونق[10]، ۲۰۱۵).

نتیجهٔ مطالعهٔ دلاکورته[11] و همکارانش (۲۰۰۵) نشان داد که فلسفهٔ طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی قاب خمشی، تأثیر چشم‌گیری در عملکرد سازه به هنگام آتش‌سوزی پس از زلزله دارد. در سال ۲۰۰۷ مطالعهٔ دیگری توسط فاگینو[12] و همکارانش به ترتیب با استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی بار افزون و تحلیل ترمودینامیک به ارزیابی عملکرد قاب فولادی پرتال تحت آتش‌سوزی پس از زلزله پرداختند. نتایج نشان داد مکانیزم خرابی قاب پرتال در آتش‌سوزی پس از زلزله در صورتی که عملکرد سازه در طول زلزله از حالت بهره‌برداری تجاوز نکند، تأثیر چندانی در مقاومت در برابر آتش‌سوزی نخواهد داشت. استحکام سازه‌های فولادی در سناریوهای مختلف تحت آتش‌سوزی پس از زلزله مطابق با رویکرد طراحی براساس عملکرد که شامل سطوح عملکرد بهره‌برداری بدون وقفه، سطح عملکرد جانی و سطح عملکرد خرابی

1. Jie
2. Botting
3. Borden
4. San Fransisco
5. Grat Kanto
6. Scawthorn
7. SiF (Safety in Fre)
8. Lee George. C.
9. Corte & Landolfo
10. Behnam & Ronagh
11. Della Corte
12. Faggiano

توسط فاگینو و همکاران ارائه شده است. براکستان و پسیکی[1] در سال ۲۰۱۱ با انجام آزمایش به بررسی رفتار مکانیکی پوشش ضد حریق در ناحیهٔ اتصال تیر به ستون پرداختند. در مطالعهٔ مذکور مشاهده شد که در سطح مشخصی از جابه‌جایی نسبی طبقات، پوشش ضد حریق تیرها در محل تشکیل مفصل پلاستیک، دچار آسیب می‌شود. علاوه بر این، مطالعات عددی تکمیلی جهت بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر روی پوشش‌های آسیب دیده نشان داد، در نواحی نزدیک به اتصال تیر به ستون، آسیب پوشش می‌تواند باعث بالا رفتن دما در آن ناحیه شده و منجر به نفوذ حرارت در نواحی نزدیک ستون می‌شود. بعدها کلر[2] و پسیکی با استفاده از شبیه‌سازی عددی به بررسی تأثیر آسیب پوشش در طی زلزله و عملکرد آن در برابر افزایش حرارت پرداختند. نتایج حاصله نشانگر کاهش ظرفیت اتصال و مقاومت در برابر آتش‌سوزی در ناحیه آسیب دیده بود (کلر و پسیکی، ۲۰۱۱).

با توجه به مطالب ارائه شده، هدف پژوهش حاضر، تصمیم‌سازی برای ارزیابی ریسک آتش‌سوزی پس از سانحه و استخراج و اولویت‌بندی معیارها و زیر معیارهای تأثیرگذار بر آتش‌سوزی پس از زلزله و آسیب‌پذیری مناطق شهری می‌باشد. فرض بر این است که زیرمعیارهای سازهٔ ساختمان، بیشترین تأثیر را در بروز آتش‌سوزی پس از بحران زلزله دارد. بنابراین به منظور آزمون فرضیه، پدیده آتش‌سوزی پس از زلزله مدلسازی و تحلیل شده است.

چارچوب و مفاهیم نظری

ارزیابی: ارزیابی یک وظیفه دشوار و قاطع مدیریتی است که به طور مستقیم در تصمیم‌گیری مؤثر، برنامه‌ریزی و کنترل به منظور انجام اقدامات مقابله منسجم انجام می‌شود (استیفنسون[3]، ۱۹۹۴). چنانچه از تعریف بر می‌آید، ارزیابی، نوعی عملکرد مدیریتی بوده و به کارآمدی برنامه‌ریزی، تصمیم‌سازی و روند اجرایی آن یاری داده و در کلیه مراحل قبل، حین و پس از سانحه، در مدیریت سانحه اعمال می‌گردد. هدف از ارزیابی در یک موقعیت به منظور شناسایی مشکل، منبع و علت آن و نتایج حاصل از آن است. به بیان دیگر ارزیابی، چگونگی مداخله نیست بلکه بررسی این موضوع است که آیا به مداخله نیازی می‌باشد یا خیر (آی. اف. آر. سی[4]، ۲۰۰۸). امروزه ارزیابی کاربرد گسترده‌ای در فعالیت‌های علمی، تخصصی و مدیریت سوانح داشته و در وجوه گوناگون نظارت، برنامه‌ریزی، طراحی و اجرا نمود یافته است. برخی از کارشناسان سوانح ارزیابی را بررسی و تفسیر اطلاعات جمع‌آوری شده به منظور ارایهٔ مبانی تصمیم‌گیری، می‌دانند در حالی که تعدادی دیگر مفهوم مزبور را به عنوان مرحله‌ای از یک فرآیند دانسته که به بررسی و تحلیل شایستگی‌های طرح‌ها و عملیات می‌پردازد. در این میان ارزیابی سانحه به عنوان بخشی از زنجیره مدیریت بحران که تأثیر مستقیم در تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی مناسب و نظارت بر عملیات مقابله و بازسازی دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (شکوهی دهکردی، ۱۳۹۲).

ریسک: مفهوم ریسک به صورت‌های مختلفی تعریف می‌شود. می‌توان گفت ریسک ترکیبی از خطر و آسیب‌پذیری است. در یک تعریف جامع‌تر، ریسک ترکیبی از خطر زمین‌لرزه، تمامی خطرات ثانویه ناشی از وقوع زلزله (مانند زمین‌لغزش و آتش‌سوزی) و آسیب‌پذیری تمامی سیستم‌ها از جمله سیستم‌های اجتماعی و اقتصادی، زیرساخت‌ها و تسهیلات عمومی، ساختمان‌ها و انسان است.

زلزله: زلزله پدیده‌ای است طبیعی که هر از چند گاهی قسمتی از زمین را می‌لرزاند و خرابی‌هایی به بار می‌آورد (زهرائی و ارشاد، ۱۳۸۴) و طی حرکت و ارتعاش شدید بخشی از پوسته زمین، تمام مواد و سازه‌های روی آن را می‌لرزاند (علوی و مسعود، ۱۳۸۶). لرزش‌های مزبور ممکن است به همراه انفجارهای آتش‌فشانی رخ دهد (حدود هفت درصد از زلزله‌ها)، یا با جابه‌جایی پوستهٔ زمین در طول خطوط گسل همراه باشد (حدود ۹۰ درصد زلزله‌ها)، یا اینکه از نوع سقوط باشد که بیشتر در مناطق آهکی و گچی و سنگ‌های قابل انحلال رخ می‌دهد (حدود ۵ درصد از زلزله‌ها) (شریف‌زادگان و فتحی، ۱۳۸۷).

اثرات زلزله و آتش‌سوزی پس از زلزله

زلزله‌ها اغلب در پهنه‌های مشخصی از سطح زمین روی می‌دهند که بر مرزهای صفحه‌های زمین‌ساختی که پوستهٔ زمین را تقسیم

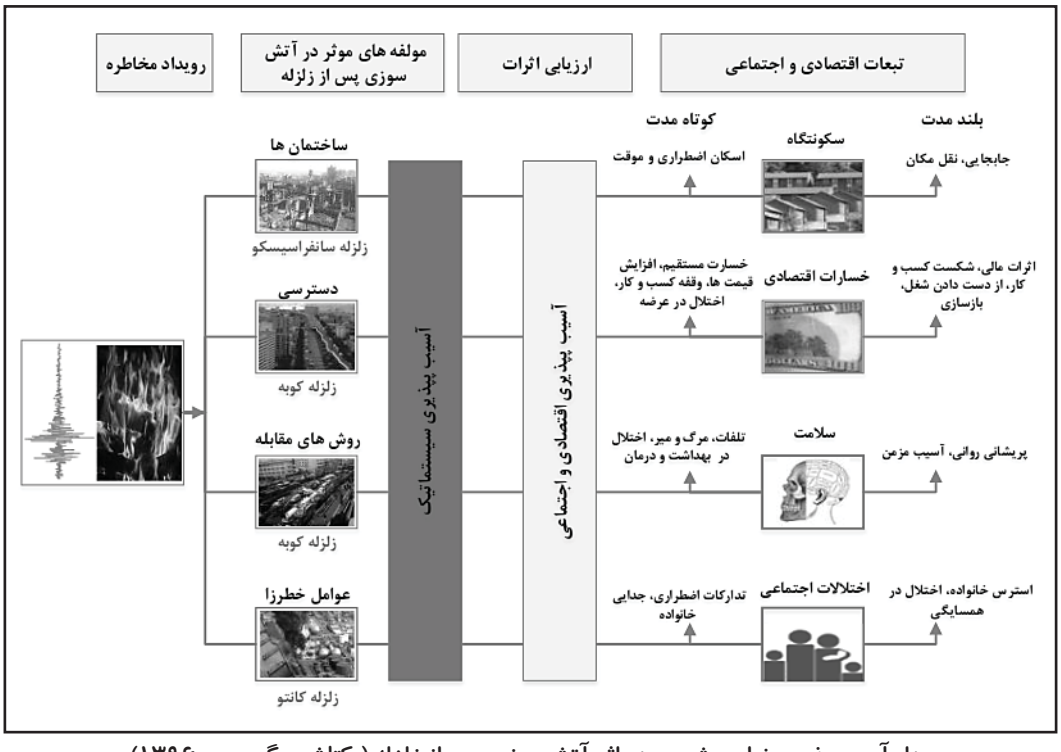
1. Braxtan & Pessiki
2. Keller
3. Stephenson
4. IFRC. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies

کرده‌اند، منطبق هستند و حرکت نسبی صفحه‌ها نسبت به یکدیگر و در راستای مرزها، به صورت لغزشی آرام و در کنار یکدیگر نبوده و اغلب در هم قفل می‌شوند. این قفل شدگی در سنگ‌های هر دو مرز، تغییر شکل ایجاد می‌کند که موجب افزایش تنش می‌شود. اما توانایی سنگ‌ها در ایستادگی در برابر این تنش‌ها به مقاومت مصالح تشکیل‌دهنده سنگ بستگی دارد. وقتی تنش‌ها به مقدار مشخصی برسند، سنگ‌ها در برخی نقاط دچار شکستگی می‌شوند و دو طرف را تکان می‌دهند که به این وسیله بخشی از انرژی ذخیره شده آزاد می‌شود و سنگ‌ها با یک برگشت کشسان به موقعیت قبلی خود باز می‌گردند. پس از آن، شکاف به وجود آمده در یک سطح گسترش می‌یابد (سطح گسیختگی) تا جایی که منطقه‌ای از سنگ‌های با شرایط بحرانی کمتر برسد. بزرگی گسیختگی گسل به میزان تنش ذخیره شده و نوع سنگ‌ها و گسل آن‌ها بستگی دارد (کوبرن و اسپنس[1]، ۱۳۸۹).

زلزله به عنوان یک عامل طبیعی، اثرات گوناگونی را بر محیط پیرامون خود می‌گذارد. در شهرها به عنوان یک سیستم می‌توان این اثرات را به دو صورت اثرات مستقیم و اثرات غیرمستقیم، به شرح ذیل تقسیم‌بندی نمود:

الف) اثرات مستقیم زلزله: به تأثیراتی که مستقیم و بدون واسطه بر اثر بروز زلزله رخ می‌دهد و باعث تخریب و صدمات گوناگونی در سطح شهرها می‌شود، اثرات مستقیم زلزله گفته می‌شود. اثرات کالبدی زیر مجموعه‌ای از اثرات مستقیم محسوب می‌گردند.

ب) اثرات غیرمستقیم زلزله: تأثیراتی که بیشتر به صورت غیر مستقیم و بر اثر بروز اثرات مستقیم و در واقع در پی نتایج بعدی حاصل از اثرات کالبدی ایجاد می‌گردند، اثرات غیر مستقیم زلزله اطلاق می‌شود.



مدل آسیب‌پذیری نواحی شهری در اثر آتش‌سوزی پس از زلزله (بکتاش و گیوه‌چی، ۱۳۹۶)

آتش‌سوزی پس از زلزله در یک جمله، حریقی است که خسارت‌های اولیه زلزله مسبب آن می‌باشد. اما این آتش‌سوزی دارای ویژگی‌های منحصر به فرد می‌باشد. ویژگی نخست این آتش‌سوزی‌ها این است که معمولاً در چندین نقطه از شهر تقریباً به طور همزمان رخ می‌دهند. زیرا همان‌طور که گفته شد، زلزله باعث خسارات اولیه در مناطق مختلف شهر می‌گردد و در ادامه هر کدام از این خسارات می‌توانند سبب اشتعال شوند که تقریباً همزمان خواهد بود. ویژگی

1. Kobren & Espens

دوم این آتش‌سوزی‌ها، امکان گسترش آن می‌باشد. زیرا اولاً به علت خرابی‌های ناشی از زلزله در راه‌های دسترسی و شریان‌های حیاتی و دیگر بناها، امکانات آتش‌نشانی جهت دسترسی به محل و آب جهت اطفاء محدود می‌شود و ثانیاً تعداد زیاد این آتش‌سوزی‌ها، آتش‌نشانی را با کمبود نیرو مواجه می‌سازد. به علاوه در صورتی که سیستم‌های خدماتی گازرسانی دچار آتش‌سوزی شوند، انفجارهای پیاپی و غیر قابل کنترل به این گسترش دامن می‌زند (تسلیح، ۱۳۹۲).

مؤلفه‌های مؤثر در آتش‌سوزی پس از زلزله

با توجه به بررسی‌های انجام شده و مطالعات پیشین، مؤلفه‌های مؤثر در آتش‌سوزی پس از زلزله مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر همین اساس معیارهای اصلی منتخب به شرح زیر می‌باشد:

- دسترسی
- سازه‌ها
- روش‌های مقابله
- عوامل خطرزا

دسترسی: دسترسی به عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر آتش‌سوزی حاصل از زلزله، دارای زیرمعیارهای زیادی می‌باشد. از میان این زیر معیارها می‌توان به عرض خیابان‌های اصلی، عرض معابر، جهت حرکتی معین شده برای معبر، یک طرفه یا دو طرفه بودن معبر و.. اشاره کرد. با توجه به محدودیت‌های موجود در زمینهٔ تهیهٔ نقشه‌های کاربری و جلوگیری از تکرار، زیرمعیارهای زیر به عنوان زیرمعیار دسترسی انتخاب شدند (شکوهی دهکردی، ۱۳۹۲).

- نزدیکی به خیابان اصلی
- معابر غیر قابل دسترس
- نزدیکی به معابر اصلی

در زمان رخداد حادثه دسترسی در خیابان‌های اصلی دارای ظرفیت بیشتری به منظور امداد و نجات و تخلیه اضطراری می‌باشد. با توجه به وقوع شرایط اضطراری در بروز آتش‌سوزی نمی‌توان به طور قطع بر روی قوانین حاکم بر معابر اصلی مانند ورود ممنوع، یک طرفه و دو طرفه بودن، پارک ممنوع و پارکینگ مخصوص (پارکینگ مخصوص معلولین و جانبازان، پارکینگ مخصوص خودروهای دولتی و دارای مجوزهای خاص) برنامه‌ریزی نمود. از این رو نزدیکی به خیابان اصلی در کاهش آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه دارای اولویت می‌باشد.

معابر غیرقابل دسترس نیز در این پژوهش به معابری اطلاق می‌شود که دارای شرایط زیر باشند:

- معابری که امکان مسدود شدن آن‌ها در شرایط اضطراری وجود دارد، مانند خیابان‌های با محدودیت‌های خاص.
- معابری که دارای عرض زیر ۶ متر هستند.
- بن‌بست‌ها

در زمان وقوع شرایط اضطراری ظرفیت دسترسی و تخلیه معابری که دارای محدودیت‌های خاص بوده، معابری که عرض آن‌ها زیر ۶ متر باشد و بن‌بست‌ها به شدت کاهش می‌یابد. وجود میزان کمی از آوار و یا وجود موانع پیش‌بینی نشده به راحتی می‌تواند دسترسی به این معابر را کاهش داده و با توجه به تجربیات موجود از سوانح گذشته گاهی دسترسی را به طور کامل مختل نماید.

سازه‌ها: سازه‌ها به عنوان اصلی‌ترین منبع آسیب‌پذیری دارای بیشترین گستردگی در میان معیارهای انتخاب شده در این پژوهش می‌باشند. آسیب‌های فیزیکی بیشترین نمود خود را در ساختمان‌ها داشته و می‌توان بیان کرد که آسیب پذیری فیزیکی بر مبنای ساختمان‌ها ارزیابی و ارایه می‌شود. از میان زیرمعیارهای موجود برای معیار اصلی ساختمان‌ها، می‌توان به مواردی چون سن، جنس، ارتفاع، حجم، کاربری و میزان تراکم اشغال شده بر اساس مبحث سوم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۵) اشاره کرد. با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در خصوص تهیهٔ نقشه‌های کاربری و جلوگیری از هم‌پوشانی غیر کارآمد و با توجه به مرور مطالعات پیشین، در نهایت سه زیرمعیار در نظر گرفته می‌شود (چامپتی[1] و همکاران، ۲۰۱۲):

- کاربری سازه‌ها.
- جنس سازه‌ها
- ارتفاع سازه‌ها

کاربری سازه با توجه به بار حریقی که در آن‌ها وجود دارد، دارای آسیب‌پذیری متفاوتی است. با توجه به اینکه کاربری‌های متفاوت دارای بار حریق متفاوتی می‌باشند، برخی از کاربری‌ها به عنوان کاربری خطرناک، خود توانایی ایجاد خطرات مضاعفی

1. Champaty

برای کاربری‌های مجاور را دارا هستند. وجود کاربری‌هایی مانند انبار مواد شیمیایی، کارخانجات صنعتی دارای سوخت با قابلیت شعله‌وری بالا، مخازن نگهداری سوخت و مراکز صنعتی تبدیل مواد شیمیایی در مناطق شهری، آسیب‌پذیری این مناطق را به شدت افزایش می‌دهد. احتمال آتش‌سوزی و انفجار پس از وقوع زلزله و شرایط اضطرار همواره این مراکز را تهدید می‌کند.

جنس سازه‌ها نیز با توجه به استعداد مصالح در بروز آتش‌سوزی متفاوت است. میزان زمان لازم برای شعله‌ور شدن و مقاوت مصالح در آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر آتش‌سوزی بسیار مهم می‌باشد. به طور کلی سازه‌هایی که در ساخت آن‌ها از مواد با آستانهٔ شعله‌وری کمتر استفاده شده است، آسیب‌پذیری بیشتر و در سازه‌هایی که از مواد مقاوم به آتش ساخته شده باشند، آسیب‌پذیری کمتری دارند. تجربه آتش‌سوزی پس از زلزله ۱۹۲۳ ژاپن نمونه مشهودی از تأثیر جنس سازه در آسیب‌پذیری در مقابل آتش‌سوزی پس از زلزله است. در آتش‌سوزی ۱۹۲۳ اکثر ساختمان‌ها از چوب ساخته شده بودند و این امر موجب بروز آتش‌سوزی شدید پس از زلزله شد.

همچنین ارتفاع سازه‌ها در مقابله با آتش‌سوزی چه پس از وقوع زلزله و چه در شرایط بروز حریق از دو جنبه آتش و دود دارای اهمیت می‌باشد. بروز آتش‌سوزی در طبقات بالا، دسترسی آتش‌نشانی برای اطفاء آن را دچار مشکل می‌کند. در نظر نگرفتن سیستم‌های هشدار و اطفاء حریق خودکار و رعایت نشدن ضوابط قانونی در ایجاد خروجی‌های اضطراری در ساخت ساختمان‌ها به منظور مقابله با بروز آتش، میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها نسبت به آتش را کاهش می‌دهد.

انتقال آتش از طبقات تحتانی به طبقات بالا و نیز وجود دود حاصل از آتش، می‌تواند امدادرسانی را مختل کرده و احتمال رخداد تلفات جانی را افزایش دهد. ارتفاع ساختمان‌ها با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه، امکانات آتش‌نشانی، نوع سازه، دسترسی محلی و بافت، سیاست شهرسازی و دیگر مسائل منطقه مشخص می‌شود.

ذکر این نکته ضروری است که قدمت و سن سازه نیز در افزایش ریسک آتش‌سوزی پس از زلزله، اهمیت بالایی دارد. در این خصوص در ساختمان‌هایی که قبل از ابلاغ آیین‌نامه لرزه‌ای ۲۸۰۰ ایران و یا قبل از مبحث سوم مقررات ملی ساختمان و بدون تأمین الزامات مقاومت در برابر حریق ساخته شده‌اند، میزان خرابی بر اثر زلزله و ریسک آتش‌سوزی در ساختمان افزایش می‌یابد.

روش‌های مقابله: روش‌های مقابله در این پژوهش به مجموعه عوامل و امکاناتی اطلاق می‌گردد که در زمان وقوع آتش‌سوزی احتمالی پس از زلزله به کاهش اطفاء حریق و امدادرسانی کمک خواهند کرد. روش‌های مقابله به عنوان معیار کاهش‌دهندهٔ آسیب‌پذیری بوده و یک ویژگی مثبت در ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه در نظر گرفته می‌شود. این معیار خود شامل دو زیرمعیار می‌باشد (ملک و همکاران، ۱۳۹۰):

- دسترسی به شیرهای سرویس آتش‌نشانی (شیرهای هیدرانت)
- فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی

پس از وقوع آتش‌سوزی و با توجه به گستردگی عنصر آب جهت اطفاء اکثر آتش‌ها، شبکهٔ آبرسانی با فرض سالم ماندن پس از وقوع زلزله، نقش بسیار مهمی در کاهش آسیب‌های ناشی از آتش‌سوزی ایفا می‌کند. شیرهای سرویس به دو صورت ایستاده و کف در مناطق مختلف شهری اجرا و تعبیه شده‌اند. بایستی به این نکته توجه شود که امکان از سرویس خارج شدن کف در شرایط اضطرار بیشتر می‌باشد.

ایستگاه‌های آتش‌نشانی نیز به عنوان متولی اطفاء حریق و امداد در زمینه آتش، دارای نقش اصلی هستند. فاصله از مراکز آتش‌نشانی می‌تواند نقش مهمی در میزان آسیب‌پذیری یک منطقه داشته باشد. محدودیت حفاظت هر یک از مراکز آتش‌نشانی با توجه به نیاز منطقه تحت پوشش هر ایستگاه، مشخص می‌شود. به عنوان مثال ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن حجم ترافیک "الف" و سرعت "ب" به چه محدوده‌ای از فاصله چند دقیقه‌ای خود، می‌توانند دسترسی داشته باشند. با توجه به احتمال وقوع شرایط اضطرار و کاهش محدوده قابل دسترسی و نیز پیچیدگی محاسبات براساس راه‌های دسترسی، حجم ترافیک و ظرفیت آماده به کار ایستگاه‌ها در تحقیقات مختلف، معمولاً فاصله از ایستگاه‌ها تا محل منطقه مورد مطالعه به صورت خطی در نظر گرفته می‌شود.

عوامل خطرزا: در این پژوهش عوامل خطرزا به عنوان معیاری منفی در برآورد آسیب‌پذیری مناطق شهری در نظر گرفته شده است که موجب افزایش آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر آتش‌سوزی پس از زلزله می‌شوند. وجود کاربری‌های خطرناک همانگونه که گفته شد، می‌تواند بار آسیب‌پذیری را افزایش دهد. از میان کاربری‌های

خطرناک، مراکز توزیع سوخت (پمپ بنزین، ایستگاه‌های گاز طبیعی و مراکز توزیع گاز شهری)، انبارهای مواد شیمیایی خطرناک، مراکز آزمایشگاهی دارای مواد اشتعال‌زا و یا پرتونگاری و واحدهای صنعتی با مصرف سوخت مواد اشتعال‌زا انتخاب گردید. وجود شبکه گاز شهری نیز می‌تواند عامل خطرزای دیگری به شمار آید. در نتیجه از میان عوامل خطرزا دو زیرمعیار انتخاب گردید:

- تعداد علمک‌های گاز شهری
- مراکز توزیع سوخت

علمک‌های گاز شهری به عنوان نماینده شبکه گازرسانی شهری دارای اهمیت می‌باشد. پس از رخداد زمین‌لرزه احتمال آسیب به صورت نشت و شکست شبکه گازرسانی شهری به عنوان یک شریان حیاتی وجود دارد. در اثر بروز نشت و یا شکستگی در شبکه گاز شهری در صورت هرگونه بی‌توجهی، ممکن است یک وضعیت اضطراری به وضعیت بحرانی تبدیل شود. تجربه آتش‌سوزی نورتریج آمریکا این موضوع را به روشنی مشخص می‌نماید.

مراکز توزیع سوخت نیز به عنوان کاربری خطرناک از عوامل افزایش‌دهنده احتمال وقوع آتش‌سوزی، فارغ از بروز سانحه زلزله هستند. وجود مخازن نگهداری سوخت و تجمع خودروها، هر دو از فاکتورهای مهم در میزان تأثیرگذاری مراکز سوخت بر افزایش آسیب‌پذیری مناطق شهری می‌باشند. وقوع آتش‌سوزی در مراکز توزیع سوخت موضوعی دور از انتظار نیست و احتمال این رخداد همیشه وجود دارد (شکوهی دهکردی، ۱۳۹۲). در نهایت کلیهٔ معیارها و زیرمعیارهای استخراج شده به طور خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱: معیارهای مؤثر در آتش‌سوزی پس از زلزله

معیار	زیرمعیار	کد
دسترسی	نزدیکی به خیابان اصلی	A
	معابر غیرقابل دسترسی	B
سازه‌ها	کاربری سازه‌ها	C
	جنس سازه‌ها	D
	ارتفاع سازه‌ها	E
روش‌های مقابله	دسترسی به شیرهای سرویس آتش‌نشانی (شیرهای هیدارنت)	F
	فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی	G
عوامل خطرزا	تعداد علمک‌های گاز شهری	H
	مراکز توزیع سوخت	I

روش

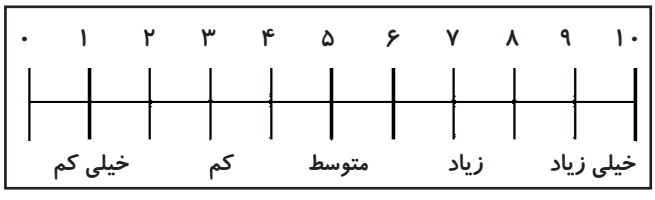
با استفاده از روش تحقیق توصیفی- تحلیلی، به منظور تصمیم‌سازی برای ارزیابی مؤلفه‌های افزایش ریسک آتش‌سوزی پس از سانحه، از میان انواع روش‌های موجود در این زمینه، معیارها و زیر معیارهای تأثیرگذار بر آتش‌سوزی پس از زلزله و آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری استخراج گردید. سپس با استفاده از یک نظرسنجی (۲۸ نفر) از کارشناسان و متخصصان در حوزهٔ عمران، معماری و مدیریت بحران، به ارزیابی ریسک آتش‌سوزی با استفاده از تکنیک تحلیلی روش ای- اچ- پی[1] به منظور کمّی‌سازی و اولویت‌بندی ریسک‌های آتش‌سوزی پس از بحران زلزله، پرداخته شده است. جهت مدل‌سازی پدیده آتش‌سوزی پس از زلزله در ساختمان، تحلیل در سه فاز کلی انجام می‌گیرد. در فاز اول قاب، تحت بارگذاری ثقلی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در فاز دوم جهت اعمال بار زلزله، طبق آیین‌نامه فما[2]، تغییر مکان هدف سازه مورد مطالعه برابر با ۸۱ سانتی‌متر محاسبه شده و با استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی توسط نرم‌افزار اس. ای. پی[3] ۲۰۰۰ مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در فاز سوم با حفـظ تغییر شکل‌های ناشی از تحلیل بار افزون، سازه بر اساس تحلیل‌های حرارتی که در ادامه به آن اشاره می‌شود، تحت آتش‌سوزی قرار می‌گیرد. جهت اعمال بار حرارتی در فاز سوم تحلیل، تحلیل حرارتی با استفاده از نرم‌افزار آباکوس[4] انجام گرفته و نتایج این تحلیل در فاز سوم تحلیل مورد استفاده قرار گرفته است.

یافته‌ها

پس از تعیین معیارهای اصلی با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در مورد هر یک از آن‌ها، زیرمعیارهای هر کدام از معیارهای اصلی بررسی و استخراج گردید که در ادامه به آن پرداخته شده است. با استفاده از نظر ۵ نفر خبره در زمینه عمران، معماری، شهرسازی و زلزله، شاخص‌های مؤثر در آتش‌سوزی پس از زلزله را به کمک مقایسه زوجی، اولویت‌بندی کرده‌ایم. برای امتیازدهی شاخص‌های کیفی بایستی به یک مقدار کمی تبدیل شوند تا بتوان محاسبات

1. AHP: Analytical Hierarchy Process
2. FEMA. Federal Emergency Management Agency
3. SAP
4. ABAQUS

مربوط به تصمیم‌گیری چند شاخصه بر روی آن‌ها انجام داد. عمده شاخص‌های دارای مقیاس رتبه‌ای هستند که با استفاده از روش طیف‌بندی می‌توان آن‌ها را به اعداد کمّی تبدیل کرد شکل۱ و جدول ۲، ۳ و ۴ به بررسی شاخص‌ها می‌پردازد.



شکل ۱: تبدیل شاخص‌های کیفی به کمّی

جدول ۲: میانگین نظر خبرگان در وزن‌دهی شاخص‌های مؤثر در آتش‌سوزی پس از زلزله

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	-	1/2	1/3	1/2	2	1	1/4	1/5	1/2
B		-	1/2	1	2	1/2	4	1/3	2
C			-	1/2	3	2	1/2	1/4	3
D				-	4	2	3	2	5
E					-	3	4	2	4
F						-	1/2	1	2
G							-	1/2	3
H								-	4
I									-

جدول ۳: نرمال‌سازی وزن‌دهی شاخص‌ها

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	-	0.054	0.034	0.152	0.193	0.090	0.017	0.031	0.021
B	0.102	-	0.051	0.304	0.193	0.045	0.279	0.052	0.086
C	0.153	0.216	-	0.152	0.290	0.181	0.034	0.039	0.130
D	0.102	0.108	0.207	-	0.387	0.181	0.209	0.315	0.217
E	0.025	0.054	0.034	0.076	-	0.272	0.279	0.315	0.173
F	0.051	0.216	0.051	0.152	0.031	-	0.034	0.157	0.086
G	0.205	0.027	0.207	0.100	0.024	0.181	-	0.078	0.130
H	0.256	0.324	0.414	0.152	0.048	0.090	0.139	-	0.173
I	0.102	0.054	0.034	0.060	0.024	0.045	0.023	0.039	-

جدول ۴: اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر در آتش‌سوزی پس از زلزله

شاخص‌ها	امتیاز	اولویت
نزدیکی به خیابان اصلی	۰,۵۹۶۲۸۵	۸
معابر غیرقابل دسترسی	۱,۱۱۶۹۹۳	۵
کاربری سازه‌ها	۱,۱۹۹۵۳۸	۴
جنس سازه‌ها	۱,۷۲۹۳	۱
ارتفاع سازه‌ها	۱,۲۳۱۶۵۷	۳
دسترسی به شیرهای سرویس آتش‌نشانی (شیرهای هیدارنت)	۰,۷۸۳۳۹۴	۷
فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۰,۹۵۵۲۱	۶
تعداد علمک‌های گاز شهری	۱,۶۰۰۰۴۴	۲
مراکز توزیع سوخت	۰,۳۸۳۹۱۶	۹

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل (طبق نظر خبرگان)، شاخص «جنس سازه» ریسک آتش‌سوزی پس از بحران زلزله را در ساختمان افزایش می‌دهد. بنابراین استفاده از پوشش ضدحریق در سازه‌های فولادی و مواد پاششی ضد آتش در مواقع زلزله، باعث جلوگیری از نفوذ حرارت و عملکرد مناسب سازه می‌شوند. در ادامه، جهت بررسی اثر پوشش ضدحریق بر روی رفتار قاب خمشی فولادی تحت آتش‌سوزی پس از زلزله، دو قاب خمشی که از نظر مقاطع و مشخصات هندسی یکسان بوده که یکی از آن‌ها بدون پوشش ضدحریق و دیگری دارای پوشش ضدحریق تنها بر روی ستون‌ها می‌باشد، مدل‌سازی و مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

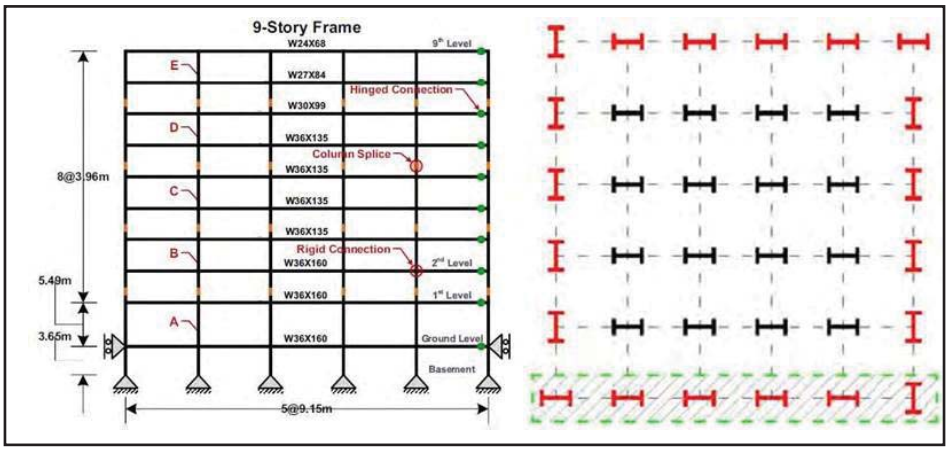
تحلیل عملکرد پوشش‌های ضد حریق سازه‌های فولادی در کاهش ریسک آتش‌سوزی پس از بحران زلزله

تحلیل صورت گرفته در این بخش برگرفته از مطالعهٔ تحقیقی سلیمان‌زاده مقدم و شاکری (۱۳۹۶) می‌باشد که عملکرد پوشش‌های ضد حریق در ساختمان‌های فولادی را بررسی کرده‌اند. قاب مورد نظر مربوط به ساختمان اس. ای. سی[1] می‌باشد. به دلیل اینکه این سازه توسط مهندسین مشاور اس. ای. سی طراحی شده است و در طراحی این سازه ملزومات لرزه‌ای آئین‌نامه یو. بی. سی[2] برای منطقه لس آنجلس[3] رعایت شده است، این قاب انتخاب شده است. پلان ساختمان و نمای قاب خمشی فولادی به همراه مقاطع تیرها در شکل ۲ نشان داده شده است. قاب مورد مطالعه با کادر سبز رنگ در شکل ۲ مشخص شده است. همچنین مقاطع ستون‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. هندسهٔ سازه شامل یک پلان مربعی با ۵ دهانه ۹/۱۵ متری در هر دو جهت که فاصله دهانه‌ها یکسان است. تیرهای اصلی در فواصل ۹/۱۵ متری و تیرهای فرعی در فواصل ۳/۰۵ متری قرارگرفته‌اند. ساختمان مورد نظر دارای ارتفاع طبقات یکسان ۳/۹۶ متری است، ارتفاع طبقه زیرین ۳/۶۵ متر و ارتفاع طبقه همکف ۵/۴۹ متر است. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، ساختمان دارای ۲ قاب خمشی فولادی در جهات اصلی و در پیرامون پلان قرار گرفته است (مقاطع با رنگ قرمز می‌باشد). پای ستون‌های قاب خمشی مفصلی بوده و در تراز سطح زمین از تغییر مکان جانبی قاب جلوگیری شده است. فاصلهٔ محل وصله ستون‌ها از تراز طبقات ۱/۸۳ متر می‌باشد. مدول الاستیسیته برای مصالح تیر و ستون برابر ۲/۱×۱۰۱۱ پاسکال و همچنین تنش تسلیم در تیرها و ستون‌ها به ترتیب برابر (×۲۴۸۱۰۶) و (×۳۴۵ ۱۰۶) پاسکال در نظر گرفته شده است. تغییرات تنش تسلیم و مدول الاستیسیته در برابر افزایش حرارت با استفاده از آیین‌نامه اروپا[4] (۲۰۰۵) اعمال گردیده است. مشخصات مصالح و مقطع مورد استفاده و همچنین نتایج حاصل از تحلیل قاب، در شکل ۳ ارائه شده است.

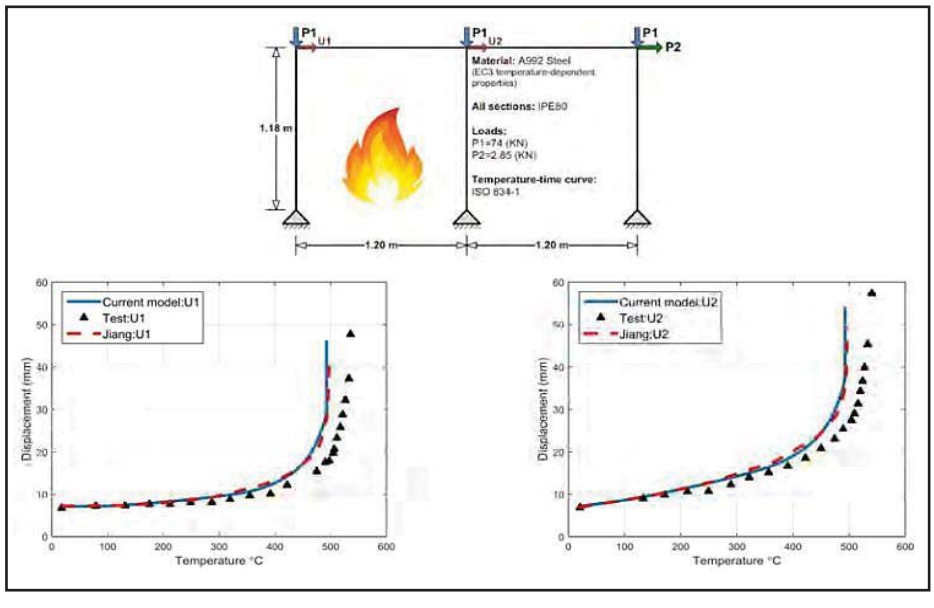
جدول ۵: مقاطع ستون‌های قاب خمشی ساختمان SAC۹

شناسه ستون	مقاطع	
	ستون‌های خارجی	ستون‌های داخلی
A	W۱۴x۳۷۰	W۱۴x۵۰۰
B	W۱۴x۳۷۰	W۱۴x۴۵۵
C	W۱۴x۲۸۳	W۱۴x۳۷۰
D	W۱۴x۲۵۷	W۱۴x۲۸۳
E	W۱۴x۲۳۳	W۱۴x۲۵۷

1. SAC9
2. UBC 1994
۳. در زلزله نورتریج کالیفرنیا که در تاریخ ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴ با بزرگای ۶٫۷ رخ داد، ۴۰۰۰۰ ساختمان از جمله ساختمان‌های بتنی غیرشکل پذیر در لس آنجلس و سایر نواحی نزدیک به آن آسیب دیدند. با اجماع سراسری اعضای ۱۲ نفره شورای شهر لس آنجلس در تاریخ نهم اکتبر، هم اکنون این دستورالعمل جدید بعنوان سختگیرانه ترین ضوابط مقاوم سازی لرزه ای ملی محسوب می‌گردد.
4. European Committee for Standardization



شکل۲: نمای قاب خمشی ساختمان SAC۹

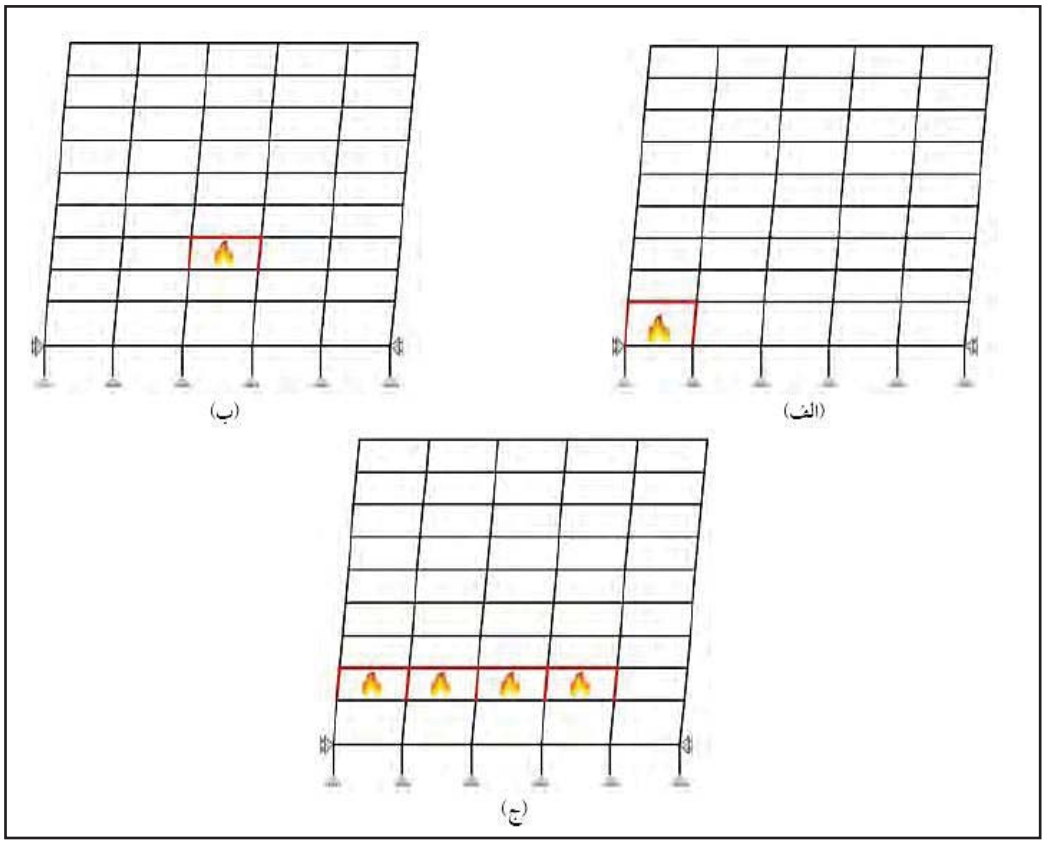


شکل ۳: مشخصات هندسه و مصالح قاب

همان‌طور که اشاره شد، دو قاب خمشی یکسان که یکی از آن‌ها دارای پوشش ضدحریق بـر روی ستون می‌باشد و دیگری بدون پوشش ضدحریق، مورد مطالعه قرار گرفته است. هر یک از قاب‌های مورد مطالعه تحت ۳ سناریو عمده قرار می‌گیرند کـه هـر یک از سناریوها دارای ۳ حالت است. سناریوی اول شامل وقوع آتش‌سوزی در دهانه کناری در یکی از طبقات ۲، ۳ و ۴ و سناریوی دوم آتش‌سوزی در دهانه وسط در طبقات مذکور است. در سناریوی سوم آتش‌سوزی گسترده در یکی از طبقات ۲، ۳ و ۴ مورد مطالعه قرار گرفته است. در جدول ۶ نامگذاری مدل‌ها و سناریو اعمال شده در هر یک از آن‌ها ارائه شده است. در شکل ۴ سناریوها، برخی از مدل‌ها و اعضای تحت آتش‌سوزی (اعضا با رنگ قرمز) مشخص شده است (تغییر مکان‌ها در شکل ۴ به صورت شماتیک است).

جدول ۶: مدل‌های مورد مطالعه

شماره مدل	پوشش ستون	سناریو	طبقه	شماره مدل	پوشش ستون	سناریو	طبقه
۱	بدون پوشش	۱	۲	۱۰	دارای پوشش	۱	۲
۲	بدون پوشش	۱	۳	۱۱	دارای پوشش	۱	۳
۳	بدون پوشش	۱	۴	۱۲	دارای پوشش	۱	۴
۴	بدون پوشش	۲	۲	۱۳	دارای پوشش	۲	۲
۵	بدون پوشش	۲	۳	۱۴	دارای پوشش	۲	۳
۶	بدون پوشش	۲	۴	۱۵	دارای پوشش	۲	۴
۷	بدون پوشش	۳	۲	۱۶	دارای پوشش	۳	۲
۸	بدون پوشش	۳	۳	۱۷	دارای پوشش	۳	۳
۹	بدون پوشش	۳	۴	۱۸	دارای پوشش	۳	۴



شکل ۴: الف: سناریو ۱ (مدل‌های ۱ و ۱۰)، ب: سناریو ۲ (مدل‌های ۶ و ۱۵)، ج: سناریو ۳ (مدل‌های ۸ و ۱۷)

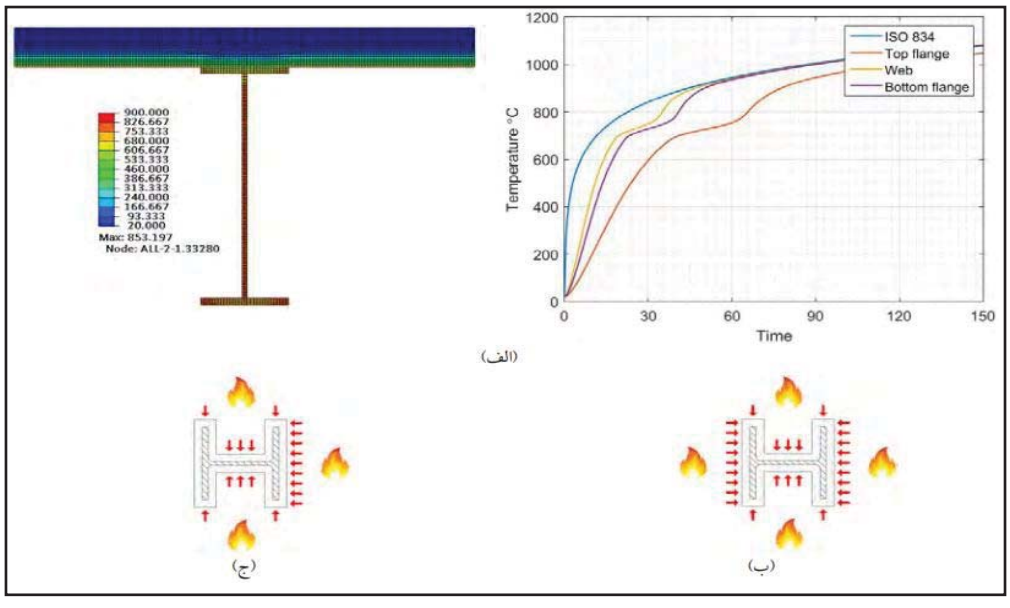
ضخامت پوشش ضدحریق در ستون‌هایی کـه در مدل‌های ۱۰ الی ۱۸ مورد استفاده قرار گرفته و در جدول ۷ ارائه شده است. ضخامت پوشش بر روی ستون‌ها جهت مقاومت در برابر آتش‌سوزی ۲ ساعته در نظر گرفته شده است. مشخصات حرارتی پوشش‌های ضد حریق اس. اف. آر. ام[1] بر اساس گزارش ان. آی. اس. تی.[2](۲۰۰۵) اعمال گردیده است. بخشی از نتایج تحلیـل حرارتی در شکل ۵ ارائه می‌شود. ستون‌های کناری مانند آنچه در شکل ۵ ارائه شده، از سه جهت تحت آتش‌سوزی قـرار گرفتـه در حالی که ستون‌های داخلی از هر چهار طرف تحت اثر آتش‌سوزی می‌باشد.

مقاومت نسبی قاب بر اساس معیارهای شکست مختلف، مانند معیارهای شکست حرارتی و مقاومت ذکر شده در آئین‌نامهٔ اِی. اس. تی. ام. ای[3] E۱۱۹ (۲۰۰۱)، تعیین می‌شود. معیار شکست برای ستون‌های فولادی به این صورت است که وقتی ظرفیت محوری ستون در دمای بالا به حدود ۵۰ درصد از مقاومت محوری در دمای محیط کاهش می‌یابد، اصطلاحاً گویند ستون شکست خورده است. همچنین برای تیرها دو معیار شکست ارائه شده است. یکی بر اساس میزان انحراف و دیگری نرخ انحراف تیر می‌باشد. این معیارهای شکست مهم هستند، زیرا علاوه بر انحراف بیش از حد اعضای ساختمانی، در صورت عبور از این معیارها، یکپارچگی سازه تضمین نمی‌شود.

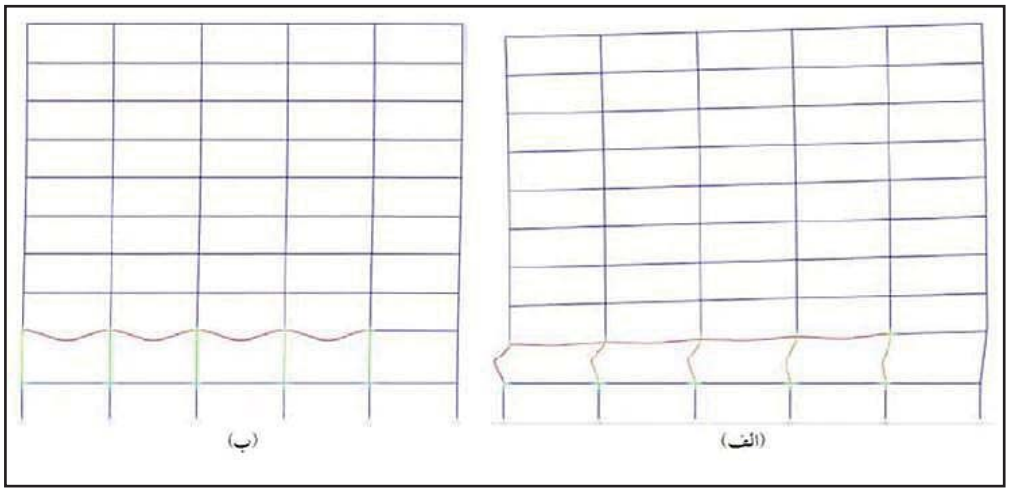
جدول۷: ضخامت پوشش ضدحریق

مقطع	W14X233	W14X257	W14X283	W14X370	W14X455	W14X500
ضخامت(میلی‌متر)	13	13	13	13	12	10

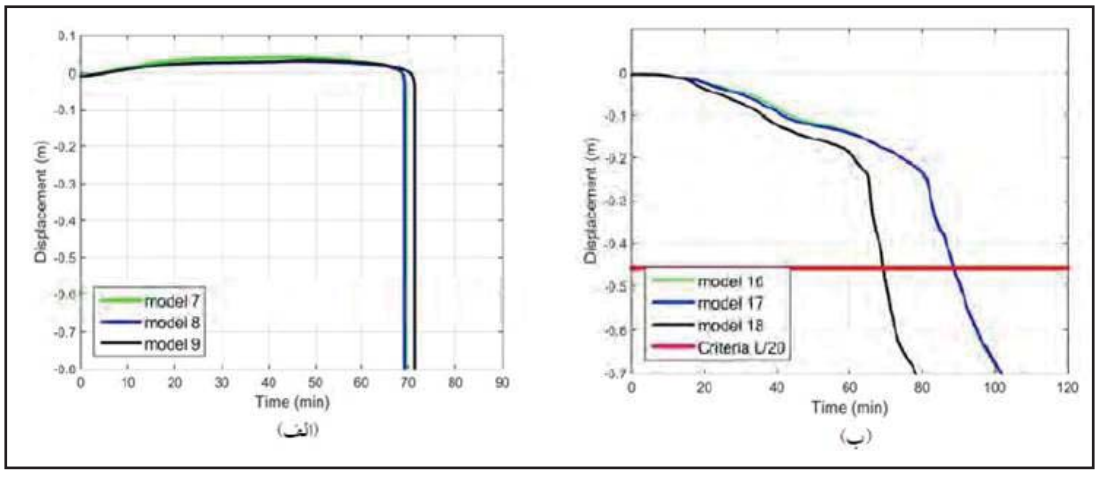
1. SFRM. (Spray-applied fire resistive material)
2. NIST. (National Institute of Standards and Technology)
3. ASTM. (American Society for Testing and Materials)



شکل ۵: الف: نتایج تحلیل حرارتی در تیر W۳۶X۱۶۰، ب: ستون‌های داخلی، ج:ستون‌های خارجی



تصویر ۶: الف: مدل ۷ (سازه بدون پوشش تحت سناریو ۳)، ب: مدل ۱۶ (سازه دارای پوشش تحت سناریو ۳)



شکل ۷: الف: نمودار تغییر مکان بالای بام (سازه بدون پوشش)، ب: نمودار خیز تیر(سازه دارای پوشش)

به طور عمده، استفاده از میزان انحراف و نرخ انحراف برای حفظ ایمنی ساختمان قبل از هرگونه خرابی مفید است. حداکثر انحراف مجاز متفاوت است و بستگی به عملکرد، ساختاری تعریف شده دارد. اغلب انحراف برای سازه‌های معمولی محدود به می‌شود که در آن L طول تیر است. در این تحلیل از معیار میزان انحراف تیر، استفاده شده است.

همان‌طور که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود در سازه بدون پوشش، ستون‌های درگیر در آتش‌سوزی قبل از آنکه تیرها دچار خرابی شوند، کمانش کرده‌اند. زمان مقاومت سازه دارای پوشش در مدل‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ به ترتیب ۸۸، ۸۹ و ۶۹ دقیقه بدست آمده است. تغییر مکان نقطه بالای ستون کناری مدل‌های ۷، ۸ و ۹ در بام سازه درشکل ۷ ارائه شده است.

با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ ملاحظه می‌شود، در سناریو سوم سازۀ دارای پوشش، عملکردی مشابه سناریوهای اول و دوم از خود نشان داده اند، به‌طوری‌که هیچ‌یک از ستون‌ها دچار کمانش نشده و زمان مقاومت در برابر آتش نیز تغییر محسوسی نکرده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سناریو سوم سازۀ بدون پوشش، دچار خرابی از ناحیه ستون شده و در زمان بسیار کمی مقاومت خود در برابر آتش‌سوزی را از دست داده است، به طوری که تیرهای درگیر در آتش‌سوزی دچار خیز عمده‌ای نشده‌اند.

نتیجه‌گیری

وقوع آتش‌سوزی پس از زلزله در مناطق بزرگ شهری بسیار فاجعه‌بار است. آتش‌سوزی‌های به وجود آمده در هر دو کشور ژاپن و ایالات متحده آمریکا پس از زمین‌لرزه، عامل بیشترین میزان خسارت و آسیب‌دیدگی بوده‌اند و از آن‌ها به عنوان فجایع انسانی قرن بیستم نام برده می‌شود. آتش‌سوزی پس از زمین‌لرزه‌های سال ۱۹۰۶ در سان فرانسیسکو و همینطور توکیو در سال ۱۹۲۳، بزرگترین آتش‌سوزی‌های شهری در تاریخ بشریت را به خود اختصاص داده‌اند، به طوری که هر دو به شدت گسترده و مخرب بوده‌اند. درست است که امروز قبول آثار مخرب آتش‌سوزی‌های پس از زلزله و لزوم پیشگیری و همینطور آمادگی برای مقابله با این حادثه برای عموم مردم قابل درک نمی‌باشد، اما از سوی برخی از دولت‌ها و ارگان‌های مرتبط با سوانح طبیعی و مدیریت بحران به عنوان یک تهدید بسیار جدی پس از وقوع یک زمین‌لرزه شناخته شده است.

با توجه به ضرورت مسأله در این پژوهش، ابتدا با مطالعه کتابخانه‌ای و استفاده از نظر خبرگان، تبعات آتش‌سوزی پس از زلزله ارایه شد. سپس معیارهای اصلی و زیرمعیارهای لازم به منظور تصمیم‌سازی برای مدیران جهت ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری استخراج و ارایه گردید. این معیارها مشتمل بر چهار معیار اصلی دسترسی، سازه‌ها، روش‌های مقابله و عوامل خطرزا می‌باشد که هر کدام دارای زیرمعیارهایی می‌باشند. سپس این زیرمعیارها را توسط گروه خبرگان و با استفاده از روش مقایسه زوجی، اولویت‌بندی شد. نتایج مطالعه نشان داد که بر اساس روش ای اچ پی، برای ارزیابی ریسک آتش‌سوزی ناشی از زلزله، معیارهای جنس سازه، تعداد علمک‌های گاز شهری و ارتفاع سازه دارای بیشترین نقش بوده که باید در نظر گرفته شده و بررسی شوند.

با توجه به نتایج فوق می‌توان نتیجه گرفت که زیرمعیارهای سازۀ ساختمان، بیشترین تأثیر را در بروز آتش‌سوزی پس از بحران زلزله دارد. بنابراین به منظور بررسی این موضوع، آتش‌سوزی پس از زلزله بر روی یک سازۀ فولادی مدل‌سازی و تحلیل شده است. نتایج تحلیل نشان داد که سناریو و وسعت آتش‌سوزی بر روی سازه هایی که پوشش ضدحریق بر روی ستون‌های خود دارا می‌باشند، تأثیر چندانی ندارد و نوع خرابی به مشخصات و مقاومت تیر در برابر آتش‌سوزی وابسته است. در سازه‌ی بدون پوشش ضدحریق ملاحظه شد، سناریو آتش‌سوزی تأثیر بسزایی در رفتار کلی سازه خواهد داشت، به‌طوری‌که با گسترش آتش‌سوزی، عملکرد کلی سازه دچار اختلال شده و مقاومت لازم در برابر بارهای وارده را نخواهد داشت. با توجه به شکل۷ الف، ملاحظه می‌شود که سازه در سناریو سوم دچار تغییر شکل‌های عمده‌ای شده و با توجه به تغییر مکان زیادی که در زمان بسیار کمی رخ داده است، دچار خرابی پیش رونده می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود در بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر آتش‌سوزی پس از زلزله، با توجه به محدودیت‌های اقتصادی و فنی، از پوشش‌های ضدحریق بر روی ستون‌ها استفاده کرد.

منابع

بکتاش، نوید. گیوه‌چی، سعید (۱۳۹۶)، ارزیابی و مدیریت ریسک آتش‌سوزی پس از زلزله، پنجمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

تسلیح، فهیمه (۱۳۹۲)، ارزیابی ریسک آتش‌سوزی جایگاه‌های پمپ بنزین در محیط‌های شهری پس از زلزله و تأثیر آن بر کاربری‌های اطراف، مطالعه موردی منطقه یک شهر تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان، (۱۳۹۳)، آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۰۰۸)، ویرایش چهارم، نشر توسعهٔ ایران (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)، تهران.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان، (۱۳۹۵)، مبحث سوم مقررات ملی ساختمان (حفاظت ساختمان‌ها در مقابل حریق)، نشر توسعهٔ ایران (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)، تهران.

زهرائی، سید مهدی. ارشاد، لیلی (۱۳۸۴)، بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۳۹ (۳)، صص ۲۸۷- ۲۹۷. بازیابی از:
https://journals.ut.ac.ir/article_10173_1012.html

سلیمان‌زاده مقدم، سهیل. شاکری، کاظم (۱۳۹۶)، عملکرد پوشش ضدحریق در ساختمان‌های فولادی تحت اثر آتش سوزی پس از زلزله، کنفرانس ملی ساخت و ساز در مناطق لرزه خیز یادبود زلزله ارسباران ، تبریز، سازمان نظام مهندسی ساختمان استان آذربایجان شرقی.

شریف‌زادگان، محمد حسین. فتحی، حمید (۱۳۸۷)، طراحی و کاربرد مدل‌های فضایی ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای و برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، نشریهٔ صفه، ۴۶، صص ۱۰۹-۱۲۴. بازیابی از:
http://sofeh.sbu.ac.ir/article/view/1689

شکوهی دهکردی، مازیار (۱۳۹۲)، ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر آتش‌سوزی حاصل از زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری تهران، محله سلسبیل شمالی)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

علوی، سید محسن. مسعود، محمد (۱۳۸۶)، برنامه‌ریزی برای کاهش خسارات ناشی از زلزله در نواحی با خطرپذیری بالا (نمونه موردی: محله چیذر تهران)، سومین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیر مترقبه، تهران.

کوبرن، آندرو. اسینس، رابین (۱۳۸۹)، ایمن‌سازی در برابر زلزله، ترجمه غضبان، فریدون، درخشان، سحر.، امیدوار، بابک، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.

ملک، محمدرضا. همتی، فرشاد. جاهدی، نادر. فرداد، مهدی. (۱۳۹۰)، مکان‌یابی بهینهٔ استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر زنجان با استفاده از تحلیل شبکه، منطق فازی و GIS، همایش ژئوماتیک ۹۰، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

ASTM, (2001), Standard methods of fire test of building construction and materials, E119-01, West Conshohocken, PA.

Behnam, B., Ronagh, H.R. (2015), Post-Earthquake Fire performance-based behavior of unprotected moment resisting 2D steel frames, KSCE Journal of Civil Engineering, 19(1), 274- 284. retrieval from: https://link.springer.com/article/10.1007/s12205-012-0527-7

Borden, F.W. (1996), The 1994 Northridge Earthquake and the Fires That Followed, Thirteenth Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety, NISTIR 6030, p303-312, March 13-20.

Botting, R., Buchanan, A. (2000), Building Design for Fire after Earthquake. Presented at the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland.

Braxtan, N.L., Pessiki, S. (2011), Postearthquake fire performance of sprayed fire-resistive material on steel moment frames, Journal of Structural Engineering, 137(9): 946–953. retrieval from: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29ST.1943-541X.0000441

Champaty, PK., Bharath, BD., Damen, CJ., Kingma, NC. (2012), Earthquake Building Vurnerability and Damage Assessmeent with refrence to Sikkim Earthquake, Thasis Submitted to the Faculity of Geo-Information Science Earth Observation of the University of Twente in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation. Specialization: Natural Hazards and Disaster Risk Management.

Della Corte, G., Faggiano, G., Mazzolani, FM. (2005), On the structural effects of fire following earthquake, COST C12 Final Conference Proceedings, Innsbruck, Austria.

European Committee for Standardization. (2005), Design of steel structures, part 1.2, structural fire design. Eurocode 3.

Faggiano, B., Esposto, M., Mazzolani, FM., Landolfo, R. (2007), Fire analysis on steel portal frames damaged after earthquake according to performance based design, Proceedings Workshop Urban Habitat Construction under Catastrophic Events, Prague, Czech Republic.

IFRC. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, (2008), Response to MAR Assessment of IFRC.

Jie, L., Jian- hua, J., Ming- hao, L. (2001), Hazard analysis system of post-earthquake fire based on GIS urban, Acta Seismologica Sinica, 14 (4): 448-455. retrieval from: https://link.springer.com/article/10.1007/s11589-001-0123-2

Keller WJ, Pessiki PS. (2011), Effect of earthquake-induced damage to spray-applied fire-resistive insulation on the response of steel moment-frame beam-column connections during fire exposure, Journal of Fire Protection Engineering, 22(4):271–99. retrieval from: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1042391512461126

Lee, G.C., Tong, M., Yen, W.P. (2008), Design of Highway Bridges Against Extreme Hazard Events: Issues, Principles and Approaches, Report MCEER-08-SP06.

Scawthorn, Ch. (2003), Fire following earthquakes, W.F. Chen (editor), Earthquake Engineering Handbook.

Stephenson, RS. (1994), Disaster Assessment, 2nd ed, Disaster Management Training Programme: UNDP.