Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

Operational Policy-Making for Post-Earthquake Fire Management in Tehran Metropolis

Behrouz Behnam[1*] | Shahid Abolghasemi[2]

1. Corresponding Author, Associate Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. Email: b.behnam@aut.ac.ir
2. MSc in Engineering and Construction Management, Associate Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. Email: b.behnam@aut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 17 March 2025
Revised 15 April 2025
Accepted 17 May 2025
Published Online 01 June 2025

Keywords:
Post-earthquake fire,
Disaster management,
Damage assessment,
Pre-disaster strategies,
Post-disaster strategies.

ABSTRACT

Although major earthquakes can cause extensive destruction, the resulting damage can be even more severe when combined with subsequent events such as post-earthquake fires. Analyzing past incidents of fires following earthquakes reveals that their impacts can be long-lasting and significantly affect infrastructural, social, economic, and environmental aspects. This paper presents comprehensive strategies for managing the risk of post-earthquake fires in urban areas, encompassing both pre-disaster preparedness and post-disaster response and recovery. Pre-disaster strategies focus on increasing public awareness, improving the safety of buildings and infrastructure (including gas, electricity, water, transportation, and communications), and ensuring rapid response capabilities. Key measures include public education programs, safety assessments of critical infrastructure and buildings, and the development of guidelines to mitigate potential hazards. Post-disaster strategies prioritize rapid damage assessment, efficient resource allocation, and the minimization of secondary fires. These involve quick evaluations of initial damages, performance assessments of fire stations and water supply systems, establishing secure communication channels, and safely evacuating populations. The recovery phase emphasizes learning from the incident, rebuilding resilient infrastructure, and conducting thorough assessments of the economic impacts of post-earthquake fires. The paper underscores the importance of realistic planning, continuous evaluation, and improving modeling accuracy to reduce the devastating consequences of such events.

Cite this article: Behnam, B. & Abolghasemi, Sh. (2025). Operational Policy-Making for Post-Earthquake Fire Management in Tehran Metropolis. *Urban Development Policy Making*, 2 (3), 319-344. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.514625.1028

© Behrouz Behnam, Shahid Abolghasemi
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.514625.1028

Introduction

Though post-earthquake fires (PEFs) are not usual, when they occur, they are potentially even more devastating and deadly than the earthquake. In times of peace, fire stations are well prepared for emergency operations, well trained, and professional in performing their duties. All these, together with available water resources, safe conditions of buildings, and urban infrastructures, significantly restrict the frequency of large fires in urban regions. All of these are totally different after an earthquake. Limited emergency response time and available water resources can transform fires into an actual threat. After an earthquake, fire stations are requested to respond to collapses of buildings, leaks of toxic chemicals, and medical emergencies. When fires at different locations occur simultaneously, pressure is mounted on these stations, and the situation becomes further complicated due to the ruptured communication systems, blocked access routes, and potential destruction of firefighting materials. Therefore, PEFs in every region must be established with caution, taking into

account complex factors and regional conditions. Appropriate steps must be taken to reduce levels of risk to an acceptable degree. The ultimate goal at the time of disasters is to salvage human life first and property second. This goal begins with planning and implementing feasible and realistic steps to prevent large-scale fires and continues with taking the necessary steps to avoid casualties and losses in the event of prevention failing. Also, in the event of a disaster, one has to immediately establish the magnitude of casualties and losses, as well as implementing measures for the restoration of natural order and identification of weaknesses in the risk management plan to update and enhance it.

Materials and methods

In establishing the effect of the above risks, there are uncertainties that must be considered when analyzing. These factors are:

The number and location of initial fires (fire distribution),
Firefighter post-earthquake and pre-first fire condition,
Weather conditions,
Damage to buildings caused by the earthquake,
Shelter camp locations, and
Obstacles in access routes.
Other factors influence the intensity and propagation of post-earthquake fires:
Communication systems and infrastructure susceptibility,
Water supply and alternatives susceptibility,
Building density and material.

Results

There is a possibility of extensive and large damages due to widespread fires where numerous scattered fires occur in exposed locations like urban residential areas with densely concentrated wooden structures. Wind speed and direction, the duration of the earthquake during the day and year, population density, and also soil type and physical conditions are responsible for fire initiation and spread in urban areas. Given the combined factors that can lead to a large post-earthquake fire disaster, it is reasonable to classify risk factors into two types: fire causation factors and fire spread factors.

Discussion and Conclusion

Objectives for formulating pre-crisis strategies for PEFs are:

Promoting public awareness regarding large-scale fires, mechanisms, and propagation,
Assessing and improving overall urban security,
Assessing and improving building security from earthquakes and post-earthquake fires,
Assessing and improving the degree of safety of gas and fuel supply systems
Evaluation and improvement of power distribution system safety,
Evaluation and improvement of water distribution network reliability,
Evaluation and improvement of transportation infrastructure, roads, and communication routes,
Evaluation and improvement of communication and telecommunication system reliability, and
Improvement of rapid response for fires that have occurred after earthquakes.

The objectives for developing post-crisis strategies for PEFs risk are:

Rapid evaluation of initial damages to identify necessary actions,
Quick survey of available fire stations,
Early detection of initial fires,
Quick survey of available water supplies and city water storage tanks,
Quick establishment of safe communication networks to guide relief teams,
Securing burned buildings after firefighting efforts and before residents can return home to prevent secondary fires,
Quick evacuation of people from fire spread risk zones after the earthquake.
Identifying post-earthquake fires' weaknesses in timely and effective response to them and documenting lessons learned,
Fire-hazardous zone reconstruction based on factors that contribute to post-earthquake fire hazards, and
Correctly estimating the proportion of damages caused by post-earthquake fires relative to the initial earthquake damages.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https://judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

سیاستگذاری عملیاتی مدیریت بحران آتش‌سوزی پس از زلزله در کلانشهر تهران

بهروز بهنام[۱*] | شاهید ابوالقاسمی[۲]

۱. نویسندهٔ مسئول، دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی عمران و محیط زیست؛ دانشگاه صنعتی امیرکبیر. رایانامه: b.behnam@aut.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران و محیط زیست؛ دانشگاه صنعتی امیرکبیر. رایانامه: b.behnam@aut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

کلیدواژه:
آتش‌سوزی پس از زلزله،
مدیریت بحران،
ارزیابی خسارت،
استراتژی پیش از بحران،
استراتژی پس از بحران.

چکیده

هرچند زلزله‌های بزرگ می‌توانند باعث ایجاد خرابی‌های بزرگی شوند؛ خسارت‌های ناشی از آن‌ها حتی می‌توانند بسیار گسترده‌تر نیز شوند، طوری که با اتفاقات بعدی مانند آتش‌سوزی‌های پس از زلزله ترکیب شوند. بررسی و تحلیل اتفاقات قبلی در خصوص آتش‌سوزی‌های پس از زلزله نشان می‌دهند آثار ناشی از آن‌ها می‌تواند بسیار طولانی باشد و اینکه جنبه‌های زیرساختی، اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی را تحت تأثیر قرار دهند. این مقاله استراتژی‌های جامع مدیریت ریسک آتش‌سوزی‌های پس از زلزله در مناطق شهری را ارائه می‌کند، که شامل آماده‌سازی قبل از وقوع حادثه و پاسخ و بازیابی بعد از وقوع حادثه هستند. استراتژی‌های قبل از حادثه بر افزایش آگاهی عمومی، بهبود ایمنی ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها (گاز، برق، آب، حمل‌ونقل، ارتباطات) و تضمین قابلیت‌های پاسخ‌گویی سریع تمرکز دارند. اقدامات کلیدی شامل برنامه‌های آموزش عمومی، ارزیابی‌های ایمنی زیرساخت‌ها و ساختمان‌های حیاتی و توسعهٔ دستورالعمل‌هایی برای کاهش خطرات هستند. استراتژی‌های پس از حادثه اولویت را به ارزیابی سریع خسارت‌ها، تخصیص کارآمد منابع، و به حداقل رساندن آتش‌سوزی‌های ثانویه می‌دهند. این شامل ارزیابی سریع خسارت‌های اولیه، ارزیابی عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی و منابع آب، ایجاد کانال‌های ارتباطی ایمن، و تخلیهٔ امن جمعیت‌ها می‌شود. مرحلهٔ بازیابی بر درس‌های آموخته‌شده از حادثه، بازسازی زیرساخت‌های مقاوم، و ارزیابی دقیق تأثیر اقتصادی آتش‌سوزی‌های پس از زلزله تأکید دارد. این مقاله اهمیت برنامه‌ریزی واقع‌بینانه، ارزیابی مستمر، و بهبود دقت مدل‌سازی را برای کاهش پیامدهای ویرانگر چنین حوادثی مورد تأکید قرار می‌دهد.

استناد: بهنام، بهروز و ابوالقاسمی، شاهید (۱۴۰۴). سیاستگذاری عملیاتی مدیریت بحران آتش‌سوزی پس از زلزله در کلانشهر تهران. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۳) ۳۱۹-۳۴۴.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.514625.1028

© بهروز بهنام، شاهید ابوالقاسمی
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.514625.1028

۱. مقدمه

زلزله‌های بزرگ عموماً باعث خرابی‌های گسترده‌ای می‌شوند. آتش‌سوزی‌های بزرگ پس از زلزله اگرچه همیشه اتفاق نمی‌افتند، اما هنگامی که اتفاق می‌افتند، می‌توانند حتی از خود زلزله نیز خطرناک‌تر و مهلک‌تر باشند. از آتش‌سوزی‌های پس از زلزلهٔ سال ۱۹۰۶ سان فرانسیسکو که بزرگی آن ۷/۸ تا ۸/۳ ریشتر تخمین زده شده است و حریق گستردهٔ پس از زمین‌لرزهٔ سال ۱۹۲۳ توکیو به بزرگی ۷/۹ ریشتر، به عنوان بزرگ‌ترین آتش‌سوزی‌های زمان صلح یاد می‌شوند. زلزلهٔ سال ۱۹۰۶ سان فرانسیسکو آتش‌سوزی، به علت از دست رفتن منابع آب، ۳ روز متمادی ادامه یافت، به نحوی که ۸۰ درصد از سهم تلفات ۳ هزار نفری و تخریب ۲۸ هزار ساختمان را به خود اختصاص داد. به همین‌صورت در زلزله سال ۱۹۲۳ ژاپن نیز آتش‌سوزی باعث تخریب ۴۴۷ هزار خانه از مجموع ۵۷۵ هزار خانه تخریب‌شده در زلزله با ۵۴ هزار کشته بود [۱].

در عصر حاضر بهبود اتکا به منابع آب، پیشرفت‌های قابل توجه در روش‌های اطفای حریق، بهبود فرایند پاسخ سریع به آتش‌سوزی‌ها، بهبود آیین‌نامه‌های ساختمانی و نیز بهبود زیرساخت‌های ارتباطی، احتمال وقوع حریق‌های گسترده پس از زلزله کمتر شده‌اند [۲]. با این‌وجود، همچنان به دلایل مختلف وقوع آتش‌سوزی‌های پس از زلزله به عنوان یکی از خطرات بالقوه به شمار می‌رود. در نتیجهٔ زمین‌لرزهٔ ۶/۸ ریشتری سال ۱۹۹۵ در شهر کوبهٔ ژاپن ۶۴۳۳ نفر کشته و بیش از ۷۳ هزار نفر زخمی شدند. حدود ۱۰ درصد از کل تلفات این زلزله به علت آتش‌سوزی تأسیسات گاز شهری پس از وقوع زمین‌لرزه بود؛ به نحوی که بر اثر آن‌ها، نزدیک به ۷ هزار ساختمان به طور کلی در آتش سوختند [۳].

در زلزلهٔ سال ۲۰۱۱ توهوکوی ژاپن اگرچه حدود ۹۵ درصد از تلفات جانی ناشی از سونامی پس از زلزله بود، در عین حال تلفات و صدمات ناشی از آتش‌سوزی پس از زلزله نیز در مقیاس خود قابل توجه بود. ۳۶۰ فقره آتش‌سوزی پس از وقوع این زلزله ثبت شده است که بر اساس تحقیقات Keisuke Himoto و همکاران [۲] حدود ۱۹۰ مورد از آن‌ها مستقیم ناشی از زمین‌لرزه و باقی، ناشی از سونامی پس از زلزله بوده‌اند. تلفات جانی مرتبط با این آتش‌سوزی‌ها ۲۳۰ نفر تخمین زده می‌شود؛ اگرچه در مقایسه با تلفات رویداد سونامی (بیش از ۱۹ هزار نفر) رقم کوچکی است، اما در مقایسه با تلفات مستقیم ناشی از زلزله که ۲۶۵ نفر برآورد شده، بسیار قابل توجه است [۳].

۲. اهداف مدیریت ریسک‌ها در بحران آتش‌سوزی پس از زلزله

در شرایط عادی مراکز آتش‌نشانی برای عملیات اضطراری به‌خوبی آمادگی دارند، آموزش کافی دیده‌اند و برای انجام مسئولیت‌های مرتبط با اطفای حریق کاملاً حرفه‌ای هستند. این موارد در کنار منابع آبی مطمئن و شرایط مناسب ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری به صورت قابل ملاحظه‌ای آتش‌سوزی‌های گستردهٔ ناشی از حریق در محیط‌های شهری را کاهش داده‌اند، اما شرایط در هرج‌ومرج پس از زلزله به صورت خطرناکی تغییر خواهند کرد. محدودیت زمان پاسخ اضطراری و منابع آب در دسترس به حریق امکان بدل شدن به یک تهدید بالقوه را می‌دهد [۴]. پس از وقوع زمین‌لرزه، مراکز آتش‌نشانی برای رسیدگی به خرابی‌های روی‌داده در ساختمان‌ها، نشت و تراوش مواد سمی و خطرناک و امدادهای پزشکی فراخوانده می‌شوند. حال اگر هم‌زمان تعداد زیادی حریق رخ داده باشد، فشار زیادی برای امدادرسانی بر این مراکز اضافه خواهد شد و این شرایط به دلیل صدمه خوردن سیستم‌های ارتباطی، بسته شدن مسیرهای دسترسی و از دست رفتن احتمالی منابع اطفا، به‌شدت بغرنج می‌شوند [۵].

زلزلهٔ سال ۱۹۹۵ کوبه ژاپن نشان داد وقوع آتش‌سوزی‌های گسترده در دورهٔ مدرن صنعتی کنونی نیز کاملاً قابل انتظار است؛ ۷ هزار ساختمان سوخته در حریق پس از زلزله در شرایطی که زلزله در آب‌وهوای ملایم و هنگام بامداد اتفاق افتاد حاکی از اهمیت موضوع است [۶]. زلزلهٔ سال ۲۰۰۵ کینگ کانتی سیاتل بسیاری از ضعف‌ها و اشکال‌های زیرساخت‌های شهری این ناحیه را نشان داد. به عنوان مثال، ۱۸ ایستگاه آتش‌نشانی به علت تخریب زیاد از گردونهٔ عملیاتی خارج شدند و ۱۲۶ ایستگاه دیگر نیز در روز اول وقوع زلزله امکان خدمت‌رسانی نداشتند [۷]. در زلزلهٔ سال ۱۹۹۵ کوبه ژاپن علاوه بر تخریب خطوط برق، آب، گاز و تلفن شهری، دو شاهراه اصلی شهر، بخش‌هایی از شبکهٔ راه‌آهن و مترو، فرودگاه و بندر این شهر نیز از بین رفتند و با از بین رفتن پل‌های بزرگ شهر، ترابری در ناحیهٔ زلزله‌زده، فلج و عملیات کمک‌رسانی به‌ویژه در ساعت‌های نخستین پس از زلزله کاملاً ناممکن شد [۸]. در زلزلهٔ سال ۱۹۸۹ سان فرانسیسکو نیز بخشی از پل مسیر اوکلند و نیز جادهٔ شمارهٔ ۸۸۰ اوکلند هر دو خراب

شدند، بنابراین در شرایطی که تعداد حریق روی‌داده پس از زلزله در شهر، ۲۶ عدد بودند و آسیب ناشی از حریق در مقایسه با صدمات مستقیم ناشی از زمین‌لرزه بزرگ نبود، در ناحیهٔ مادینا که محله‌ای متشکل از خانه‌های چوبی بود یک فقره آتش‌سوزی که از یک خط لولهٔ شکستهٔ سوخت تغذیه می‌شد، همراه با جابه‌جایی زمین و شکسته شدن لوله‌های آب و افت فشار در سیستم اصلی و پشتیبان شبکهٔ آب آتش‌نشانی به حریقی گسترده تبدیل شد که درنهایت، با استفاده از شبکهٔ سوم آب آتش‌نشانی (پشتیبانِ شبکهٔ پشتیبان) خاموش شد. این آتش‌سوزی به متخصصان نشان داد عوامل متعدد، متنوع و گاه پیش‌بینی‌نشده‌ای می‌توانند مانع از پاسخ سریع به رویداد حریق شوند. این عوامل هستند که تعیین می‌کنند آیا آتش‌سوزی‌ها یک شهر را نابود خواهند کرد یا به‌سرعت خاموش خواهند شد. عواملی مانند زمان وقوع زلزله (و آتش‌سوزی متعاقب آن) طی روز، سرعت باد و میزان رطوبت هوا، تراکم ساختمان‌ها و تسهیلات شهری و میزان صدمهٔ واردشده به سیستم‌های حمل‌ونقل و زیرساخت‌های ارتباطی که در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار خواهند گرفت در این مقال می‌گنجند.

بنابراین، لازم است در هر ناحیه با احتیاط کافی خطرات ناشی از حریق پس از زلزله با در نظر گرفتن عوامل پیچیدهٔ درگیر و نیز عواملی که مختص همان ناحیه است (مانند جنس خاک منطقه و تأثیر آن در بازتاب زلزله در تخریب ساختمان‌ها) شناسایی شده و استراتژی‌های مناسب برای کاهش سطح خطر به تراز قابل قبول پیاده‌سازی شود. در واقع، اگر در مدیریت بحران‌های طبیعی به صورت کلی تأکید شده در این نوع از بحران‌ها نیز هدف نهایی محافظت از جان مردم در وهلهٔ اول و مال ایشان در گام بعد است که این مهم با طراحی و پیاده‌سازی استراتژی‌های عملی و واقع‌گرایانه جلوگیری از وقوع آتش‌سوزی‌های گسترده آغاز شده و با در نظر گرفتن اقدامات لازم برای کاهش تلفات و صدمات ناشی از حریق در صورت ناموفق بودن گام قبل پی‌گیری خواهد شد. به طبع در صورت بروز حادثه لازم است ارزیابی لازم از حجم تلفات و صدمات به‌سرعت انجام گیرد و همراه با پیاده‌سازی استراتژی‌های بازیابی حیات طبیعی، ضعف‌ها در پلان مدیریت ریسک در بحران روی‌داده شناسایی شده و طرح به‌روز و اصلاح شود.

در زلزلهٔ سال ۱۹۹۵ کوبهٔ ژاپن، مراکز مجهز آتش‌نشانی به دلایل مختلف از پاسخ مناسب به آتش‌سوزی‌های روی‌داده بازماندند، ولی در زلزلهٔ سال ۲۰۱۱ توهوکو که حجم و تعداد آتش‌سوزی‌های ثبت‌شده بعد از وقوع آن چند برابر زلزلهٔ کوبه بود، آتش‌سوزی‌های روی‌داده تحت کنترل قرار گرفتند که این موضوع گواهی بر اهمیت شناخت ضعف‌ها و بازبینی منظم و متناوب درس‌آموخته‌ها و استراتژی‌های طراحی‌شده است. بنابراین برای ایجاد آمادگی در مواجهه با ریسک‌های ناشی از آتش‌سوزی پس از زلزله، لازم است آسیب‌پذیری واحدهای مختلف شهری در مقابل آتش‌سوزی شناسایی و ارزیابی شده و بر اساس نتایج ارزیابی برای تخفیف آثار ریسک‌ها تصمیم‌گیری شود [۹].

۳. شناسایی ریسک‌ها

در فرایند شناسایی ریسک‌ها، اینکه چه چیزی ممکن است رخ دهد تا شرایط بحرانی یا بحرانی‌تر شود، چگونه چنین چیزی می‌تواند رخ دهد و در صورت رخ دادن آن چه پیامدهایی خواهد داشت، تعیین می‌شود. مهم‌ترین نکته این است که فرایند شناسایی ریسک‌ها باید جامع باشد، چراکه ریسک‌های شناسایی‌نشده قابل مدیریت نیستند [۴].

با توجه به ماهیت آتش‌سوزی‌های پس از زلزله و پراکندگی و تنوع عوامل درگیر در آن، از بین روش‌های عملیاتی مختلفی که برای شناسایی ریسک‌ها تعریف شده‌اند، می‌توان روش‌های مبتنی بر توفان فکری و کار گروهی را برگزید، چرا که در این روش‌ها ایده‌های خلاقانه بدون محدود کردن چهارچوب ایده‌پردازی می‌توانند باعث شناسایی ریسک‌های ساده و در عین حال ناشناخته باشند، به عنوان مثال رها کردن یک سیگار روشن در منطقهٔ مستعد حریق توسط فردی که پس از وقوع زلزله در تلاش برای فرار از مهلکه است، می‌تواند یکی از این عوامل ساده باشد. از سوی دیگر، ابعاد و پیامدهای آتش‌سوزی‌های پس از زلزله به قدری می‌تواند فاجعه‌آمیز باشد که ذهن بسیاری از محققان و متخصصان را به خود مشغول کند و به‌طبع مطالعات گستردهٔ انجام‌گرفته در این خصوص در کنار مستندات تاریخی و مشاهدات مستقیم، اطلاعات مدون گسترده‌ای در زمینهٔ عوامل بروز ریسک و پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها در حریق‌های گسترده پس از زلزله در اختیار قرار داده است. لذا با توجه به محدودیت‌های روش‌های عملیاتی شناسایی ریسک مانند توفان فکری، ریسک‌ها از مجموعه مستندات تجربی و درس‌آموخته‌های بحران‌های روی‌داده تا کنون استخراج شده‌اند.

Kim [۱۰] مهم‌ترین عوامل رخداد آتش‌سوزی‌های پس از زلزله را مشکلات برقی (اتصال کوتاه، کابل‌های قطع‌شده و تجهیزات برقی واژگون‌شده)، انتشار گاز که در تماس به یک جرقه یا شعلهٔ مستقیم (مانند شعلهٔ شومینه یا بخاری) مشتعل شده باشد و واکنش‌های ناشی از نشت و انتشار مواد شیمیایی، شعلهٔ اجاق‌های گاز، شمع‌ها، شومینه‌ها، فرهای حرارتی و نیز آتش‌سوزی‌های عمدی معرفی می‌کنند. از نظر ایشان علاوه بر عوامل ایجاد حریق و تعداد حریق‌های ایجادشده پس از زلزله، شرایط آب‌وهوایی، قابلیت اتکا به منابع آبی، کیفیت و قابلیت اتکا به مراکز آتش‌نشانی و واحدهای واکنش سریع، تراکم و سیستم ساختمان‌ها، سیستم‌های ارتباطی و حمل‌ونقل، شرایط خاک و بزرگای زلزله می‌توانند در صدمات ناشی از حریق پس از زلزله نقش داشته باشند.

Mohammadi و همکاران [۱۱] نیز علل وقوع آتش‌سوزی پس از زلزله را نشت گاز ناشی از خرابی لوله‌ها و وسایل گازسوز، مشکلات سیستم‌های برقی، انتشار مواد شیمیایی قابل اشتعال و واژگونی شمع‌های روشن، چراغ‌های رومیزی، فرهای گازی و ... می‌دانند.

A.Z.Ren و همکاران [۱۲] فاکتور ریسک ساختمان‌ها را متشکل از سه عامل اصلی درجهٔ خرابی ناشی از زلزله، ویژگی‌های مصالح قابل اشتعال داخل ساختمان و آب‌وهوا می‌دانند. بر اساس تحقیقات انجام‌گرفته توسط ایشان روی آتش‌سوزی‌های روی‌داده پس از زلزله‌های مختلف، این نتیجه حاصل شده است که درجهٔ خطر حریق ساختمان به صورت اساسی با میزان خرابی ساختمان بر اثر زلزله مرتبط است، لذا ایشان بر اساس احتمال وقوع حریق در ساختمان‌ها و درجهٔ خرابی ناشی از آن، خطر حریق را در ۴ گروه جدی، متعادل، کم و بی‌خطر دسته‌بندی کرده‌اند.

در شناسایی پیامدهای بروز ریسک‌های اشاره‌شده عدم قطعیت‌هایی وجود دارند که لازم است در تحلیل‌ها مد نظر قرار داده شوند، این فاکتورها شامل: ۱- تعداد و موقعیت آتش‌سوزی‌های اولیه (پراکندگی آتش‌سوزی‌ها)، ۲- وضعیت و شرایط آتش‌نشان‌ها پس از زلزله و پیش از وقوع حریق‌های اولیه، ۳- شرایط آب‌وهوایی، ۴- صدمات سازه‌ای واردشده به ساختمان‌ها بر اثر زلزله، ۵- موقعیت کمپ‌های اسکان و ۶- موانع ایجادشده در مسیرهای دسترسی هستند. علاوه بر این موارد، فاکتورهای دیگری نیز در شدت و گستردگی آتش‌سوزی‌های پس از زلزله تأثیرگذار هستند: آسیب‌پذیری سیستم‌ها و زیرساخت‌های ارتباطی، آسیب‌پذیری منابع آب و منابع جایگزین آن‌ها، تراکم ساختمان‌ها و جنس آن‌ها، پتانسیل شکست زمین و پوشش گیاهی در نواحی مختلف جزء این عوامل دسته‌بندی می‌شوند [۵]. خطر بالقوهٔ وقوع صدمات شدید و قابل توجه ناشی از آتش‌سوزی‌های گسترده پس از زلزله، زمانی که تعداد زیادی حریق پراکنده در مناطق آسیب‌پذیر مانند محلات شهری با بافت متراکم از سازه‌های چوبی روی دهد، وجود خواهد داشت. سرعت و جهت وزش باد، زمان وقوع زمین‌لرزه طی روز و طی سال، تراکم جمعیت و حتی جنس و شرایط فیزیکی خاک نیز در ایجاد و گسترش حریق در مناطق شهری مؤثر است [۱۳]. شایان یادآوری است که در حقیقت تمام ساختمان‌ها در یک حریق پس از زلزله نخواهند سوخت، بلکه برخی عوامل مانند ساختمان‌های ضد حریق (ایمن در برابر حریق)، خیابان‌های عریض، پارک‌ها و فضاهای باز بزرگ باعث متوقف شدن گسترش آتش‌سوزی خواهد شد. بنابراین، برای شبیه‌سازی نواحی مستعد حریق لازم است عوامل توقف حریق و فاصلهٔ لازم بین ساختمان‌ها برای جلوگیری از انتشار آتش‌سوزی نیز بررسی و تحلیل شوند. در شرایط عادی برای جلوگیری از انتشار آتش‌سوزی، فاصلهٔ لازم بین ساختمان‌ها به نوع ساختمان‌ها، ارتفاع آن‌ها، سرعت و جهت وزش باد و نیز بارندگی احتمالی بستگی دارد. به عنوان مثال، به دلیل بارش باران در زمان وقوع آتش‌سوزی پس از زلزلهٔ تانگ شان چین در سال ۱۹۷۶، تنها مناطق معدودی آسیب دیدند و حریق گسترش نیافت.

با توجه به آنچه در خصوص عوامل درگیر در رویداد یک حریق گسترده پس از زلزله به‌اختصار پیش‌تر گفته شد، مناسب است برای شناسایی ریسک‌ها، عوامل مؤثر در این فاجعه در دو گروه عوامل ایجادکنندهٔ حریق و عوامل گسترش حریق تقسیم شوند. چنانچه ملاحظه شد، عوامل ایجاد حریق به صورت عمده عبارت‌اند از:

۱. نشت گاز از سیستم‌های لوله‌کشی یا تجهیزات گازسوز
۲. اتصالات برقی در سیستم‌های توزیع برق یا تجهیزات برقی
۳. شعله‌های روشن مانند اجاق‌های گاز، شومینه‌ها، شمع‌های روشن، بخاری‌ها و ...
۴. نشت و واکنش مواد شیمیایی

۵. آتش‌سوزی‌های عمدی

بیش از نیمی از آتش‌سوزی‌های اولیه پس از زلزلهٔ نورث ریج لس آنجلس در سال ۱۹۹۴ مرتبط با عامل ۲ و تقریباً یک چهارم آن‌ها ناشی از عامل ۱ بودند. در زلزلهٔ لوما پیریتا در سال ۱۹۸۹ از ۴۱ حریق ثبت‌شده پس از زلزله، ۲۵ مورد ناشی از برق، ۱۲ مورد ناشی از گاز و ۴ مورد ناشی از سایر موارد بودند. با بررسی گسترده‌تر آتش‌سوزی‌های رخداده پس از زلزله به نظر می‌رسد تقریباً ۸۰ درصد از حریق‌های ثبت و مستند شده پس از زلزله بر اثر عوامل ۱ و ۲ روی داده‌اند (۵۶ درصد ناشی از اشکال در سیستم‌های توزیع برق و ۲۶ درصد ناشی از سیستم‌های توزیع گاز) [۶]. بر اساس مطالب گفته‌شده دسته‌بندی احتمالاتی زیر برای عوامل آتش بروز آتش‌سوزی‌ها در نظر گرفته می‌شود:

- احتمال وقوع آتش‌سوزی ناشی از مشکلات سیستم‌ها و تجهیزات برقی: ۵۵ درصد
- احتمال وقوع آتش‌سوزی ناشی از مشکلات سیستم‌ها و تجهیزات گازی: ۲۵ درصد
- احتمال وقوع آتش‌سوزی ناشی سایر موارد و نیز موارد شناسایی‌نشده: ۲۰ درصد

زنجیرهٔ اتفاقاتی که به یک حریق مرتبط با گاز منجر می‌شود به صورت زیر قابل جمع‌بندی است:

۱. به دنبال وقوع زلزله، افزایش فشار در قطعات سیستم لوله‌کشی یا واژگونی و یا لغزش لوازم گازسوز (مثل آبگرمکن‌های گازی) روی می‌دهد.
۲. گاز نشت می‌کند.
۳. انتشار گاز تشخیص داده نمی‌شود و لذا گاز در یک محیط بسته تجمع می‌کند.
۴. تراکم گاز در اتمسفر به حد اشتعال می‌رسد.
۵. منبع اشتعال فعال شده و گاز مشتعل می‌شود.

در شرایط طبیعی عمدتاً این حلقه در گام ۲ (اگر تجهیزات به سیستم‌های قطع‌کن اتوماتیک گاز مجهز باشند) و یا گام‌های ۴ یا ۵ متوقف می‌شود، اما در شرایط خاص زنجیرهٔ اتفاقات تا انتها پیش رفته و آتش‌سوزی روی خواهد داد. در زلزلهٔ ویتیر نروژ در سال ۱۹۸۸، ۷۵ درصد از موارد نشت گاز مربوط به تجهیزات گازسوز به‌خصوص آبگرمکن‌های گازی بود، همین مشاهدات پس از زلزلهٔ سال ۱۹۷۱ سان فرانسیسکو نیز ثبت شد. دلیل نیز تقریباً مشخص بود، آبگرمکن‌های گازی بیشتر در زیرزمین‌ها یا گاراژها یا سایر فضاهای بسته و حاوی موارد اشتعال‌زا (مانند بشکه‌های روغن، سوخت و ... یا لوازم چوبی مستعمل، پارچه‌های کهنه و ...) نصب می‌شوند، لذا بروز زلزله به‌راحتی می‌تواند شرایط مساعد ایجاد حریق را در این فضاها رقم بزند. زنجیرهٔ رویدادهای منجر به حریق ناشی از نشت گاز در نمودار درخت رویداد شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱. نمودار درخت رویداد برای حریق ناشی از نشت گاز

آتش‌سوزی‌های نوع ۱ تا ۴ نشان‌داده‌شده در این نمودار گرافیکی دربرگیرندهٔ حالت‌های زیر هستند:

حالت اول: گسترش آتش‌سوزی فقط به نواحی محدود اطراف نقطهٔ وقوع حریق اولیه

حالت دوم: اشتعال مواد سوزا در فضای احتراق اولیه و سرایت به تمام فضای مورد نظر اما محدود به آن

حالت سوم: اشتعال مواد سوزا در فضای احتراق اولیه و سرایت به تمام فضای مورد نظر و کل ساختمان

حالت چهارم: اشتعال مواد سوزا در فضای احتراق اولیه و سرایت به تمام فضای مورد نظر، کل ساختمان و ساختمان‌های اطراف

شکل‌گیری هر یک از این حالت‌ها به موقعیت آتش‌سوزی اولیه، در دسترس بودن مواد قابل اشتعال در محل آتش‌سوزی اولیه و نیز اقدامات و واکنش‌های اطفای حریق بستگی دارد. حالت‌های سوم و چهارم معمولاً بلافاصله پس از زلزله روی می‌دهند.

هنگام رخداد زلزله، سیستم‌های برقی به صورت ویژه‌ای بحرانی هستند، زیرا تکان‌های زمین باعث جابه‌جایی تجهیزات الکتریکی و ایجاد اصطکاک بین سیم‌ها و کابل‌ها و لخت شدن فلز رسانا در مجاورت این مناطق می‌شود که این امر موجب افزایش ریسک آتش‌سوزی خواهد شد. احتمال وقوع حریق ناشی از اتصالات برقی به عوامل مختلفی مانند طراحی سیستم الکتریکی، جنس فلز رسانای استفاده‌شده، نحوهٔ نصب تجهیزات برقی، وجود سیم‌کشی‌های معیوب و اضافه بار الکتریکی در بخش‌های مختلف سیستم بستگی دارد.

به صورت عمومی آتش‌سوزی‌های ناشی از سیستم‌های الکتریکی به یکی از دلایل زیر روی می‌دهند:

۱. اصطکاک و مالش سیم‌ها و کابل‌های برق روی یکدیگر به‌خصوص در محل اتصالات، گره‌ها و سوییچ‌ها و ...
۲. اتصال کوتاه در محل اتصالات و گره‌ها به دلیل تکان‌های شدید ساختمان
۳. مشکلات ناشی از تاب خوردن لامپ‌ها و سایر ملحقات برقی آویزان
۴. مشکلات ناشی از اضافه بار در کابل‌ها و سیم‌ها به دلیل واژگونی یا لغزیدن ادوات برقی

توالی رویدادهایی که به حریق برقی پس از زلزله منجر می‌شوند در نمودار شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

عوامل تشدید و گسترش حریق پس از زلزله با شدت و بزرگای مشخص به صورت عمده عبارت‌اند از:

۱. عوامل آب‌وهوایی و محیطی

شرایط آب‌وهوایی آثار قابل توجهی در نرخ گسترش حریق دارد، عوامل اصلی آب‌وهوایی دخیل در این موضوع عبارت‌اند از:

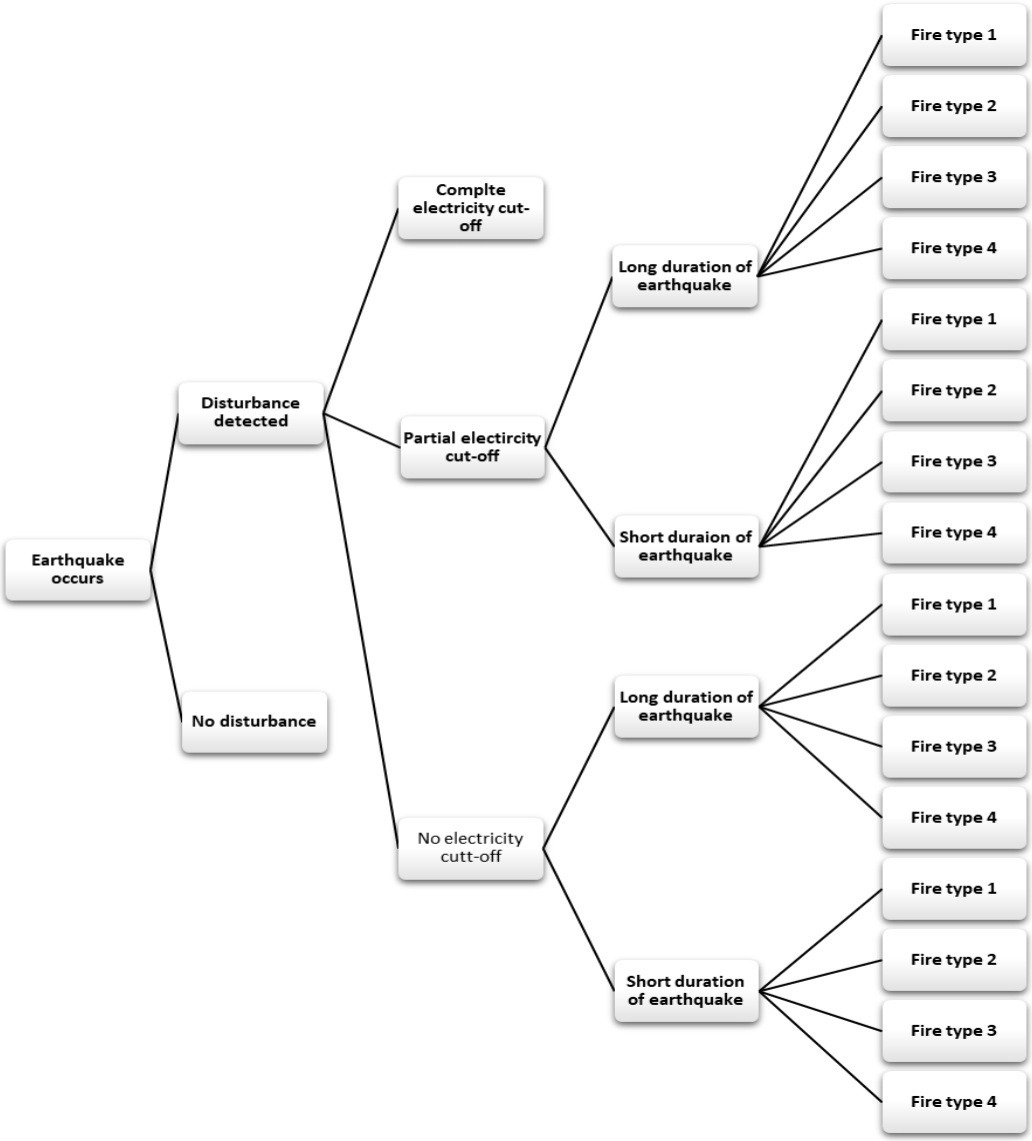
۱-۱. دمای هوا: دمای بالای هوا باعث خشک‌تر شدن مصالح قابل اشتعال و بالا رفتن قابلیت اشتعال آن‌ها می‌شود. در واقع در دمای بالا، حرارت کمتری برای روشن شدن حریق لازم است و مواد مشتعل‌شده سریع‌تر می‌سوزند.

۱ـ ۲. رطوبت: میزان رطوبت بالا باعث بالا رفتن رطوبت مواد قابل اشتعال می‌شود و گسترش حریق را کند می‌کند.

۱ـ ۳. باران (و برف): بارش باران باعث افت حرارت مواد در حال سوختن می‌شود و حجم آتش را کم می‌کند. در صورتی که شدت بارش به حد کافی زیاد باشد می‌تواند عامل اطفای حریق نیز باشد. همچنین، خنک شدن مواد قابل اشتعال در اطراف ناحیهٔ مشتعل‌شده بر اثر بارش باران، نرخ رشد حریق را نیز کند خواهد کرد.

۱ـ ۴. سرعت و جهت وزش باد: وزش باد نرخ رشد حریق را تسریع می‌کند، به نحوی که وزش یک باد شدید می‌تواند باعث گسترش حریق در تمامی نواحی مستعد حریق شود. با افزایش سرعت باد صرف نظر از جهت وزش (که به خودی خود در گسترش آتش مؤثر است) نرخ رشد حریق افزایش یافته و پدیده‌هایی مانند آتش مسافر که به آتش‌سوزی در نواحی دوردست منجر می‌شوند، بیشتر مشاهده می‌شود. نکتهٔ دیگری که در خصوص عامل باد مطرح است این است که سرعت و جهت وزش باد طی زمان تغییر می‌کند.

به منظور در نظر گرفتن آثار شرایط محیطی و شرایط آب‌وهوایی در آتش‌سوزی‌های پس از زلزله سه حالت مختلف شرایط نامساعد، شرایط خنثی و شرایط مساعد تعریف می‌شود. شرایط نامساعد عبارت است از: حضور توام آسمان آفتابی، آب‌وهوای داغ و سوزان، آب‌وهوای خشک، بادهای شدید و تند باد و تراکم زیاد ساختمان‌ها. بر همین‌اساس، شرایط خنثی شرایطی است که در آن آسمان آفتابی، باد ملایم و مقداری رطوبت داشته باشیم و شرایط مساعد شرایطی تلقی می‌شود که در آن آسمان ابری، بارش باران یا برف، رطوبت بالا و عدم وزش باد وجود دارد. احتمال بروز حریق گسترده در شرایط آب‌وهوایی نامساعد، خنثی و مساعد، به‌ترتیب ۹۵، ۸۰ و ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲. نمودار درخت رویداد برای حریق ناشی از اتصالی برق

۲. جنس ساختمان‌های واقع‌شده در ناحیهٔ وقوع زلزله

جنس ساختمان‌ها از این منظر که از مواد قابل اشتعال (مانند چوب) ساخته شده‌اند یا حاوی مواد قابل اشتعال (مانند انبارهای اثاثیه چوبی) در بروز و گسترش حریق پس از زلزله نقش دارد. قابلیت اشتعال این مواد نیز فاکتور دیگری است که باید مد نظر قرار داده شود.

اگر ساختمان از مصالح قابل اشتعال ساخته نشده باشد یا حاوی آن‌ها نباشد به طبع آتش در آن روی نخواهد داد و لذا می‌توان احتمال وقوع حریق پس از زلزله را در آن صفر فرض کرد، اما عموماً چنین شرایطی متصور نیست. برای ساختمان‌های ساخته‌شده از چوب، یا ساختمان‌های بنایی که در آن ادوات چوبی مانند در و پنجره و اثاثیه چوبی به کار رفته است، احتمال وقوع حریق پس از زلزله به‌ترتیب ۷۹/۵ و ۶۷/۵ درصد در نظر گرفته می‌شود، برای ساختمان‌های ساخته‌شده از مصالح بسیار اشتعال‌پذیر یا حاوی مواد شیمیایی منفجره این احتمال برابر ۹۷ درصد منظور می‌شود. برای ساختمان‌های حاوی مصالح بسیار اشتعال‌پذیر مانند پارچه، کاغذ و ... نیز احتمال مورد نظر برابر ۸۹ درصد فرض شده است. در نهایت، برای ساختمان‌های فلزی دربردارندهٔ قطعات و اثاثیهٔ چوبی این احتمال ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

۳. میزان صدمه مستقیم واردشده به ساختمان‌ها در زلزله

این فاکتور به نوعی منعکس‌کنندهٔ بزرگای زلزله و مقدار شتاب ایجادشده توسط آن است، صدمهٔ واردشده به زلزله می‌تواند باعث بالا رفتن خطر بروز نشت گاز و مواد سمی، اتصالات برقی، ایراد صدمه به سیستم‌های آتش‌نشانی درون ساختمان، ایراد صدمه به سیستم‌های ایجاد مقاومت در برابر حریق شود. از طرف دیگر، جنس و شرایط خاک محل وقوع زلزله که تأثیر مستقیم در پاسخ سازه‌ها و تأسیسات به شتاب زلزله دارد نیز در میزان و حجم صدمات واردشده مؤثر است. درجهٔ خرابی ساختمان‌ها به PGA زلزله (و سایر مشخصات آن مانند عمق کانونی، مکانیزم تکان‌ها، مدت زمان لرزش و ...)، مبانی طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها و سیستم باربر جانبی آن‌ها، سطوح عملکرد و کاربری ساختمان و جنس خاک بستگی دارد، به عنوان مثال اگر میزان تلفات جانی زلزله را متناسب با میزان خسارت‌های سازه‌ای بدانیم در زلزلهٔ ۶/۶ ریشتری بم بیش از ۳۰ هزار نفر جان خود را از دست دادند، در حالی که در زلزلهٔ ۶/۶ ریشتری سال ۱۹۸۷ توکیو تنها ۲ نفر کشته شدند. بر اساس آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزلهٔ ایران، انتظار می‌رود ساختمان‌های مسکونی پس از وقوع زلزله طرح دچار آسیب‌های عمده شوند، ولی فرو نریزند.

از طرف دیگر، احتمال نشت و انتشار مواد قابل اشتعال در یک ساختمان نیز به نسبت خرابی آن ساختمان در زلزله بستگی دارد، اگر سطوح خرابی ساختمان در زلزله را ویرانی، آسیب جدی، آسیب متوسط، آسیب کم و آسیب غیر قابل توجه در نظر بگیریم احتمال نشت در آن‌ها به‌ترتیب برابر ۹۷، ۸۹، ۷۹/۵، ۶۷/۵ و ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. میزان صدمهٔ ثانویه ناشی از حریق در یک ساختمان آسیب‌دیده در زلزله نیز به سطح اولیه آسیب‌دیدگی ساختمان در زلزله بستگی دارد.

۴. زمان وقوع زلزله طی روز و طی سال

اینکه زلزله در فصل گرم یا سرد سال اتفاق بیفتد یا اینکه طی روز یا شب روی دهد به دلیل تغییر در احتمال ایجاد شرایط مساعد حریق، دارای اهمیت است. به عنوان مثال، طی شب در کمتر خانه‌ای پخت‌وپز با اجاق گاز در جریان است یا طی تابستان از سیستم‌های گرمایشی استفاده نمی‌شود. تجربه نشان داده است که تقریباً ۶۰ درصد زلزله‌ها شبانگاهان اتفاق می‌افتند.

۵. میزان صدمهٔ واردشده به شبکهٔ آب آتش‌نشانی و قابلیت اتکای تأسیسات تأمین آب و سیستم‌های ثانویهٔ اطفای حریق داخل ساختمان‌ها

متأسفانه در بسیاری از موارد مشاهده‌شده آتش‌سوزی وسیع پس از زلزله، اشکالات به‌وجودآمده در سیستم‌های تأمین آب مانند شکستگی خطوط لوله و افت فشار شدید این منابع باعث گسترش شدید آتش‌سوزی‌ها شده است. نمونه‌های مختلفی از این مورد در توضیحات قبلی مورد اشاره قرار گرفته است، اما به عنوان نمونهٔ دیگر می‌توان به زلزلهٔ روی‌داده در سال ۱۹۳۱ در خلیج هاوکز نیوزیلند اشاره کرد که در آن ۴۰۰ ساختمان در حریق سوخت که یکی از دلایل اصلی آن شکستن لوله‌های انتقال آب و به دنبال آن از دست رفتن امکان تأمین در زمان ۵ تا ۱۰ دقیقه پس از وقوع زلزله یعنی زمان آغاز آتش‌سوزی‌های اولیه بود. ارزیابی قابلیت اتکای شبکه‌های آب‌رسانی پس از زلزله بسیار دشوار است. پس از زلزلهٔ سال ۱۹۰۶ سان فرانسیسکو که در آن شهر با از دست رفتن منابع آبی ۳ روز متوالی در آتش سوخت، سیستم پشتیبان آب‌رسانی علاوه بر سیستم موجود و به صورت مجزا از آن و مقاوم در برابر زلزله طراحی و ساخته شد. اما همان‌طور که قبلاً گفته شد، در زلزلهٔ سال ۱۹۸۹ سان فرانسیسکو در ناحیهٔ مادینا این شبکه پشتیبان نیز از دست رفت و حریق ایجادشده پس از آتش‌سوزی به کمک شبکهٔ پشتیبان دوم خاموش شد.

شبکهٔ آب‌رسانی در عمدهٔ شهرهای کشور ایران و مثلاً در شهر بزرگی مانند تهران، شبکه‌ای قدیمی است که در شرایط نرمال نیز قابلیت اتکای بالایی ندارد، خاک نواحی جنوب شهر رسوبی و آبرفتی است و لذا تغییر شکل‌های بزرگ در بستر لوله‌های اصلی اجتناب‌ناپذیر است، همین مسئله در خصوص شبکهٔ آب آتش‌نشانی نیز موجود است،

ضمن اینکه در بسیاری از نواحی جدیدتر شهر شبکه کامل آب آتش‌نشانی وجود ندارد. بنابراین، در صورت بروز زلزله، خطر از دست رفتن منابع آب به صورت جدی وجود خواهد داشت.

یکی دیگر از عوامل ایجاد خطر گسترش حریق در ساختمان‌ها، آسیب‌دیدگی سیستم‌های ثانویه اطفای حریق داخل ساختمان‌ها و خرابی موانع حریق در محل درزها است. تجهیزاتی که سیستم پشتیبان برقی ندارند، دستگاه‌های هشداردهنده‌ای که بر اثر تکان‌های زلزله آسیب دیده‌اند یا کنده شده‌اند، آب‌فشان‌هایی که بر اثر اینرسی لوله‌ها و اتصالات متصل به آن‌ها خراب، جابه‌جا یا کج شده‌اند. تخریب مخازن آب آتش‌نشانی داخل ساختمان و جابه‌جایی، مدفون شدن یا خراب شدن کپسول‌های آتش‌نشانی می‌تواند آثار آتش‌سوزی پس از زلزله را وخیم‌تر کند [۱۴].

در زلزلهٔ کوبه ژاپن تقریباً ۲۰ درصد از سیستم‌های اتوماتیک هشدار حریق آسیب دیدند، سیستم‌های خاموش‌کنندهٔ هالوژنی و کفی به‌ترتیب ۱۰ و ۲۴ درصد آسیب دیدند، سیستم‌های افشانهٔ آب و آب‌پاش‌های زیرسقفی نیز به‌ترتیب ۴۰ و ۲۳ درصد صدمه دیدند.

۶. میزان صدمهٔ واردشده به تأسیسات زیربنایی و شبکه‌های حمل‌ونقل

ایراد صدمه به مسیرهای ارتباطی هم از نظر محدود کردن دسترسی نیروهای امداد به ناحیهٔ آسیب‌دیده حائز اهمیت است و هم از نظر ایجاد محدودیت برای تخلیهٔ صدمه‌دیدگان از محل قابل توجه است. به دلیل ایراد خسارت به شبکهٔ حمل‌ونقل در صورت بروز زلزله، سرعت ارتباطات کاهش خواهد یافت. نرخ کاهش سرعت در خرابی‌های بسیار زیاد، زیاد و متوسط برابر ۵۰ درصد و در خرابی‌های کم و ناچیز به‌ترتیب ۲۵ و ۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

تخریب باندهای فرودگاه، خاکریز راه‌ها، خطوط راه آهن، ترمینال‌های حمل‌ونقل، خرابی پل‌ها و بزرگراه‌ها به‌کلی در زلزله قابل انتظار هستند.

در کنترل آتش‌سوزی‌های رخداده بحث زمان بسیار مهم است، زمان‌های کشف حریق و گزارش آن نیز در تعیین خسارت نهایی ناشی از آتش‌سوزی اهمیت دارد؛ لذا خرابی و قطع سیستم‌های ارتباطی می‌تواند تأثیر مخربی بر فعالیت‌های امدادی داشته باشد.

۷. میزان آمادگی پرسنل آتش‌نشانی و در دسترس بودن تجهیزات مورد نیاز

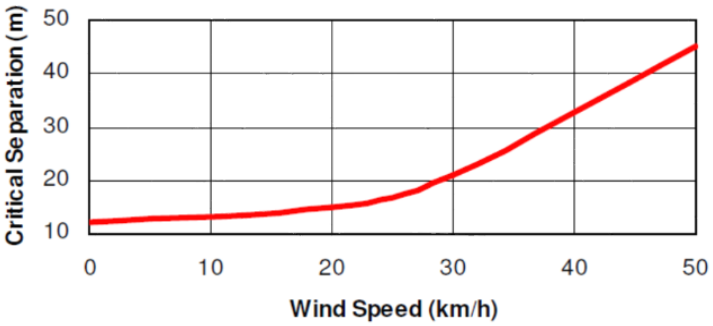
ایستگاه‌های آتش‌نشانی باید قابلیت سرویس‌دهی خود را در زمان پس از زلزله حفظ کنند. این نکته باید مد نظر باشد که موقعیت و طبیعت حریق‌های روی‌داده پس از زلزله از قبل دانسته نیست و به دلیل تراکم تماس‌های تلفنی (یا هر سیستم ارتباطی دیگر) شناسایی دقیق آن‌ها نیز دشوار است. به علاوهٔ اینکه واحدهای آتش‌نشانی برای سرویس‌دهی در موارد اضطراری دیگر مانند خرابی‌های مستقیم پس از زلزله و امدادرسانی نیز فراخوانده می‌شوند. لذا فشار کاری واحدهای آتش‌نشانی قابل ارزیابی نیست. صدمات و آسیب‌های واردشده بر اثر زلزله یا حریق نیز هنوز ارزیابی نشده است و اقدامات لازم برای پاسخ به شرایط اضطراری به‌وجودآمده باید در ارزیابی اولیهٔ تیم آتش‌نشانی فرستاده‌شده به منطقه و چه بسا در طول مسیر تا ناحیهٔ آسیب‌دیده تعیین شود.

در دسترس بودن نیروها و تجهیزات آتش‌نشانی در کلیهٔ نقاط در سطح ناحیهٔ زلزله‌زده الزامی است، آمادگی روحی نیروهای این ارگان‌ها برای مواجهه با حجم بالای خرابی و صحنه‌های دلخراش احتمالی پس از زلزله نیز فاکتوری است که در عملکرد ایشان می‌تواند تأثیر داشته باشد. بسیاری از نیروهای آتش‌نشان تجربهٔ قرار گرفتن در چنین شرایطی را فقط در سطح تمرینات آمادگی دارند.

۸. تراکم ساختمان‌ها، فاصله‌بندی خیابان‌ها و کاربری ساختمان‌ها

فاصلهٔ ساختمان‌ها از یکدیگر یکی از عوامل مهم در گسترش حریق به شمار می‌رود. فاصلهٔ ایمن ساختمان‌ها از یکدیگر برای جلوگیری از سرایت آتش به نوع ساختمان، ضد حریق بودن یا نبودن آن (جنس مصالح)، بزرگای زلزله (که با تخریب ساختمان‌ها فضای بین آن‌ها را پر می‌کند)، سرعت و جهت وزش باد و حجم آتش بستگی دارد.

خیابان‌های عریض، خطوط راه آهن، پارک‌ها و سایر فضاهای باز بزرگ و ساختمان‌های ضد حریق به‌کلی می‌توانند باعث توقف گسترش حریق شوند. در شرایط بدون وزش باد فاصلهٔ لازم برای عدم سرایت آتش بین ساختمان‌های آجری - چوبی ضد حریق ۶ متر و غیر ضد حریق ۲۰ متر ارزیابی می‌شود، همین فاصله برای ساختمان‌های بتنی ۲ متر و برای ساختمان‌های مختلط (از نظر مصالح ساخت) ۳ متر ارزیابی می‌شود. اگر پتانسیل تشعشع حریق بالا باشد فاصلهٔ سرایت حریق تا ۱۲ متر افزایش می‌یابد، این فاصله در صورت وزش یک نسیم ملایم تا۲۰ متر نیز بالغ خواهد شد. شکل ۳ رابطهٔ بین سرعت وزش باد و فاصلهٔ بحرانی بین ساختمان‌ها را در شرایطی که در مسیر وزش باد قرار داشته باشند نشان می‌دهد [۱۵].



شکل ۳. رابطهٔ بین سرعت وزش باد و فاصلهٔ بحرانی بین ساختمان‌ها هنگام حریق

از ۷۷ حریق مشاهده‌شده در زلزلهٔ نورث ریج، ۵۵ مورد از آن‌ها در مناطق مسکونی اتفاق افتادند. بر اساس گزارش‌های انجمن مهندسین ساختمان ایالات متحده و نیز مؤسسهٔ ملی ایمنی در برابر حریق این کشور، در PGA محدودهٔ ۰/۱۸ تا ۰/۳۴ شتاب ثقل، نرخ ایجاد حریق در ناحیه‌ای به وسعت ۱ میلیون فوت مربع (تقریباً ۹ هکتار) در مناطق مسکونی، تجاری و صنعتی به‌ترتیب ۰/۰۷۱، ۰/۰۱۹ و ۰/۰۰۵ پیش‌بینی می‌شود. این ارقام برای زلزله با PGA واقع در محدودهٔ ۰/۳۴ تا ۰/۶۵ شتاب ثقل، به ۰/۱۷۷، ۰/۰۴۷ و ۰/۰۱۲ خواهند رسید.

تجربه نشان داده است که تعداد آتش‌سوزی رخداده پس از زلزله با تراکم جمعیت نیز ارتباط مستقیم دارد، در زلزلهٔ لوما پیریتا در سال ۱۹۸۹، بیشترین تعداد حریق ثبت‌شده بر اثر زلزله (۱۰ مورد) مربوط به منطقه با بیشترین تراکم جمعیتی (۱/۰۶۵ نفر در هر ۹۰ متر مربع) بود، در مناطق با فاکتور تراکم جمعیت ۰/۸۹۴ و ۰/۸۸۹ نفر در هر ۹۰ متر مربع نیز هر یک ۶ حریق روی داد. بر اساس همین مستندات می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تقریباً ۶۰ درصد از حریق‌های روی‌داده در مناطق با تراکم جمعیت حدود ۱ نفر در ۱۰۰ متر مربع اتفاق می‌افتد.

۹. سایر عوامل مانند پوشش گیاهی، آتش‌سوزی‌های روی‌داده در خارج از ساختمان‌ها، ساختمان‌های با کاربری خاص (مانند انبارهای مواد شیمیایی، پادگان‌ها یا کتابفروشی‌ها)، عمر ساختمان‌ها، ساختمان‌های متروک و خالی از سکنه، خرابی‌های ثانویه ناشی از آتش‌سوزی‌ها، پس‌لرزه‌ها، وصل مجدد خطوط برق و انتقال نیرو، شیب زمین و ...

۴. تحلیل ریسک‌ها در یک مطالعهٔ موردی

به منظور تحلیل ریسک‌ها، معیارهای کمی‌سازی آن‌ها (با احتمال وقوع P) و پیامدهای آن‌ها (با کمیت C) به صورت جدول ۱ در نظر گرفته شده‌اند:

جدول ۱- الف. درجه‌بندی ریسک‌ها بر اساس احتمال وقوع

درجهٔ توصیفی احتمال وقوع	نادر	بسیار غیر محتمل	غیر محتمل	ممکن	محتمل	تقریباً قطعی
اندازهٔ کمی احتمال وقوع	$P<1\%$	$1\% \le P<5\%$	$5\% \le P<10\%$	$10\% \le P<30\%$	$30\% \le P<85\%$	$85\% \le P$

جدول ۱- ب. درجه‌بندی پیامدها بر اساس سطح

درجهٔ توصیفی پیامد	شرح پیامدها	فاکتور کمی پیامد
ناچیز	آتش‌سوزی‌های پس از زلزله به تلفات جانی منجر نشده و خسارت‌های مالی ناشی از آن‌ها کمتر از ۲ درصد خسارت‌های مستقیم زلزله است.	$C < 5\%$
کم	آتش‌سوزی‌های پس از زلزله به تلفات جانی منجر نشده و خسارت‌های مالی ناشی از آن‌ها کمتر از ۵ درصد خسارت‌های مستقیم زلزله است.	$25\% > C \geq 5\%$
متوسط	آتش‌سوزی‌های پس از زلزله به تلفات جانی کم منجر شده یا خسارت‌های مالی ناشی از آن‌ها بیشتر از ۵ درصد خسارت‌های مستقیم زلزله است.	$50\% > C \geq 25\%$
زیاد	آتش‌سوزی‌های پس از زلزله به تلفات جانی منجر شده و خسارت‌های مالی ناشی از آن‌ها بیشتر از ۱۰ درصد خسارت‌های مستقیم زلزله است.	$85\% > C \geq 50\%$
فاجعه‌آمیز	آتش‌سوزی‌های پس از زلزله به تلفات جانی قابل توجه منجر شده و خسارت‌های مالی ناشی از آن‌ها بیشتر از ۱۰ درصد خسارت‌های مستقیم زلزله است.	$C \geq 85\%$

به منظور تهیهٔ ماتریس ریسک‌ها و محاسبهٔ فاکتورهای ریسک فرضیات برای یک منطقه به عنوان مطالعهٔ موردی در نظر گرفته شده اند.

- محل وقوع زلزله: یکی از نواحی شهر تهران با وسعت ۵۰ کیلومتر مربع و تراکم جمعیت ۱ نفر در هر ۱۰۰ مترمربع
- PGA زلزله برابر ۰/۳ شتاب ثقل
- زلزله در فصل تابستان روی داده است.
- زمان وقوع زلزله ساعت ۷ عصر و دمای هوا ۳۴ درجهٔ سانتی‌گراد است.
- سرعت وزش باد ۲۰ کیلومتر بر ساعت بوده است.
- ۶۰ درصد ساختمان‌های موجود در ناحیه متأثرشده ساختمانی بنایی قدیمی، ۳۰ درصد اسکلت بتنی با سیستم قاب خمشی ساده و ۱۰ درصد اسکلت فولادی با سیستم مهاربندی واگراست.
- عرض میانگین گذرها و خیابان‌های واقع در منطقهٔ ۳ متر
- چهار ایستگاه آتش‌نشانی در منطقه موجود است.

بر اساس این فرضیات ابتدا لازم است احتمال بروز حریق در ساختمان‌ها محاسبه شود. احتمال اینکه ساختمان دچار حریق شود تابعی از جنس ساختمان، درصد خرابی ساختمان بر اثر زلزله و شرایط آب‌وهوایی در نظر گرفته می‌شود. بر این‌اساس، خواهیم داشت:

$$P = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4$$

که در آن P_1 احتمال این است که ساختمان از مواد قابل اشتعال ساخته شده باشد یا حاوی مواد قابل اشتعال، در این مثال کلیهٔ ساختمان‌ها حاوی مواد قابل اشتعال هستند لذا $P_1 = 1$ فرض می‌شود.

P_2 نشان‌دهندهٔ قابلیت اشتعال مواد قابل اشتعال داخل ساختمان‌هاست بر اساس توضیحات ارائه‌شده در قبل و جنس ساختمان‌های موجود در محل زلزله داریم:

$$P_2 = 60\% \times 0.675 + 40\% \times 0.5 = 0.605$$

P_3 معرف شرایط آب‌وهوایی است. با توجه به اینکه زلزله در فصل تابستان و در زمان روز رخ داده است و وزش باد ملایمی نیز وجود داشته است، شرایط آب‌وهوایی نامساعد تلقی می‌شود لذا $P_3 = 0.95$ فرض می‌شود.

P_4 فاکتور نشان‌دهندهٔ تأثیر میزان خرابی ساختمان در احتمال بروز حریق در آن است و خود تابع درجهٔ خرابی ساختمان در زلزله با شتاب طیفی داده‌شده (P_5)، احتمال نشت و انتشار مواد قابل اشتعال با توجه به درجهٔ خرابی روی‌داده (P_6) و احتمال ایجاد درجهٔ معینی خرابی در حریق احتمالی روی‌داده در ساختمان (P_7) است.

$$P_4 = P_5 \times P_6 \times P_7$$

ساختمان‌های بنایی قدیمی در زلزلهٔ یادشده به‌کلی تخریب (ویران) شده، ساختمان‌های بتنی با سیستم باربر جانبی قاب خمشی ساده دچار آسیب جدی می‌شوند، ساختمان‌های فلزی مهربندی‌شده نیز آسیب کم خواهند دید. بر این‌اساس، درجهٔ خرابی ساختمان‌های بنایی قدیمی، سازه‌های بتنی و سازه‌های فلزی به‌ترتیب برابر ۹۵، ۷۵ و ۴۰ درصد در نظر گرفته می‌شود لذا در این زلزلهٔ خاص داریم:

$$P_5 = 60\% \times .95 + 30\% \times 0.75 + 10\% \times 0.4 = 0.835$$

همچنین، برای محاسبهٔ فاکتورهای P_6 و P_7 بر اساس مطالب پیش‌گفته، داریم:

$$P_6 = P_7 = 60\% \times .97 + 30\% \times 0.89 + 10\% \times 0.675 = 0.916$$

بنابراین:

$$P_4 = 0.835 \times 0.916 \times 0.916 = 0.7$$

و درنهایت خواهیم داشت:

$$P = 1 \times 0.605 \times 0.95 \times 0.7 = 0.4$$

یعنی به صورت میانگین احتمال بروز حریق بر اثر زلزله در ساختمان‌های ناحیهٔ مورد نظر ۴۰ درصد خواهد بود.

بر اساس آمار ثبت‌شده از آتش‌سوزی‌های رخ‌داده در زلزله لوما پیریتا در سال ۱۹۸۹، در محدودهٔ PGA بین ۰/۲۱ تا ۰/۳ برابر شتاب ثقل، از مجموع ۹ حریق روی‌داده، ۷ عدد از آن‌ها (۷۸ درصد) آتش‌سوزی نوع ۳ و ۴ بوده‌اند؛ ۲ عدد آتش‌سوزی نوع ۳ (۲۲ درصد) و ۵ عدد آتش‌سوزی نوع ۴ (۵۶ درصد) [4]، لذا با فرض مشابهت شرایط در زلزلهٔ فرضی مثال ما و این زلزله، انتظار می‌رود از تعداد ۱۵ حریق روی داده ۱۲ عدد آن‌ها به کل ساختمان و ساختمان‌های مجاور سرایت کند.

در شهر تهران، سیستم لوله‌کشی قابل اعتماد آب آتش‌نشانی به صورت گسترده وجود ندارد و شبکهٔ آب آشامیدنی نیز قدیمی است. لذا فرض می‌شود بر اثر این زلزله افت شدید فشار آب خواهیم داشت و قابلیت اتکا به شبکهٔ آبرسانی تا حد ۲۰ درصد کاهش می‌یابد، به بیان دیگر احتمال بروز افت فشار در شبکه، ۸۰ درصد فرض می‌شود.

در زلزلهٔ کوبه ژاپن یکی از عوامل گسترش آتش‌سوزی‌های پس از زلزله، عدم کارایی نیروهای آتش‌نشان (به خلاف انتظار و کیفیت تجهیزات موجود) بود، درس‌آموخته‌های آن فاجعه برای کشوری مانند ژاپن که لرزه‌خیزترین کشور دنیا تلقی می‌شود و زلزله‌های بسیار بزرگی را طی تاریخ خود تجربه کرده است، در زلزلهٔ توهوکو در سال ۲۰۱۱ به کار آمد و قابلیت اتکا به نیروهای آتش‌نشانی به ۸۷ درصد رسید. در تهران با توجه به اینکه تجربهٔ مشابه تا کنون وجود نداشته است، امکانات آتش‌نشانی در حد کشور پیشرفته‌ای مانند ژاپن نیست و اطمینان کافی از ایمنی خود ایستگاه‌های آتش‌نشانی وجود ندارد و نیز با توجه به اینکه عرض میانگین گذرها به منظور توقف حریق در شرایط آب‌وهوایی مورد اشاره نیز کافی نبوده و فراگیری آتش‌سوزی مورد انتظار است، فرض می‌شود از چهار ایستگاه آتش‌نشانی ۱ عدد قابلیت سرویس‌دهی خود را کاملاً از دست داده، ۲ عدد در روز اول آتش‌سوزی امکان سرویس‌دهی ندارند و ۱ عدد بلافاصله آمادهٔ اعزام به محل است، اما نیروهای آن ارزیابی واقعی از فاجعه و سازماندهی مناسب ندارند. بر این‌اساس، قابلیت اتکا ایستگاه آماده برابر $0.5 \times 0.85 = 0.425$ و قابلیت اتکا دو ایستگاه دیگر برابر $0.7 \times .5 = 0.35$ و قابلیت اتکا به کل سیستم ۰/۲۸ خواهد بود. بنابراین، احتمال اینکه ایستگاه‌های آتش‌نشانی توان مقابله با حریق را نداشته باشند برابر ۷۲ درصد در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود با توجه به فرسوده بودن ناحیه و تراکم زیاد ساختمان‌ها قابلیت سرویس‌دهی مسیرهای داخل ناحیه تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و سیستم‌های ارتباطی ۶۰ درصد قابلیت اتکا خواهند داشت [۱۶].

بر اساس محاسبات بالا، جدول ۲ در خصوص احتمال وقوع قابل ارائه است.

جدول ۲. احتمال وقوع

ردیف	شرح ریسک مستقیم	احتمال وقوع رویداد (درصد)	احتمال موضعی وقوع ریسک (درصد)	احتمال کلی وقوع ریسک (درصد) (P)	درجهٔ توصیفی ریسک
	عوامل ایجاد آتش‌سوزی پس از زلزله				
۱	بروز حریق ناشی از مشکلات سیستم‌های برقی	۴۰	۵۵	۲۲	ممکن
۲	بروز حریق ناشی از مشکلات نشت و انتشار گاز	۴۰	۲۵	۱۰	ممکن
۳	بروز حریق ناشی از شعله‌های روشن داخل ساختمان	۴۰	۱۵	۶	غیر محتمل
۴	بروز حریق ناشی از نشت و انتشار مواد شیمیایی	۴۰	۵	۲	بسیار غیر محتمل
	عوامل گسترش آتش‌سوزی پس از زلزله				
۵	افت فشار در شبکهٔ آب‌رسانی	۷۸	۸۰	۶۲	محتمل
۶	مسدود شدن و تخریب مسیرهای دسترسی	۷۸	۵۰	۳۹	ممکن
۷	صدمه خوردن زیرساخت‌های ارتباطی	۷۸	۴۰	۳۱	ممکن
۸	از دست رفتن قابلیت اتکا به نیروهای آتش‌نشانی	۷۸	۷۲	۵۶	محتمل

در جدول ۲ فقط عوامل و ریسک‌های مستقیم درج شده‌اند و سایر عوامل مانند آب‌وهوا، تراکم جمعیت و تراکم ساختمان‌ها به صورت ضمنی در این ریسک‌ها نهفته هستند.

ارزیابی درجهٔ کیفی پیامدهای وقوع ریسک‌های بالا به دلیل اینکه بسیاری از عوامل مختلف در سطوح مختلف در آن‌ها تأثیرگذار هستند به‌راحتی مقدور نیست، امکان ایجاد رابطهٔ منطقی بین میزان تلفات و خسارت‌های ناشی از آتش‌سوزی‌های پس از زلزله و سطوح ریسک ارائه‌شده در بهترین شرایط با شبیه‌سازی کامپیوتری وقوع و گسترش آتش‌سوزی و در نظر گرفتن حداکثر پارامترهای دخیل وجود خواهد داشت که از حوصلهٔ این متن خارج است. لذا به منظور ارزیابی شدت پیامدها، آمار زلزلهٔ سال ۱۹۹۵ شهر کوبه ژاپن به عنوان مبنا در نظر گرفته شد و فرض شد خسارت‌های این زلزلهٔ فرضی متناسب با زلزلهٔ کوبه است. پس از زلزلهٔ کوبه، ۱۷۵ مورد حریق ثبت شد که تقریباً ۸۲۰ هزار متر مربع و ۷۳۰۰ خانه را سوزاند. این زلزله درکل حدود ۵۵۰۰ نفر کشته داشت که ۵۵۰ نفر از ایشان در آتش پس از زلزله سوختند. در زلزلهٔ فرضی این متن، ۱۵ فقره حریق روی خواهد داد، لذا انتظار می‌رود مساحت ناحیهٔ سوخته‌شده حدود ۷۰ هزار متر مربع مشتمل بر ۶۲۵ خانهٔ سوخته‌شده و ۵۰ نفر کشتهٔ مستقیم داشته باشد و ۱۷۵ میلیارد تومان خسارت مالی مستقیم آتش‌سوزی‌ها و خسارت مالی مستقیم کل زلزله ۹۵۰ میلیارد تومان باشد. برای محاسبهٔ فاکتور کمی پیامدها، وزن تلفات جانی با توجه به اهمیت آن در فرمول برابر ۰/۸ و وزن خسارت‌های مالی برابر ۰/۲ در نظر گرفته شده و اعداد حاصل بر مبنای ۱/۱ ماگزیمم عدد محاسبه‌شده مقیاس می‌شوند، بر این‌اساس داریم:

جدول ۳. احتمال وقوع

ردیف	شرح ریسک مستقیم	تعداد کشته محتمل	نسبت خسارت آتش‌سوزی به خسارت کل (درصد)	معیار کمی پیامد (درصد) (C)	درجهٔ توصیفی پیامد
	عوامل ایجاد آتش‌سوزی پس از زلزله				
۱	بروز حریق ناشی از مشکلات سیستم‌های برقی	۱۱	۴	۳۲	متوسط
۲	بروز حریق ناشی از مشکلات نشت و انتشار گاز	۵	۱٫۸	۱۵	کم
۳	بروز حریق ناشی از شعله‌های روشن داخل ساختمان	۳	۱٫۱	۹	کم
۴	بروز حریق ناشی از نشت و انتشار مواد شیمیایی	۱	۰٫۴	3	ناچیز
	عوامل گسترش آتش‌سوزی پس از زلزله				
۵	افت فشار در شبکهٔ آب‌رسانی	۳۱	۱۱٫۵	۹۱	فاجعه آمیز
۶	مسدود شدن و تخریب مسیرهای دسترسی	۲۰	۷٫۲	۵۷	زیاد
۷	صدمه خوردن زیرساخت‌های ارتباطی	۱۶	۵٫۷	۴۵	متوسط
۸	از دست رفتن قابلیت اتکا به نیروهای آتش‌نشانی	۲۸	۱۰٫۳	۸۲	زیاد

ماتریس ریسک:

برای محاسبهٔ فاکتور ریسک از روش اجتماع احتمال و پیامد با استفاده از فرمول $RF = P + C - P \times C$ استفاده شده است و نتایج در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

جدول ٤. مقدار ریسک آتش‌سوزی پس از زلزله در مطالعهٔ موردی

			پیامدها				
			ناچیز	کم	متوسط	زیاد	فاجعه‌آمیز
ریسک‌ها	بروز حریق ناشی از مشکلات سیستم‌های برقی	ممکن			☑ $RF = 0.47$ **(زیاد)**		
	بروز حریق ناشی از مشکلات نشت و انتشار گاز	ممکن		☑ $RF = 0.23$ **(متوسط)**			
	بروز حریق ناشی از شعله‌های روشن داخل ساختمان	غیر محتمل		☑ $RF = 0.14$ **(متوسط)**			
	بروز حریق ناشی از نشت و انتشار مواد شیمیایی	بسیار غیر محتمل	☑ $RF = 0.05$ **(کم)**				
	افت فشار در شبکهٔ آب‌رسانی	محتمل					☑ $RF = 0.97$ **(بحرانی)**
	مسدود شدن و تخریب مسیرهای دسترسی	ممکن				☑ $RF = 0.74$ **(بحرانی)**	
	صدمه خوردن زیرساخت‌های ارتباطی	ممکن			☑ $RF = 0.62$ **(بحرانی)**		
	از دست رفتن قابلیت اتکا به نیروهای آتش‌نشانی	محتمل				☑ $RF = 0.92$ **(بحرانی)**	

در جدول ۳ معیارهای ریسک بر اساس جدول ۵ در نظر گرفته شده‌اند:

جدول ۵. معیارهای طبقه‌بندی ریسک

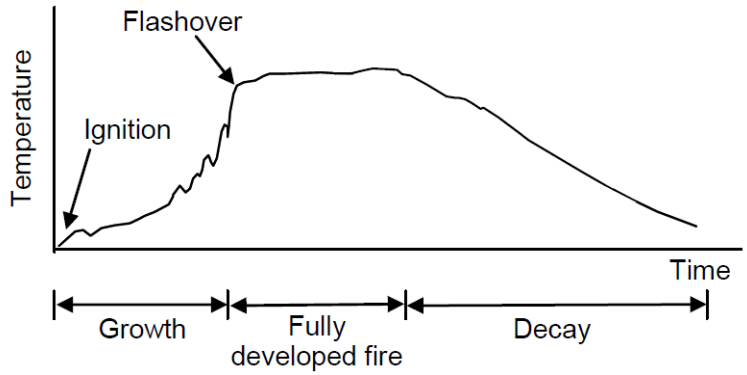
شناسهٔ ریسک	اقدامات لازم	فاکتور کمی ریسک
کم	ریسک‌ها لازم است با فرایندهای معمولی مدیریت شوند، نیاز به اقدامات خاص یا منابع خاص نیست.	$RF < 10\%$
متوسط	ریسک‌ها لازم است در محدودهٔ منابع در اختیار با فرایندهای خاص مدیریت شوند.	$30\% > RF \geq 10\%$
زیاد	ریسک‌ها لازم است با پیش بینی منابع لازم و فرایندهای خاص مدیریت شوند.	$60\% > RF \geq 30\%$
بحرانی	ریسک‌ها لازم است با فرایندهای ویژه و با اولویت زیاد مدیریت شوند	$100\% > RF \geq 60\%$

۵. مدیریت ریسک آتش‌سوزی‌های پس از زلزله

مدیریت بحران‌های طبیعی در دو فاز اصلی برنامه‌ریزی می‌شود. فاز اول شامل دو گام آمادگی و پیشگیری و فاز دوم شامل دو گام اصلی پاسخ و بازیابی است که برای کاهش ریسک‌ها و خطرات شناسایی و ارزیابی شده مراحل قبلی پیاده‌سازی می‌شود. چرخهٔ مدیریت ریسک بحران‌های طبیعی، حلقه بسته‌ای است که در آن اثرات عملی اقدامات و استراتژی‌های انجام گرفته باید به صورت منظم پایش و اندازه‌گیری شود و با شناخت ضعف‌های سیستم برای بهبود استراتژی‌ها و رفع ضعف‌ها، برنامه‌های مدیریت بحران به‌روز و بهینه شوند.

همان‌گونه که به‌تفصیل بحث شد، بحران آتش‌سوزی پس از زلزله دو فاز مهم دارد، ابتدا به ساکن حریق اولیه ایجاد شود و در صورت مهیا بودن شرایط حریق گسترش یافته و با خارج شدن از کنترل، فاجعه را رقم می‌زند. بر این‌اساس، لازم است اقدامات لازم برای مدیریت ریسک‌های آتش‌سوزی پس از زلزله با هدف تخفیف آثار مساعد بروز بحران در هر دو مرحلهٔ یادشده انجام شود.

ماهیت و منشأ بروز آتش‌سوزی‌های اولیه تقریباً به صورت کامل مورد بحث قرار گرفت و عوامل مهم آن اشاره شدند. در خصوص عوامل مؤثر در گسترش حریق نیز مطالبی عنوان شدند؛ ولی به منظور شفاف‌تر شدن این مرحله از آتش‌سوزی‌های لازم است اطلاعات مختصری در خصوص نحوهٔ گسترش حریق ارائه شود. چرخهٔ عمر یک حریق از نمودار نشان‌داده‌شده در شکل ۴ تبعیت می‌کند [۱۷].



شکل ٤. چرخهٔ شروع، توسعه و زوال یک آتش‌سوزی

در مرحلهٔ اول که فاز شروع است، دما به عنوان تابعی از مشخصات مواد مشتعل‌شده به‌سرعت رشد می‌کند، در نقطهٔ گرگرفتگی یا Flashover تمام مواد قابل اشتعال در داخل فضای موجود به صورت ناگهانی بر اثر تشعشع حرارتی گازهای داغ داخل آن مشتعل می‌شوند و دما به حدود ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد. در مرحلهٔ بعد حریق به صورت همه‌جانبه توسعه پیدا کرده و دما به ۱ هزار درجهٔ سانتی‌گراد یا بالاتر می‌رسد. در این شرایط آتش‌سوزی با سطح مواد قابل اشتعال در دسترس آن و سطح اکسیژن موجود در فضایی که در آن آتش‌سوزی روی داده است کنترل می‌شود. در نهایت پس از سوختن عمدهٔ مواد قابل اشتعال، مصرف اکسیژن و کاهش دما، آتش‌سوزی زوال می‌یابد.

گسترش حریق در نواحی شهری عموماً مراحل زیر را طی می‌کند:

- ایجاد حریق داخل اتاق یا روی سقف داخل یک ساختمان
- گسترش اتاق‌به‌اتاق در یک ساختمان از طریق درها و دیوارها به اتاقاهای مجاور یا از طریق سقف و پنجره‌ها به اتاق‌های طبقات دیگر
- گسترش ساختمان‌به‌ساختمان با حملهٔ آتش به ساختمان دیگر، تشعشع از طریق شعله‌های زبانه‌کشیده از پنجره‌ها، تشعشع از طریق گازهای داغ داخل اتاق، تشعشع از طریق شعله‌های روی سقف و آتش متحرک

نتایج شبیه‌سازی‌های کامپیوتری انجام‌شده روی تعدادی ساختمان در شهر لس آنجلس توسط Selina و همکاران [۱۸] نشان می‌دهند تقریباً ۸۰ درصد از سرایت اتاق‌به‌اتاق از طریق گسترش حریق داخل ساختمان، ۱۵ درصد آن از طریق درها و ۵ درصد آن از طریق آتش جهنده اتفاق افتاده است. همچنین، تقریباً ۶۵ درصد از سرایت ساختمان به ساختمان از طریق ذرات داغی که در هوا پراکنده می‌شوند، ۱۵ درصد آن از طریق حملهٔ شعله‌ها و ۲۰ درصد آن از طریق تشعشع اتفاق افتاده است.

برای فاصلهٔ تا ۹ متر بین ساختمان‌ها، تشعشع به‌تنهایی می‌تواند باعث سرایت حریق به ساختمان‌های مجاور شود، تا ۱۲ متر ترکیبی از تشعشع و جرقه می‌تواند حریق را منتقل کند، حتی اگر وزش باد وجود نداشته باشد. با وزش یک نسیم ملایم این فاصله بسته به حجم آتش‌سوزی و پتانسیل تشعشع تا ۲۰ متر نیز افزایش پیدا می‌کند و عموماً برای سرایت حریق از ساختمانی به ساختمان دیگر وقتی فاصلهٔ آن‌ها بیش از ۲۱ متر است نیاز به وزش باد وجود دارد.

برای ساختمان‌های رو به باد در شرایطی که وزش باد وجود ندارد یا سرعت وزش کمتر از ۲۰ کیلومتر بر ساعت است، دامنهٔ سرایت حریق به ۱۵ متر محدود می‌شود. با افزایش سرعت باد تا ۳۰ کیلومتر بر ساعت، آتش می‌تواند از فاصلهٔ ۲۱ متری سرایت کرده و اگر باد تند (سرعت حدود ۵۰ کیلومتر بر ساعت) وزیدن داشته باشد، فاصلهٔ ۴۵ متری ساختمان‌ها نیز آن‌ها را از سرایت آتش مصون نخواهد داشت.

ملاحظه می‌شود که رویداد آتش‌سوزی پس از زلزله و پاسخ به آن یک فرایند است، فرایندی که فرصت دخالت مثبت در آن وجود دارد، این فرایند با وقوع زمین‌لرزه و تکان‌های زمین آغاز شده و با شروع آتش‌سوزی‌های اولیه، کشف آن‌ها، گزارش دادن آن‌ها، پاسخ آتش‌نشانی و اطفای حریق پس از زلزله دنبال می‌شود. به علاوه، باید توجه داشت که آتش‌سوزی پس از زلزله پیامد ثانویهٔ بحرانی اساسی دیگری یعنی زلزله است که علاوه بر آتش‌سوزی آثار ثانویهٔ دیگری نیز دارد. لذا به زعم نگارنده مدیریت ریسک‌های بحران آتش‌سوزی پس از زلزله باید در برنامهٔ جامع مدیریت بحران زلزله مد نظر قرار گرفته و همپوشانی آن با آثار مستقیم و غیرمستقیم رویداد زلزله ملاحظه شود. لذا فرض می‌شود که اهداف و استراتژی‌های مطرح‌شده در این متن بخشی از پلان جامع مدیریت بحران زلزله خواهد بود.

۶. استراتژی‌های مدیریت ریسک قبل از رویداد بحران آتش‌سوزی پس از زلزله

اهداف متصور برای طرح ریزی استراتژی‌های قبل از بحران آتش‌سوزی ناشی از زلزله عبارت‌اند از:

۱. بهبود آگاهی عمومی در خصوص آتش‌سوزی‌های گسترده، مکانیزم‌های ایجاد و گسترش آن‌ها
۲. ارزیابی و بهبود سطح ایمنی عمومی شهر
۳. ارزیابی و بهبود سطح ایمنی ساختمان‌ها در برابر زلزله و آتش‌سوزی‌های پس از آن
۴. ارزیابی و بهبود سطح ایمنی سیستم‌های گازرسانی و سوخت‌رسانی
۵. ارزیابی و بهبود سطح ایمنی سیستم‌های برق‌رسانی
۶. ارزیابی و بهبود قابلیت اتکا به شبکه‌های آب‌رسانی
۷. ارزیابی و بهبود قابلیت اتکا به زیرساخت‌های حمل‌ونقل، شبکهٔ راه‌ها و مسیرهای مواصلاتی
۸. ارزیابی و بهبود قابلیت اتکا به سیستم‌های ارتباطی و مخابراتی
۹. بهبود قابلیت پاسخ سریع به آتش‌سوزی‌های رخداده پس از زلزله

هدف ۱. بهبود آگاهی عمومی در خصوص آتش‌سوزی‌های گسترده، مکانیزم‌های ایجاد و گسترش آن‌ها پس از زلزله

استراتژی‌های پیشنهادی

۱. آموزش سازمان‌یافته و هدفمند به مردم در خصوص خطرات و عوامل ایجاد آتش‌سوزی‌های گسترده پس از زلزله:

در مدیریت آثار و عواقب زلزلهٔ مهیب سال ۲۰۱۱ توهوکوی ژاپن یکی از عوامل مؤثر و یاری‌کننده به مدیران بحران، رفتار مردمی بود که با هوشیاری و دقت دستورالعمل‌های شرایط بحرانی را اجرا می‌کردند. در واقع، آنچه می‌توان به سرمایه اجتماعی تعبیر کرد در این کشور نقش مهمی در تخفیف پیامدها و بازیابی جامعه پس از بحران دارد، به نحوی که

مردم به قوانین و قواعد اخلاقی احترام زیادی می‌گذارند و همبستگی ایشان مانع از ایجاد سیل درخواست‌های کمک و یغماگری در شرایط بحرانی بوده و عامل ایجاد انگیزه در ایشان برای ترجیح مصالح و منافع اجتماعی نسبت به علایق و منافع شخصی است [۱۹].

منظور از آموزش هدفمند، نوعی فرهنگ‌سازی عمومی است، به نحوی که عمل به دستورات ایمنی و احترام به آن‌ها همراه با اشتیاق و باور باشد. دست‌اندرکاران ساخت‌وساز با شناخت واقعی خطرات ناشی از زلزله و آثار ثانویهٔ آن متعهد به رعایت مفاد آیین‌نامه‌های ساخت‌وساز بدون اکراه باشند، اجازهٔ ساخت‌وساز به کسانی که دانش تخصصی در این حوزه ندارند داده نشود و نقشه‌های سازه‌ای و معماری به‌دفعات کنترل شوند.

منظور از آموزش سازمان‌یافته نیز آموزش مستمر و با برنامه و متناسب با سطوح مختلف اجتماع است. به‌طبع لازم است برای اثربخشی بیشتر آموزش باید این کار از دوران کودکی در مهد کودک‌ها و مدارس آغاز شده و در تمام سطوح جامعه به فراخور حال و مسئولیت به صورت مستمر دنبال شود. رسانه‌های جمعی، شبکه‌های خصوصی و ماهواره‌ای، امکانات دولتی، نهادهای مردمی و ... به‌کلی می‌توانند ابزاری برای این مهم باشند. تبلیغات هدفدار و تأثیرگذار در اماکن عمومی، نمایشگاه‌های عمومی، مناسبت‌های اجتماعی و فرهنگی می‌توانند بستری برای اطلاع‌رسانی عمومی در زمینهٔ خطرات پیش رو باشند [۲۰].

۲. ارائهٔ دوره‌های آموزشی تخصصی برای افراد حرفه‌ای مانند مهندسان، پزشکان، کارشناسان بیمه، پرسنل بیمارستان‌ها، نیروهای انتظامی، نظامی و شبه‌نظامی و ... با عناوینی همچون آمادگی برای بحران

۳. ارائهٔ دوره‌های بازآموزی مهندسان و دست‌اندرکاران صنعت ساختمان و ارزیابی متناوب دانش ایشان در خصوص آثار ثانویه زلزله

۴. تدوین دستورالعمل‌های چگونگی مواجهه با عوامل بروز خطر آتش‌سوزی پس از زلزله و الزام مالکان ساختمان‌ها به نصب این دستورالعمل‌ها در محل‌های امن داخل ساختمان.

هدف ۲ – ارزیابی و بهبود سطح ایمنی عمومی شهر

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی سطح ایمنی نقاط حساس به زلزله و آتش‌سوزی متعاقب آن مانند مخازن سوخت، پمپ‌بنزین‌ها، پارکینگ‌ها، انبارهای مواد شیمیایی، انبارهای مواد سوختنی، پادگان‌ها و انبارهای مهمات، مخازن آب آتش‌نشانی می‌تواند در ارزیابی خطرات احتمالی پس از زلزله یاری‌کننده باشد.

۲. شبیه‌سازی رویداد آتش‌سوزی پس از زلزله در مناطق و نواحی شهری و ارزیابی خسارت‌ها و تلفات احتمالی بر اساس سناریوهای مختلف به منظور پهنه‌بندی این مناطق بر اساس سطح خطر آتش‌سوزی پس از زلزله.

۳. مکان‌یابی مناطق باز و امن از نظر فراگیری آتش‌سوزی‌های پس از زلزله به منظور اسکان زلزله‌زدگان در آن‌ها

۴. ارزیابی سطح ایمنی ساختمان‌های عمومی و خدماتی و میزان قابلیت اتکا به آن‌ها در زمان بروز بحران

۵. با توجه به تأثیر سرعت باد در گسترش آتش‌سوزی‌ها، لازم است استراتژی‌ها در مناطق مختلف با سرعت‌های مختلف باد متفاوت باشد، در این‌خصوص در اختیار داشتن نمودارهای پهنه‌بندی شهرها از نظر سرعت و سمت غالب باد در زمان‌های مختلف می‌تواند مفید باشد.

هدف ۳ – ارزیابی و بهبود سطح ایمنی ساختمان‌ها در زلزله و آتش‌سوزی پس از زلزله

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی سطح ایمنی ساختمان‌های مسکونی و میزان خرابی آن‌ها بر اثر زلزله:

تمام ساختمان‌ها باید برای خطرات ناشی از زلزله ارزیابی شوند و این مورد هنگام خرید و فروش آن‌ها مد نظر قرار داده شود، ارزیابی یادشده می‌تواند شامل احتمال بروز آتش‌سوزی پس از زلزله در ساختمان و گسترش آن باشد. مالکان

ساختمان‌های تهدیدکنندهٔ سلامتی و ایمنی جامعه از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله یا آتش‌سوزی پس از زلزله باید به بهسازی آن‌ها در یک دورهٔ زمانی مشخص ملزم شوند.

۲. الزام تولیدکنندگان مصالح ساختمانی به ارزیابی قابلیت مقاومت تولیدان آن‌ها در برابر آتش‌سوزی
۳. الزام سازندگان به تعبیه و نصب افشانه‌های آتش‌نشانی در داخل ساختمان‌ها
۴. الزام تولیدکنندگان لوازم و تجهیزات منزل به رعایت استانداردهای ایمنی این تجهیزات در برابر تکان‌های شدید زلزله و آتش‌سوزی پس از آن
۵. الزام مالکان ساختمان‌ها به ایمن‌سازی لوازم منزل و ملحقات ساختمان با اتصال مناسب آن‌ها به تکیه‌گاه‌های پایدار.

خطرات ناشی از ایراد صدمه به ساختمان‌ها، لوازم و تجهیزات و المان‌های غیر سازه‌ای آن‌ها مانند ریزش سقف‌ها و ملحقات معماری آن‌ها، شکستن لوله‌ها، واژگونی تجهیزات و لوازم برقی باعث افزایش پتانسیل وقوع و گسترش آتش‌سوزی پس از زلزله می‌شود، لذا این موارد باید شناسایی و ارزیابی شوند.

هدف ۴ – ارزیابی و بهبود سطح ایمنی سیستم‌های گازرسانی و سوخت‌رسانی

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. مکان‌یابی و ساخت مخازن و تأسیسات ارتباطی گاز شهری در مناطق مطمئن و با حداقل امکان تخریب و تلفات انسانی:

مخازن گاز شهری باید به طور منطقی در سطح شهر توزیع شود، درنظرگیری فضاهای خالی دور از مخازن گاز شهری به منظور ایجاد نقاط ایمن در سطح شهر به صورت متمرکز نیز لازم به نظر می‌رسد. تجهیزات و تأسیسات گاز شهری باید با استفاده از آیین‌نامه‌های طرح لرزه‌ای مناسب ساخته یا بهسازی شده باشند و سیستم کنترل مرکزی نیز برای این تجهیزات در نظر گرفته شود و برای اجتناب از آتش‌سوزی‌های پس از زلزله در آن‌ها همهٔ تجهیزات ضروری از قبیل سوئیچ‌های انسداد گاز کف آتش‌نشانی شیرهای هیدرانت و سایر تجهیزات اطفا و امداد در دسترس باشد.

۲. طراحی سیستم گازرسانی شهری باید به نوعی باشد که امکان مرمت سریع و در عین حال ایمن آن پس از زلزله وجود داشته باشد.
۳. الزام به استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر در لوله‌کشی گاز داخل ساختمان‌ها و لوازم گازسوز.
۴. الزام مالکان ساختمان‌های آسیب‌پذیر و ساختمان‌های واقع در نواحی با خطر بالای آتش‌سوزی پس از زلزله به نصب شیرهای قطع خودکار گاز.
۵. الزام مالکان ساختمان‌ها به ایمن‌سازی سیستم‌های حرارتی شامل لوازم آشپزخانه، چراغ‌ها و آب‌گرمکن‌ها.
۶. ایمن‌سازی علمک‌های پر فشار گاز در ورودی ساختمان‌ها و مشخص کردن و ارزیابی خطوط لوله پرفشار گاز درون ساختمان‌ها.

هدف ۵ – ارزیابی و بهبود سطح ایمنی سیستم‌های برق‌رسانی

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی خطوط انتقال برق داخل شهر از نظر ایمنی در برابر زلزله، کهنگی و فرسودگی و مجاورت آن‌ها با مخازن سوخت، پمپ‌بنزین‌ها و ...
۲. الزام مالکان به استفاده از تجهیزات مدرن قطع برق در شرایط اضطراری
۳. الزام استفاده از تجهیزات برق اضطراری ایمن در مکان‌های عمومی، بیمارستان‌ها، مدارس و ایستگاه‌های آتش‌نشانی

هدف ۶ – ارزیابی و بهبود قابلیت اتکا به شبکه‌های آب‌رسانی

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌های آب‌رسانی موجود از نظر ایمنی در برابر زلزله
۲. در نظر گرفتن داده‌های لرزه‌ای از قبیل لرزه‌خیزی شهر، توزیع و پراکندگی گسل‌ها و شرایط خاک در طرح‌های آب‌رسانی

۳. طراحی شبکهٔ آب‌رسانی پشتیبان با لحاظ کردن ملاحظات طرح لرزه‌ای و ویژگی‌های خاک در نقاط مختلف
۴. ارزیابی و جانمایی ذخایر آب پراکنده در شهر (مانند استخرها، دریاچه‌های مصنوعی، آب‌نماها) به منظور استفاده از آن‌ها در شرایط اضطراری و تجهیز تیم‌های آتش‌نشانی به پمپ‌های آب پرتابل
۵. تأمین شبکهٔ برق اضطراری برای ایستگاه‌های پمپاژ آب آتش‌نشانی

هدف ۷ – بهبود قابلیت اتکا به زیرساخت‌های حمل‌ونقل، شبکهٔ راه‌ها و مسیرهای مواصلاتی

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی آسیب‌پذیری مسیرهای ارتباطی، پل‌ها و تونل‌ها در برابر زلزله و تخمین نوع و میزان خرابی‌ها به منظور مقاوم‌سازی آن‌ها و برنامه‌ریزی عملیات امداد برای زمان وقوع بحران
۲. پیش‌بینی و اجرای مسیرهای ویژه برای شرایط اضطراری به منظور جلوگیری از ایجاد وقفه در عملیات امداد در صورت خرابی مسیرهای موجود
۳. طرح‌ریزی برنامهٔ عملیاتی برای مدیریت و تخلیهٔ ترافیک از شریان‌های حیاتی، پل‌های ارتباطی و تونل‌های زیرسطحی به منظور باز نگاه داشتن مسیرهای ارتباطی لازم
۴. بهبود سیستم‌های ارتباطی مبتنی بر تکنولوژی‌های پیشرفته مانند ماهواره برای تعیین مسیرهای امن امدادی در شرایط پس از زلزله
۵. پیش‌بینی، بهبود و تجهیز امکانات امدادرسانی هوایی برای شرایطی که مسیر ایمن ارتباطی زمینی فراهم نباشد

هدف ۸ – بهبود قابلیت اتکا به سیستم‌های ارتباطی و مخابراتی

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. پیش‌بینی خط ارتباطی ایمن برای اطلاع رسانی در شرایط پس از زلزله
۲. پیش‌بینی سیستم‌های مبتنی بر ماهواره برای مدیریت و هماهنگی تیم‌های آنش‌نشانی و امداد
۳. ارزیابی آسیب‌پذیری دکل‌های مخابراتی و به‌سازی آن‌ها
۴. پیش‌بینی سیستم امن اطلاع‌رسانی عمومی برای اعلام عمومی هشدارها و دستورالعمل‌های پس از زلزله

هدف ۹ – بهبود قابلیت پاسخ سریع به آتش‌سوزی‌های رخداده پس از زلزله

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. برای تخلیهٔ مردم و کنترل حریق در سریع‌ترین زمان ممکن، اصلی‌ترین موضوع پس از وقوع زلزله شناسایی سریع مکان‌هایی است که نخست آتش‌سوزی در آن‌ها اتفاق خواهد افتاد و دوم گسترش حریق در آن‌ها محتمل است. لذا لازم است برای پیاده‌سازی یک سیستم پاسخ سریع در شرایط اضطراری (به محض روی دادن زلزله) نواحی مستعد حریق توسط شبیه‌سازی کامپیوتری مشخص شوند.
۲. پیش‌بینی سیستم تبادل آنلاین اطلاعات با اداره‌های هواشناسی محلی، ملی و بین‌المللی به منظور دریافت مستقیم اطلاعات مربوط به عوامل آب‌وهوایی مؤثر در گسترش آتش‌سوزی پس از زلزله مانند دما، رطوبت هوا، شدت و سمت وزش باد.
۳. ارزیابی واقع‌بینانه از پتانسیل خسارت‌های ناشی از رویداد زلزله شامل یک ارزیابی دقیق از خطر زلزله و یک تخمین منطقی از سطح خرابی ساختمان‌ها و تأسیسات زیربنایی (منابع آب، تأسیسات گازرسانی و برق‌رسانی، تأسیسات مخابراتی و راه‌ها و سیستم‌های حمل‌ونقل) که از زلزله مورد نظر مورد انتظار است، پتانسیل وقوع رویدادهای ثانویه مانند آتش‌سوزی‌های پس از زلزله و در نهایت هر رویداد دیگری که می‌تواند به عملیات پاسخ‌دهی اضطراری لطمه وارد کند. بهترین راه برای پیش‌بینی این خطرات خلق سناریوهای محتمل وقوع زلزله است.
۴. با توجه به ماهیت دینامیک آتش‌سوزی پس از زلزله، نیاز به واکنش سریع و اقدامات لازم برای کاهش اثرات و عواقب خواهد بود، در غیر این‌صورت انتظار عواقب فاجعه‌باری خواهد رفت. لذا، طراحی و توزیع منطقی ایستگاه‌های ایمن در

برابر زلزله آتش‌نشانی در نواحی مستعد حریق برای افزایش دسترسی آتش‌نشان‌ها به آتش‌سوزی‌های اولیه رخ‌داده دارای اهمیت است. در مناطقی که با پیش‌بینی خسارت‌های مستقیم ناشی از زلزله در آن‌ها می‌توان پتانسیل اختلال در امدادرسانی را ارزیابی کرد و نیز در مناطق با تراکم زیاد ساختمان‌ها و فاصلهٔ کم آن‌ها از یکدیگر که دسترسی ماشین‌های آتش‌نشانی محدود خواهد بود، می‌توان با تعبیه کیوسک‌های آتش‌نشانی و استفاده از یگان‌های آتش‌نشانی موتورسوار که محدودیت کمتری در رسیدن به ناحیه آسیب‌دیده دارند، استفاد کرد.

۵. آموزش نیروهای داوطلب مردمی و یگان‌های نظامی که آمادگی تجهیزاتی کافی برای پاسخ اضطراری به وقوع زلزله و بحران‌های ثانویه ناشی از آن دارند، یک الزام واقعی است. با این دیدگاه که در عین تمام پیش‌بینی‌های لازم برای افزایش قابلیت اتکای نیروهای آتش‌نشانی، محدودیت‌های زیادی در امدادرسانی توسط ایشان وجود خواهد داشت و با توجه به اهمیت فاکتور زمان (به‌خصوص در پیشگیری از گسترش آتش‌سوزی‌های ناشی از زلزله) لازم است تیم‌های داوطلب عملیاتی که تجهیزات آمادهٔ کافی در اختیار دارند و به صورت متوالی و مستمر در حال تمرین و آموزش برای شرایط فوق العاده هستند، سازمان‌دهی شوند. این افراد علاوه بر امدادرسانی اولیه می‌توانند به کمک به صدمه‌دیدگان برای اجرای دستورالعمل‌های ایمنی پس از زلزله و تخلیهٔ مکان‌های آسیب‌دیده و مستعد آتش‌سوزی کمک کنند و عملیات ابتدایی اطفای حریق را انجام دهند و با بازگشایی برخی مسیرهای ارتباطی دسترسی حداقلی نیروهای آتش‌نشانی را فراهم کنند.

۶. ارزیابی سطح آمادگی روحی و تجهیزاتی نیروهای آتش‌نشانی برای مواجهه با شرایط هرج‌ومرج‌آمیز پس از زلزله و پراکندگی و تنوع آسیب‌های روی‌داده (و نیز آتش‌سوزی‌ها). آتش‌نشانی‌های شهرهای گوناگون می‌توانند در ارزیابی و پیاده‌سازی اقدامات لازم برای کاهش آتش‌سوزی پس از زلزله و گسترش آن و نیز بهبود ظرفیت اطفای حریق در این شرایط با هم همکاری کنند.

۷. ارزیابی هماهنگی عملیاتی بین تمام واحدهای مدیریت بحران به منظور کاهش زمان اتخاذ تصمیم‌ها و عمل به آن‌ها

۷. استراتژی‌های مدیریت ریسک‌ها پس از رویداد بحران آتش‌سوزی پس از زلزله

اهداف متصور برای طرح‌ریزی استراتژی‌های پس از بحران آتش‌سوزی ناشی از زلزله عبارت‌اند از:

فاز پاسخ:

۱. ارزیابی سریع خسارت‌های اولیه به منظور اولویت‌بندی اقدامات لازم برای پاسخ به زلزله
۲. ارزیابی سریع ایستگاه‌های آتش‌نشانی در دسترس
۳. شناسایی سریع آتش‌سوزی‌های اولیه
۴. ارزیابی سریع منابع آبی در دسترس و مخازن ذخیرهٔ آب در سطح شهر
۵. برقراری سریع سیستم ارتباطی ایمن و امن برای هدایت نیروهای امدادی
۶. ایمن‌سازی ساختمان‌های آسیب‌دیده پس از اطفای آتش‌سوزی‌های اولیه و قبل از مراجعت مردم به محل زندگی خود برای اجتناب از روی دادن آتش‌سوزی‌های ثانویه
۷. تخلیهٔ سریع مردم از نواحی در معرض گسترش حریق پس از زلزله
۸. فاز بازیابی:
۹. شناسایی ضعف‌ها در پاسخ‌گویی سریع و مناسب به آتش‌سوزی‌های روی‌داده پس از زلزله و مستندسازی درس‌آموخته‌ها
۱۰. بازسازی نواحی مستعد حریق با در نظر گرفتن عوامل بروز ریسک آتش‌سوزی پس از زلزله
۱۱. ارزیابی دقیق نسبت خسارت‌های ناشی از آتش‌سوزی پس از زلزله به خسارت‌های اولیهٔ زلزله

هدف ۱- ارزیابی سریع خسارت‌های اولیه به منظور اولویت‌بندی اقدامات لازم برای پاسخ به زلزله

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی سرانگشتی خسارت‌های اولیهٔ زلزله با استفاده از تکنولوژی‌های نوین، گزارش‌های نیروهای داوطلب و نیروهای آتش‌نشانی:

چنانچه در توضیحات این متن به‌دفعات گفته شد، یکی از عوامل اصلی در بروز آثار ثانویهٔ زلزله مانند آتش‌سوزی، خسارت‌های اولیه مستقیم ناشی از خود زلزله است. به علاوه، خسارت‌های واردشده به شبکه‌های حیاتی آب، گاز و برق و زیربناهای شهری در شدت آسیب‌پذیری شهر از آثار ثانویه مؤثر است. از طرف دیگر، مدیریت صحیح نیروهای امدادی در این مقطع زمانی با توجه به اینکه احتمالاً دسترسی به برخی نیروها و امکانات آن‌ها محدود شده، بسیار حیاتی است. تجربه نشان داده است حدود ۲۰ درصد از آتش‌سوزی‌های پس از زلزله توسط خود مردم خاموش می‌شوند، ولی برای جلوگیری از گسترش ۸۰ درصد باقی‌مانده لازم است برنامه‌ریزی مناسب در زمان محدود انجام شود.

۲. ارزیابی خسارت‌های واردشده به شبکه‌های زیربنایی و حیاتی با استفاده از سیستم‌های کنترل مرکزی که بر مبنای سیگنال‌های دریافتی از نقاط آسیب‌پذیر این شبکه‌ها کار می‌کنند.

۳. شناسایی نقاط شکستگی لوله‌های گازرسانی

هدف ۲– ارزیابی سریع ایستگاه‌های آتش‌نشانی در دسترس

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی سریع خسارت‌های واردشده به بنا و تجهیزات هر واحد آتش‌نشانی توسط سرپرست واحد یا جانشین وی و ارزیابی تعداد نفرات و تجهیزات آمادهٔ سرویس و اعلام آن به ستاد مدیریت بحران

هدف ۳– شناسایی سریع آتش‌سوزی‌های اولیه

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. جانمایی و شناسایی سریع آتش‌سوزی‌های اولیه روی‌داده با استفاده از تکنولوژی‌های نوین از جمله سیستم‌های ارتباط ماهواره‌ای، GPS، GIS

۲. ارزیابی سریع حجم گسترش آتش‌سوزی ناشی از هر یک از آتش‌سوزی‌های اولیه به منظور اتخاذ تصمیم در روش اطفای حریق

۳. قطع شبکه‌های برق‌رسانی و گازرسانی در محدودهٔ شناسایی آتش‌سوزی‌های اولیه و عدم وصل مجدد تا اطمینان از اطفای کامل آن‌ها

۴. اولویت‌بندی آتش‌سوزی‌های اولیه از نظر احتمال خطر گسترش آتش‌سوزی بر اساس شرایط و امکانات محیطی گسترش و توقف آتش‌سوزی و ارزیابی آن‌ها از نظر میزان تأثیر در عملیات امداد و اطفا

هدف ۴– ارزیابی سریع منابع آبی در دسترس و مخازن دخیرهٔ آب در سطح شهر

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. شناسایی سریع نقاط افت فشار در شبکهٔ آب‌رسانی عادی شهر و ارزیابی وضعیت شبکهٔ آب آتش‌نشانی در محدودهٔ نواحی افت فشار آب.

۲. شناسایی سریع مخازن آب، استخرها، حوضچه‌ها، آب نماها و دریاچه‌های مصنوعی در مجاورت نقاط آتش‌سوزی به منظور جایگزینی سریع شبکهٔ آب آتش‌نشانی آسیب‌دیده با این منابع

هدف ۵– برقراری سریع سیستم ارتباطی ایمن و امن برای هدایت نیروهای امدادی

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. تعیین و اعلام سریع فرکانس ارتباط بی‌سیم امن برای ارتباط مستقیم تیم‌های امداد با ستاد مدیریت بحران، یا تخصیص خط مخابراتی ماهواره‌ای به این منظور

۲. تعیین کانال واحد اعلام عمومی وضعیت و محدود کردن رسانه‌ها، شبکه‌های مجازی اینترنتی و سایر سیستم‌های ارتباطی که اطلاع‌رسانی نادرست توسط ایشان می‌تواند اثر سوء در پاسخ اضطراری به بحران داشته باشد.

هدف ۶– ایمن‌سازی ساختمان‌های آسیب‌دیده پس از اطفای آتش‌سوزی‌های اولیه و قبل از مراجعت مردم به محل زندگی خود برای اجتناب از روی دادن آتش‌سوزی‌های ثانویه

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی سریع شرایط پرخطر مانند نشت مواد قابل اشتعال و اتصال برق در ساختمان‌های واقع در محدودهٔ آتش‌سوزی‌های مهارشده به منظور ایمن‌سازی آن‌ها قبل از اتصال مجدد گاز و برق
۲. آب‌پاشی هوایی محدودهٔ آتش‌سوزی‌های اطفاشده به منظور مرطوب و خنک کردن محیط برای کاهش احتمال بروز آتش‌سوزی‌های مجدد

هدف ۷– تخلیهٔ سریع مردم از نواحی در معرض گسترش حریق پس از زلزله

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی و شناسایی مسیرهای امن و کم‌خطر برای تخلیهٔ مردم و انسداد مسیرهای پرخطر مانند تونل‌های خیابان‌های بن‌بست یا خیابان‌هایی که بر اثر تخریب ساختمان‌ها بسته شده‌اند و انتقال ترافیک مردم به مسیرهایی غیر از مسیرهای اختصاص‌یافته به تیم‌های امدادی
۲. جلوگیری از بازگشت مردم به محل حادثه قبل از اتمام عملیات اولیه اطفای حریق و ایمن‌سازی ساختمان‌ها
۳. سازماندهی نیروهای نظامی برای کنترل مردم مضطرب و سراسیمه برای پیاده‌سازی دو استراتژی قبل
۴. اعلام عمومی برخی اقدامات ایمنی قبل از تخلیهٔ ساختمان مانند بستن شیرهای گاز و قطع برق (مثلاً با بلندگو)

هدف ۸– شناسایی ضعف‌ها در پاسخ‌گویی سریع و مناسب به آتش‌سوزی‌های روی‌داده پس از زلزله و مستندسازی درس‌آموخته‌ها

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. الزام کلیهٔ تیم‌های آتش‌نشانی و نیروهای داوطلب به ارائهٔ گزارش موانع و اشکالات برنامهٔ مدیریت امدادرسانی به‌کاررفته برای شناسایی ضعف‌ها یا عوامل تأثیرگذار ناشناخته.
۲. شناسایی و طبقه‌بندی علل و عوامل بروز و گسترش آتش‌سوزی‌ها به منظور به‌روز کردن فاکتورهای ریسک
۳. بازبینی طرح‌های پیاده‌شده مدیریت بحران بر اساس شرایط واقعی، عوامل مشاهده‌شده و نتایج پیاده‌سازی این طرح‌ها در بحران روی‌داده
۴. به‌روزرسانی آیین‌نامه‌ها وکدهای طراحی لرزه‌ای
۵. به‌روزرسانی و افزایش دقت برنامه‌های شبیه‌ساز کامپیوتری بر اساس داده‌های جدید ثبت‌شده در بحران روی‌داده
۶. شناسایی ضعف‌های شبکه‌های پشتیبان آب‌رسانی

هدف ۹– بازسازی نواحی مستعد حریق با در نظر گرفتن عوامل بروز ریسک آتش‌سوزی پس از زلزله

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. فواصل توقف آتش‌سوزی در مناطق مختلف شهری بر اساس شرایط غالب آب‌وهوایی و سمت و جهت وزش باد غالب تعیین شده و در ضوابط شهرسازی منظور شوند.
۲. حریم ایمن از شبکه‌های توزیع برق و انتقال گاز در بازسازی نقاط صدمه‌دیده رعایت شود.
۳. نکاتی که باعث کاهش آسیب‌پذیری نقاط صدمه‌ندیده شده‌اند، استخراج شده و در بازسازی مناطق صدمه دیده مد نظر قرار داده شود.
۴. ملاحظات طرح لرزه‌ای و افزایش در بازسازی پل‌های هوایی و تونل‌ها در نظر گرفته شود.
۵. مقاومت در برابر آتش‌سوزی ساختمان‌های متعارف در سطح شهر با استفاده از دانش روز، حتی الامکان افزایش داده شود.

۶. مسیرهای اختصاصی امداد و نجات در شرایط پس از زلزله پیش‌بینی و ساخته شود.
۷. ساختمان‌های حاوی مواد شیمیایی خطرناک، سمی و اشتعال‌پذیر به خارج از محدودهٔ شهری انتقال داده شوند.
۸. مسیر خطوط حیاتی و زیربنایی در تقاطع با گسل‌ها، مناطق مستعد روانگرایی و زمین‌لغزش اصلاح شود.

هدف ۱۰– ارزیابی دقیق نسبت خسارت‌های ناشی از آتش‌سوزی پس از زلزله به خسارت‌های اولیهٔ زلزله

استراتژی‌های پیشنهادی:

۱. ارزیابی دقیق خسارت‌های مستقیم و غیر مستقیم ناشی از آثار ثانویه‌ای مانند آتش‌سوزی پس از زلزله، به منظور شناسایی و اولویت‌بندی فاکتورهای تأثیرگذار در این خسارت‌ها.
۲. برنامه‌ریزی برای جبران خسارت‌های بلندمدت با ارزیابی دقیق خسارت‌ها
۳. برنامه‌ریزی برای استفاده از آمار و ارقام واقعی خسارت‌ها در آماده کردن اذهان عمومی و افزایش سطح آمادگی ایشان برای مقابله با بلاهای ناشی از زلزله‌ها آتی

در خاتمه یادآور می‌شود که فاجعه‌ای مانند زلزله و آتش‌سوزی بعد از آن، اگرچه قابل پیش‌بینی نیستند، ولی با برنامه‌ریزی صحیح برای مقابله با آثار مستقیم و غیر مستقیم آن بر مبنای درس‌های آموخته‌شده می‌توان تلفات جانی و مالی آن‌ها را کاهش داد. واقعیت‌گرایی در برنامه‌ریزی، ارزیابی مستمر اهداف و استراتژی‌ها و افزایش دقت مدل‌سازی‌ها با افزودن اطلاعات و آمار جدید به آن‌ها فاکتورهای کلیدی در موفقیت برنامه‌ها به شمار می‌روند.

منابع

1. Behnam B. Post-Earthquake Fire Analysis in Urban Structures: Risk Management Strategies. 1 ed. New York, the United States: CRC Press, Taylor & Francis Group; 2017 2017. 356 p.
2. Miles MP, Lewis GK, Hall-Phillips A, Morrish SC, Gilmore A, Kasouf CJ. The influence of entrepreneurial marketing processes and entrepreneurial self-efficacy on community vulnerability, risk, and resilience. Journal of Strategic Marketing. 2016;24(1):34-46.
3. Schiff AJ, editor Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake of January 17, 1995: Lifeline Performance1999: ASCE.
4. Himoto K, Yamada M, Nishino T, editors. Analysis of ignitions following 2011 Tohoku earthquake using Kawasumi model. Fire Safety Science-Proceedings of The Eleventh International Symposium; 2014.
5. Nanto DK. Japan's 2011 Earthquake and Tsunami: Economic Effects and Implications for the United States: DIANE Publishing; 2011.
6. Roberstson JN. Accounting for Fire Following Earthquake in the Development of Performance-Based Building Codes. Canada: The University of British Columbia; 1998.
7. Taylor J. Post-earthquake fire in tall buildings and the New Zealand building code [research]. Christchurch, New Zealand: University of Canterbury; 2003.
8. Farahani S, Tahershamsi A, Behnam B. Earthquake and post-earthquake vulnerability assessment of urban gas pipelines network. Natural Hazards. 2020.
9. Li J, Li J, Wang Y, Chen H, Lin L. Risk assessment study of fire following an earthquake: a case study of petrochemical enterprises in China. Natural hazards and earth system sciences. 2014;14(4):891-900.
10. Kim JK. A Conceptual Framework for Assessing Post-Earthquake Fire Performance of Buildings. Worcester, Massachusetts: Worcester Polytechnic Institute; 2014.
11. Mohammadi J, Alysian. S. Analysis of post-earthquake fire hazard. Earthquake Engineering, Tenth World Conference [Internet]. 1992: [5983-8 pp.].
12. Ren A, Xie X. The simulation of post-earthquake fire-prone area based on GIS. Journal of fire sciences. 2004;22(5):421-39.
13. Behnam B, Skitmore M, Ronagh HR. Risk mitigation of post-earthquake fire in urban buildings. Journal of Risk Research. 2015;18(5):602-21.
14. Wang Q, Lin X, Ni S, Zhong J, Yang N. A procedure to simulate spread of post-earthquake fire in urban area considering seismic damage to buildings. Natural Hazards. 2024.
15. Memari M, Wang X, Mahmoud H, Kwon O-S. Hybrid Simulation of Small-Scale Steel Braced Frame Subjected to Fire and Fire Following Earthquake. Journal of Structural Engineering. 2020;146(1):04019182.
16. Coar M, Garlock M, Elhami Khorasani N. Effects of water network dependency on the electric network for post-earthquake fire suppression. Sustainable and Resilient Infrastructure. 2019:1-20.
17. Ricci F, Yang M, Reniers G, Cozzani V. Emergency response in cascading scenarios triggered by natural events. Reliability Engineering & System Safety. 2024; 243:109820.
18. Behrouz B. Simulating Post-Earthquake Fire Loading in Conventional RC Structures. In: Pijush S, Subrata C, Dookie K, editors. Modeling and Simulation Techniques in Structural Engineering. Hershey, PA, USA: IGI Global; 2017. p. 425-44.
19. Lee S. Modeling post-earthquake fire spread. 2009.
20. Zaré M, Afrouz SG. Crisis management of Tohoku; Japan earthquake and tsunami, 11 March 2011. Iranian journal of public health. 2012;41(6):12.