نشریه‌ی علمی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

ارزیابی کیفی وضعیت پاسخ به شرایط اضطراری در زمان وقوع رویدادهای طبیعی لرزه‌ای در شهر تهران

بیژن سیاف‌زاده[۱]؛ سعیده کوهستانی[۲]؛ عبدالرضا سروقد مقدم[۳]؛ مهدی شریفی[۴*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران
۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران
۳- دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، تهران، ایران
۴- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران (نویسنده مسئول)

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶

واژگان کلیدی

زلزله، مخاطرات طبیعی، ارزیابی کیفی، ریسک لرزه‌ای، صنایع نفت و گاز

چکیده

دهه‌های اخیر با تولد و رشد صنایع جهان شاهد اثرات مخرب ناشی از تأثیر رویدادهای شدید طبیعی بر روی کارخانه‌های صنعتی بوده است و تبعات و وقایع ناشی از حوادث روی‌داده باعث جلب توجه بسیار به این دسته نوظهور از رویدادهای فناورانه ناشی از وقایع طبیعی (رویدادهای طبیعی) شده است. عدم آمادگی برای مواجهه با این دسته از رویدادها و سردرگمی برای تصمیم‌گیری در ارائه پاسخ مناسب به شرایط موجود توسط تصمیم‌گیرندگان کلان و نیروهای پاسخ اضطراری و مردم همیشه مشاهده شده است که دلایل مختلفی از جمله چند رشته‌ای بودن موضوع، نوظهور بودن و کم بودن آمار این رویدادها، ناکافی بودن اطلاعات تخصصی و اتخاذ رویکردهایی مشابه با حوادث فرآیندی را می‌توان برای آن نام برد. در این راستا شهر تهران به‌عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران مستعد وقوع حوادث طبیعی می‌باشد. بررسی زیرساخت‌ها جهت ارزیابی ریسک و اقدامات لازم در راستای کاهش ریسک ضروری می‌باشد. این مقاله به بررسی رویدادهای طبیعی لرزه‌ای رخداده در سایر کشورها پرداخته و پس از مرور شرح رویدادها، وضعیت پاسخ در شرایط اضطراری مورد بررسی و دسته‌بندی قرار گرفته است. با استفاده از سایر مطالعات صورت گرفته وضعیت شریان‌های حیاتی و زیرساخت‌های شهر تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد و وضعیت پاسخ به شرایط اضطراری در صورت وقوع رویداد طبیعی لرزه‌ای محتمل مورد بحث قرار می‌گیرد. با توجه به وضعیت قرارگیری کارخانه‌ها و نزدیکی آنها به شهر و گسل‌ها احتمال وقوع رویدادهای طبیعی در صورت وقوع رویداد لرزه‌ای بسیار بالا می‌باشد. انواع خرابی‌های زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی به دلیل وقوع رخداد طبیعی از موارد برجسته و مشکلات عدیده و موانع موجود در پاسخگویی لازم به شرایط روی‌داده است.

۱- معرفی رویدادهای طبیعی

در دهه‌های اخیر با تولد و رشد صنایع، جهان شاهد اثرات مخرب ناشی از تأثیر رویدادهای شدید طبیعی بر روی کارخانه‌های صنعتی بوده است و تبعات و وقایع ناشی از حوادث روی‌داده باعث جلب توجه بسیار به این دسته نوظهور از رویدادهای فناورانه ناشی از وقایع طبیعی شده است؛ که در ادبیات فنی مربوطه *NaTech* (*Natural Technological Events*) نامیده شده است و در این مقاله آن را با نام حوادث یا رویدادهای طبیعی (ترکیب واژه طبیعی و فناورانه) نام‌گذاری می‌نماییم. وابستگی بالای جوامع مدرن امروزی به محصولات صنایع [۱] و رشد روزافزون این دسته از وقایع قدرت تأثیر بالای

* قم، دانشگاه قم؛ رایانامه: *m.sharifi@qom.ac.ir*

این دسته از رویدادها بر جوامع، اقتصاد و محیط‌زیست جای هیچ‌گونه تردیدی بر لزوم ارزیابی این دسته از رویدادها را باقی نمی‌گذارد [۲]. برای نمونه می‌توان رویدادهایی همچون حادثه طوفان کاترینا در ساحل خلیج آمریکا با خسارتی حدود ۳۳۰ میلیون دلار [۳]، زلزله و سونامی سنگین سال ۲۰۱۱ ژاپن [۴]، زلزله کوچائلی ترکیه در سال ۱۹۹۹ [۵]، زلزله گجرات هند در سال ۲۰۰۱ [۶]، زلزله آوریل سال ۲۰۱۵ در نپال، زلزله آوریل سال ۲۰۱۶ در اکوادور [۷] و بسیاری از رویدادهای دیگر را نام برد. آسیب‌دیدگی و آزادسازی هم‌زمان چندین ماده خطرناک سمی یا آتش‌زا یا ترکیبی و خرابی‌های زنجیره‌ای متوالی هم‌زمان با آسیب دیدن موانع و سیستم‌های کنترلی دیده شده به‌صورت هم‌زمان و همچنین مسدود شدن انواع مسیرها و تجهیزات و بسترهای پیش‌بینی‌شده برای سوانح معمول از جمله خصایص رویدادهای طبیعی می‌باشد. عدم آمادگی برای مواجهه با این دسته از رویدادها و سردرگمی برای تصمیم-گیری در ارائه پاسخ مناسب به شرایط موجود توسط تصمیم‌گیرندگان کلان و نیروهای پاسخ اضطراری و مردم همیشه مشاهده شده است که دلایل مختلفی از جمله چند رشته‌ای بودن موضوع، نوظهور بودن و کم بودن آمار این رویدادها، ناکافی بودن اطلاعات تخصصی و اتخاذ رویکردهایی مشابه با حوادث فرآیندی را می‌توان برای آن نام برد [۸]. این جنبه‌های منحصربه‌فرد مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی پاسخ اضطراری برای رویدادهای طبیعی همواره به‌طور گسترده‌ای از قلم افتاده است [۲].

رویدادهای طبیعی دارای خصایص زیر می‌باشند:

- بیش از یک آزادسازی یا رهاسازی مواد خطرناک به‌صورت هم‌زمان می‌تواند رخ بدهد.
- بسیاری از ابزار و تجهیزاتی که انتظار حضور و موجود بودن آنها می‌رود (به‌طور مثال آب، برق و ارتباطات) ممکن است موجود نباشند و نیروهای متخصص تأمین ایمنی احتمالاً درگیر مسائل بسیاری باشند و ابزار کنترل یا کاهش مخاطرات (همچون آب‌بندها یا سیستم‌های فوم) ممکن است دچار نقص عملکرد شوند.
- هم‌زمان علاوه بر فجایع طبیعی نیاز رسیدگی به فجایع طبیعی نیز می‌باشد.
- نیاز به پاسخ اضطراری به رویدادهای طبیعی به‌ناچار پاسخ به فجایع طبیعی را مشکل‌ساز می‌نماید و باعث سردرگمی تصمیم‌گیرندگان کلان و نیروهای پاسخ اضطراری و مردم می‌شود و توانایی پاسخ به فاجعه را کاهش می‌دهد.

با توجه به نیاز جوامع و حکام به آشنایی بیشتر با این دسته از حوادث و رویدادها و هزینه‌های مستقیم و همچنین هزینه‌های بالای زیست‌محیطی و مسئولیتی [۹]، در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری بر روی حوادث روی‌داده به‌صورت آماری و تحلیلی صورت گرفته است. کراسمن و همکاران در سال ۲۰۱۶ طی تحلیل حوادث روی‌داده برای خطوط انتقال نفت نشان داد حوادث طبیعی به‌صورت سالانه در حال رشد هستند [۱۰]. کروز و همکاران با تحلیل ۴۶ تجهیزات آسیب‌دیده توسط رویدادهای طبیعی در حادثه سال ۲۰۱۱ ژاپن انواع خرابی‌ها را که همگی ناشی از یک زلزله بودند را مشاهده نمودند که باعث وقایعی چون آتش و انفجار شدند [۱۱]. در تلاشی در آمریکا نقشه‌ای از احتمال مخاطرات طبیعی برای این کشور تهیه گردید و بیشترین تحقیقات مربوط به این حوزه در ایالت کالیفرنیا که ریسک لرزه‌ای بسیار بالایی دارد صورت گرفت [۲] و تحت این نوع از مخاطرات طبیعی احتمال وقوع اثرات دومینویی بسیار بیشتر می‌باشد [۱۲].

تحلیل آمارهای گذشته سبب آشنایی بیشتر با حوادث روی‌داده و تبعات آنها می‌گردد و نتایج گرفته شده در حوادث قبلی به‌وضوح تجربه‌هایی ارزشمند می‌باشند و مطالعه نتایج حاصل از آن می‌تواند بستری مناسب برای تحلیل وضعیت فعلی پلنت‌های موجود و ارزیابی آنها باشد.

در این مقاله احتمال وقوع این رویدادها در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته و با مطالعه و مرور مطالعات تحلیلی گذشته که به بررسی وضعیت رویدادهای طبیعی لرزه‌ای پرداخته‌اند نسبت به ارزیابی پالایشگاه تهران با توجه به رویدادهای فرآیندی رخ داده در آن و همین‌طور مطالعات مربوط به ارزیابی لرزه‌ای شهر تهران وضعیت پالایشگاه مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرد و راهکارهایی با توجه به راهکارهای ارائه شده برای سایر موقعیت‌های مشابه پیشنهاد خواهد شد. اولین قدم جهت بررسی رویدادهای طبیعی شناسایی بالقوه این رویدادها می‌باشد، این کار با بررسی نقشه‌های

زمین‌شناسی و محل قرارگیری گسل‌ها و بررسی وضعیت فعلی کارخانه‌ها صنعتی و شریان‌های حیاتی انجام می‌شود.

در این مطالعه لزوم توجه ویژه و مطالعه در خصوص تأثیر آسیب‌پذیری شبکه‌های آب و برق شهری و ترافیک نواحی نزدیک و مسیرهای منتهی به کارخانه‌های ذخیره مواد و مشتقات نفتی پس از وقوع رویداد لرزه‌ای قوی نشان داده شده است. همچنین اهمیت در دسترس بودن و حضور تیم‌های پاسخ به شرایط اضطراری و اهمیت توجه و تحقیق و مطالعه در خصوص نحوه ساماندهی و مدیریت این تیم‌ها جهت عملیات جستجو و نجات بررسی شده است.

۲- مروری بر حوادث و رخدادهای طبیعی ناشی از زلزله در نقاط مختلف جهان

تجربه‌های حاصل از حوادث گذشته نشان داده است که حتی زلزله‌های نه‌چندان قوی نیز می‌تواند منجر به وقوع حوادث طبیعی شود [۸]. مرور حوادث گذشته علاوه بر آشنایی با انواع سناریوهای محتمل و شناسایی مشکلات عدیده در عملیات واکنش اضطراری به شرایط به وجود آمده می‌گردد، می‌توان بر ارزیابی دقیق و درس‌آموزی از آنها مانع وقوع سناریوهای مذکور و یا کاهش خسارات و تبعات ناشی از آنها گردید.

۲-۱- زلزله کوچائلی در سال ۱۹۹۹

سال ۱۹۹۹ در زلزله‌ای به بزرگای گشتاوری برابر با ۷٫۴ در ساعت ۳ صبح کوچائلی ترکیه را لرزاند. زلزله باعث کشته شدن بیش از ۱۵۰۰۰ انسان و بی‌خانمان شدن بیش از ۲۵۰ هزار نفر گردید [۸]. جاده‌ها، پل‌ها، شبکه آب سراسری، مخابرات، شبکه برق سراسری، به‌شدت دچار آسیب شدند [۱۴]. در کارخانه پالایشگاه شهر ازمیت سه آتش‌سوزی و چندین آزادسازی مواد خطرناک رخ داد. آتش‌سوزی‌های رخ داده به دلایل مختلف از جمله، آزادسازی مواد خطرناک و تماس با جرقه، رمبندگی برج دودکش بتنی بر روی دستگاه تبرید و پایپرک و خراب شدن ۶۳ لوله، و آخری به دلیل آتش‌سوزی هم‌زمان چهار تانک حاوی نفت به‌صورت هم‌زمان به دلیل جرقه حاصل از اصطکاک جداره با سقف شناور روی داد [۱۵]. در آغاز آتش‌سوزی، به نظر می‌رسید که آتش تحت کنترل است اما کنترل آتش‌سوزی با زبانه کشیدن مجدد آن بیش از سه روز به طول انجامید. تیم‌های آتش‌نشانی بسیاری از مناطق مختلف برای کنترل آتش اعزام شدند اما تلاش آنها برای کنترل آتش بی‌نتیجه ماند. قطعی برق و کمبود فوم شیمیایی مانع انجام فعالیت می‌شد [۱۵]. آتش‌نشانان در ساعت ۷ روز حادثه بعد از ظهر عملیات را متوقف نموده و فرمان تخلیه منطقه تا شعاع ۵ کیلومتری توسط مرکز مدیریت بحران صادر شد [۱۷] تخلیه مواد خطرناک برای چند روز ادامه داشت. کشور ترکیه مجبور به درخواست بین‌المللی برای کنترل حریق شد. سقوط یک برج خنک‌کننده آب توسط زلزله نیز باعث کند شدن عملیات آتش‌نشانان گردید. نبود ژنراتورهای تولید کننده برق و پمپ‌های دیزلی، نداشتن برج‌های آتش‌نشانی و تجهیزات مستقل آتش‌نشانی از جمله مواردی شناخته شدند که باعث تشدید رویداد شد [۸]. در خلال زلزله شریان‌های حیاتی و زیرساخت‌ها تحت تأثیر زلزله دچار آسیب شدند و روانگرایی باعث خرابی سیستم حمل‌ونقل و سیستم آب‌رسانی و توزیع نیرو و مخابرات گردید [۲] و ترافیک حجیم روی داده تا ۲۴ ساعت بعد از وقوع زلزله به طول انجامید [۱۸]. تنها سازه‌های تازه تأسیس برای زلزله‌ها طراحی شده بودند. دیواره‌های نگه‌دارنده مواد نیز در موارد بسیاری دچار ترک‌خوردگی شده بودند و آسیب منابع آب و لوله‌های انتقال آب باعث عدم تأمین آب مورد نیاز برای ترکیب با فوم مهار بخار گردید. فقدان نیروی برق و نبود فشار آب به‌صورت مستقیم مانع از رسیدگی کارخانه‌ها به مواد آزاد شده و تلاش‌های آتش‌نشانان می‌گردید. با آنکه کارخانه‌های منطقه دارای تیم‌های (عکس‌العمل بحرانی) پاسخ به شرایط اضطراری بودند اما به دلیل اینکه هیچ‌کدام از آنها در برنامه‌های خود آزادسازی هم‌زمان چندین منبع مواد خطرناک را برنامه‌ریزی نکرده بودند دچار سردرگمی و ناکارایی آنها شدند و با مشاهده چندین آزادسازی، بسیاری هم‌زمان پا به فرار از محل حادثه گذاشتند و بازمانده‌ها نیز بی‌حرکت و ناتوان در انجام اقدامی مؤثر بودند. از جمله سایر مصائب مطرح شده ارسال بیش از ۵۰٪ نیروها و تجهیزات برای مهار آتش پالایشگاه بود درحالی‌که نیاز بسیار به آنها برای عملیات جستجو و نجات حادثه‌دیدگان زلزله وجود

داشت و این موضوع در سایر گزارش‌های حوادث مشابه قبلی نیز مطرح بوده است. دستور تخلیه مناطق مسکونی در شعاع ۵ کیلومتری کارخانه‌های آسیب‌دیده نیز از دیگر موارد قابل توجه در مدیریت فاجعه مذکور می‌باشد و دستور تخلیه باعث ایجاد وحشت در آتش‌نشانان برای رسیدگی و کمک به کارخانه‌ها گردید. واقعه مذکور منجر به اتخاذ تصمیمات زیر برای جلوگیری از فجایع طبیعی در نواحی مستعد زلزله شد [۱۴]:

۱. برنامه جامع مدیریت ریسک کارخانه‌ها در نواحی مستعد زلزله باید رویدادهای آزادسازی هم‌زمان مواد خطرناک ناشی از وقوع زلزله را در نظر بگیرد.
۲. تانک‌ها و سازه‌های نگه‌دارنده مواد خطرناک یا سازه‌های مجاور با مواد مذکور باید بر اساس ضوابط لرزه‌ای طراحی شوند.
۳. سازه‌ها و تجهیزات بلند باید به‌صورت منظم برای خوردگی و زوال مورد بازرسی قرار گیرند.
۴. طراحی سازه‌های قدیمی باید مورد بازنگری قرار گیرد و برای بارهای لرزه‌ای مقاوم‌سازی شوند.
۵. سازه‌ها و تجهیزات در نظر گرفته شده برای پاسخ دادن اضطراری به رویداد آزادسازی مواد باید برای آسیب‌های لرزه‌ای مورد تحلیل و بازنگری قرار گیرند.
۶. مطالعه بدترین حالت آزادسازی مواد با در نظر گرفتن آسیب سیستم‌های کنترل کننده آزادسازی مواد خطرناک جهت تخمین شعاع انتشار مواد سمی و تخریب کننده جهت تخمین نواحی مسکونی جهت تخلیه فوری منطقه.

پالایشگاه ازمیت با بازنگری برنامه‌ریزی واکنش اضطراری امکان وقوع چند رویداد هم‌زمان را در برنامه خود گنجاند و طی جلسات دو ماهانه برای کلیه کارکنان پالایشگاه، بحث و تمرین مستمر در خصوص پاسخ اضطراری به چندین حادثه هم‌زمان محتمل را آموزش می‌دهد. همچنین ظرفیت آب مخازن آتش‌نشانی را افزودند و تجهیزات آتش‌نشانی را نیز ارتقا دادند و برای تمامی تانک‌ها سیستم فوم نصب نمودند [۱۵].

۲-۲- زلزله سال ۲۰۰۸ ونچان

زلزله ۱۲ می سال ۲۰۰۸ در منطقه ونچان چین در ساعت ۱۴:۲۸ به بزرگای M_w = ۷/۹ به وقوع پیوست و ناحیه تأثیری بیش از ۵۰۰ هزار کیلومترمربع را دربر گرفت. اکثر ساختمان‌ها و سازه‌های صنعتی واقع در نزدیکی محل وقوع زلزله دچار خرابی‌های شدید شدند [۱۸]. مطابق تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده سازه‌های با عمر بیشتر متحمل خسارات بیشتری نسبت به سازه‌های جدیدتر شدند. بسیاری از کارخانه‌ها تا شش ماه مجبور به تعطیلی جهت بازسازی کارخانه بودند و بعضی‌ها نیز تصمیم به جابجایی کارخانه به مناطقی با شدت خطر لرزه‌ای کمتر گرفتند. دلیل اصلی مرگ بسیاری از کارگران خرابی و فروریزش ساختمان‌های درون کارخانه‌ها گزارش گردید. تانک‌های ذخیره مواد خطرناک به‌ویژه تانک‌های پرشده با ظرفیتی بیش از ۵۰٪ متحمل خرابی‌های بسیار و متعاقباً رهاسازی محتویات و آتش‌سوزی شدند. به دلیل مسائل مختلف اطلاعات متناقضی در خصوص آزادسازی مواد خطرناک موجود می‌باشد اما با توجه به‌شدت حوادث و مشاهدات صورت گرفته، وقوع موضوع مذکور بدیهی می‌باشد. تنها در یک مورد به دلیل آزادسازی مواد خطرناک دستور تخلیه منطقه‌ای با بیش از ۶۰۰۰ سکنه داده شد و بدیهی است در این حالت بازمانده‌های زیر آوار که نیازمند کمک می‌باشند به‌اجبار به حال خود رها می‌شوند و عملیات جستجو و نجات در آن منطقه متوقف می‌گردد [۱۹] و نیاز شدید به نیروهای خدمات‌رسان برای کمک به عملیات جستجو و نجات به‌وضوح نشان از کمبود این نیروها در زمان وقوع رویدادهای طبیعی می‌باشد چنانچه برای حادثه مذکور سایر کشورها همچون اندونزی، ایران، پاکستان، ژاپن، روسیه و آمریکا اقدام به ارسال نیرو برای کمک به عملیات مذکور نمودند [۲۰]. آتش‌سوزی‌های مشاهده شده نیز گواهی دیگر بر آزادسازی مواد خطرناک ناشی از وقوع زلزله می‌باشد. موانع در نظر گرفته شده برای پیشگیری از وقوع حوادث (حوضچه‌ها و دیوارهای نگهدارنده مواد) عمدتاً به دلیل زلزله دچار خرابی و آسیب شدند و نگهداری ناچیزی از مواد آزاد شده داشتند. زلزله باعث خرابی شدید شریان‌های حیاتی همچون برق، گاز و سیستم آب‌رسانی گردید. سیستم توزیع برق بعد از گذشت بیش از یک هفته از فاجعه در مدار قرار گرفت و سیستم شبکه آب بیش از دو هفته قادر به خدمات‌رسانی نبود و نبود منابع مذکور (برق و آب) مانع

تلاش‌های صورت گرفته جهت ممانعت یا کاهش اثرات رویدادهای طبیعی گردید [۲۲]. خرابی جاده‌ها و بزرگ‌راه‌ها و پل‌ها و تونل‌ها باعث کندی و یا قطع خدمات‌رسانی شد و درون شهرها نیز به دلیل وجود ترافیک شهری یا فروریزش آوار ناشی از خرابی ساختمان‌ها مسیرها قفل شده بودند [۲۱]. مطابق با گزارش‌های دولتی ارائه شده ۳۳۳۷۰ کیلومتر از جاده‌ها دچار آسیب شدند که در این میان ۴۸۴۰ پل و ۹۸ تونل دچار خرابی کامل و جزئی گردید [۲۳] و با ساخت جاده‌های موقت تلاش در برقراری ارتباط و جبران آن صورت گرفت [۲۴].

۲-۳- زلزله سال ۲۰۱۰ شیلی

در ۲۷ فوریه سال ۲۰۱۰، ساعت ۳:۳۴ وقت محلی، زلزله‌ای به بزرگای M_w = ۸/۸ در جنوب شیلی رخ داد که ۵۲۱ کشته به همراه داشت [۲۴]. مطابق با گزارش‌های خرابی جاده‌ها و پل‌ها به‌ویژه در شهرهای نزدیک به محل وقوع زلزله مشاهده گردید و باعث مختل شدن سیستم حمل‌ونقل گردید و دسترسی به سایت‌ها و مکان‌های مورد نیاز را دچار مشکل کرد [۲۴]. خرابی شریان‌های حیاتی نیز گزارش شد. سیستم برق سراسری ۲۴ ساعت بعد از وقوع حادثه برقرار گردید اما سیستم مخابرات تا هفت روز دچار مشکل بود. سیستم آب و فاضلاب نیز دچار آسیب‌های بسیار شد [۲۴]. دو پالایشگاه اصلی شیلی به دلیل خرابی‌های روی داده تعطیل شدند. آسیب‌های بسیاری به اجزای مختلف تجهیزات وارد گردید و راه‌اندازی پالایشگاه حداقل به چند ماه دیگر تخمین زده شد [۲۵] اما به دلایل بسیار از بازدید تیم‌های تحقیقاتی جلوگیری به عمل آمد و به دلایل شغلی از ارائه اطلاعات و داده‌ها جهت ارزیابی‌های بیشتر ممانعت شد اما آسیب وارده به تانک‌های فولادی و بتنی از فاصله دور نیز قابل مشاهده بود [۲۶]. همچنین تحلیل‌های مستقل دیگر حاکی از خرابی‌های گسترده در کارخانه‌های مذکور بودند [۲۷]. شایان ذکر است که از شدت زلزله اصلی در محل کارخانه‌ها به دلیل فاصله از مرکز وقوع زلزله کاسته شده و کارخانه‌های مذکور شدت کمتری را تجربه نمودند.

۲-۴- زلزله ژاپن در سال ۲۰۱۱

در ۱۱ مارس ۲۰۱۱، زمین‌لرزه زیردریایی به بزرگی ۹/۰ در ساحل توهوکو در اقیانوس آرام بخش‌های وسیعی از ژاپن را لرزاند. این زلزله نه‌تنها تعداد زیادی از تأسیسات خطرناک را تحت تأثیر قرار داد و باعث انتشار مواد خطرناک شد، بلکه منجر به سونامی با قدرت خیلی زیاد شد که بیش از ۴۰۰ کیلومتر مربع از خاک را غرق کرد و آثار ویران‌کننده‌ای را برجای گذاشت و از آن به‌عنوان زلزله و سونامی بزرگ شرق ژاپن یاد می‌شود *(GEJET: The Great East Japan Earthquake and Tsunami)* بیش از ۱۹۰۰۰ نفر کشته، حدود ۴۰۰ هزار خانه به‌طور کامل یا جزئی تخریب شد تا ۵۰۰ هزار نفر از ساکنان تخلیه شدند و هزینه اقتصادی خسارت به رقم سرسام‌آور ۱۶,۹ تریلیون ین رسید [۲۵]. ارقام فوق در حالی است که این کشور تجربه زلزله‌های مشابه در گذشته را نیز داشته است؛ به‌طور مثال در سال ۱۹۶۴ زلزله‌ای با بزرگای ۷,۵ ریشتر در شهر نیگیتا ژاپن، باعث خرابی پل‌ها و ساختمان‌ها و آتش‌سوزی در کارخانه‌های نفتی گردید. در خلال زلزله فوق پنج تانک دچار آتش‌سوزی شدند که به مدت دو هفته سوختن آنها به طول انجامید. پخش شدن و ریختن محتویات آنها باعث حریق ۲۸۶ منزل مجاور شد با اینکه برخی از منازل به فاصله ۲۰۰ متری از مرز کارخانه ساخته شده بودند. لرزش سقف شناور تانک و اصطکاک با جداره سبب جرقه و آغاز آتش‌سوزی اعلام گردید که باعث توسعه حریق به دو تانک مجاور نیز شد. همچنین کلیه تجهیزات موجود دیگر در کارخانه نیز دچار خرابی شدند [۱۳].

تأثیر زلزله و سونامی بزرگ شرق ژاپن به حدی شدید بود که منابع مدیریت بلایا در آتش‌نشانی‌ها کافی نبود و باید از طرف ارتش پشتیبانی می‌شدند و شرایط به وجود آمده مشابهت بسیاری به زلزله کوچائلی در ترکیه داشت اما در مقیاسی بسیار بزرگ‌تر. وقوع بیش از ۲۸۰ آتش‌سوزی به دلیل زلزله در مناطق مختلف گزارش شد. نشتی‌های ناشی از ترک‌خوردگی مخازن *LPG*، گازوئیل و انواع سوخت‌ها و رسیدن به منابع مختلف جرقه و آتش علت اصلی عمده آتش‌سوزی‌ها اعلام گردید. حوادث طبیعی ناشی از *GEJET* به‌وضوح خطر اثرات آبشاری را نشان می‌دهد [۲۶]. به دلیل آسیب دیدن مخازن تأمین فشار لازم برای فعال شدن شیرهای اضطراری، شیرهای مذکور از کار افتادند که سبب

تشدید حوادث ثانویه گردید و در صورتی که شیرهای مذکور به‌درستی فعال می‌شدند از شدت حوادث روی داده کاسته می‌شد [۲۷]. در مزرعه مخزن ذخیره‌سازی *LPG* یک پالایشگاه در چیبا (*Chiba*)، آسیب به مهاربندهای یک مخزن در هنگام ضربه اصلی زلزله و کمانش پایه‌ها در هنگام وقوع پس‌لرزه، منجر به فروپاشی مخزن و آزاد شدن *LPG* از لوله‌های قطع شده و اشتعال آن شد. آتش از مخزن به مخزنی دیگر و در نهایت در کل مزرعه مخزن *LPG* گسترش یافت و تمام ۱۷ مخزن ذخیره را از بین برد. برخورد آوار حاصل از انفجار مخازن *LPG* به مخازن آسفالت باعث نشت آسفالت به زمین و اقیانوس شد [۲۸]. حداقل پنج انفجار مرتبط در پالایشگاه ثبت شد که بزرگ‌ترین آنها انفجاری با قطر ۶۰۰ متر ایجاد کرده است [۲۹]. علاوه بر این، پرتاب جرقه‌ها، پراکندگی و اشتعال بخارات *LPG* باعث آتش‌سوزی در مجاورت دو شرکت پتروشیمی شد. فاصله تانک‌های *LPG* کمتر از ۴۰ متر بوده و واژگونی تانک‌ها باعث تأثیر بر روی تانک‌های مجاور و گسترش خرابی‌ها گردید و این موضوع برای سایر تجهیزات نیز مطرح بوده و فواصل ایمن رعایت نشده بود [۳۰].

تیم‌های آتش‌نشانی به دلیل مشکلات ترافیکی با تأخیر بسیار زیاد به محل حادثه رسیدند [۳۰]. همچنین قطعی برق و سیستم‌های مخابراتی به دلیل وقوع زلزله گزارش شد که باعث تشدید تبعات ناشی از وقوع زلزله‌ها و متعاقباً تلفات جانی بیشتر ش و دستور تخلیه مناطق مختلف نیز توسط مسئولین شهری صادر شد [۳۰]. به‌طورکلی ۱۱۴۲ نفر از ساکنین در مجاورت منطقه صنعتی مجبور به تخلیه شدند. قطعات مخزن بعداً در فاصله بیش از ۶ کیلومتری پالایشگاه و در داخل مناطق مسکونی یافت شد. این حادثه باعث خسارت قابل توجهی در محل شد انفجارها به وسایل نقلیه و کشتی‌های مجاور آسیب رساند [۲۶]. با توجه به منابع متعدد انتشار، آتش‌سوزی و انفجار، تیم‌های مداخله کننده چاره‌ای نداشتند جز اینکه اجازه دهند آتش‌سوزی‌ها تا زمان تخلیه *LPG* ادامه یابد، در نهایت آتش‌سوزی به مدت ده روز ادامه داشت [۲۸].

انواع دیگر سازه‌های نگهداری مواد خطرناک تحت تأثیر زلزله قرار گرفتند. به‌عنوان‌مثال، در استان ایباراکی (*Ibaraki*)، محفظه پر از ضایعات معدنی حاوی آرسنیک در طول زلزله به دلیل روانگرایی فرو ریخت. در نتیجه، ۴۰،۰۰۰ مترمکعب زباله سمی آزاد شد که به مزارع مجاور و رودخانه سرازیر شد و سرانجام به ساحل رسید. گزارش شده است که میزان آلودگی ناشی از غلظت آرسنیک بیش از ۲۵ برابر استاندارد ایمنی است [۲۶].

یکی دیگر از حوادث طبیعی، آتش‌سوزی‌های متعدد ناشی از زلزله و سونامی در یک پالایشگاه در منطقه بندر سندای (*Sendai*) بود. در پالایشگاه، سونامی به یک کامیون نفت‌کش در حال بارگیری هیدروکربن‌ها در بخش غربی پالایشگاه برخورد کرد، کامیون واژگون شد و لوله‌ای در این سانحه شکسته شد و بنزین آزاد شده از منابع نامعلوم مشتعل شد [۲۹]. آتش‌سوزی کل ایستگاه بارگیری را تخریب کرد و مخازن گوگرد، آسفالت و بنزین مجاور را در خود فرو برد و یک مخزن بنزین به‌طور کامل ذوب شد. پس از اشتعال گوگرد و تشکیل ابر گاز سمی، شهردار دستور تخلیه تا شعاع دو کیلومتری را صادر کرد. بخش بزرگی از بخش غربی پالایشگاه در آتش سوخت و واکنش اضطراری به آتش‌سوزی به تأخیر افتاد زیرا آوار ناشی از سونامی راه‌های دسترسی به محل را مسدود کرده بود و هیچ راهی برای دسترسی به محل در دسترس نبود. اطفاء حریق در ۱۵ مارس هنگامی‌که یک جاده دسترسی ساخته شد، آغاز شد. نیروهای اورژانس مجبور بودند تجهیزات آتش‌نشانی را دست وارد پالایشگاه کنند، زیرا یک خط لوله بنزین دروازه را مسدود کرده بود. همچنین به دلیل آسیب سونامی امکان استفاده از تجهیزات موجود در محل وجود نداشت. به دلیل شدت آلایندگی بالای هوا آتش‌نشانان برای ورود به پالایشگاه مجبور بودند از دستگاه تنفس سنگین استفاده کنند که این موضوع به‌وضوح بر روی کیفیت خدمات‌رسانی تأثیرگذار بود. در نهایت پنج روز پس از وقوع سونامی آتش‌سوزی خاموش شد [۳۱].

تحلیل‌ها نشان می‌دهد که آمادگی در صنعت و مقامات به‌طورکلی پایین بوده است که نشان‌دهنده نیاز به بهبود برنامه‌ریزی آمادگی برای سناریوهای طبیعی و ویژگی‌های خاص آنها است [۳۲]. با توجه به اینکه ژاپن کشوری است که عموماً برای بلایای طبیعی آماده است، سطح آمادگی در

کشورهای کمتر توسعه‌یافته حتی پایین‌تر خواهد بود. تحلیل حوادث همچنین نیاز به ارزیابی مجدد شریان‌های حیاتی برای پیشگیری از حوادث و یا کاهش پیامدها را مشخص می‌کند که اغلب دست‌کم گرفته می‌شود. کمبود یا قطعی برق، آب (خنک‌کننده، اطفاء حریق)، حمل‌ونقل (دسترسی به محل) یا ارتباطات (هماهنگی) می‌تواند باعث ایجاد یا تشدید یک حادثه شود و خطر بروز اثرات آبشاری را افزایش می‌دهد [۳۳]. آتش‌سوزی و انفجار در پالایشگاه ضرورت نظارت بیشتر بر رعایت مقررات ایمنی و انجام بازرسی‌ها را نشان داد. فقدان رویه‌های روشن در مورد چگونگی شناسایی سریع آلودگی شیمیایی پس از بلایای طبیعی و لزوم گنجاندن آنها در برنامه‌های واکنش به بحران را ضروری می‌کند [۳۱].

سایر موارد مطرح در حوادث فوق نداشتن نیروهای آتش‌نشانی مختص خود سایت، نزدیک بودن سایت به سایر سایت‌ها، کند بودن نیروهای آتش‌نشانی، تأخیر در رسیدن نیروهای آتش‌نشانی به دلیل ترافیک‌های شهری و یا به وجود آمدن انواع موانع، صلبیت اتصالات بین لوله‌ها و تجهیزات از جمله موارد مطرح در زمان وقوع زلزله بودند [۳۰].

۲-۵- نتایج حاصل از تحلیل ۷۹ حادثه طبیعی لرزه‌ای

کراسمن و همکاران در سال ۲۰۱۱ پس از تحلیل ۷۹ رویداد لرزه‌ای که منجر به حادثه طبیعی شده بود نتایجی را به‌صورت کلی ترسیم نمودند. طبق مشاهدات آنها، حدود ۳۳ درصد تانک‌های ذخیره دارای آسیب‌پذیری قابل توجهی به رویدادهای لرزه‌ای می‌باشند و جالب توجه آنکه در بسیاری از حوادث تانک تحلیل شده، چندین تجهیز مشابه از یک نوع دچار آسیب یا خرابی کامل در یک رویداد لرزه‌ای شده‌اند [۳۴]. جهت انجام بررسی دقیق‌تر ایشان سه نوع آزادسازی یا از دست رفت مواد را مورد بررسی قرار دادند (کم، زیاد و فاجعه‌بار). نتایج تحلیل نشان می‌دهد که از میان تانک‌های دچار آسیب‌دیدگی منجر به آزادسازی مواد خطرناک، تنها ۳٪ آنها آزادسازی کمی به همراه داشتند و ۳۵٪ دچار آزادسازی زیاد و ۶۲٪ دارای آزادسازی فاجعه‌بار بودند. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که ۷۶٪ موارد منجر به آزادسازی مواد خطرناک همراه با آتش‌سوزی و احتراق می‌باشد. با توجه به آموخته‌های ناشی از تحلیل حوادث مذکور ایشان امکان بالای آماده نبودن نیروهای آتش‌نشانی و خدمات رسان خارج از کارخانه به دلیل نیاز به کمک به سایرین به دلیل درگیر شدن تبعات ناشی از وقوع زلزله، و امکان عدم در دسترس بودن منابع مورد نیاز امدادرسانی خارج از سایت و شریان‌های حیاتی به دلایل مختلف از جمله خرابی ناشی از زلزله یا خاموش شدن خودکار ناشی از فعال شدن سیستم‌های هشدار و پاسخ سریع را گوشزد نمودند و در نظر نگرفتن این موارد در هنگام برنامه‌ریزی برای کاهش تبعات ناشی از حادثه را اگر غیرممکن نباشد بسیار دشوار دانستند.

طبق نتایج فوق توصیه شده است کارخانه‌ها نسبت به تأمین منابع شریان‌های حیاتی مورد نیاز به‌صورت داخلی جهت غلبه بر تبعات ناشی از حوادث روی داده اقدام نمایند.

۲-۶- آموخته‌های کلی

مشاهده می‌شود که اثرات رویدادهای طبیعی به‌ویژه زلزله‌ها بر روی محیط اطراف اثر بسیار زیادی بر روی تأثیر کلی یک زلزله دارد. به‌طور مثال فعالیت یک گسل سطحی می‌تواند باعث پارگی زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی منطقه گردد و حتی اثرات محلی همچون ریزش ساختمان‌ها یا صخره‌ها بر روی جاده‌ها و ساختمان‌ها و... می‌تواند تأثیر بسیار زیادی نه‌تنها به‌صورت خرابی بلکه بر روی پاسخ و واکنش اضطراری به شرایط موجود گردد؛ بنابراین به‌وضوح تعیین و شناسایی نواحی دارای بیشترین استعداد آسیب‌پذیری به وقوع زلزله‌ها جهت بررسی و مشخص کردن اقدامات کاهنده اثرات ناگوار بسیار ضروری می‌باشد [۳۶].

در برنامه‌ریزی برای رسیدگی به شرایط اضطراری در طول رویداد طبیعی باید انتشارهای متعدد و هم‌زمان از قسمت‌های مختلف کارخانه، در دسترس نبودن ابزار مانند حس‌گرها، زنگ هشدارها، تجهیزات ایمنی مانند دریچه‌های ایمنی، تجهیزات آتش‌نشانی، فلرها و شریان‌های حیاتی داخلی و خارجی کارخانه لحاظ شده باشد همچنین باید قطع شدن ارتباط با نیروهای امداد خارجی، کمبود بالقوه کارکنان آموزش‌دیده و رعب و وحشت کارکنان که منجر به عدم انجام اقدامات حفاظتی در سطح کارخانه می‌شود [۴۰]، در نظر گرفته شود. همچنین زمانی که مواد سمی، قابل

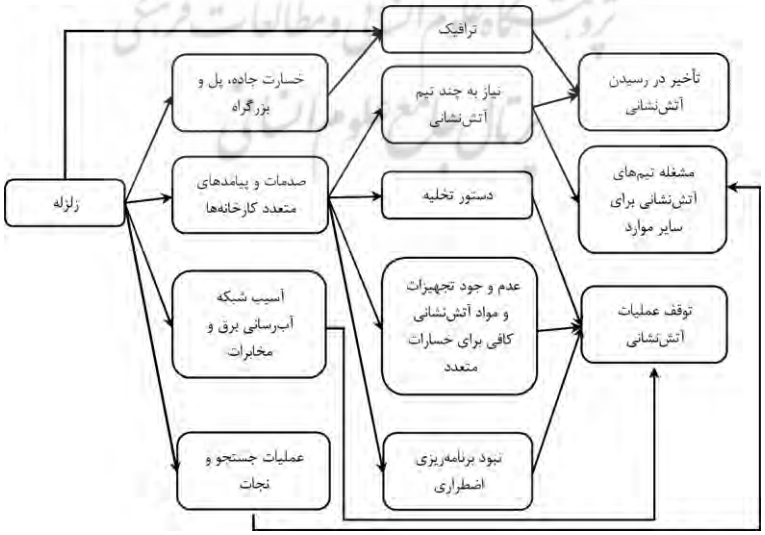
اشتعال یا مواد منفجره نیروهای امدادرسانان را در معرض خطر قرار دهد، واکنش اضطراری به قربانیان بلایای طبیعی مختل می‌شود. در این شرایط اهداف متضاد مدیریت اضطراری مانند انجام عملیات جستجو و نجات و درعین‌حال اجبار به تخلیه به دلیل انتشار مواد خطرناک باید لحاظ شود [۴۱].

به‌طورکلی، در این حوادث به دلیل لزوم مهار انتشار مواد خطرناک احتمالی متعدد و هم‌زمان هنگامی‌که نیروهای امدادی درگیر نجات شهروندان از پیامدهای بلایای طبیعی هستند، چالشی جدید را ایجاد می‌کند. این وضعیت معمولاً با کاهش یا قطع شریان حیاتی (آب، برق، ارتباطات) که برای کاهش پیامدهای یک حادثه لازم است، پیچیده‌تر می‌شود. تحلیل حوادث متعدد گذشته نشان می‌دهد که در هنگام تدوین برنامه‌های اضطراری، تأثیر بلایای طبیعی بر زیرساخت‌های محل مانند آب و برق، جاده‌ها، خطوط ارتباطی و همچنین بر ساکنان مانند عدم امکان تخلیه یا سرپناه در محل، مورد توجه قرار نگرفته است [۴۲]. به‌عنوان‌مثال، در دسترس نبودن سیستم‌های اطفای حریق در بسیاری از زلزله‌ها مشاهده شد (*Tohoku ، Kocaeli*).

واکنش اضطراری به حوادث طبیعی در بسیاری از موارد به دلیل تخریب یا مسدود شدن راه‌های دسترسی، کمبود امکانات و یا تخلیه اجباری تیم‌های خدمت‌رسان به دلیل انتشار سموم با مشکل مواجه شد. علاوه بر این، نیروی‌های امداد با چندین حادثه طبیعی بزرگ روبرو شدند که یا اثرات دومینویی به همراه داشتند یا در ریسک انتشار حادثه به تجهیزات مجاور قرار داشتند، بنابراین احتمال تبعات ثانویه شدید افزایش می‌یافت [۲۶].

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که تانک‌های ذخیره (به‌ویژه تانک‌های با سقف شناور) دارای آسیب‌پذیری بسیاری نسبت به زلزله‌ها و سیل و رعدوبرق می‌باشند [۳۷]. این حساسیت بالای تانک‌های ذخیره به مخاطرات طبیعی سبب می‌شود که حوادث طبیعی شامل رهاسازی هم‌زمان چندین منبع مواد خطرناک، و آتش‌سوزی و انفجار و تشدید اثرات ثانویه در کارخانه‌ها و صنایع نفت و گاز مورد انتظار باشد. تجهیزاتی که در برابر مخاطرات طبیعی تحت طراحی مناسبی برای آنها ساخته شده‌اند عملکرد بسیار بهتری دارند اما جاهایی که معیارهای طراحی به‌صورت ناکافی در نظر گرفته شده یا اصلاً در نظر گرفته نشده است شاهد خرابی‌های شدید و حتی فاجعه‌بار بوده‌ایم و در بیشتر حوادث طبیعی ضعف طراحی سازه‌ای باعث بروز این حوادث شناخته شده است و در کنار آن نبود آمادگی و ضوابط ایمنی مناسب با شرایط مذکور و نداشتن راهنمایی مناسب برای این موضوع از عوامل اصلی حوادث مذکور می‌باشد [۳۸].

مطابق با مرور صورت گرفته، تصویر ۱ انواع مشکلات، موانع و سناریوهای به وجود آمده در پاسخگویی تیم‌های واکنش اضطراری به‌ترتیب هر رویداد را نشان می‌دهد.



تصویر ۱- دلایل و ترتیب عدم خدمت‌رسانی تیم‌های پاسخ به شرایط اضطراری در هنگام وقوع زلزله.

۳- روش پژوهش

آسیب‌پذیری در برابر حوادث طبیعی به عواملی همچون محل قرارگیری گسل‌ها و کارخانه‌ها، وضعیت زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی و وضعیت مدیریت بحران بستگی دارد. با بررسی موارد عنوان شده می‌توان یک بررسی کیفی از آسیب‌پذیری منطقه در برابر حوادث طبیعی انجام داد.

۳-۱- مورد پژوهش

در این پژوهش شهر تهران به‌عنوان مورد پژوهش انتخاب شده است. این شهر با توجه به وجود کارخانه‌های متعدد در اطراف خود مستعد وقوع حوادث طبیعی می‌باشد.

۳-۲- خطر لرزه‌ای تهران و شناسایی گسل‌های مربوطه

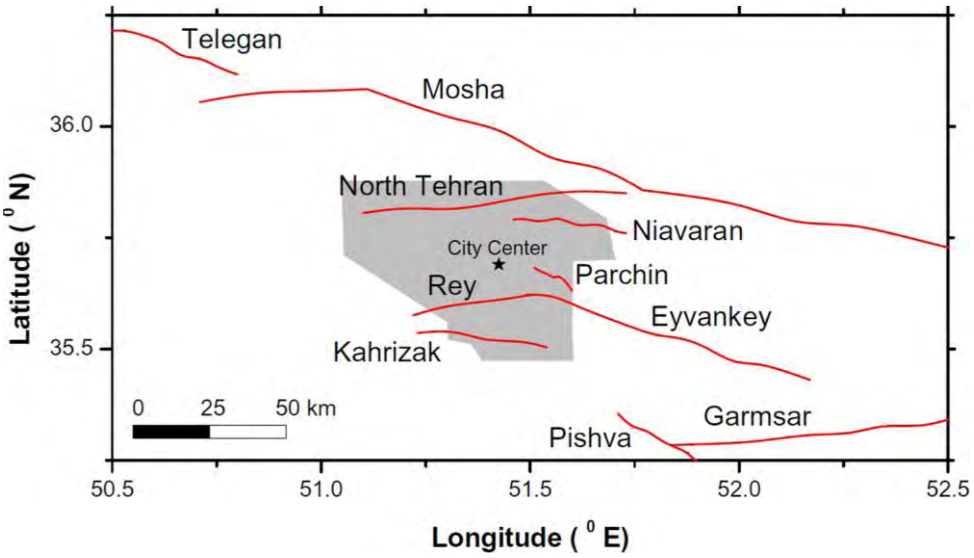
ایران به‌عنوان یکی از مناطق مستعد وقوع زلزله در جهان شناخته می‌شود و تجربه‌های زلزله‌های زیادی در گذشته را دارد و مطالعات زمین‌شناسی لرزه‌ای، لرزه‌خیزی بالای آن را نشان داده است [۴۵]. تهران شهری با جمعیت نزدیک به ۹ میلیون نفر یکی از پرجمعیت‌ترین کلان‌شهرهای خاورمیانه می‌باشد. تاریخچه منطقه نشان می‌دهد که زلزله‌های با بزرگای ۷ و یا بیشتر با دور بازگشت تقریبی حدود صد و پنجاه و هشت سال در این منطقه قابل وقوع می‌باشد [۴۹].

کلان‌شهر تهران به‌عنوان یکی از نواحی با خطر لرزه‌خیزی بالا به‌حساب می‌آید. دوره بازگشت زلزله‌های این ناحیه حدود ۱۵۰ سال تخمین زده شده است و با توجه به زمان وقوع آخرین زلزله (نزدیک به ۲۰۰ سال پیش) خطر لرزه‌ای بسیار بالایی برای این ناحیه تخمین زده می‌شود. اولین مطالعه عمیق در خصوص گسل‌های اطراف شهر تهران در سال ۱۹۸۳ در حدود چهل سال پیش صورت گرفت و در سال‌های اخیر این مطالعات به‌صورت جامع‌تری انجام شد. با مروری بر این مطالعات می‌توان تخمین زد که حدود ۹ گسل فعال در حومه این شهر قرار دارد. اعتقاد بر این است که شهری در موقعیت تهران فعلی به‌وسیله زلزله‌ای در قرن چهارم پس از میلاد مسیح به‌صورت کامل ویران شده است. جدول ۱خلاصه‌ای از گسل‌های فعال و زلزله‌های بزرگ رخ داده در اطراف تهران را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۲ گسل‌های فعال اطراف شهر تهران نمایش داده شده است و در شکل ۳ نمایی کامل‌تر از آنها ارائه شده است. مطالعات بسیاری در زمینه تهیه نقشه خطر لرزه‌ای شهر تهران صورت گرفته است و با توجه به عدم قطعیت‌های موجود بسیار در این حوزه نتایج متفاوتی برای آن در بازه‌های زمانی متفاوت ارائه شده است. اما در مطالعات آنچه تأکید بر آن صورت گرفته است مبنی بر عدم توسعه نواحی شهری و ساخت‌وسازها در نزدیکی گسل‌ها می‌باشد [۵۱].

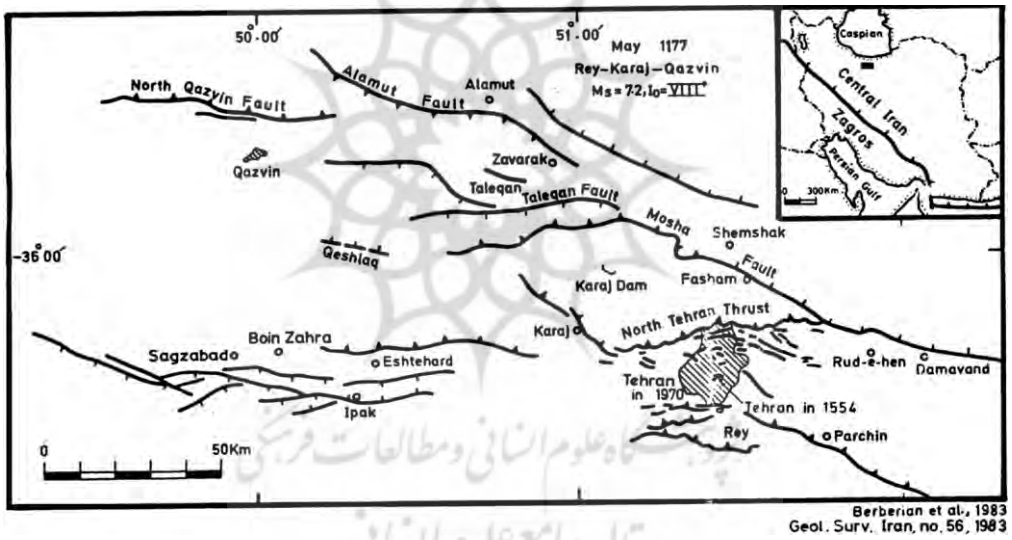
زارع و همکاران پس از شناسایی گسل‌های تأثیرگذار بر شهر تهران و با استفاده از روابط تجربی حداکثر بزرگی زلزله محتمل منابع لرزه‌ای را تخمین زدند که بیشترین بزرگی برابر با M_w = ۷/۷ مربوط به گسل مشاء و بعد از آن نیز برابر با ۷/۶ = M_w مربوط به گسل اشتهارد بود [۴۸]. طاهری و همکاران با انجام یک تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی نقشه توزیع شدت زلزله محتمل بر حسب شتاب حداکثر زمین PGA را برای شهر تهران محاسبه و منتشر نمودند [۴۹]. مقدار شدت زلزله شدید محتمل در برخی نقاط برابر با $PGA=0.8g$ توسط ایشان برآورد گردید. در مطالعه‌ای مستقل زارع و همکاران نیز برای ناحیه مد نظر و دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال به همان عدد رسیده‌اند [۵۰].

جدول ۱- گسل‌های مؤثر بر شهر تهران

Fault [1-5]	Type* [2, 3]	Fault Trace [2]	Length (km) [3, 4, 5]	Max. Mag. [3, 4, 5]	Historical major events [1, 2, 5]
North Tehran	Thrust	E-W	90	7.2	855, 1177
Mosha	Thrust	NW-SE, E-W	200	7.2	958, 1665, 1830
North and South Rey	Thrust	E-W	20	6.7	4th Century BC, 864
Kahrizak	Thrust	E-W	40	6.6	-
Niavaran	Thrust	E-W	13	6	-
Garmsar	Thrust	E-W	70	6.9	743
Pishva	Thrust	NW-SE	34	6.5	-
Taleqan	Thrust	NW-SE	95	7.7	958
Eyvankey and Parchin	Thrust	NW-SE	80	7.2	743



تصویر ۲- نقشه گسل‌های شهر تهران



تصویر ۳- گسل‌های شهر تهران

۳-۳- آسیب پذیری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی تهران

با توجه به تمرکز جمعیتی بسیار بالای شهر تهران و قرار گرفتن این شهر در دسته کلان‌شهرها و تمرکز مدیریت کلان کشور و ادارات مربوطه در این شهر و خطر لرزه‌ای زیاد این شهر، مطالعات آسیب‌پذیری لرزه‌ای بسیاری توسط محققین در بخش‌های مختلف صورت گرفته است. طی تحقیقی که توسط آشتیانی و همکاران در سال ۱۹۹۲ صورت گرفت [۴۵] سیستم آب سراسری را در برابر زلزله شدید پیش رو بسیار آسیب‌پذیر معرفی نمودند و مدت‌زمان بازگشت به شرایط عادی را چندین ماه پیش‌بینی نمودند. خرابی جاده‌ها و پل‌های درون‌شهری را نیز بسیار محتمل دانستند و خرابی منجر به تعطیلی چند هفته‌ای فرودگاه را پیش‌بینی نمودند و در انتها قطع شدن سیستم برق شهری به دلیل آسیب‌های فراوان ناشی از اثرات زلزله شدید را دارای احتمال بسیار زیاد دانستند و مدت‌زمان لازم برای

بازگشت سیستم به وضعیت قبل از وقوع زلزله را بیش از یک سال تخمین زدند. آیین‌نامه‌های ساخت شریان‌های حیاتی که متولیان مربوطه آنها وزارت‌خانه‌ها و ادارات دولتی و یا شهرداری‌ها می‌باشد برای کل کشور ایران یکسان بوده و پیش‌بینی‌های مذکور در زلزله شهر منجیل به فاصله ۲۰۰ کیلومتری از شهر تهران در ۲۰ ژوئن سال ۱۹۹۰ نیز مشاهده گردید. خرابی‌های گسترده در سیستم جاده‌ای و حمل‌ونقل که باعث اختلال بسیار شدید و قطع کامل عملیات نجات در منطقه شد و بازگشایی چندین روز بعد از زلزله به طول انجامید. به‌طور مشابه سیستم آب شهری بیش از ۷۰٪ دچار خرابی شد و منجر به قطعی شبکه آب شهر گردید. همچنین سیستم برق شهری بلافاصله بعد از وقوع زلزله به‌صورت کامل قطع و شهر به‌صورت کامل غرق در تاریکی گردید و بسیاری از سازه‌های مربوطه دچار خرابی‌های شدید شدند و به همین ترتیب سیستم مخابرات شهری نیز دچار قطعی کامل گردید و ۲۴ ساعت بعد از وقوع زلزله به‌صورت محدود برقرار شد [۵۰]. در مطالعه‌ای دیگر که به بررسی آسیب‌پذیری منطقه ۲۲ شهر تهران پرداخته شد، تمامی سیستم شریان‌های حیاتی در برابر زلزله محتمل شدید دارای آسیب‌پذیری بالایی تشخیص داده شدند و ترافیک بسیار سنگین برای منطقه مذکور را متصور شدند و عملیات جستجو و نجات برای منطقه مذکور را بسیار سخت و با تأخیر پیش‌بینی نمودند و در ساعات اولیه بعد از وقوع زلزله (زمان طلایی) توقف در عملیات را تخمین زدند [۵۱]. در پروژه‌ای که در سال ۲۰۱۶ توسط تیم مشترک تحقیقاتی از ایران و ژاپن در خصوص مدیریت فاجعه محتمل ناشی از وقوع زلزله صورت گرفت، خاموشی شهر به دلیل قطع شدن برق شهری، قطع شدن سیستم آب شهری و مخابرات به‌صورت کاملاً محتمل پیش‌بینی گردید و در سناریوهای مورد بررسی فروریزش ساختمان‌ها و وقوع آتش‌سوزی‌ها در این دسته از ساختمان‌ها و متعاقباً نیاز به خدمات اضطراری و کمک‌رسانی از آتش‌نشانی‌ها به‌عنوان سناریوهای با احتمال بسیار بالا مطرح شد. مسدود شدن جاده‌ها ناشی از فروریزش بسیاری از ساختمان‌ها و آسیب دیدن شهروندان بسیاری پیش‌بینی شده است. خرابی بسیاری از پل‌ها و تخمین ترافیک بسیار سنگین ناشی در بسیاری از مناطق و توقف حمل‌ونقل دیده شده است [۵۲].

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود مطالعات صورت گرفته و همچنین تاریخچه رویدادهای کشور نشان از احتمال بسیار بالا از خرابی‌های گسترده زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی شهر تهران را در صورت وقوع زلزله قوی محتمل دارد [۴۵، ۵۰-۵۲]. بدیهی است در این صورت دسترسی به سایر نقاط شهر، اطلاع‌رسانی، تخلیه و جابجایی ساکنین، استفاده از انواع تجهیزات کمکی مختل خواهد شد و واضح است که بازگشت موارد مذکور به بهره‌برداری اولیه زمان‌بر خواهد بود و در زمان طلایی نیاز به کمک‌رسانی هیچ‌گونه حسابی نمی‌توان به موارد اشاره شده داشت.

۳-۴- جانمایی کارخانه‌های نفتی و پالایشگاه‌های شهر تهران

جانمایی کارخانه‌های صنعتی به‌منظور پیشگیری یا کاهش خطرات طبیعی از اهمیت بالایی برخوردار است. با وجود قوانین موجود شهرداری در مورد ممنوعیت ساخت‌وساز در اطراف مناطق صنعتی و کارخانه‌ها، توسعه شهری به سمت کارخانه‌های صنعتی بوده و اکثر کارخانه‌های موجود در حاشیه تهران تقریباً درون شهر قرار گرفته‌اند [۵۴]. همچنین موقعیت سایر کارخانه‌های مطالعه شده نیز در تصویر ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۲- وقوع خرابی انواع زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی

Researcher	Water System	Power System	Telecommunication System	Bridges Damage	Road Interrupt	Traffic
Ashtiani	✓	✓	-	✓	✓	-
Rajayee	✓	✓	✓	-	✓	✓
Hosseini	✓	✓	✓	-	✓	✓
JICA	✓	✓	✓	✓	✓	✓

موقعیت کارخانه‌های نفتی و پالایشگاه‌های شهر تهران

موقعیت پالایشگاه شهر ازمیر ترکیه

پالایشگاه شهر چنگدو* (زلزله ونچان)

کارخانه حادثه دیده در زلزله و سونامی سال ۲۰۱۱ ژاپن

*موقعیت دقیق کارخانه در منابع مشخص نشده بود و موقعیت نشان داده شده با جستجو توسط مؤلفین تعیین شده است و احتمال خطا وجود دارد. شایان ذکر است عدم ارائه اطلاعات توسط دولت‌ها و مالکان در این حوزه مطالعاتی بسیار مرسوم است.

تصویر ۴- برخی از شهرهای مورد مطالعه به همراه کارخانه‌های دچار آسیب (به‌استثنای شهر تهران).

با مقایسه موقعیت کارخانه‌های دچار آسیب در رویدادهای گذشته و موقعیت کارخانه‌های مشابه در شهر تهران می‌توان مشاهده نمود که نزدیکی کارخانه‌ها به شهرها یکی از دلایل تشدید اثرات این دسته از حوادث بوده و در شهر تهران نیز به‌وضوح مجاورت کارخانه‌های مورد بحث به شهر مشهود است.

همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌گردد مجاورت دو پالایشگاه آسیب‌دیده ترکیه و ژاپن با دریا از مزایای کارخانه‌های مذکور جهت کمک‌رسانی توسط تیم‌های آبی و استفاده ظرفیت آبی موجود می‌باشد و در تشریح حوادث به استفاده از این ظرفیت اشاره شده است و این در حالی است که این موضوع در مورد شهر تهران صدق نمی‌کند.

۳-۵- بررسی مدیریت بحران و موانع آن در رویداد طبیعی لرزه‌ای در شهر تهران

در تصویر ۱ انواع مسیرها و سناریوهای تجربه شده در خصوص مشکلات و موانع پاسخ به شرایط اضطراری نمایش داده شد. با توجه به ارزیابی صورت گرفته در بخش‌های قبل هم‌اکنون می‌توان به ارزیابی کیفی سناریوها و شرایط مذکور در شهر تهران پرداخت. لذا، در ادامه به بررسی تمامی بخش‌های اشاره شده در تصویر ۱ و ارزیابی هر یک از آنها با سایر بررسی‌های صورت گرفته پرداخته می‌شود.

در اولین مرحله بعد از وقوع زلزله قوی خرابی جاده‌ها، پل‌ها و بزرگ‌راه‌ها در تجربیات قبلی مشاهده شده است. این خرابی‌ها منجر به وقوع ترافیک و تأخیر در رسیدن تیم‌های پاسخ به شرایط اضطراری به محل‌های نیازمند به امداد می‌گردد. مطالعات بررسی شده قبلی نیز نشان از احتمال بالای خرابی مسیرها و جاده‌ها و پل‌ها شهر داشته و متعاقباً رسیدن بدون تأخیر نیروهای پاسخ به شرایط اضطراری از سایر نقاط شهری یا خارج شهر به محل حادثه دارای احتمال پایینی است.

قطع برق شهری و سیستم آب شهری و شبکه مخابرات

نیز در تمامی مطالعات صورت گرفته، در زمان وقوع زلزله قوی پیش‌بینی شده است و این مسئله سبب می‌گردد تا تیم‌های پاسخ به شرایط اضطراری برای انجام بسیاری از عملیات مربوط به مهار حریق و یا پیشگیری از توسعه حریق و سایر رویدادهای فیزیکی دچار مشکلات عدیده مشابه با آموخته‌های سایر رویدادهای مشابه گردند.

تلفات و صدمات بالای انسانی نیز در زمان وقوع زلزله قوی شهر تهران کاملاً قابل انتظار می‌باشد و لزوم رسیدگی و پاسخ سریع در زمان طلایی کاملاً مشهود می‌باشد. بدیهی است تراکم بالای جمعیتی شهر تهران سبب نیاز به تعداد بسیاری از تیم‌های پاسخ به این شرایط می‌باشد و این مسئله سبب می‌گردد تا رسیدگی به رویدادهای طبیعی به دلیل مشغله تیم‌های رسیدگی مذکور به تأخیر بیافتد و یا از آن چشم‌پوشی شود.

احتمال وقوع چندین حادثه و اثرات دومینویی با توجه به قدمت بالای کارخانه‌ها و صنایع نفت و گاز شهر تهران بسیار محتمل می‌باشد و چنین حادثه‌ای می‌تواند منجر به نیاز به چندین تیم پاسخ به شرایط اضطراری گردد که عملاً با توجه به عوامل ذکر شده قبلی تقریباً می‌توان گفت این مسئله میسر نیست. همچنین احتمال دستور تخلیه منطقه به دلیل شدت حادثه در این حالت بسیار بالاست و عملاً امدادرسانی و رسیدگی به وضع موجود میسر نمی‌شود.

مشاهده می‌گردد که شکل‌گیری تمامی سناریوهای مربوط به مشکلات و موانع موجود بر مسیر تیم‌های پاسخ به شرایط اضطراری در شهر تهران در زمان وقوع زلزله قوی نیز بسیار محتمل می‌باشد. مشاهده می‌شود که موانع و مشکلات به‌گونه‌ای می‌باشد که تنها با افزایش تعداد تیم‌های پاسخ به شرایط اضطراری نمی‌توان این مشکلات را مرتفع نمود. از دست رفتن زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی، خرابی مسیرها و جاده‌ها و ترافیک شهری همگی کارایی و عملکرد حتی تعداد زیاد تیم‌های مذکور را مختل و یا غیرممکن می‌سازد.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله بسیاری از رویدادهای طبیعی لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفت و مشکلات و معضلات موجود برای رسیدگی نیروهای پاسخ به شرایط اضطراری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. انواع خرابی‌ها و موانع خدمت‌رسانی در زمان وقوع فاجعه لرزه‌ای دسته‌بندی گردید. با مروری بر مطالعات صورت گرفته در خصوص آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی و مسیرهای دسترسی، تأکید بر احتمال بالای عدم دسترسی به آنها مشاهده شد.

همچنین با بررسی موقعیت کارخانه‌ها و مجاورت و نزدیکی آنها به مناطق مسکونی، سایر موارد همچون افزایش احتمال مرگ‌ومیر ناشی از رویدادهای طبیعی و نیاز به دستور تخلیه فوری شهری نیز بسیار محتمل است.

بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تمامی موارد دسته‌بندی‌شده در خصوص مشکلات پاسخگویی به شرایط اضطراری برای شهر تهران برقرار می‌باشد و لازم است با درس‌آموزی از رویدادهای گذشته، نسبت به اتخاذ تصمیم برای مدیریت و برنامه‌ریزی جهت پیشگیری از این شرایط اقدام نمود. انجام مطالعات کمی ارزیابی ریسک طبیعی لرزه‌ای جهت شناسایی انواع سناریوهای محتمل و مقدار ریسک هرکدام، شناسایی عوامل آسیب‌پذیر خارج از محدوده کارخانه‌ها، مرور انواع رویدادهای طبیعی رخ داده در سایر کشورها توسط تیم‌های ایمنی کارخانه‌ها و پیاده‌سازی تمهیداتی حتی‌المقدور خودکار و درون کارخانه جهت پیشگیری از وقوع رویداد مشابه از جمله مواردی است که در سایر کشورها در دستور کار قرار دارد. همچنین توسعه برنامه‌های مدیریت بحران، ساخت زیرساخت‌های مقاوم در برابر زلزله، ایجاد مناطق تخلیه اضطراری، آموزش نیروهای امداد و شهروندان در مورد نحوه واکنش در هنگام وقوع حوادث طبیعی از جمله اقداماتی می‌باشد که برای کاهش خطر حوادث طبیعی باید در دستور کار قرار گیرد. همچنین برنامه‌های کاهش خطر باید به‌صورت مداوم ارزیابی و به‌روز شود.

۵- مراجع

[1] S. Damle, S.K. Mani, and G. Balamurugan, "Natech guide words: A new approach to assess and manage natech risk to ensure business continuity," J Loss Prev Process Ind, p. 104564, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.jlp.2021.104564.

[2] A.M. Cruz, "Natech disasters: a review of practices, lessons learned and future research needs," 5th Annual IIASA-DPRI Forum, pp. 14–18, 2005, [Online]. Available: Cruz 2005 - Natech disasters.pdf

[3] N. Santella, L.J. Steinberg, and G.A. Aguirra, "Empirical Estimation of the Conditional Probability of Natech Events Within the United States," Risk Analysis, vol. 31, no. 6, pp. 951–968, Jun. 2011, doi: 10.1111/j.1539-6924.2010.01561.x.

[4] E. Krausmann and A.M. Cruz, "Impact of the 11 March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry," Natural Hazards, vol. 67, no. 2, pp. 811–828, 2013, doi: 10.1007/s11069-013-0607-0.

[5] A.M. Cruz and L.J. Steinberg, "Industry preparedness for earthquakes and earthquake-triggered hazmat accidents in the 1999 Kocaeli earthquake," Earthquake Spectra, vol. 21, no. 2, pp. 285–303, 2005, doi: 10.1193/1.1889442.

[6] S.P.G. Madabhushi, S.K. Haigh, Earthquake Engineering Field Investigation Team (Great Britain), and Institution of Structural Engineers (Great Britain), The Bhuj, India, earthquake of 26th January 2001 : a field report by EEFIT. Earthquake Engineering Field Investigation Team, 2005.

[7] K.R.D.S. Nascimento and M.H. Alencar, "Management of risks in natural disasters: A systematic review of the literature on NATECH events," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 44. Elsevier Ltd, pp. 347–359, Nov. 01, 2016. doi: 10.1016/j.jlp.2016.10.003.

[8] E. Krausmann, A.M. Cruz, and E. Salzano, Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations. 2017.

[9] A.M. Cruz and E. Krausmann, "Hazardous-materials releases from offshore oil and gas facilities and emergency response following Hurricanes Katrina and Rita," J Loss Prev Process Ind, vol. 22, no. 1, pp. 59–65, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.jlp.2008.08.007.

[10] S. Girgin and E. Krausmann, "Historical analysis of U.S. onshore hazardous liquid pipeline accidents triggered by natural hazards," J Loss Prev Process Ind, vol. 40, 2016, doi: 10.1016/j.jlp.2016.02.008.

[11] E. Krausmann and A.M. Cruz, "Impact of the 11 March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry," Natural Hazards 2013 67:2, vol. 67, no. 2, pp. 811–828, Feb. 2013, doi: 10.1007/S11069-013-0607-0.

[12] L.J. Steinberg and A.M. Cruz, "Cascading Events Following Major Hazardous Materials Releases During the August 17, 1999 Earthquake in Turkey," Tentatively accepted for publication in Risk Analysis, 2005.

[13] L.J. Steinberg and A.M. Cruz, "When Natural and Technological Disasters Collide: Lessons from the Turkey Earthquake of August 17, 1999," Nat Hazards Rev, vol. 5, no. 3, pp. 121–130, Aug. 2004, doi: 10.1061/(asce)1527-6988(2004)5:3(121).

[14] S. Girgin, "The natech events during the 17 August 1999 Kocaeli earthquake: Aftermath and lessons learned," Natural Hazards and Earth System Science, vol. 11, no. 4, pp. 1129–1140, 2011, doi:

10.5194/nhess-11-1129-2011.

[15] E. Krausmann and A.M. Cruz, “Past Natech Events,” Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations, pp. 3–31, Jan. 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-803807-9.00002-4.

[16] A.M. Cruz and L.J. Steinberg, “Industry preparedness for earthquakes and earthquake-triggered hazmat accidents in the 1999 Kocaeli earthquake,” Earthquake Spectra, vol. 21, no. 2, pp. 285–303, Dec. 2005, doi: 10.1193/1.1889442.

[17] W.G. Byers et al., “Performance of Transportation Systems after the 1999 Kocaeli Earthquake,” Earthquake Spectra, vol. 16, no. 1_suppl, pp. 403–410, Dec. 2000, doi: 10.1193/1.1586161.

[18] B. Zhao, F. Taucer, and T. Rossetto, “Field investigation on the performance of building structures during the 12 May 2008 Wenchuan earthquake in China,” Eng Struct, vol. 31, no. 8, pp. 1707–1723, Aug. 2009, doi: 10.1016/j.engstruct.2009.02.039.

[19] E. Krausmann, A.M. Cruz, and B. Affeltranger, “Natech Accidents at Industrial Facilities - the Case of the Wenchuan Earthquake,” New Perspectives on Risk Analysis and Crisis Response, pp. 53-+, 2009.

[20] Z. Wang, “A preliminary report on the Great Wenchuan Earthquake,” Earthquake Engineering and Engineering Vibration, vol. 7, no. 2, pp. 225–234, Jun. 2008, doi: 10.1007/s11803-008-0856-1.

[21] E. Krausmann, A.M. Cruz, and B. Affeltranger, “The impact of the 12 May 2008 Wenchuan earthquake on industrial facilities,” J Loss Prev Process Ind, vol. 23, no. 2, pp. 242–248, 2010, doi: 10.1016/j.jlp.2009.10.004.

[22] C.-C. J. Lin, H.-H. Hung, K.-Y. Liu, and J.-F. Chai, “Reconnaissance Report of 0512 China Wenchuan Earthquake on Bridges.”

[23] M. Free et al., “The Wenchuan, China earthquake of 12 May 2008 a preliminary field report by EEFIT,” no. May, p. 14, 2008.

[24] EERI Special Earthquake Report, “Chilie 8.8 Mw Earthquake 27 Feb 2010-2”.

[25] M. Rahnama, “The 2010 Maule, Chile Earthquake: Lessons and Future Challenges.”

[26] F. Zareian et al., “Reconnaissance report of chilean industrial facilities affected by the 2010 chile offshore Bío-Bío earthquake,” Earthquake Spectra, vol. 28, no. SUPPL.1, 2012, doi: 10.1193/1.4000049.

[27] “Project title GMES Services for Management of Operations, Situation Awareness and Intelligence for regional Crises Thematic Priority PRIORITY 4 AERONAUTICS & SPACE-SPACE 2005 FP6-2005-Space-1 / GMES Security,” 2010. [Online]. Available: www.gmosaic.eu

[28] K. Irikura, “Features of the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami,” Report of JSME Research Committee on the Great East Japan Earthquake Disaster, no. May, pp. 9–13, 2014.

[29] Hirotaka akatsuka and H. Kobayashi, “Fire of petroleum tank, Nigita Earthquake,” Jun. 2006.

[30] E. Krausmann and A.M. Cruz, “Impact of the 11 March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry,” Natural Hazards, vol. 67, no. 2, pp. 811–828, Jun. 2013, doi: 10.1007/s11069-013-0607-0.

[31] R. Dobashi, “Fire and explosion disasters occurred due to the Great East Japan Earthquake (March 11, 2011),” J Loss Prev Process Ind, vol. 31, no. 1, pp. 121–126, 2014, doi: 10.1016/j.jlp.2014.03.001.

[32] C. Oil, “Overview of the Fire and Explosion at Chiba Refinery, the Cause of the Accident and the Action Plan to Prevent Recurrence. Press Release 2 August 2011,” https://ceh.cosmo-oil.co.jp/eng/press/110802/index.html, 2012.

[33] H.Y. & Y.S. Zama, H. Nishi, K. Hatayama, M. Yamada and Ogawa, “On Damage of Oil Storage Tanks due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0), Japan,” in Third International Conference on Solid State Lasers for Application to Inertial Confinement Fusion, W. H. Lowdermilk, Ed., Jul. 2012.

[34] A. Chakraborty, A. Ibrahim, and A.M. Cruz, “A study of accident investigation methodologies applied to the Natech events during the 2011 Great East Japan earthquake,” J Loss Prev Process Ind, vol. 51, pp. 208–222, 2018, doi: 10.1016/j.jlp.2018.01.003.

[35] E. Krausmann, A.M. Cruz, and E. Salzano, Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations. 2017.

[36] E. Krausmann and A.M. Cruz, “Natech risk management in Japan after Fukushima – What have we learned ?,” Loss Prevention Bulletin, no. February, pp. 10–14, 2021.

[37] E. Krausmann, A. Necci, and S. Girgin, “Natech emergency management-rising to the challenge.,” Loss Prevention Bulletin, no. 254, 2017.

[38] E. Krausmann, E. Renni, M. Campedel, and V. Cozzani, “Industrial accidents triggered by earthquakes, floods and lightning: Lessons learned from a database analysis,” Natural Hazards, vol. 59, no. 1, pp. 285–300, 2011, doi: 10.1007/s11069-011-9754-3.

[39] European Environment Agency., Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe : an overview of the last decade. The Agency, 2010.

[40] L.J. Steinberg and A.M. Cruz, “When Natural and Technological Disasters Collide: Lessons from the Turkey Earthquake of August 17, 1999,” Nat Hazards Rev, vol. 5, no. 3, pp. 121–130, Aug. 2004, doi: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2004)5:3(121).

[41] S. Girgin, “The natech events during the 17 August 1999 Kocaeli earthquake: aftermath and lessons learned,” Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 11, no. 4, pp. 1129–1140, Apr. 2011, doi: 10.5194/nhess-11-1129-2011.

[42] A. Necci, E. Krausmann, and S. Girgin, “Emergency planning and response for Natech accidents,” Towards an all-hazard approach to emergency preparedness and response--Lessons learnt from non-nuclear events, OECD NEA, no. 7308, 2018.

[43] E. Krausmann, E. Renni, M. Campedel, and V. Cozzani, “Industrial accidents triggered by earthquakes, floods and lightning: lessons learned from a database analysis,” Natural Hazards 2011 59:1, vol. 59, no. 1, pp. 285–300, Feb. 2011, doi: 10.1007/S11069-011-9754-3.

[44] E. Krausmann and E. Salzano, “Lessons Learned From Natech Events,” Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations, pp. 33–52, Jan. 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-803807-9.00003-6.

[45] M. Ghafoty-Ashtiany, S. Eshghi, and M. Qureshi, Proceedings of the Tenth World Conference on

Earthquake Engineering : 19-24 July 1992, Madrid, Spain. A.A. Balkema, 1992.

[46] F. Nateghi-A, “1676 1 President, Manategh Consulting Engineers.”

[47] J.P. Wang and H. Taheri, “Seismic Hazard Assessment of the Tehran Region,” Nat Hazards Rev, vol. 15, no. 2, pp. 121–127, May 2014, doi: 10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000123.

[48] F. Kamranzad, H. Memarian, and M. Zare, “Earthquake Risk Assessment for Tehran, Iran,” ISPRS Int J Geoinf, vol. 9, no. 7, Jul. 2020, doi: 10.3390/ijgi9070430.

[49] J.P. Wang and H. Taheri, “Seismic Hazard Assessment of the Tehran Region,” Nat Hazards Rev, vol. 15, no. 2, pp. 121–127, May 2014, doi: 10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000123.

[50] M. Zare, “Seismic Hazard Zoning in Iran: A State-of-the-Art on the Studies during Four Decades,” 2017. [Online]. Available: www.jseeonline.com

[51] S. Takada and H. Rjaee, “Vulnerability assessment to improve earthquake protection and serviceability of urban infrastructure,” 1999.

[52] M. Hosseini and H. Labibi, “Lifelines Interaction Effects on Seismic Vulnerability of Urban Environments Case Study: a Selected District of Tehran Metropolis,” in International Institute of Engineers (IIE) July 9-10, 2015 Singapore, International Institute of Engineers, Jul. 2015. doi: 10.15242/IIE.E0715022.

[53] Japan International Cooperation Agency, “The Project for Capacity Building for Earthquake Risk Reduction and Disaster Management in Tehran in the Islamic Republic of Iran Project Completion Report,” 2016. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: https://www.jica.go.jp/iran/english/activities/activity09.html

[۵۴] ا. رهایی (۲۰۱۳) "کارخانه‌های صنعتی تهران و اثرات کالبدی آنها بر گسترش شهری. نمونه موردی: پالایشگاه تهران و منطقه مسکونی باقرشهر". معماری و شهرسازی پایدار، سال اول شماره اول، ۵۵-۶۶ [Online]. Available: https://jsaud.sru.ac.ir/article_183.html

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نشریه علمی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

Qualitative Assessment of Emergency Response Condition during Seismic Natech Events for Tehran City

Bijan Sayyafzadeh[1]; Saeedeh Koohestani[2]; Abdolreza Sarvghad Moghadam[3]; Mahdi Sharifi [4*]

1. Ph.D. Candidate, Department of civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, University of Qom, Qom, Iran
2. Ph.D. Student, Department of civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, University of Qom, Qom, Iran
3. Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquakes Engineering and Seismology (IIEES)
4. Assistant Professor, Department of civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, University of Qom, Qom, Iran, (Corresponding Author)

Abstract:

Recent decades with the birth and growth of the world's industries have witnessed the destructive effects of severe natural events on industrial plants and the consequences and events caused by natural events have drawn a lot of attention to this emerging category of technological events caused by natural events (NaTech). Lack of preparation to face this class of events and confusion to make decisions in providing the appropriate response to the existing conditions by macro decision-makers and emergency response forces and the public have always been observed. Various reasons can be mentioned for it, including the multidisciplinary nature of the subject, the emerging and low statistics of these events, the insufficiency of specialized information, and the adoption of approaches similar to process events. Types of damage to infrastructures and lifelines due to the occurrence of natural events are prominent cases and there are many problems and obstacles in responding to the circumstances of the event. In this article, the investigation of natural seismic events in other countries is discussed and after reviewing the description of the events, the response situation in emergency situations has been investigated and categorized. Using other studies, the status of lifelines and infrastructures is investigated; the response status to emergency situations in the event of a possible natural seismic event in Tehran is discussed.

Key Words: Earthquake, Natural hazards, Qualitative assessment, Seismic risk, Oil and gas industrie.

* Corresponding author: ***m.sharifi@qom.ac.ir***