نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢

صفحات ١٨٣ – ٢٠٨

بررسی کیفی اثر مخاطرات طبیعی بر وضعیت کارخانه‌های صنعتی با تاکید بر صنایع نفت و گاز

سعیده کوهستانی؛ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.

بیژن سیاف زاده؛ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.

عبدالرضا سروقد مقدم؛ دانشیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، تهران، ایران.

مهدی شریفی[1]؛ استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۱/۱۱/۰۷ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۹/۱۴

چکیده

با افزایش تعداد کارخانه‌های فرآیندی به دلیل نیاز جوامع بشری به محصولات این کارخانه‌ها، دسته جدیدی از حوادث ناشی از انواع خرابی‌های رویداده در آنها و تاثیر مخرب این رویدادها بر روی جوامع و محیط زیست و اقتصاد مشاهده شده است. افزایش حوادث ناشی از تاثیر مخاطرات طبیعی بر روی صنایع و تحمیل هزینه بسیار به جوامع و دولت‌ها و آسیب‌پذیری بالای صنایع مذکور و نواحی شهری به این دسته از رویدادها، نیاز به توجه به این دسته از رویدادها را بیشتر نمود. با این حال همچنان در بسیاری از مناطق دنیا به این موضوع آنچنان که باید پرداخته نشده است و همچنان با این دیدگاه که احتمال وقوع این قبیل حوادث بسیار ناچیز می‌باشد از پرداختن به آن و همچنین تعریف و پذیرش مسئولیت در برابر آن شانه خالی می‌شود و این درحالیست که فراوانی و توسعه روزافزون این رویدادها نشان داده شده است. در این مقاله با اتکا به آمارهای موجود به ارزیابی و مقایسه تبعات مخاطرات طبیعی منجر به رویداهای طبیعی پرداخته می‌شود. منظور از رویدادهای طبیعی، حوادث فناورانه ناشی از مخاطرات طبیعی می‌باشد که به عنوان رویدادهایی با پیامد بالا و احتمال پایین در نظر گرفته می‌شوند و می‌توانند یک ناحیه وسیع را تحت تاثیر قرار دهند و منجر به حوادث بزرگ و زنجیره وار شوند. بعد از معرفی و دسته بندی رویدادهای طبیعی، مقایسه‌ای از توزیع و تبعات این رویدادها در ایران و جهان بر اساس مقالات و تحقیقات موجود صورت پذیرفته است. این تحقیقات نشان می‌دهد که بر خلاف مخاطرات طبیعی به رویدادهای طبیعی در کشور توجه لازم نشده است. این در حالیست که هم تنوع کارخانه‌ها و سازه‌های صنعتی در ایران بسیار زیاد است که شرایط موجود و نیز روال تعمیر و نگهداری آنها مناسب نیست و هم بررسی آمار جمع آوری شده در این تحقیق نشانگر پتانسیل بالای وقوع حوادث فناورانه در کشور می‌باشد. در نهایت برای گام اول در راستای افزایش سطح آمادگی برای رویدادهای طبیعی مرور تجارب موثر جهانی توصیه می‌شود. شناسایی و دسته بندی این صنایع، تدوین اطلاعاتی که در گزارشات ایمنی آنها باید وجود داشته باشد و نیز بررسی سناریوها و لحاظ کردن اثر دومینویی پیشنهاد شده و توصیه‌هایی در این راستا مدون شده است.

واژه های کلیدی: ارزیابی کیفی، مخاطرات طبیعی، حوادث فناورانه، رویدادهای طبیعی.

[1] نویسنده مسئول: Email: m.sharifi@qom.ac.ir

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

مقدمه

در سال ۱۹۸۹ مجمع عمومی سازمان ملل متحد پیامدهای فاجعه بار بلایای مرتبط با مخاطرات‌های طبیعی بر روی جوامع انسانی را به رسمیت شناخت (Annen and Wagner 2003). مخاطرات طبیعی در کارخانه‌های صنعتی اغلب سیستم‌های تکنولوژیکی را تحت‌تاثیر قرار می‌دهند و موجب بروز اختلال در عملیات معمول مانند خرابی تجهیزات، قطع فرآیند و متعاقبا بروز حوادث می‌شوند. حوادث فناورانه‌ای که تحت مخاطرات طبیعی ایجاد می‌شوند در ادبیات فنی مربوطه NaTech[۲] نامیده شده است که در این مقاله آن را با نام حوادث یا رویدادهای طبیعی (ترکیب واژه طبیعی و فناورانه) نامگذاری می‌نماییم. حوادث طبیعی به عنوان رویدادهایی با پیامد بالا و احتمال پایین در نظر گرفته می‌شوند (Cozzani et al. 2014) و می‌توانند یک ناحیه گسترده را تحت تاثیر قرار دهند و پیامدهایی در مقیاس بزرگ داشته باشند (Masys et al. 2014) و منجر به حوادث زنجیره وار شوند (Cruz et al. 2004b). یک مثال مشهور از یک فاجعه طبیعی که منجر به یک فاجعه طبیعی گردید، زلزله و سونامی بزرگ شرق ژاپن (GEJET[۳]) با بزرگای ۹ در مقیاس ریشتر در ۱۱ مارس ۲۰۱۱ است. سونامی که در ادامه وقوع زلزله به وجود آمد، باعث به وقوع پیوستن بدترین حادثه هسته‌ای در تاریخ ژاپن گردید و علی‌رغم بهترین سیستم‌های ایمنی، رآکتورهای هسته‌ای به دلیل خرابی سیستم خنک‌کننده ذوب شدند (Damle et al. 2021). مثال‌های بسیار دیگری را می‌توان برای این دسته از فجایع نام برد از جمله حادثه سال ۱۹۹۴ در مصر که طی آن در اثر برخورد صاعقه به سه مخزن ذخیره حاوی ۱۵۰۰۰ تن نفت باعث آتش سوزی گسترده‌ای گردید. بر اثر این آتش سوزی بیش از ۴۰۰ کشته و نشت نفت و آلودگی آب رخ داد (Mesa-Gómez et al. 2021). قبل از ارائه یک مطالعه مقایسه‌ای لازم است که مطالعات و گزارش‌های برجسته در زمینه حوادث طبیعی مرور شوند. شووالون و مایرز در سال ۱۹۹۲ حوادث تکنولوژیکی ناشی از خطرات طبیعی در ۲۸ ایالت آمریکا را مورد بررسی قرار دادند. آنها در این تحقیق نشان دادند که ۲۲۸ حادثه در اثر زلزله، ۲۸ حادثه در اثر تندباد دریایی، ۱۶ حادثه در اثر سیل، ۱۶ حادثه در اثر رعد و برق، ۱۳ حادثه در اثر وزش بادهای شدید، ۷ حادثه در اثر طوفان و ۶ حادثه دیگر رخ داده است (Showalter and Myers 1992). لیندل و پری در سال ۱۹۹۷، ۲۵۰ حادثه را مستند کردند که در آن‌ها مواد خطرناک (Hazmat)[۴] به دلیل وقوع زلزله در ایالات‌متحده به بیرون نشت پیدا کردند (Lindell and Perry 1997). بررسی ۲۴۲ حادثه مخزن ذخیره در تأسیسات صنعتی بین سال‌های ۱۹۶۰ و ۲۰۰۳ نشان داد که ۳۳ درصد از حوادث مربوط به مخازن ذخیره[۵] توسط صاعقه ایجاد شده است (Chang and Lin 2006). کروز و همکاران در سال ۲۰۰۴ وضعیت مدیریت ریسک طبیعی را تا سال ۲۰۰۳ گزارش کردند (Cruz et al. 2004b). زلزله‌ای که در ۱۷ اوت ۱۹۹۹ در ترکیه رخ داد، نمونه دیگری از حادثه نتک است. استاینبرگ و کروز (۲۰۰۴) این زمین‌لرزه را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که چندین مکان صنعتی تحت‌تاثیر این زمین‌لرزه قرار گرفتند. آن‌ها ۲۱ نمونه از رها شدن مواد خطرناک ناشی از زلزله مذکور را مستند کردند (Steinberg and Cruz 2004). یانگ و همکاران در سال ۲۰۰۷، اثرات سو بر محیط‌زیست و سلامت انسان ناشی از رها شدن موادخطرناک توسط بلایای طبیعی را منتشر کردند (Young et al. 2004). اشتاینبرگ و همکاران در سال ۲۰۰۸، وضعیتی از آخرین دستاوردهای ارزیابی و مدیریت ریسک طبیعی در اروپا و ایالات متحده را

[2] Natural Technological Events
[3] Great East Japan Earthquake and Tsunami
[4] Hazardous Materials
[5] Storage Tanks

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

تهیه کردند (Steinberg et al. 2008). در سال ۲۰۱۶، دا سیلوا ناسیمنتو و آلنکار مروری بر ادبیات فنی در مورد حوادث طبیعی و توزیع و فراوانی انتشارات در دوره ۲۰۰۰- ۲۰۱۵ انجام دادند (Nascimento and Alencar 2016). مرکز ملی طوفان آمریکا، پرهزینه‌ترین لیست طوفان‌های گرمسیری آمریکا را در تاریخ ۲۶ ژانویه ۲۰۱۸ به روز کرد. این گزارش نشان می‌دهد که از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۱۷، ایالات‌متحده ۴۱ طوفان را تجربه کرد که باعث ضرر بیش از یک میلیارد دلار آمریکا شد. طوفان کاترینا، که در سال ۲۰۰۵ رخ داد، پرهزینه‌ترین طوفان ثبت شده، باعث خسارت بالغ بر ۱۲۵ میلیارد دلار آمریکا گردید (Tropical 2018). هیجونگ و کروز در سال ۲۰۲۲ مروری بر وضعیت مدیریت ریسک، واکنش اضطراری و ارتباطات ریسک در مورد مدیریت ریسک مواد شیمیایی و طبیعی در دو کشور ژاپن و کره جنوبی ارائه کردند که مشخص شد هنوز توجه محدودی به مدیریت ریسک یکپارچه و حاکمیت ریسک برای خطرات طبیعی، شیمیایی و طبیعی وجود دارد (Park and Cruz 2022). مطالعات فوق نشان دهنده توجه کشورهای مختلف به حوزه حوادث و رویدادهای طبیعی می‌باشد و لزوم توجه به این حوزه و افزایش دانش و آگاهی جهت کاهش ریسک‌های ناشی از این دسته از حوادث را می‌رساند. در این مقاله به درس‌آموزی و تشریح انواع وقایع طبیعی رخ داده به همراه عواقب ثبت شده در سایر کشورها پرداخته شده است و در ادامه با استفاده از آموخته‌های حاصله از مرور حوادث مذکور اقدام به ارزیابی کیفی پتانسیل وقوع این دسته از حوادث و رویدادها در ایران صورت گرفته است و به ضرورت توجه به این دسته از حوادث با توجه به نتایج حاصله تاکید شده است.

داده ها و روش کار

کشور ایران که یکی از بازیگران اصلی در حوزه تامین انرژی‌های فسیلی در جهان می‌باشد کشوری لرزه‌خیز و مستعد وقوع انواع مخاطرات طبیعی است و با توجه به نفت‌خیز بودن و وابستگی چند دهه‌ای این کشور به صادرات نفت و گاز، دارای کارخانه‌های بسیاری در این صنعت می‌باشد و واضح و مسلم می‌باشد که ارزیابی ریسک وقوع حوادث طبیعی دارای اهمیت بسیار بوده و توجه ویژه به این حوزه را می‌طلبد. این مقاله بر روی پتانسیل وقوع حوادث طبیعی در ایران تمرکز دارد که در آن پس از معرفی مخاطرات طبیعی و مرور مهمترین حوادث طبیعی در نقاط مختلف دنیا به مرور درس‌های آموخته شده از این حوادث پرداخته می‌شود. سپس مخاطرات طبیعی دسته بندی شده و به دنبال آن لزوم توجه تجارب موجود بحث شده و پس از آن به مرور انواع مخاطرات طبیعی در ایران پرداخته شده و انواع حوادث فرآیندی نیز با توجه به مقالات و منابع موجود مورد بررسی قرار می‌گیرد و مقایسه‌ای بین توزیع انواع مخاطرات طبیعی در ایران و سایر کشورها انجام می‌شود و پتانسیل وقوع حوادث طبیعی در کشور بصورت کیفی ارزیابی می‌گردد و انواع تبعات ممکنه تخمین زده می‌شود. در نهایت اقدامات کشورهای مختلف برای کاهش ریسک رویدادهای طبیعی به همراه وضعیت ایران بررسی می‌شود.

- **معرفی مخاطرات طبیعی منجر به رویدادهای طبیعی**

بررسی حوادث گذشته نشان می‌دهد هر نوع خطر طبیعی می‌تواند آغازگر رویدادهای طبیعی باشد و لزوماً یک رویداد شدید برای خروج و انتشار مواد خطرناک لازم نیست. زمین‌لرزه، فوران آتشفشان، سونامی، رانش زمین و دیگر خطرات مرتبط می‌تواند تهدیدهای قابل توجهی را برای ساختمان‌ها و سازه‌ها در تاسیسات صنعتی ایجاد کند. به عنوان مثال، در

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

زلزله – سونامی سال ۲۰۱۱ توهوکو که منجر به یک حادثه هسته‌ای در نیروگاه فوکوشیما شد. حوادث طبیعی اغلب در اثر باران، رعد و برق، رانش زمین، یا یخ زدگی و غیره ایجاد شده است (Casal and Sanchez-silva 2020).

یکی از سیستم‌های طبقه‌بندی "مخاطرات طبیعی"، طبقه‌بندی بر اساس علل یا منشاء خطر می‌باشد. بر این اساس مخاطرات طبیعی را می‌توان به ۳ بخش به شرح زیر تقسیم بندی کرد (Damle et al. 2021):

مخاطرات ژئوفیزیکی: خطراتی که از زمین منشأ می‌گیرد. این اصطلاح به جای واژه خطر زمین‌شناسی استفاده می‌شود. زیرمجموعه‌های آن حرکات قوی زمین (زلزله)، حرکت توده خشک[6] و فعالیت‌های آتشفشانی است.

مخاطرات هواشناسی: خطری ناشی از شرایط جوی و آب و هوای شدید کوتاه مدت، که از چند دقیقه تا چند روز طول می‌کشد. زیرشاخه‌های آن دماهای شدید، مه و طوفان هستند.

مخاطرات هیدرولوژیکی: خطر ناشی از حرکت و توزیع آب سطحی و زیرسطحی می‌باشد که زیرشاخه‌های آن سیل، سونامی و رانش زمین است.

در ادامه به نمونه‌هایی از رویدادهای طبیعی گذشته جهت بررسی طیف گسترده‌ای از مخاطرات طبیعی در سایت‌های صنعتی پرداخته می‌شود.

- **مخاطرات ژئوفیزیکی**

الف) زلزله

در سال ۱۹۸۷ در کالیفرنیا زمین لرزه‌ای به بزرگی ۵,۹ یک مخزن حاوی کلر یک تنی را که در حال پر شدن بود جابجا کرد. این جابجایی منجر به انتشار یک ابر سمی نیم تنی شد. قطعی برق ناشی از زلزله آژیر هشدار را از کار انداخت. همچنین خطوط تلفن کار نمی‌کردند، بنابراین اطلاع رسانی و هشدار در مورد حادثه غیرممکن بود (Showalter and Myers 1992). زلزله ۷,۴ ریشتری کوچائلی ترکیه در سال ۱۹۹۹ باعث هدر رفت (LOC)[7] بی‌سابقه مواد خطرناک شد. بیش از ۶ میلیون کیلوگرم آکریلونیتریل[8] سمی از یک کارخانه در محیط انتشار یافت. شش آتش سوزی همزمان در واحد نفت خام، مزرعه مخزن نفتا و انبار مواد شیمیایی یکی از بزرگترین پالایشگاه‌های نفت ترکیه به وقوع پیوست. علاوه بر این، هزاران کیلوگرم روغن به خلیج ایزمیت ریخته شد و بیش از ۳۰ کیلولیتر گاز مایع در میان دیگر گازهای خروجی از پالایشگاه به درون جو آزاد شد. بررسی‌ها نشان داد که انتشار مواد خطرناک منجر به تخلیه ساکنان در چندین شهر و رها شدن عملیات جستجو و نجات مفقودین ناشی از زلزله در منطقه شد و تعداد نامعلومی از قربانیان زلزله همچنان در ساختمان‌های فرو ریخته و زیر آوار جا ماندند (Cruz and Steinberg 2005)(Steinberg and Cruz 2004). زلزله سال ۲۰۰۸ ونچوان در چین منجر به انتشار آمونیاک و اسید سولفوریک شد که نتیجه آن آلودگی محیط زیست و تخلیه ۶۰۰۰ نفر از ساکنان منطقه شد (Krausmann et al. 2010). در سال ۲۰۱۰، زلزله‌ای به بزرگای ۸,۸ در جنوب شیلی رخ داد که باعث مختل شدن سیستم حمل و نقل خرابی شریان‌های حیاتی و راه‌های دسترسی به سایت‌ها گردید. دو پالایشگاه اصلی شیلی به دلیل خرابی‌های روی داده تعطیل شدند و آسیب‌های بسیاری به اجزاء مختلف تجهیزات وارد گردید (Grossi et al. 2011).

[6] Dry mass movement
[7] Loss Of Containment
[8] Acrylonitrile

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

- خطرات هواشناسی

الف) رعد و برق

طوفان رعد و برق میلفورد هاون در سال ۱۹۹۴ در بریتانیا باعث انتشار و مشتعل شدن بخارات قابل اشتعال توسط یک صاعقه شد. این انفجار قوی آتش سوزی‌های بعدی را ایجاد کرد که ۲,۵ روز به طول انجامید. در نتیجه، ۱۰ درصد از ظرفیت پالایشی بریتانیا در طول زمان توقف پالایشگاه (۴,۵ ماه) از بین رفت (Krausmann et al. 2016).

ب) طوفان

درسال ۱۹۸۹، در جزایر ویرجین آمریکا نیروی طوفان دیوار فولادی محفظه اطراف مخزن ذخیره نفت را تخریب کرد. این مخزن ذخیره ۵۴۰۰۰ بشکه‌ای در فاصله ۷۶,۲ متری از خط ساحلی قرار داشت و با قطع خط تخلیه آن، نفت کوره با نرخ تخمینی ۱۷۵۰ بشکه در روز یا حدود ۵۰ گالن در دقیقه در محوطه تاسیسات آزاد شد (Showalter and Myers 1992). طوفان‌های کاترینا و ریتا در سال ۲۰۰۵ در ایالات متحده باعث هدر رفت مواد خطرناک متعدد و نشت نفت و گاز در خلیج مکزیک شد. در یک مورد، آسیب به یک مخزن ذخیره بزرگ در یک پالایشگاه در چالمت بیش از ۱۸۰۰ خانه را آلوده کرد که باعث مشکلات بلند مدت مرتبط با سلامتی و خسارات اقتصادی هنگفت در صنایع نفت و گاز شد (Cruz and Krausmann 2008).

ج) باران شدید

در سال ۲۰۰۶ در آلمان باران شدید همراه با رعد و برق رخ داد. صاعقه باعث سوختن ضایعات منیزیم شد و به دلیل بارش شدید باران، محوطه پر از آب شد. واکنش سوختن منیزیم با آب باران منجر به تشکیل هیدروژن با انفجار شدید گاز شد (Krausmann 2010a). در ۲۵ تا ۳۰ اوت ۲۰۱۷ در تگزاس، بارندگی ۱۰۱۶ میلی متری که همراه با طوفان بود باعث فرو رفتن یا آسیب دیدن بیش از ۱۳ سقف شناور مخازن نفت شد (طبق استاندارد API 650 برای طراحی سقف شناور، سقف شناور باید در برابر بارندگی ۲۵۰ میلی متری مقاومت کند). این حادثه منجر به انتشار بیش از ۳۴۶۷۰۰ کیلوگرم آلاینده شد (Qin et al. 2020).

- خطرات هیدرولوژیکی

الف) سیل

در سال ۱۹۹۰، در ایندیانا آمریکا، در نتیجه باران‌های شدید، سیل در امتداد رودخانه کلومت رخ داد. سیل تقریباً ۱۴ شهرستان را تحت تأثیر قرار داد. شناوری یا واژگونی مخازن، و انتشار موادی مانند LPG، نفت کوره، نفت سفید و مواد شیمیایی گزارش شد (Showalter and Myers 1992). در سال ۲۰۰۲ در نراتوویس جمهوری چک، سیل خطوط لوله و اتصالات آنها را پاره کرد و ۸۶ تن کلر در جو آزاد کرد (Krausmann 2010b). در ۲۵ تا ۳۰ اوت ۲۰۱۷ در تگزاس، طوفان باعث جاری شدن سیل در سایت (سطح آب: ۱,۸۰ متر) و در نتیجه قطع برق شد. افزایش غیرمنتظره سطح آب منجر به از کار افتادن ژنراتورهای دائمی، ژنراتورهای پشتیبان و سیستم های خنک کننده اضطراری نیتروژن مایع شد. از دست دادن خنک کننده منجر به انفجاری شد که یک ابر سمی در کارخانه پراکسید آلی آزاد کرد (Misuri et al. 2019).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

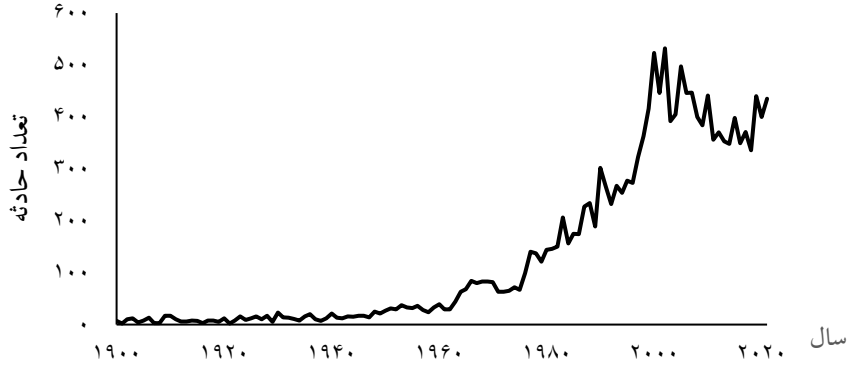
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

ب) سونامی

در سال ۲۰۰۳ زمین لرزه به بزرگی ۸ ریشتر جزیره شمالی ژاپن را لرزاند که باعث سونامی ۱,۳ متری شد. این موج باعث آتش سوزی گسترده در انبار نفت یک پالایشگاه نفت در شهر توماکوما شد (Cruz et al. 2004a). زمین لرزه و سونامی بزرگ ژاپن شرقی در سال ۲۰۱۱، کارخانه‌های صنعتی در استان‌های ایواته، میاگی، ایباراکی و چیبا را تحت تأثیر قرار داد و باعث آتش سوزی و انفجار شد. به عنوان مثال، در استان چیبا، آتش سوزی و انفجار پالایشگاه نفت کاسمو به ۱۷ مخزن گاز مایع به طور کامل آسیب رساند، پنج گلوله آتش ایجاد کرد که خسارات زیادی ایجاد کرد. علاوه بر این، نیاز به تخلیه بیش از ۱۰۰۰ نفر از ساکنان در نزدیکی پالایشگاه شد (Krausmann and Cruz 2013).

- **لزوم توجه به درس‌های آموخته شده**

از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷، جهان شاهد افزایش چند برابری در بلایای طبیعی بوده‌است (Misuri et al. 2019). تغییرات آب و هوایی هم بزرگی و هم دوره بازگشت چنین رویدادهایی را تغییر داده است. شواهد موجود حاکی از افزایش مستمر شدت و فرکانس خطرات طبیعی مختلف است (Alcántara-Ayala 2002) و بنابراین، نگرانی برای درک و مدیریت بهتر این نوع حوادث نیز افزایش‌یافته است. پیش از این، تصادفات طبیعی به عنوان حوادثی با احتمال وقوع بسیار کم در ارتباط با بلایای طبیعی در نظر گرفته می‌شدند. اگرچه این حوادث رویدادهای نسبتا نادری هستند که تنها ۲ تا ۵ درصد از حوادث شیمیایی را در پایگاه‌های داده حوادث صنعتی نشان می‌دهند (Sengul et al. 2012)، طبق داده‌های EM-DAT در سال‌های اخیر افزایش وقوع این دسته از رویدادها باعث انتقال آنها از دسته رویدادهای نادر به رویدادهای با احتمال وقوع متوسط به بالا شده است (شکل ۱) و متعاقبا تاسیسات خطرناک را در برابر اثرات خطرات طبیعی شدیدتر آسیب‌پذیر ساخته‌است و این امر با توجه به افزایش روزافزون جمعیت در شهرها و در نتیجه افزایش آسیب پذیری شهری، تأثیر مستقیمی بر زندگی مردم خواهد داشت.



شکل ۱- تعداد حوادث گزارش شده (EM-DAT ، ۲۰۲۲)

استانداردهای طراحی در پاسخ به رویدادهای طبیعی در حال ارتقا هستند تا سیستم‌های تکنولوژیکی بتوانند در برابر خطرات طبیعی شدید مقاومت کنند. با این حال، شدت خطرات طبیعی می‌تواند بیشتر از چیزی باشد که سیستم‌ها می‌توانند تحمل کنند. خطرات طبیعی می‌توانند سیستم‌های ایمنی موجود را از کار انداخته و منجر به فجایع شوند. در چنین سناریوهایی، چندین نمونه از انتشار مواد خطرناک می‌توانند همزمان باشند. اثرات دومینویی ایجاد شده توسط یک حادثه طبیعی می‌تواند فراتر از مرزهای سایت صنعتی تحت‌تاثیر قرار گرفته گسترش یابد، این وضعیت می‌تواند به

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

طور فزاینده‌ای خطرناک‌تر شود زیرا پرسنل اورژانس و نیروهای واکنش به شرایط اضطراری ممکن است درگیر با سایر تبعات فاجعه طبیعی روی داده باشند و برای مدیریت فجایع ناشی از رویداد طبیعی در دسترس نباشند (Cruz and Okada 2008). مطالعه بسیاری از حوادث طبیعی نشان داده است که تنها آمادگی برای حوادث تکراری که در گذشته رخ داده است کافی نیست و بسته به دوره بازگشت رویدادهای طبیعی انواع سناریوها می‌تواند رخ دهد. به عنوان مثال، سیل‌های فاجعه‌باری که در سال ۲۰۰۲ به شدت جمهوری‌چک را به دلیل شکست چندین مخزن کلرین درون یک سایت صنعتی تحت تاثیر قرار داد. تاسیسات سایت مذکور در برابر سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال محافظت شده بود اما عمق سطح آب سیل به ۱,۳ متر بیش تر از عمق آب مذکور رسید و همین مسئله سبب آسیب مخازن مذکور گردید (Hudec 2004). از دیگر مسائل رایج در طول بلایای طبیعی، اختلال در عملیات پاسخ به دلیل مشکلات ارتباطی، در دسترس نبودن خط تلفن به دلیل خرابی یا بار بیش از حد سیستم، قطع برق، آسیب یا انسداد بقایای خطوط حمل و نقل می‌باشد. این مساله همچنین به وضوح بر واکنش سریع به یک رویداد طبیعی تاثیر می‌گذارد. در حادثه آتش سوزی خطوط لوله هیدروکربن و سه تانک (گوگرد، آسفالت و بنزین) در پالایشگاهی در سندای در طول زمین‌لرزه و سونامی توهوکو، نیروی سونامی آوارها را به داخل تاسیسات منتقل و جاده‌ها را مسدود کرد. پس از شعله‌ور شدن آتش، تیم‌های اورژانس هیچ راهی برای دسترسی به محل حادثه نداشتند و چند روز طول کشید تا آتش را به طور موثر کنترل کنند. سونامی‌ها علاوه بر هدایت آب‌های مملو از آوار به داخل تأسیسات، نشت‌های قابل اشتعال ناشی از زلزله را نیز پراکنده می‌کنند و در نتیجه شرایط اضطراری را در صورت اشتعال تشدید می‌کنند (Krausmann and Cruz 2013). به عنوان مثالی دیگر، آتش‌سوزی در یک محل انبار در فرانسه در زمستان ۲۰۱۲ توسط سازمان آتش‌نشانی پاسخ داده نشد زیرا آب مورد نیاز برای خاموش‌کردن آتش در داخل لوله‌های آب یخ زده بود. آتش نشانان چاره‌ای جز صبر کردن تا زمانی که کلیه محتویات قابل اشتعال سوزانده شود نداشتند (Krausmann et al. 2016).

در طول بلایای طبیعی، حوادث ناشی از گاز طبیعی که منجر به آتش‌سوزی و انفجار می‌شوند، به احتمال زیاد به واحدهای تولیدی مجاور و یا حتی تاسیسات صنعتی مجاور، در فرایندی به نام "اثر دومینو" گسترش می‌یابند. به همین دلیل، آسیب‌پذیری تنها یک واحد در برابر یک تاثیر خطر طبیعی ممکن است در نهایت باعث آسیب به کل تاسیسات یا حتی بیش از یک تاسیسات شود. همان طور که گزارش‌های متعدد از حوادث نشان می‌دهند، این رفتار آبشاری در طی رویدادهای طبیعی تکرار می‌شود. برای مثال، باران سنگین و سیل ناگهانی به دنبال آن باعث آتش‌سوزی و چندین انفجار در یک پالایشگاه در مراکش در سال ۲۰۰۲ شد. از آنجا که سیستم‌های زه‌کشی سطحی - آبی و فاضلاب - آبی پالایشگاه از هم جدا نشده بودند، سیل باعث شد تا آب‌های زاید حاوی پسماندهای هیدروکربن از سیستم زهکشی خارج شوند. هیدروکربن‌های شناور بر روی سطح آب در تماس با تجهیزات داغ پالایشگاه مشتعل می‌شوند و آتش‌سوزی‌ها با سیلاب گسترش یابند (Cruz et al. 2001). به طور مشابه، در مصر در سال ۱۹۹۴ باران‌های شدید باعث جاری شدن سیل در انبار سوخت شد و طوفان باعث رها شدن سوخت به داخل انبارهای مخزن شد این سوخت بر روی سطح سیلاب جاری شده و با یک صاعقه آتش گرفت. آب‌های سوزان به روستایی جاری شدند که در آنجا صدها کشته و زخمی بر جای گذاشتند (Renni et al. 2010). عمده مسائلی و مشکلاتی که در هنگام وقوع رویدادهای طبیعی با توجه به درس‌های آموخته شده از رویدادهای گذشته گریبان‌گیر تصمیم گیرندگان بوده است به شرح زیر می‌باشد:

- عدم آمادگی نیروهای واکنش به شرایط اضطراری

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

- قطعی سیستم‌های مخابراتی
- قطعی سیستم‌های حمل و نقل
- قطعی سیستم برق‌رسانی و آب رسانی

- **وضعیت وقوع مخاطرات طبیعی در ایران**

ایران در بین ۱۰ کشور جهان از نظر بیشترین مرگ و میر ناشی از بلایای طبیعی است. طبق گزارش ارزیابی جهانی (GAR) در مورد کاهش بلایا، کلاس خطر بلایای طبیعی ایران ۸ از ۱۰ است (Sarani et al. 2016). از میان ۴۰ نوع بلای طبیعی مختلف که در جهان وجود دارد، ۳۱ نوع آن در ایران مشاهده شده است که در جدول ۱ به برخی از پرتکرارترین آنها اشاره شده است (UNISDR 2005).

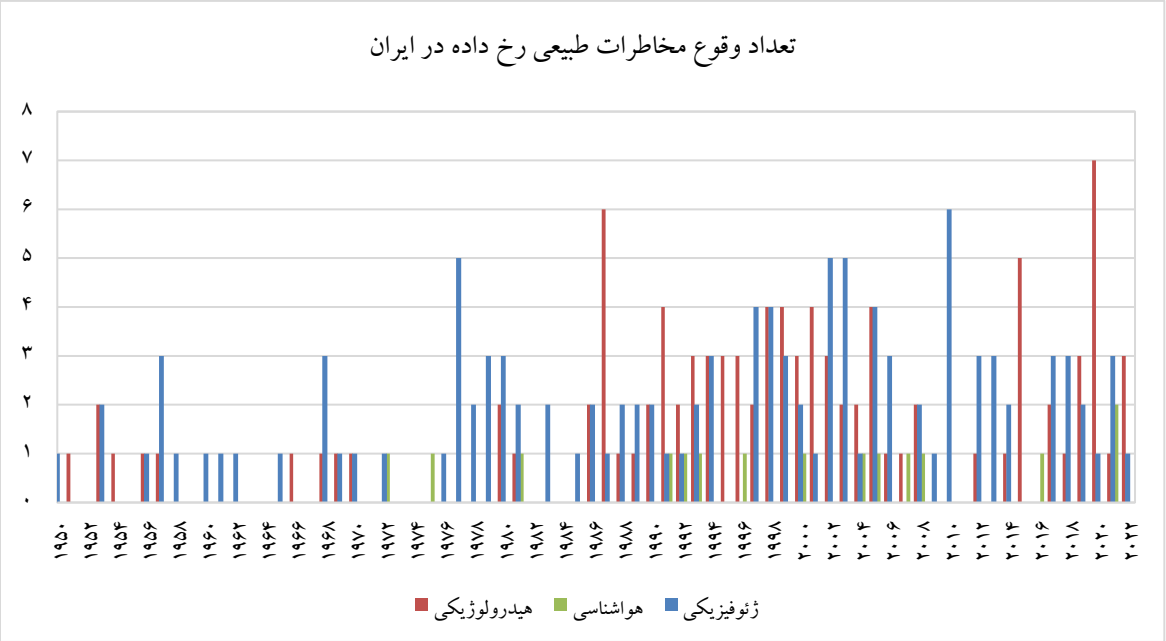
جدول ۱ –بخشی از ۳۱ نوع بلای طبیعی مشاهده شده در ایران

زلزله	فرسایش خاک	بهمن	سونامی
روانگرایی	آتش سوزی جنگل	طوفان	سیل
جریان گل و لای	تخریب سواحل	خشکسالی	آتشفشان ها
رانش زمین	رعد و برق	خطرات زمین گرمایی	ریزش سنگ

یکی از بانک‌های اطلاعاتی مربوط به وقوع رویدادهای طبیعی، پایگاه بین‌المللی بلایای طبیعی (EM-DAT) مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایای طبیعی (CRED) در دانشگاه کاتولیک لووین می‌باشد. این پایگاه شامل فهرستی از ۲۵۷ بلای طبیعی است که بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۲ در ایران رخ داده که بیشتر حوادث روی داده مربوط به زلزله و سیل بوده است. ۱۳۳ زلزله و ۹۵ سیل فاجعه بار توسط پایگاه مذکور برای کشور ثبت شده است (EM-DAT (Emergency Event Database) 2018). برای قرارگیری یک رویداد در پایگاه داده باید، ۱۰ نفر یا بیشتر کشته شده باشند و/یا ۱۰۰ نفر یا بیشتر آسیب دیده باشند و/یا درخواست کمک بین المللی/اعلام وضعیت اضطراری شده باشد (Fischer 2021). شکل ۲ تعداد وقوع رویدادهای ژئوفیزیکی، هیدرولوژیکی و هواشناسی برای ایران در هر سال می‌باشد. شایان ذکر است که آمار مذکور تنها بیانگر مخاطراتی می‌باشد که توسط پایگاه داده EM-DAT به عنوان بلایای طبیعی طبقه بندی شده‌اند.

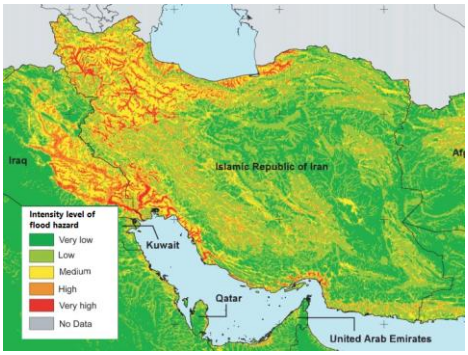
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]



شکل ۲ - تعداد وقوع رویدادهای ژئوفیزیکی، هیدرولوژیکی و هواشناسی ثبت شده در پایگاه داده EM-DAT برای ایران در هر سال (EM-DAT (Emergency Event Database) 2018).

برای درک بهتر و همچنین بوجود آمدن امکان مقایسه با سایر مناطق و کشورهای دیگر، ارائه وضعیت بلایای طبیعی به صورت کمی کمک کننده‌تر می‌باشد. به همین منظور در ادامه وضعیت بلایای طبیعی از دیدگاه کمی ارائه و ارزیابی می‌گردد. سیل، شایع ترین بلایای اقلیمی در ۱۰۰ سال اخیر در ایران است. بارندگی موقت شدید و در برخی مناطق توام با ذوب ناگهانی برف از دلایل اصلی وقوع سیلاب است. بارندگی شدید به ویژه در شمال ایران (شمال رشته کوه های البرز)، جنوب غربی (کوه زاگرس)، جنوب (نزدیک خلیج فارس) و جنوب شرقی (رودخانه هیرمند) اتفاق می افتد. در ایران، ۷۵ درصد مراکز جمعیتی در معرض خطر سیل می‌باشند. از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰، هشت سیل بزرگ در ایران رخ داده است. در آوریل ۲۰۱۹ شدیدترین سیل ثبت شده در منطقه خاورمیانه در ایران رخ داد که از مجموع ۳۱ استان، ۲۶ استان ایران را تحت تاثیر قرار داد و بیش از ۲,۵ میلیارد دلار خسارت به بار آورد. سیل در مقایسه با سایر بلایا قابل پیش بینی تر است و کاهش و پیشگیری نقش مهمی در کاهش خطرات دارد. با این حال، تخریب انبوه زیرساخت‌ها و تخصیص بودجه قابل توجه به استان‌های سیل زده در سال ۲۰۱۹، دلیلی بر دست کم گرفتن خطرات سیل توسط مقامات است (Seddighi and Seddighi 2020).

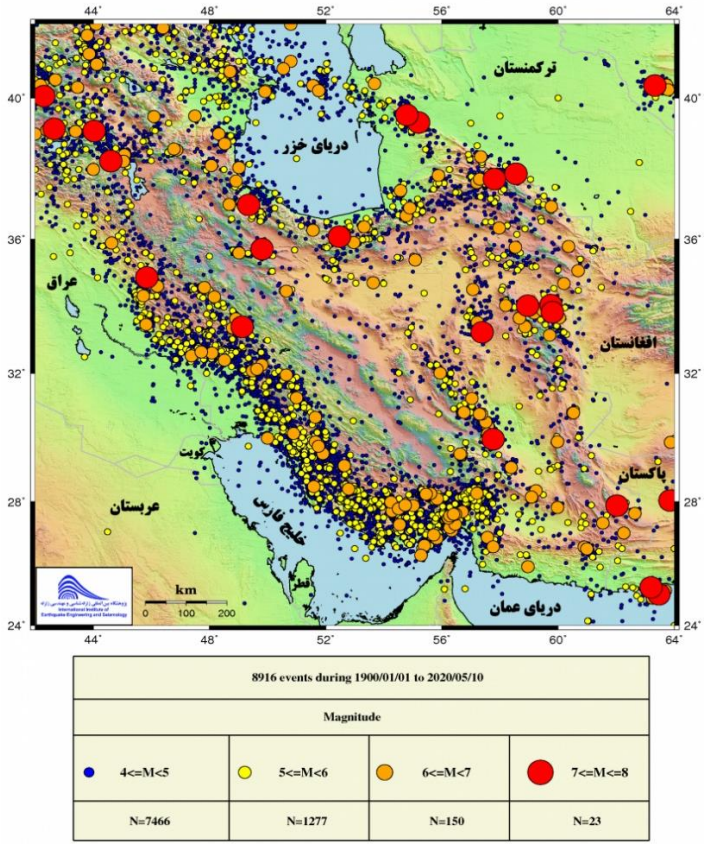


شکل ۳- نقشه توزیع خطر سیل در ایران برای پنج سطح شدت خطر تعریف شده (El Morjanil et al. 2007)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

زلزله دومین بلایای از نظر فراوانی در ۱۰۰ سال گذشته است. غرب ایران (در امتداد برخورد زاگرس) به دلیل برخورد صفحات عربی و اوراسیا زلزله خیز است. علاوه بر این، جنوب ایران در امتداد فرورانش مکران نیز از نظر لرزه‌ای فعال است (Shirzad et al. 2019). بیش از ۹۰ درصد از پهنه سرزمینی در معرض خطر نسبی زلزله قرار دارد. با توجه به رشد چشمگیر جمعیت و تداوم اجتناب ناپذیر این پدیده طبیعی، خطر زلزله نیز افزایش یافته است. علاوه بر اثر تخریبی مستقیم زلزله، اثرات دیگری مانند روانگرایی و رانش زمین نیز کشور ما را تهدید می‌کند (UNISDR 2005). در طول ۳۰ سال گذشته، دو مورد از مرگبارترین زمین لرزه‌ها ایران را لرزاند که مجموعاً بیش از ۶۵۰۰۰ نفر را کشت و تقریباً ۹ میلیارد دلار خسارت به بار آورد (EM-DAT (Emergency Event Database) 2018).

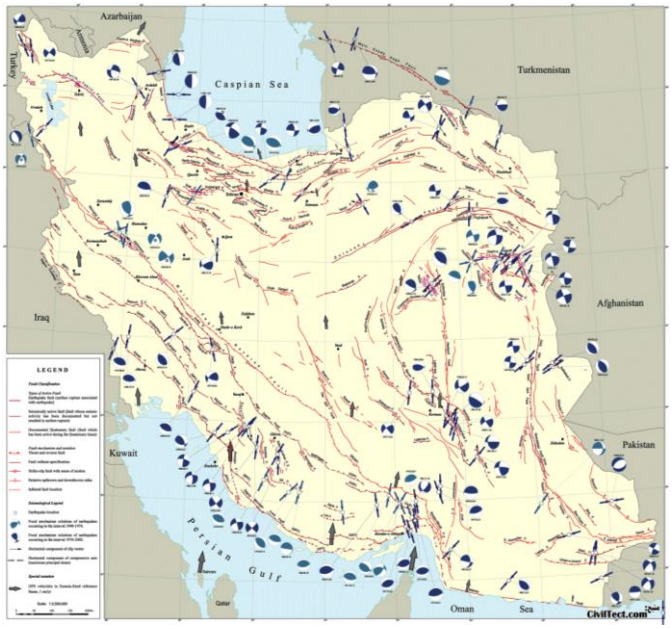
با مروری بر نقشه وقوع رویدادهای لرزه‌ای کشور و همچنین نقشه گسل‌های کشور، می‌توان تخمینی از مناطق پرخطر لرزه‌ای بدست آورد. نقشه‌های نشان داده شده در شکل ۴ و شکل ۵ بخوبی وضعیت گسل‌های کشور و همچنین فراوانی رخدادهای لرزه‌ای کشور را در بازه زمانی نشان داده شده نمایش می‌دهند که گواهی مناسب و خوب از احتمال بالای وقوع این رویداد طبیعی در نقاط مختلف کشور می‌باشد. نقشه‌های حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای از جمله نقشه‌هایی می‌باشد که به خوبی توزیع شدت وقوع رویدادهای لرزه‌ای را در یک دوره بازگشت یکسان نمایش می‌دهند که نمونه‌ای از آن در شکل ۶ برای ایران نشان داده شده است. با بررسی داده‌های گذشته متوجه می‌شویم که تقریبا هیچ منطقه‌ای از این قلمرو در برابر زلزله در امان نبوده است.



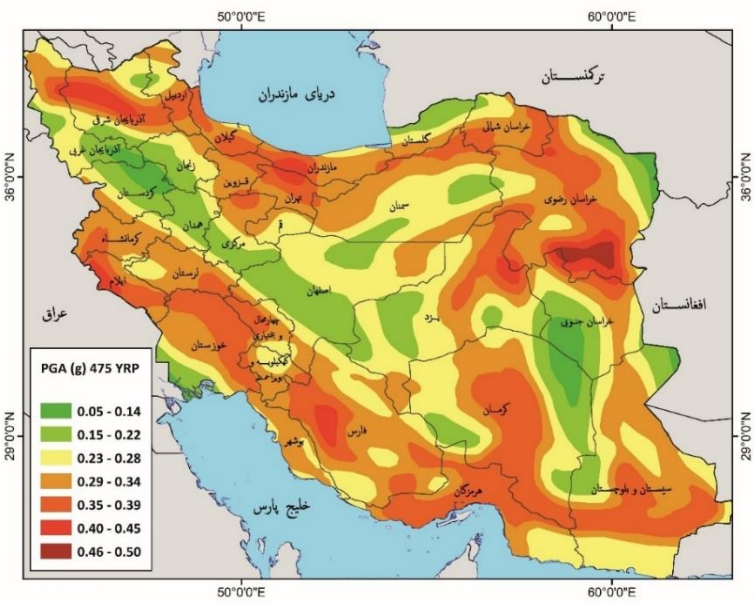
شکل ۴ - نقشه وقوع رویدادهای لرزه‌ای ("International Institute of Earthquake Engineering and Seismology" n.d.)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]



شکل ۵ - نقشه گسل‌های ایران ("International Institute of Earthquake Engineering and Seismology" n.d.)



شکل ۶- نقشه توزیع خطر لرزه‌ای ایران برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال (Karimiparidari et al. 2013)

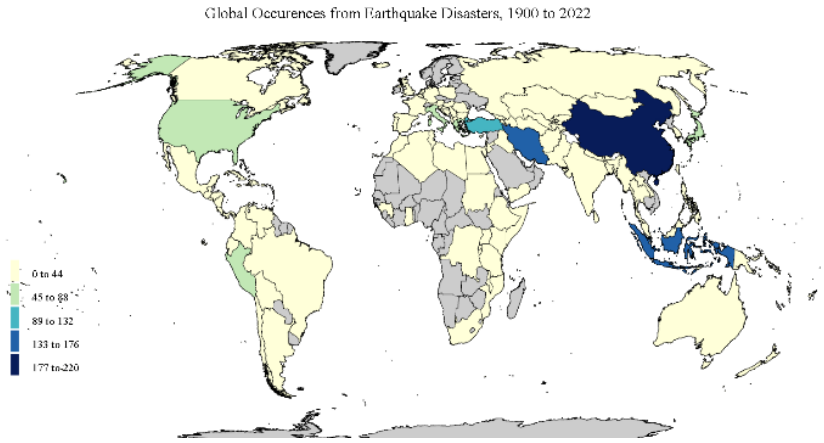
شرح و تفسیر نتایج

- **مقایسه توزیع انواع مخاطرات طبیعی کشور با سایر کشورهای درگیر حوادث طبیعی**

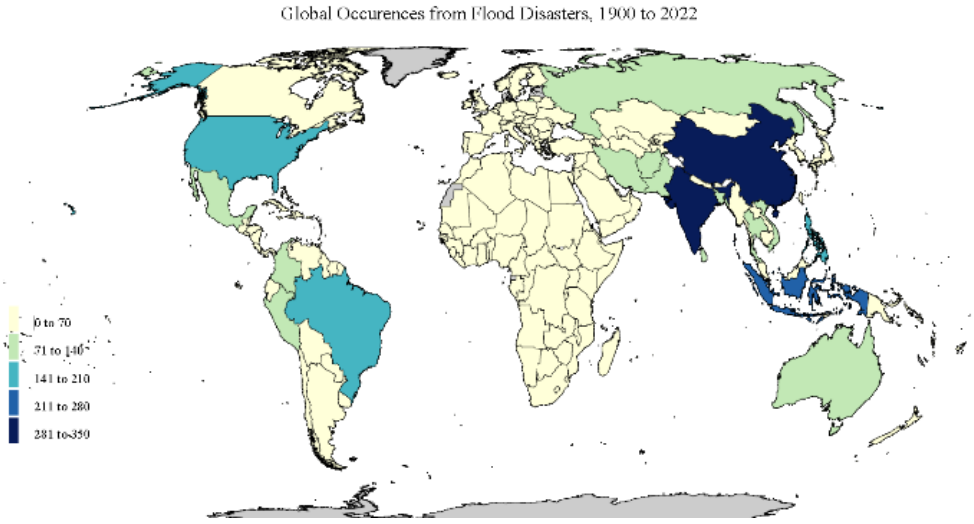
با توجه به اینکه در بخش قبل مشاهده گردید رویدادهای طبیعی سیل و زلزله در کشور ایران از فراوانی و خسارات بیشتری نسبت به سایر رویدادهای طبیعی برخوردار بودند، در این بخش به مقایسه فراوانی و شدت این رویدادها در ایران و کشورهایی که شاهد حوادث طبیعی در آنها بوده ایم پرداخته می‌شود. بر اساس آمار ثبت شده توسط پایگاه داده EM-DAT توزیع جغرافیایی جهانی بلایای طبیعی زلزله و سیل در شکل ۷ و شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که در

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

این تصاویر مشاهده می‌گردد در سی سال اخیر که همراه با رشد و توسعه کارخانه‌های صنعتی در جهان بوده است، کشور ایران به لحاظ فراوانی رویدادهای لرزه‌ای وضعیتی نابسامان‌تر از کشورهایی همچون ترکیه و ایتالیا را داشته است و تنها کشورهای آسیای شرقی فراوانی بیشتری به همراه داشته‌اند.



شکل ۷ - توزیع مخاطرات زلزله ثبت شده در پایگاه داده EM-DAT (۱۹۹۰ - ۲۰۲۲)



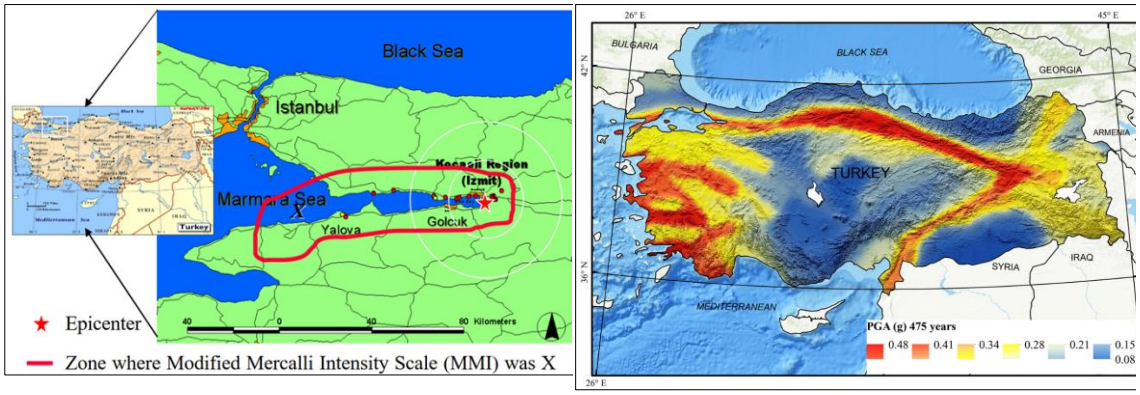
شکل ۸ - توزیع مخاطرات سیل ثبت شده در پایگاه داده EM-DAT (۱۹۹۰ - ۲۰۲۲)

در خصوص رویدادهای سیل هر چند که تعداد رویدادهای کمتری را نسبت به سایر کشورها شاهد بوده‌ایم اما با توجه به تغییرات اقلیمی شدید سال‌های اخیر جهان و خشکسالی کشور و آمار رویدادهای رخ داده در گذشته نمی‌توان به سادگی از این رویداد گذشت.

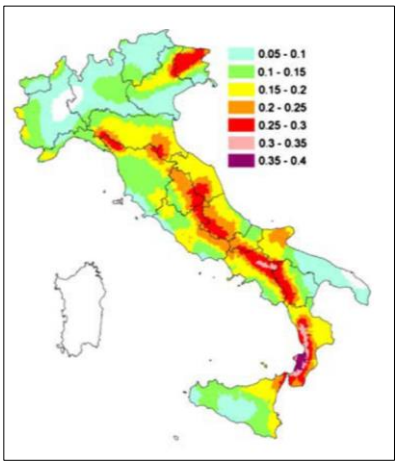
علاوه بر مقایسه فراونی وقوع رویدادهای طبیعی مذکور، باید به بررسی وضعیت شدت وقوع آنها نیز پرداخته شود. به عنوان نمونه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای برای دو کشوری که در زمینه پیشگیری از حوادث طبیعی فعالیت داشته‌اند در اشکال شکل ۹ و شکل ۱۰ مشاهده می‌شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]



شکل ۹ - نقشه خطر لرزه‌ای ترکیه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال بر حسب حداکثر شتاب زمین (Sesetyan et al. 2018) (Cruz et al. 2004b)



شکل ۱۰- نقشه خطر لرزه‌ای ایتالیا برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال بر حسب حداکثر شتاب زمین (Crowley et al. 2009)

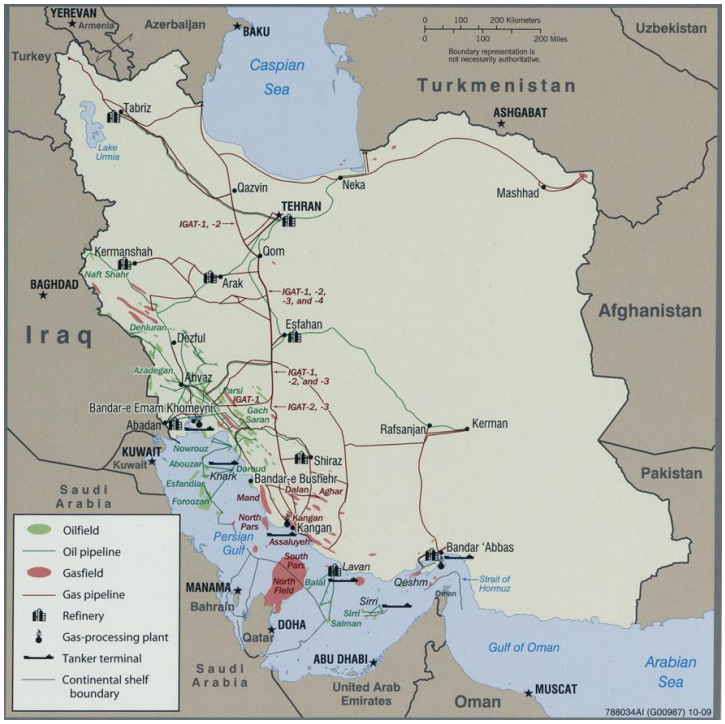
هر دو نقشه نشان داده شده برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال تهیه شده است که در هر دو شدت زلزله محتمل بر اساس حداکثر شدت شتاب زلزله عنوان شده است. با مقایسه نقشه‌های پهنه بندی مذکور با نقشه کشور می‌توان دریافت که به لحاظ وقوع شدت لرزه‌ای هر سه کشور تقریبا در یک محدوده قرار دارند و حداکثر شدت وقوع در هر سه کشور حدودا مشابه و یکسان می‌باشد. وقوع حوادث شدید طبیعی در این کشورها و مشابهت پارامترهای شدت و فراوانی نشان از بالا بودن احتمال وقوع این دسته از حوادث در آینده برای ایران دارد. محل وقوع حادثه طبیعی درترکیه در شکل ۹ نشان داده شده است. در جدول ۲ مقادیر حداکثر شتاب زمین برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای کشوهای مذکور در کنار حداکثر شتاب زمین برای ایران قرار دارد. همانطور مشاهده می‌شود این مقدار برای ایران بیشتر است.

جدول ۲ - حداکثر شتاب زمین برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله برای ایران، ترکیه و ایتالیا

کشور	PGA (g)
ایران	۰,۵
ترکیه	۰,۴۸
ایتالیا	۰,۴

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

در شکل ۱۱ موقعیت قرارگیری کارخانه‌های نفتی و پتروشیمی در کشور نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ در مناطق بندر عباس، شیراز، تهران، لاوان مقدار حداکثر شتاب زمین حدود ۰٫۳۹g ~ ۰٫۳۵g برآورد شده است. پر واضح است که احتمال وقوع رویدادهای لرزه‌ای و به تبع آن رویدادهای طبیعی بسیار زیاد می‌باشد.



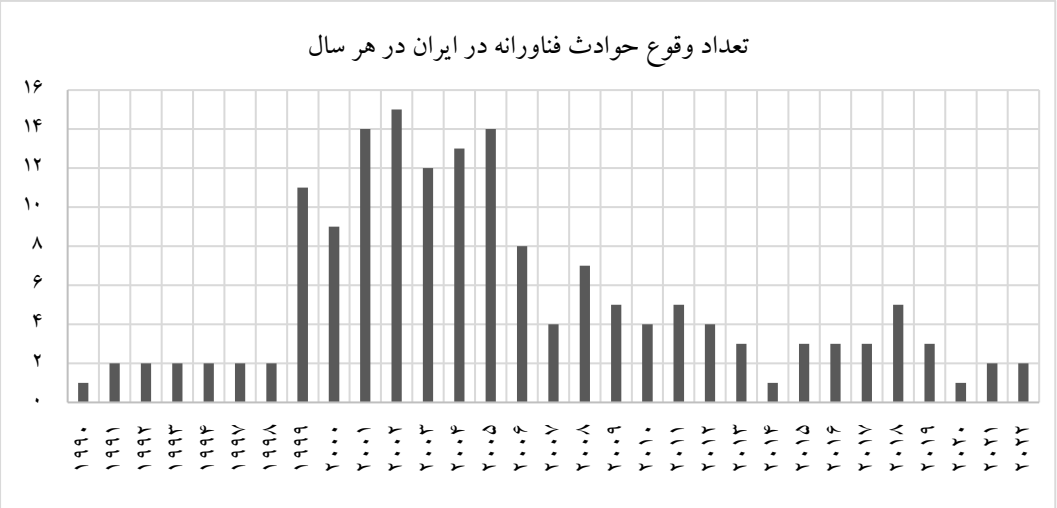
شکل ۱۱ - وضعیت توزیع کارخانه‌های نفت و گاز

- **مروری بر رویدادها و وقایع صنعتی در ایران و پتانسیل وقوع رویدادهای طبیعی**

مقایسه حوادث فرآیندی در کشورهای مختلف می‌تواند نتایج ارزشمندی به همراه داشته باشد. فراوانی این حوادث به نحوی گویای کیفیت تعمیر و نگهداری تجهیزات و در برخی موارد بیانگر وضعیت سازه‌ای تجهیزات می‌باشد. در واحدهای پالایشگاهی و پتروشیمی به دلیل ماهیت مواد و شرایط خاص عملیاتی، پتانسیل قابل ملاحظه‌ای برای بروز حوادث وجود دارد. از مخاطره آمیزترین حوادثی که در صنایع فرآیندی اتفاق می‌افتد می‌توان به انفجار، انتشار گاز سمی و آتش‌سوزی اشاره کرد. از این میان انفجار و آتش سوزی علاوه بر اینکه سبب مرگ و میر می‌گردند خرابی تجهیزات فرآیندی را نیز به همراه دارند (Nojomi et al. 2013). گستردگی روز افزون سایت‌ها و تاسیسات مختلف منجر به افزایش تعداد حوادث در این حوزه می‌باشد. براساس آمار ارائه شده در پایگاه داده EM-DAT برای ایران، تعداد تصادفات فناورانه در سال در دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۲ در شکل زیر نشان داده شده است (EM-DAT (Emergency Event Database) 2018).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]



شکل ۱۲ - تعداد وقوع حوادث فناورانه ثبت شده در پایگاه داده EM-DAT در ایران در هر سال

در ادامه به چند مورد از حوادث صنایع نفت و گاز و پتروشیمی گزارش شده در متون و خبرگزاری‌ها همچنین به علل وقوع و پیامد آنها اشاره می‌گردد (Nojomi et al. 2013) (Chegini et al. 2016) ("51 important incidents in the oil industry in recent years" n.d.). لازم به ذکر است آماری که در شکل ۱۲ بیان شده است تنها حاصل از داده‌های ثبت شده در پایگاه داده EM-DAT می‌باشد اما آمار واقعی بیشتر از آن است به عنوان مثال در سال ۲۰۱۶ تنها ۳ حادثه به ثبت رسیده است در حالی که در جدول ۳، ۱۷ حادثه گزارش شده است.

جدول ۳ - حوادث صنایع نفت و گاز و پتروشیمی گزارش شده در خبرگزاری‌ها

شماره	سال	عنوان	علت حادثه	پیامد
۱	خرداد ۱۳۸۷	شازند اراک	انفجار مخزن	۳۵ نفر کشته و ۵۴ نفر مصدوم
۲	خرداد ۱۳۸۹	چاه شماره ۲۴ نفت شهر	آتش سوزی	۴ نفر کشته و ۱۲ نفر مصدوم
۳	مرداد ۱۳۸۹	پتروشیمی خارک	انفجار بویلر مرکزی واحد قدیم مجتمع پتروشیمی خارک	۴ نفر کشته و ۷ نفر مصدوم
۴	مرداد ۱۳۸۹	پتروشیمی پردیس عسلویه	انفجار در خط لوله اوره و آمونیاک	۵ کشته و ۱ نفر مصدوم
۵	مهر ۱۳۸۹	پالایشگاه اصفهان	انفجار واحدهای تقطیر در جو و خلاء و گاز مایع شماره ۱	سوختگی ۱۵ نفر از کارکنان
۶	دی ۱۳۸۹	پتروشیمی خارک	آتش سوزی مخازن ۴۰ هزار بشکه‌ای پروپان	۱ نفر کشته
۷	خرداد ۱۳۹۰	پالایشگاه آبادان	نشت گاز و انفجار	۱ نفر کشته و ۳۶ نفر مصدوم
۸	مرداد ۱۳۹۱	پتروشیمی بندر امام	نشت گاز و انفجار	۸ کشته و ۲ مصدوم
۹	مهر ۱۳۹۲	پتروشیمی مارون	آتش سوزی در پتروشیمی مارون به دلیل نوسانات برق	۴ نفر مصدوم

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

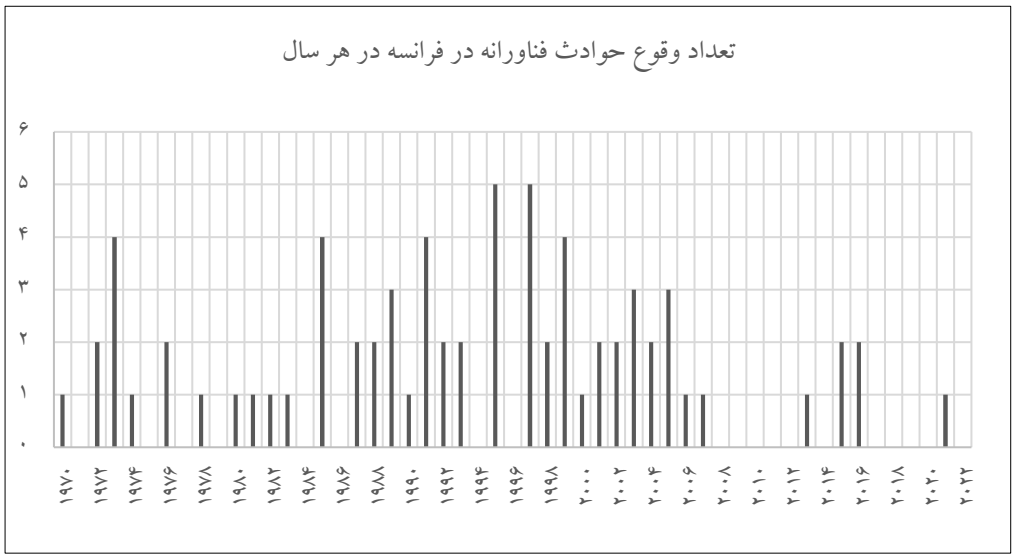
۱۰	دی ۱۳۹۲	پتروشیمی لرستان	آتش سوزی در مخزن گازوئیل	یک نفر کشته و سه نفر مصدوم
۱۱	خرداد ۱۳۹۳	پالایشگاه آبادان	آتش سوزی در گس پلنت پالایشگاه آبادان	مصدومیت ۴ نفر
۱۲	اردیبهشت ۱۳۹۴	پالایشگاه شازند	حادثه در هنگام عملیات اورهال	۴ نفر کشته
۱۳	اردیبهشت ۱۳۹۴	پالایشگاه شازند	گازگرفتگی کارگران در انجام عملیات تعمیرات	۳ نفر کشته
۱۴	شهریور ۱۳۹۴	پتروشیمی اروند	نشت گاز در پتروشیمی اروند	فوت یک نفر کشته و یک نفر مصدوم
۱۵	آبان ۱۳۹۴	پایانه های نفتی خارک	برخورد صاعقه به چند مخزن ذخیره سازی نفت خام و آتش سوزی مخازن	بدون خسارت جانی
۱۶	دی ۱۳۹۴	فاز ۱۴ پارس جنوبی	آتش سوزی	فوت سه نفر مصدومیت یک نفر
۱۷	بهمن ۱۳۹۴	پالایشگاه لاوان	آتش سوزی در واحد تصفیه گازوئیل پالایشگاه لاوان	بدون خسارت جانی
۱۸	تیر ۱۳۹۴	آتش سوزی در پتروشیمی بوعلی	آتش سوزی در مخزن ۲۰۰۱ پتروشیمی بوعلی	۶۰ میلیون یورو
۱۹	تیر ۱۳۹۵	آتش سوزی در پتروشیمی مارون	آتش سوزی در خط لوله ۱۰ اینچ خوراک پتروشیمی مارون	یک نفر مصدوم و یک نفر فوت
۲۰	مرداد ۱۳۹۵	پتروشیمی بوعلی	آتش سوزی جزئی در مخزن ۲۰۰۱ به دلیل تمیز کاری	مصدومیت ۴ نفر
۲۱	مرداد ۱۳۹۵	پالایشگاه آبادان	اتش سوزی در واحد ۸۰ تقطیر به دلیل نوسانات برق	بدون مصدوم
۲۲	مرداد ۱۳۹۵	خط لوله انتقال گاز	انفجار و آتش سوزی در خط لوله ۴۲ اینچ انتقال گاز آغار-دالان	مصدومیت ۳ نفر
۲۳	شهریور ۱۳۹۵	آتش سوزی در پتروشیمی بوعلی	آتش سوزی سطحی در مخزن ۲۰۰۱ به دلیل وجود لجن های نفتی	مصدومیت سه نفر
۲۴	شهریور ۱۳۹۵	خط لوله ان جی ال مناطق نفتخیز جنوب	حادثه نشت گاز در خط لوله انتقال ان جی ال متعلق به شرکت مناطق نفتخیز جنوب	بدون مصدوم
۲۵	شهریور ۱۳۹۵	پتروشیمی مبین	آتش سوزی در ایستگاه تقلیل فشار پتروشیمی مبین	۴ مصدوم
۲۶	مهر ۱۳۹۵	پالایشگاه شاهرود	آتش سوزی در پاالیشگاه میعانات گازی شاهرود	بدون مصدوم
۲۷	مهر ۱۳۹۵	پتروشیمی بندر امام	آتش سوزی در انبار ضایعات پتروشیمی بندر امام به دلیل جوشکاری	بدون مصدوم
۲۸	آبان ۱۳۹۵	پتروشیمی جم	نشت گاز ازت در پتروشیمی جم	فوت دو نفر
۲۹	آبان ۱۳۹۵	پایانه های نفتی خارک	آتش سوزی دو مخزن ذخیره سازی نفت خام	بدون خسارت جانی
۳۰	آذر ۱۳۹۵	پتروشیمی پردیس	نشست گاز کاریامات (آمونیاک و CO2)	بدون مصدوم

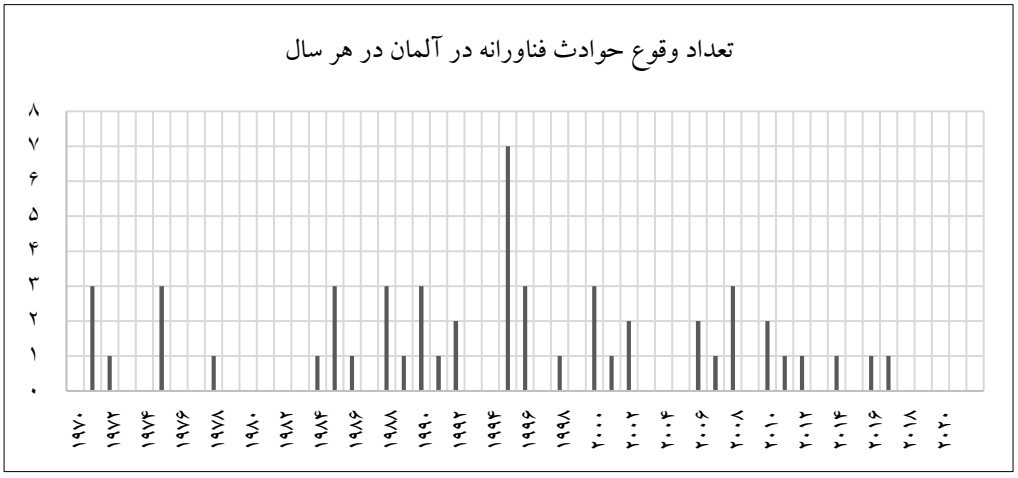
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

۳۱	دی ۱۳۹۵	فاز ۲۰ و ۲۱	آتش سوزی در برج متانایزر فاز ۲۰ و ۲۱	مصدومیت ۷ نفر
۳۲	دی ۱۳۹۵	فاز ۱۷ و ۱۸	آتش سوزی جزئی در قسمت ضایعات فاز ۱۷ و ۱۸	بدون مصدوم
۳۳	دی ۱۳۹۵	میدان گازی نرگسی	نشت گاز سمی از مخزن ذخیره سازی نفت خام در حین عملیات اورهال	مصدومیت ۲ نفر و فوت ۳ نفر
۳۴	بهمن ۱۳۹۵	خطوط لوله ومخابرات تهران	آتش سوزی در مخزن ۲ میلیون لیتری نفت خام جنوب تهران	بدون خسارت جانی
۳۵	بهمن ۱۳۹۵	پالایشگاه آبادان	آتش سوزی در برج ۸۰ تقطیر	بدون خسارت جانی
۳۶	آبان ۱۳۹۶	پالایشگاه شهید تندگویان (تهران)	نشت مواد اشتعال زا (واحد آیزوماکس)	۷ کشته و ۳ مصدوم

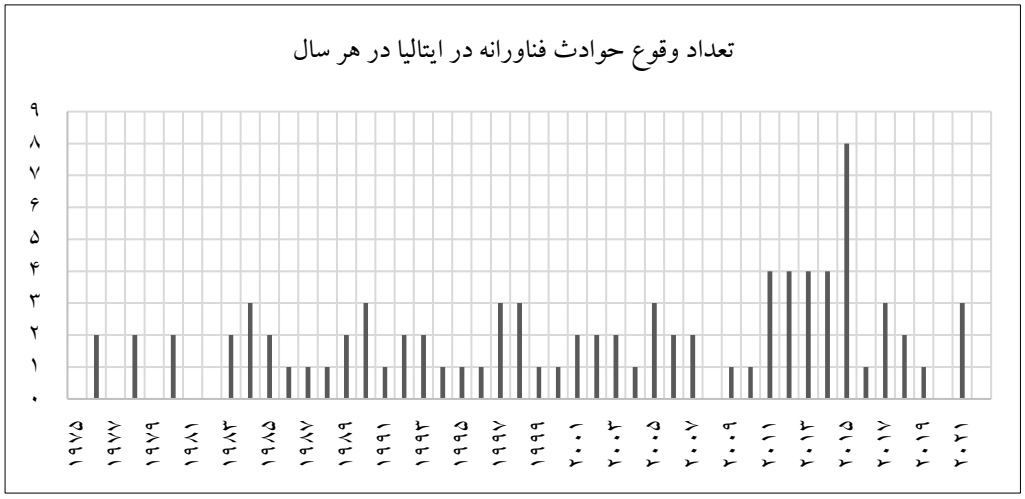
وضعیت وقوع حوادث فرآیندی در سایر کشورها در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. هچنین تعداد کل رویدادهای ثبت شده در پایگاه داده EM-DAT از سال ۱۹۹۰ تا کنون در ایتالیا، ترکیه و ژاپن در هر سال در جدول ۴ قرار داده شده است.

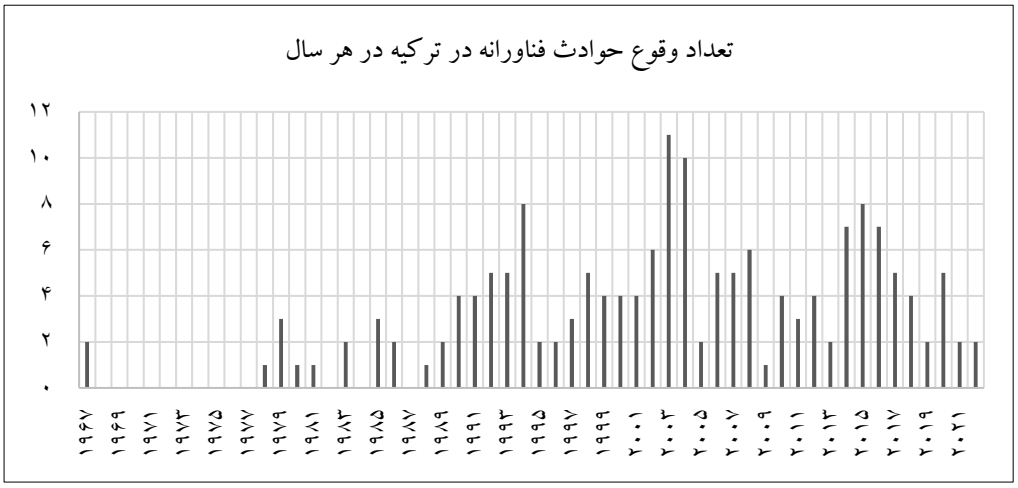


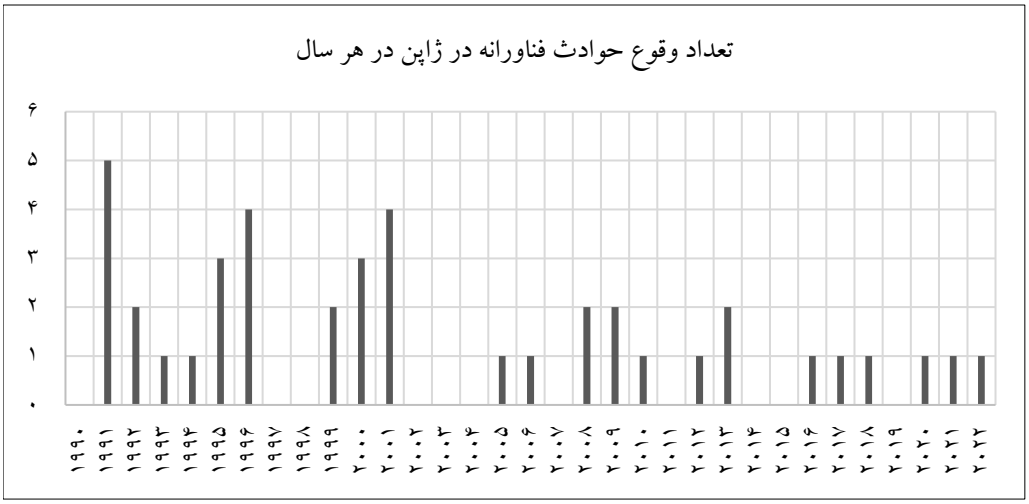


[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]







شکل ۱۳ - تعداد وقوع حوادث فناورانه ثبت شده در پایگاه داده EM-DAT برای فرانسه، آلمان، ایتالیا، ترکیه و ژاپن در هر سال

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

جدول ۴ تعداد وقوع حوادث فناورانه ثبت شده از سال ۱۹۹۰ تا کنون

کشور	تعداد وقوع حوادث
ایران	۱۶۵
فرانسه	۴۶
آلمان	۳۶
ایتالیا	۶۹
ترکیه	۱۵۱
ژاپن	۴۱

همانطور که در شکل ۱۳ و جدول ۴ نشان داده شده است کشور ترکیه از لحاظ تعداد وقوع حوادث فرآیندی وضعیتی تقریبا مشابه ایران دارد و می‌توان استدلال کرد که وضعیت تعمیر و نگهداری تجهیزات در دو کشور مشابه است. کشورهای فرانسه، ایتالیا، آلمان و ژاپن که از نظر تعداد وقوع حوادث فرآیندی وضعیتی بهتر از ایران دارند، با این وجود تمامی کشورهای نام برده در راستای کاهش ریسک حوادث طبیعی اقدامات موثری انجام داده اند که در بخش بعدی شرح داده شده است.

- **اقدامات کشورهای مختلف جهت کاهش ریسک رویدادهای طبیعی**

آسیب پذیری جوامع به دلیل رشد جمعیت، مهاجرت به مناطق شهری و نزدیکی به تاسیسات صنعتی در مناطق پرخطر تشدید شده است (De Sherbinin et al. 2007). از طرفی همانطور که پیش‌تر هم بیان شد شدت بلایای طبیعی در طول سال‌ها افزایش یافته است و مطالعات حاکی از آن است که تغییرات آب و هوایی ممکن است به رویدادهای شدیدتر آب و هوایی منجر شود (Wuebbles 2016). درنتیجه این امر باعث افزایش مواجهه جمعیت، صنایع و زیرساخت‌ها با مخطرات طبیعی شده است. در سال‌های اخیر، حوادث شدید طبیعی که در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه رخ داده است منجر به افزایش آگاهی سازمان‌های بین‌المللی و برخی از دولت در مورد ضرورت کاهش ریسک این حوادث شده است (Suarez-Paba et al. 2020).

گستردگی و افزایش پیامدهای ناشی از حوادث طبیعی نشان دهنده سطح آمادگی پایین برای کنترل آنها می‌باشد و کنترل موفقیت‌آمیز حوادث طبیعی در مواردی که هیچ برنامه‌ریزی و آمادگی قبلی صورت نگرفته باشد، اگر غیرممکن نباشد، یک چالش بزرگ است. به عنوان مثال، هنگامی که یک خطر طبیعی بر یک تاسیسات تاثیر می‌گذارد، می‌تواند باعث انتشار همزمان مواد خطرناک از چندین منبع در مناطق گسترده در یک بازه زمانی بسیار کوتاه شود. این امر فشار شدیدی را برای نیروهای عملیاتی مربوطه ایجاد می‌کند که معمولاً آموزش ندیده‌اند و برای رسیدگی به وقایع ناشی از آزادسازی تعداد زیادی از مواد خطرناک به طور همزمان مجهز نیستند (Necci et al. 2018).

کشورهای توسعه یافته قوانین و مقررات مختلفی جهت کاهش ریسک رویدادهای طبیعی تدوین کرده‌اند. این کشورها از این خطر نوظهور آگاه هستند و این قوانین را به شدت دنبال می‌کنند (Sachin et al. 2021). تعداد کمی از کشورها مقررات صریحی دارند که اپراتورهای تاسیسات خطرناک را ملزم می‌کند تا خطرات طبیعی را در اسناد ایمنی خود در نظر بگیرند. این قوانین شرکت‌ها را ملزم می‌کند تا اقدامات لازم را برای ارزیابی و کاهش خطر حوادث جهت محافظت از کارگران خود و مردم در برابر هرگونه انتشار تصادفی ناشی از خطرات طبیعی انجام دهند (Necci et al. 2018). در مقابل

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

کشورهای در حال توسعه این خطرات را نادیده گرفته‌اند که افزایش آگاهی در مورد عواقب آن ضروری است. در ادامه اقدامات قانونی کشورها در جهت کاهش ریسک رویدادهای طبیعی بیان می‌گردد.

در اتحادیه اروپا، دستورالعمل 2012/18/EC در مورد کنترل خطرات تصادفات بزرگ مربوط به مواد خطرناک (دستورالعمل Seveso III) به صراحت به مخاطرات طبیعی می پردازد (Necci et al. 2018). به عنوان مثال، ماده ۹ از بخش اثرات دومینو دستورالعمل Seveso III اتحادیه اروپا، کشورهای عضو را موظف می‌کند تا «همه مؤسساتی را که به دلیل موقعیت جغرافیایی، نزدیکی به یکدیگر و موجودی مواد خطرناک آنها، ممکن است ریسک یا عواقب یک حادثه بزرگ را افزایش دهد، شناسایی کنند». ضمیمه II شامل حداقل داده‌ها و اطلاعاتی که باید در گزارش ایمنی در نظر گرفته شود می‌باشد و بخش چهار "توضیح مفصلی از سناریوهای احتمالی تصادفات بزرگ" درخواست می‌کند. همچنین احتمال وقوع حوادث بزرگ و شرایطی که تحت آن علل طبیعی مانند زلزله یا سیل ممکن است باعث ایجاد اثرات دومینویی شود، بررسی می‌شود (Sachin et al. 2021) (Damle et al. 2021).

اکثر کشورهای اروپایی تشخیص داده‌اند که نیروهای طبیعی یک تهدید خارجی برای تاسیسات تکنولوژیکی هستند و یک چارچوب قانونی برای مقابله با این خطر در حال ظهور ایجاد کرده‌اند (Krausmann and Baranzini 2012). با این وجود، سطح نگرانی در مورد رویدادهای طبیعی در کشورهای عضو اتحادیه اروپا متفاوت است. به عنوان نمونه، فرانسه قانونی را تصویب کرده که طبق آن باید یک منطقه بندی جدید برای تاسیسات صنعتی در مناطق لرزه‌خیز معرفی شود (مصوبات ۲۰۱۰-۱۲۵۴ و ۲۰۱۰-۱۲۵۵، ۲۰۱۰). همچنین به منظور شناسایی خطرات حوادث طبیعی و تسهیل برنامه ریزی اضطراری، مؤسسات صنعتی را به دو دسته ریسک تقسیم کردند: «ریسک عادی» و «ریسک ویژه». تاسیسات در دسته دوم باید با رعایت الزامات مقاومت مکانیکی خاص، مهار مواد خطرناک را تحت بارگذاری لرزه‌ای تضمین کنند تا از قابلیت سازه برای مقاومت در برابر مقدار معینی از شتاب زمین که مطابق با منطقه لرزه‌ای انتخاب شده می‌باشد اطمینان حاصل شود (Planseisme 2012).

همچنین، دولت آلمان یک قانون فنی در مورد ایمنی نصب ۳۱۰ در سال ۲۰۱۲ تصویب کرد که بر اساس آن موسسات صنعتی با پتانسیل حوادث شیمیایی عمده موظفند خطر حوادث ناشی از سیل را در تاسیسات خود ارزیابی کنند، اقدامات لازم برای کاهش خطر را انجام دهند و احتمال افزایش خطر سیل به دلیل تغییرات آب و هوایی را در نظر بگیرید (TRAS 310 n.d.).

در ژاپن، قانون پیشگیری از بلایای طبیعی در تأسیسات نفتی پس از زلزله توکایچیوکی که باعث آتش سوزی‌های متعدد در یک پالایشگاه در سال ۲۰۰۳ شد، به روز شد. تنها مقرراتی که به صراحت خطرات طبیعی را مورد توجه قرار می‌دهد، قانون اصلاح شده ایمنی گاز فشار بالا است که مؤسسات صنعتی را ملزم می‌کند تا تمام اقدامات اضافی لازم را برای کاهش ریسک و محافظت از کارگران و مردم در برابر هرگونه انتشار تصادفی حادثه ناشی از زلزله و سونامی انجام دهند (Cruz and Okada 2008).

در ایالات متحده، چندین برنامه فدرال (مدیریت ایمنی فرآیند، طرح مدیریت ریسک) برای مدیریت ریسک مواد خطرناک و برنامه ریزی واکنش اضطراری وجود دارد. هیچ یک از این مقررات فدرال به طور خاص به تحلیل خطرات خارجی نیاز ندارد (Cruz and Okada 2008). با این حال، ایالت کالیفرنیا برنامه جلوگیری از انتشار تصادفی (CalARP) را منتشر کرد که خواستار ارزیابی ریسک انتشار مواد خطرناک در اثر زلزله شد. کسب و کارهایی که کنترل مواد خطرناک

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

را در دست دارند، باید یک برنامه مدیریت ریسک تدوین کنند که شامل تحلیل دقیق پتانسیل وقوع تصادفات، همراه با اقداماتی است که می‌توانند برای پیش‌گیری و آمادگی جهت مدیریت آن اجرا شوند (CalARP 2014).

در ترکیه، اجرای اقدامات ایمنی و کاهش ریسک رهایش تصادفی مواد خطرناک و ایجاد برنامه‌های مدیریت اضطراری بر اساس قانون محیط زیست الزامی است. قانون محیط زیست ۱۹۸۳، ذخیره، پردازش و دفع مواد شیمیایی خطرناک و مواد قابل اشتعال را تنظیم می‌کند (Steinberg and Cruz 2004). دولت ترکیه اقداماتی را برای محافظت از زیرساخت‌های خود در برابر اثرات زلزله از طریق تصویب قوانین ساختمان لرزه‌ای انجام داده است. آخرین آیین نامه‌ها در سال ۱۹۹۷ به روز شدند. اگرچه هیچ تغییر عمده‌ای در قوانین پیشگیری از حوادث شیمیایی ایجاد نشد، اما گزارشات حاکی از آن است که اقدامات قابل توجهی برای کاهش انتشارات ناشی از زلزله توسط کارخانه‌های صنعتی در منطقه کوجائلی صورت گرفته است. طی دو سال پس از زلزله، بیش از ۵۰ درصد از کارخانه‌های صنعتی، آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای یا مقاوم‌سازی برای زلزله‌ها را پذیرفته بودند، از مکانیسم‌های لنگر (روشی مصطلح در مهندسی نفت) برای تجهیزات و مخازن ذخیره‌سازی مواد شیمیایی استفاده می‌کردند و برنامه‌های واکنش اضطراری برای حوادث خطرناک داشتند (Cruz and Steinberg 2005).

همانطور که مشاهده گردید کشورهای مختلف در خصوص پیشگیری وقوع حوادث طبیعی اقدام به وضع مصوبات و قوانین کرده‌اند و کارخانه‌ها را ملزم به رعایت دستورالعمل‌هایی برای به حداقل رساندن خسارات و تبعات ناشی از این دسته از رویدادها نموده‌اند در صورتی که در ایران با وجود پتانسیل بالای وقوع این رویدادها چنین اقداماتی صورت نگرفته است و نیاز به مطالعه و تدوین مقررات مربوطه کاملا محسوس می‌باشد.

- **ارزیابی وضعیت پاسخ به شرایط اضطراری در ایران**

طرح‌های واکنش اضطراری در محدوده خارج از سایت کارخانه صنعتی برای صنایع خطرناک در مناطق مستعد مخاطرات طبیعی، باید تاثیر انتشار مواد خطرناک آزاد شده ناشی از وقوع رویدادهای طبیعی را بر روی مردم در نظر گرفته و عملیات نجات را بر آن اساس تنظیم نمایند. این طرح‌ها باید برای تخلیه اضطراری جمعیت در صورت بروز حادثه آماده شوند، و با توجه به تجربیات ناشی از رویدادهای رخداده در سایر نقاط جهان باید سایر جنبه‌های ممکنه از جمله در دسترس نبودن شریان‌های حیاطی و عدم سرویس‌دهی زیرساخت‌های عمومی (در دسترس نبودن راه‌ها و خرابی جاده‌ها و سیستم های ارتباطی و ...) را در طرح مربوطه لحاظ نمایند. شریان های حیاتی به عنوان یک زیرساخت مهم، نقش مهمی در امدادرسانی به بحران دارند و شامل بزرگراه‌ها، تونل‌ها، پل‌ها، جاده‌ها و خطوط لوله شبکه‌های آب و فاضلاب، خطوط مخابراتی و شبکه برق می‌باشند. در ایران سابقه مهندسی زلزله شریان‌های حیاتی به حدود سه دهه پیش بر می‌گردد درحالیکه شریان‌های حیاتی حدود نیم قرن قدمت دارند، لذا عدم طراحی لرزه‌ای این شریان‌ها امری دور از انتظار نیست (Rahnama et al. 2016).

در بسیاری از زمین لرزه‌هایی که در سرتاسر جهان رخ داده است، سیستم شریان حیاتی آسیب‌های قابل توجهی را به بار آورده است، مانند زلزله سن فرناندو در سال ۱۹۷۱ بیش از ۸۰ درصد خسارات ناشی از زلزله مربوط به آتش سوزی ناشی از پارگی خطوط لوله گاز بوده است. به عنوان مثال دیگر در زلزله بم سیستم لوله‌کشی و انتقال آب آسیب جدی دید، خرابی در منهول‌ها و شکست در اتصال لوله ها به منازل مشاهده شد (Eftekhari et al. 2021).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

برخی از مراکز و اماکن به دلیل حساسیت و اهمیتی که دارند باید به عنوان شریان‌های حیاتی جامعه در نظر گرفته شوند (Namor 2017). در زمان وقوع بلایا، بیمارستان‌ها به عنوان یکی از مهمترین مراکزی به شمار می‌روند که باید به طور مستمر خدمات اورژانسی را ارائه دهند. اگرچه عوامل مختلفی از قبیل زمان، موقعیت جغرافیایی، نوع فاجعه و تعداد احتمالی مراجعه کنندگان و مأموریت بیمارستان‌ها و ابزارهای ارزیابی در رابطه با تحلیل میزان آمادگی مراکز درمانی در بحران هستند، اما دستیابی به میانگین امتیاز آمادگی در شرایطی که تصمیم گیری و فعالیت‌های عادی متوقف می‌شود و پاسخ به حجم انبوه مجروحان احتمالی غیرقابل پیش بینی نخواهد بود (Hosseini Shokouh et al. 2009). در مطالعه که در سال ۲۰۱۰ به منظور بررسی میزان آمادگی برخی از بیمارستان‌های منتخب ایران انجام شد به طور کلی، میانگین نمره آمادگی برای همه بیمارستان‌ها ۵۴٫۵ درصد بود (Daneshmandi et al. 2010). طبق مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۶ با هدف تعیین آسیب پذیری عملکردی بیمارستان‌های شهر تهران در مقابله با بلایای طبیعی انجام شد، ۵۰ درصد از بیمارستان‌های مورد مطالعه از نظر وضعیت آسیب‌پذیری عملکردی، در وضعیت رضایت‌بخش با سطح آسیب‌پذیری پایین، ۴۱٫۷ درصد در سطح متوسط و ۸٫۳ درصد در وضعیت غیر رضایت‌بخش با سطوح آسیب‌پذیری بالا قرار داشتند (Ahmadi et al. 2016). لازم به ذکر است این سطح آمادگی مربوط به میزان آمادگی بیمارستان‌ها در برابر مخاطرات طبیعی عنوان شده و در هنگام وقوع رویدادهای طبیعی وسعت حادثه بسیار گسترده تر می‌باشد و سطح آمادگی بسیار کمتر از درصدهای عنوان شده در مقالات می‌باشد.

نتیجه گیری

این مطالعه با هدف بررسی موقعیت ایران از حیث وقوع مخاطرات طبیعی و پتانسیل وقوع رویدادهای طبیعی انجام شده است. با توجه به افزایش تعداد کارخانه‌های صنایع نفت و گاز، خطر وقوع رویدادهای طبیعی در کشور رو به افزایش است. از این رو ارتقای درک ریسک این رویدادها بر اساس حوادث گذشته برای تصمیم گیری آگاهانه جهت رویدادهای محتمل در آینده در کشور لازم و ضروری است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل پایگاه‌های داده، ریسک وقوع رویدادهای طبیعی درکشور ایران بسیار زیاد می‌باشد و از سوی دیگر آمار وقوع حواث فناورآنه در کشور حاکی از وضعیت نامناسب طراحی اولیه، تعمیر و نگهداری تجهیزات در صنایع می‌باشد. این دو امر نشان دهنده ریسک زیاد وقوع حوادث طبیعی در کشور ایران می‌باشد که توجه به این رویدادها و عواقب آنها تا کنون نادیده گرفته شده است. بررسی رویدادهای طبیعی رخ داده در سایر کشورها و مرور تجربیات کسب شده نشان می‌دهد عدم آمادگی مقامات و نیروهای پاسخ به شرایط اضطراری و درنظر نداشتن برنامه واکنش اضطراری جامع می‌تواند تبعات ناشی از این حوادث را بسیار بالا برده و خسارات جبران ناپذیری به دنبال داشته باشد. پیشنهادها جهت کاهش اثرات، برنامه ریزی واکنش اضطراری و آمادگی برای این رویدادها بر اساس تجربیات حاصل از رویدادهای رخ داده در سایر کشورها به شرح زیر قابل ارائه می‌باشد.

تدوین و اجرای آیین نامه‌ها و مقررات ایمنی باید با توجه به جنبه‌های مختلف ایمنی سازه‌ای و غیرسازه‌ای با رویکرد همه خطرات تدوین شوند همچنین باید تجربیات جهانی بدست آمده از رویدادهای طبیعی را در برگیرند (Necci et al. 2018).

زیرساخت‌های حیاتی باید تقویت و انعطاف پذیر شود تا از ادامه عملکرد اجتماعی و اقتصادی جامعه حتی در مواقع بلایا اطمینان حاصل شود زیرا سرویس‌دهی زیرساخت‌های حیاتی انعطاف پذیر در هنگام وقوع فجایع به کاهش قابل

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

توجه تلفات جانی و صدمات و مهار سریع خسارات کمک می‌کند و تجربه نشان داده است که در دسترس نبودن این زیرساخت‌ها در هنگام وقوع فجایع به چه میزات خسارات مربوطه را تشدید می‌نماید .

برنامه‌های اضطراری در محل برای حوادث مربوط به مواد خطرناک باید خطرات ناشی از مخاطرات طبیعی را در نظر بگیرند. این امر شامل در نظر گرفتن انتشار همزمان و چندگانه از بخش‌های مختلف و همچنین احتمال حوادث آبشاری ثانویه است. سناریوهای مورد استفاده برای برنامه‌ریزی اضطراری باید عدم دسترسی به ابزار دقیق (به عنوان مثال حسگرها، زنگ خطر، شاخص‌ها)، دستگاه‌ها و تجهیزات مرتبط با ایمنی (به عنوان مثال شیرهای ایمنی، تجهیزات آتش‌نشانی، دودکش‌ها)، پرسنل، و شریان حیاتی داخلی و خارجی کارخانه در طول رویداد طبیعی را منعکس کند (Steinberg and Cruz 2004).

آسیب‌پذیری منابع واکنش اضطراری در برابر حوادث طبیعی و انتشار مواد خطرناک باید مورد ارزیابی قرار گیرد. این شامل توجه دقیق به اهداف متناقض مدیریت اضطراری مانند انجام عملیات جستجو و نجات و در عین حال تخلیه به دلیل تهدید مواد خطرناک است (Girgin 2011).

برنامه‌های پاسخ اضطراری، هم در سطح تاسیسات و هم در سطح جامعه، باید به صورت دوره‌ای بررسی و آزمایش شوند تا اطمینان حاصل شود که پیامدهای اثرات مخاطرات طبیعی را در نظر می‌گیرند. خدمات پزشکی باید در آماده‌سازی برنامه اضطراری نقش داشته باشند و پزشکان برای سناریوهای رویدادهای طبیعی آماده باشند (Necci et al. 2018).

منابع

Ahmadi, B., Rahimi Foroushani, A., Tanha, N., Bolban Abad, A. M., and Asadi, H. 2016. “Study of Functional Vulnerability Status of Tehran Hospitals in Dealing With Natural Disasters.” *Electronic physician*, **8(11)**: 3198–3204.

Alcántara-Ayala, I. 2002. “Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries.” *Geomorphology*, **47(2–4)**: 107–124.

Annen, C., and Wagner, J.-J. 2003. “The Impact of Volcanic Eruptions During the 1990s.” Natural Hazards Review, **4(4)**: 169–175.

CalARP. 2014. “Guidance for california accidental release prevention (CalARP) program unified program agency (UPA) subcommittee region i local emergency planning committee (LEPC) approved by Region I LEPC on August 7 , 2019 CalARP program seismic Guidance committee.” (January).

Casal, J., and Sanchez-silva, M. 2020. “Advances and Gaps in Natech Quantitative Risk Analysis.” (December).

Chang, J. I., and Lin, C.-C. 2006. “A study of storage tank accidents.” Journal of Loss Prevention in the Process Industries, **19(1)**: 51–59.

Chegini, M. A. N., Sarebanzadeh, K., and Jahangiri, M. 2016. Risk management and assessment (Quantitative risk assessment in process industries) (Volume 2). Fan Avran.

Cozzani, V., Antonioni, G., Landucci, G., Tugnoli, A., Bonvicini, S., and Spadoni, G. 2014. “Quantitative assessment of domino and NaTech scenarios in complex industrial areas.” Journal of Loss Prevention in the Process Industries, **28**: 10–22.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

Crowley, H., Colombi, M., Borzi, B., Faravelli, M., Onida, M., Lopez, M., Polli, D., Meroni, F., and Pinho, R. 2009. A comparison of seismic risk maps for Italy. Bulletin of Earthquake Engineering.

Cruz, A. M., and Krausmann, E. 2008. "Damage to offshore oil and gas facilities following hurricanes Katrina and Rita: An overview." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **21(6)**: 620–626.

Cruz, A. M., and Okada, N. 2008. "Methodology for preliminary assessment of Natech risk in urban areas." *Natural Hazards*, **46(2)**:199–220.

Cruz, A. M., Pisano, F., Nordvik, J.-P., and Vetere Arellano, A. L. 2004. Analysis of Natech (natural hazard triggering technological disasters) disaster management.

Cruz, A. M., and Steinberg, L. J. 2005. "Industry Preparedness for Earthquakes and Earthquake-Triggered Hazmat Accidents in the 1999 Kocaeli Earthquake." Earthquake Spectra, **21(2)**: 285–303.

Cruz, A. M., Steinberg, L. J., and Luna, R. (2001). "Identifying Hurricane-Induced Hazardous Material Release Scenarios in a Petroleum Refinery." Natural Hazards Review, **2(4)**: 203–210.

Cruz, A. M., Steinberg, L. J., Vetere Arellano, A. L., Nordvik, J.-P., and Pisano, F. 2004. "State of the art in Natech risk management." Ispra: European Commission Joint Research Centre.

Damle, S., Mani, S. K., and Balamurugan, G. 2021. "Natech guide words: A new approach to assess and manage natech risk to ensure business continuity." Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Elsevier Ltd, 72(April), 104564.

Daneshmandi, M., Amiri, H., Vahedi, M., Farshi, M., Saghafi, A., and Zigheymat, F. 2010. "Assessing the level of preparedness for confronting crisis such as flood, earthquake, fire and storm in some selected hospitals of Iran." Iranian Journal of Military Medicine, **12(3)**: 167–171.

Eftekhari, S. M., Etemadi, M., and Hosseini, S. M. 2021. "The Approach of a New Model of Earthquake Crisis Management in the Classification of Vital Arteries." Health in Emergencies & Disasters Quarterly, **7(1)**: 33–38.

EM-DAT (Emergency Event Database). 2018. "The International Disaster Database." Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Université catholique de Louvain, <http://www.emdat.be/>.

Fischer, S. 2021. "Post-Disaster Spillovers: Evidence from Iranian Provinces." J*ournal of Risk and Financial Management*, **14(5)**: 193.

Girgin, S. 2011. "The natech events during the 17 August 1999 Kocaeli earthquake: aftermath and lessons learned." *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **11(4)**: 1129–1140.

Grossi, P., Williams, C., Cabrera, C., Tabucchi, T., Sarabandi, P., Rodriguez, A., Aslani, H., and Rahnama, M. 2011. "The 2010 Maule, Chile earthquake: lessons and future challenges." Risk Management Solutions (RMS), Newark.

Hosseini Shokouh, S. M., Arab, M., Rahimi, A., Rashidian, A., and Sadr Momtaz, N. 2009. "Preparedness of the Iran University of Medical Sciences hospitals against earthquake." sjsph, **6(3)**: 61–77.

Hudec, P. (2004). "Flood at SPOLANA as in August .2002." Loss Prevention Bulletin, Rugby, Warwickshire: Institution of Chemical Engineers., **180**: 36–39.

"International Institute of Earthquake Engineering and Seismology." (n.d.). <http://www.iiees.ac.ir/fa/eqcatalog/>.

Karimiparidari, S., Zaré, M., Memarian, H., and Kijko, A. 2013. "Iranian earthquakes, a uniform catalog with moment magnitudes." Journal of Seismology, **17(3)**: 897–911.

Krausmann, E. 2010. "Analysis of Natech risk reduction in EU Member States using a questionnaire survey." Report EUR, 24661.

Krausmann, E. (2010b). Analysis of Natech risk reduction in EU Member States using a questionnaire survey.

Krausmann, E., and Baranzini, D. 2012. "Natech risk reduction in the European Union." Journal of Risk Research, **15(8)**: 1027–1047.

Krausmann, E., and Cruz, A. M. 2013. "Impact of the 11 March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry." *Natural Hazards*, **67(2)**: 811–828.

Krausmann, E., Cruz, A. M., and Affeltranger, B. 2010. "The impact of the 12 May 2008 Wenchuan earthquake on industrial facilities." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **23(2)**: 242–248.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

Krausmann, E., Cruz, A. M., and Salzano, E. 2016. Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations. Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations.

Krausmann, E., and Necci, A. 2021. "Thinking the unthinkable: A perspective on Natech risks and Black Swans." Safety Science, Elsevier Ltd, 139(March).

Lindell, M. K., and Perry, R. W. 1997. "Hazardous Materials Releases in the Northridge Earthquake: Implications for Seismic Risk Assessment." Risk Analysis, **17(2)**: 147–156.

Masys, A. J., Ray-Bennett, N., Shiroshita, H., and Jackson, P. 2014. "High Impact/Low Frequency Extreme Events: Enabling Reflection and Resilience in a Hyper-connected World." Procedia Economics and Finance, **18**: 772–779.

Mesa-Gómez, A., Casal, J., Sánchez-Silva, M., and Muñoz, F. 2021. "Advances and gaps in natech quantitative risk analysis." Processes, **9(1)**: 1–14.

Misuri, A., Casson Moreno, V., Quddus, N., and Cozzani, V. 2019. "Lessons learnt from the impact of hurricane Harvey on the chemical and process industry." Reliability Engineering & System Safety, **190**:106521.

El Morjanil, Z. E. A., Ebener, S., Boos, J., Abdel Ghaffar, E., and Musani, A. 2007. "Modelling the spatial distribution of five natural hazards in the context of the WHO/EMRO Atlas of Disaster Risk as a step towards the reduction of the health impact related to disasters." *International Journal of Health Geographics*, **6**:1–28.

Namor, K. 2017. "Investigating the effect of earthquake on the vital water artery." Proceedings of the fourth comprehensive crisis management and HSE conference.

Nascimento, K. R. D. S., and Alencar, M. H. 2016. "Management of risks in natural disasters: A systematic review of the literature on NATECH events." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **44**: 347–359.

Necci, A., Krausmann, E., and Girgin, S. 2018. "Emergency planning and response for Natech accidents." Towards an All-Hazards Approach to Emergency Preparedness and Response: Lessons Learnt from Non-Nuclear Events, (January), 61–68.

Nojomi, A., Nikdel, S., and Syed Mohammad Ali Heydaripour. 2013. "An overview of the fire incidents of the last two years in Iran's oil, gas and petrochemical industries." The first process engineering conference in oil, gas, petrochemical and energy industries.

Park, H., and Cruz, A. M. 2022. "Insights on Chemical and Natech Risk Management in Japan and South Korea: A Review of Current Practices." International Journal of Disaster Risk Science, Springer Singapore.

Planseisme . 2012. "ICPE « à risque spécial » (in French)." Ministère du Développement Durable.

Qin, R., Khakzad, N., and Zhu, J. 2020. "An overview of the impact of Hurricane Harvey on chemical and process facilities in Texas." International Journal of Disaster Risk Reduction, **45**: 101453.

Rahnama, R., Rsti, R., Hasani, N., and Ghiasvand, M. 2016. "Study of Seismic Vulnerability for Retrofitting Water Supply Network of Tehran District 11." *Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)*, **5(4)**: 308–314.

Renni, E., Krausmann, E., and Cozzani, V. 2010. "Industrial accidents triggered by lightning." *Journal of Hazardous Materials*, **184(1–3)**: 42–48.

Sachin, D., Mani, S. K., and Guru, B. 2021. "Risk management of technological accidents triggered by natural-hazards (Natech): A review of relevant indian legislation." *Disaster Advances*, **14(4)**: 95–106.

Sarani, M., González, P. A., and Delgado, R. C. 2016. "Emergency and Disaster Reports." **3(4)**: 3–48.

Seddighi, H., and Seddighi, S. (2020). "How much the Iranian government spent on disasters in the last 100 years? A critical policy analysis." Cost Effectiveness and Resource Allocation, BioMed Central, **18(1)**:1–11.

Sengul, H., Santella, N., Steinberg, L. J., and Cruz, A. M. 2012. "Analysis of hazardous material releases due to natural hazards in the United States." *Disasters*, **36(4)**:723–743.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]

Sesetyan, K., Demircioglu, M. B., Duman, T. Y., Çan, T., Tekin, S., Azak, T. E., and Fercan, Ö. Z. 2018. "A probabilistic seismic hazard assessment for the Turkish territory—part I: the area source model." *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16(8)**: 3367–3397.

De Sherbinin, A., Schiller, A., and Pulsipher, A. 2007. "The vulnerability of global cities to climate hazards." *Environment and Urbanization*, **19(1)**:39–64.

Shirzad, T., Riahi, M.-A., and Assumpção, M. S. 2019. "Crustal Structure of the Collision-Subduction Zone in South of Iran Using Virtual Seismometers." *Scientific Reports*, **9(1)**: 10851.

Showalter, P. S., and Myers, M. F. 1992. Natural disasters as the cause of technological emergencies: A review of the decade, 1980-1989. Natural Hazards Research and Applications Information Center, Institute of~….

Steinberg, L. J., and Cruz, A. M. 2004. "When Natural and Technological Disasters Collide: Lessons from the Turkey Earthquake of August 17, 1999." *Natural Hazards Review*, **5(3)**: 121–130.

Steinberg, L. J., Sengul, H., and Cruz, A. M. 2008. "Natech risk and management: an assessment of the state of the art." *Natural Hazards*, **46(2)**: 143–152.

Suarez-Paba, M. C., Cruz, A. M., and Muñoz, F. 2020. "Emerging Natech risk management in Colombia: A survey of governmental organizations." Safety Science, Elsevier, 128(April), 104777.

TRAS 310. (n.d.). "Technische Regel für Anlagensicherheit: Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser (in German)." Bundesanzeiger, Supplement 32a, German Federal Cabinet, BMU, non-official version.

Tropical, C. U. S. 2018. "National Oceanic and Atmospheric Administration." Tropical Cyclones Tables Updated.

UNISDR. 2005. "NATIONAL REPORT OF THE ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN ON Disaster Reduction." World Conference on Disaster Reduction, (January), 1–149.

Wuebbles, D. J. 2016. "Setting the Stage for Risk Management: Severe Weather Under a Changing Climate." Risk Analysis of Natural Hazards, Springer International Publishing, Cham, 61–80.

Young, S., Balluz, L., and Malilay, J. 2004. "Natural and technologic hazardous material releases during and after natural disasters: a review." Science of The Total Environment, **322(1–3)**: 3–20.

"51 important incidents in the oil industry in recent years." (n.d.). the world of economy, <https://www.donya-e-eqtesad.com/fa/tiny/news-3165874>.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2025-04-10]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.4.183]