

DOI: 10.48303/bese.2024.2032629.1174

چکیده

امروزه هم‌زمان با رشد صنایع فرآیندی به‌صورت موازی رشد حوادث ناشی از اثر مخاطرات طبیعی بر روی این صنایع نیز مشاهده می‌گردد. این دسته از حوادث فناورانه ناشی از مخاطرات طبیعی تحت عنوان رویدادهای طبیعیانه نام برده می‌شود. شدت خسارات ناشی از این رویدادها نیاز جوامع و محققان به ارزیابی و کنترل این دسته از رویدادها را روشن ساخت. ارزیابی ریسک عددی رویدادهای طبیعیانه یکی از ابزارها و رویکردهای اتخاذ شده برای این منظور می‌باشد. در این روش با استفاده از منحنی‌های شکنندگی حاصل از روش‌های مختلف، آسیب‌پذیری سازه‌ها برآورد می‌شود. روش‌های تحلیل عددی یکی از روش‌های بسیار پرکاربرد در محاسبه منحنی‌های شکنندگی می‌باشد. منحنی شکنندگی عناصر و اجزای یک پلنت به‌صورت مرسوم بر اساس مشخصات زمان ساخت آنها با استفاده از انواع تحلیل‌های عددی محاسبه می‌گردد. این در حالی است که عموماً در محاسبه شکنندگی‌ها به میزان تأثیر کهولت سازه‌ها بر روی شکنندگی‌ها و متعاقباً به میزان تأثیر آنها بر روی نتایج ارزیابی‌های ریسک کارخانه‌ها توجه نمی‌شود. در این مطالعه ضمن معرفی بستر OpenSRANE و قابلیت‌های آن، میزان تأثیر کهولت سن تانک‌های ذخیره بر روی نتایج ارزیابی ریسک عددی رویدادهای طبیعیانه با استفاده از بستر مذکور بررسی شده است. نتایج حاصله نشان از لزوم توجه بیشتر به این اثر در ارزیابی‌های ریسک کارخانه‌ها دارد. نوآوری این مطالعه، ارزیابی تأثیر کهولت سن تجهیزات بر روی نتایج ریسک کمی می‌باشد که قبلاً در نظر گرفته نشده است.

واژگان کلیدی: رویدادهای طبیعیانه، ارزیابی ریسک، صنایع نفت و گاز، کهولت سن تجهیزات.

ارزیابی اثر زوال ناشی از افزایش سن تانک‌ها بر روی ریسک لرزه‌ای رویدادهای طبیعیانه، مطالعه موردی با استفاده از OpenSRANE

بیژن سیافزاده

دانشجوی دکتری سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

مهدی شریفی (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران،
m.sharifi@qom.ac.ir

عبدالرضا سروقدمقدم

دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

سعیده کوهستانی

دانشجوی دکتری سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

۱- مقدمه

رویدادهای طبیعیانه^۱ نام برده می‌شود (SayyafZadeh et al., 2023). تاریخچه حوادث طبیعیانه روی داده و تبعات ناشی از آن، نیاز به ارزیابی ریسک این دسته از رویدادها را نشان می‌دهد. به‌منظور ارزیابی و کاهش ریسک‌های تأسیسات صنعتی، تنها ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ها کافی نیست و هدر رفت مواد^۲ و زنجیره وقایع پس از آن نیز باید در نظر گرفته شود (Krausmann et al., 2016). انواع پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی مانند زلزله، سیل، رعدوبرق و غیره باید از نظر توانایی در ایجاد آسیب مورد بررسی قرار گیرند. در گذشته نظر بر نادر

مخاطرات طبیعی مانند حوادث فناورانه^۱ می‌توانند عملکرد و یکپارچگی تأسیسات صنعتی را تحت تأثیر قرار دهند و موجب آسیب، اختلال در عمل و زیان‌های اقتصادی شوند (Salzano et al., 2013). در دهه‌های اخیر رویدادهای بسیاری از فجایع ناشی از تأثیر مخاطرات طبیعی بر روی صنایع فرآیندی ثبت شده است (Cruz & Steinberg, 2005; Krausmann & Cruz, 2013; Madabhushi et al., 2005; Nascimento & Alencar, 2016; Santella et al., 2011). در ادبیات فنی، از این دسته از حوادث فناورانه ناشی از مخاطرات طبیعی تحت عنوان

ارزیابی ریسک کارخانه‌های فرآیندی تأثیرگذار می‌باشند (SayyafZadeh et al., 2024).

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر زوال ناشی از افزایش سن مخازن بر ریسک لرزه‌ای رویدادهای طبیعی در مجتمع‌های نفتی می‌باشد. در این مطالعه یک پلنت ذخیره به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است و ضمن معرفی نرم‌افزار OpenSRANE که نرم‌افزاری منعطف و توسعه‌پذیر می‌باشد، به انجام محاسبات و ارزیابی مربوط به ریسک لرزه‌ای رویدادهای طبیعی پلنت مذکور با استفاده از نرم‌افزار و بستر نام برده شده پرداخته شده است. با تخصیص شکنندگی متناظر با سن‌های فرسودگی مختلف، ریسک رویدادهای طبیعی لرزه‌ای برای هر سن محاسبه شده و نتایج برای سنین مختلف با هم مقایسه شده است. شایان ذکر است به دلیل نداشتن اطلاعات کافی در خصوص تأثیر فرسودگی سازه‌ها بر روی توابع پروبیت مربوطه، محاسبات صورت گرفته با چشم‌پوشی از تأثیر مذکور می‌باشد و ارزیابی این اثر به مطالعات آتی سپرده شده است.

با توجه به اهمیت و تبعات رویدادهای طبیعی، ارزیابی ریسک این دسته از رویدادها مورد توجه محققین قرار گرفت. از اولین فعالیت‌های صورت گرفته جهت ارزیابی ریسک رویدادهای طبیعی، مطالعات فابروسینو و همکاران می‌باشد (Fabbrocino et al., 2005). آنها اقدام به به‌کارگیری روش ارزیابی ریسک عددی (QRA)^۴ که برای حوادث فرآیندی تدوین شده بود کردند (Alessandri et al., 2018; Cozzani et al., 2014). هدف QRA تخصیص اعداد به احتمال و پیامدهای رویدادهای منجر به هدر رفت مواد خطرناک می‌باشد (Cox, 1998). با ترکیب و توسعه روش فوق برای رویدادهای لرزه‌ای الگوریتمی جهت ارزیابی ریسک لرزه‌ای کارخانه‌های نفت و گازی ارائه نمودند. با توجه به اینکه تانک‌های ذخیره اصلی‌ترین المان خطرآفرین کارخانه‌ها می‌باشند لذا ایشان تنها به بررسی این المان پرداختند. الگوریتم مذکور و توسعه‌هایی که در مطالعات آتی یافت بدون در نظرگیری اثرات دومینویی بود.

بودن این رویدادها بوده است درحالی‌که آمار نشان از توسعه و رشد این دسته از رویدادها را دارد و ریسک وقوع این دسته از رویدادها ناچیز نبوده و ارزیابی و مدیریت آنها لازم می‌باشد (Krausmann & Necci, 2021). جهت کاهش ریسک رویدادهای طبیعی و جلوگیری از حوادث و پیامدهای احتمالی ناشی از آن لازم است که ریسک انواع رویدادها شناسایی و ارزیابی گردند (Damle et al., 2021).

بر طبق آمار موجود زمین‌لرزه منجر به شدیدترین رویدادهای طبیعی شده است (Giacomo et al., 2009). تأثیر این مخاطره بر روی یک سازه به مشخصات خطر (برای مثال برای زلزله بزرگی، عمق و فاصله از مرکز زلزله، زمین‌شناسی و توپوگرافی، شرایط خاک محلی و مدت‌زمان و غیره) و آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر بستگی دارد (Park & Cruz, 2022). منحنی‌های شکنندگی حاصل از تحلیل‌های شکنندگی یکی از ابزارهای پرکاربرد جهت برآورد آسیب‌پذیری المان‌ها و تجهیزات موجود در ارزیابی‌های ریسک رویدادهای طبیعی می‌باشد. مطالعات بسیاری در حوزه تعیین شکنندگی انواع تجهیزات و المان‌ها صورت گرفته و همچنان در حال انجام می‌باشد (Koohestani et al., 2022; SayyafZadeh et al., 2020). عمده مطالعات صورت گرفته جهت محاسبه شکنندگی سازه‌ها بر اساس مشخصات اولیه سازه‌ها می‌باشد. این در حالی است که سازه‌ها به دلیل کهنوت و افزایش سن در طول زمان مشخصات اولیه خود را از دست می‌دهند. از نقطه‌نظر تحلیل لرزه‌ای، پیری یا زوال ممکن است بر خواص دینامیکی، پاسخ سازه، مقاومت یا ظرفیت، حالت‌های شکست و مکان‌های شروع شکست تأثیر بگذارد (Shao et al., 1998). افزایش سن تجهیزات بر منحنی شکنندگی لرزه‌ای به دو صورت تأثیرگذار است: بر ظرفیت متوسط و بر عدم قطعیت‌ها، که اولی به‌طور بالقوه مهم‌تر است. زوال که اغلب به‌صورت کاهش سطح مقطع یا ترک مشاهده می‌شود، مقاومت (تجهیز) را کاهش می‌دهد و در نتیجه باعث تشدید شکنندگی می‌شود (Nie et al., 2011a).

واضح است که افزایش شکنندگی مشخصاً بر روی نتایج

۲- انتخاب منحنی‌های شکنندگی

در عمده الگوریتم‌های ارائه شده، آسیب‌پذیری تجهیزات با استفاده از منحنی‌های شکنندگی محاسبه و برآورد می‌شود. منحنی‌های شکنندگی ابزار مهمی هستند که رابطه بین شدت عامل آسیب و احتمال وقوع آسیب به سازه‌ها را نشان می‌دهند و به‌طور کلی می‌تواند به سه روش تجربی، تحلیلی و تفسیری (پیش‌بینی و تفسیر کارشناسان) تهیه می‌شوند (Bezir et al., 2022). تنوع سازه‌های موجود در کارخانه‌های فرآیندی سبب شده است که تلاش‌های بسیاری برای محاسبه شکنندگی‌های مربوط به هر یک از سازه‌ها صورت گیرد (Abbiati et al., 2021; Di Sarno & Karagiannakis, 2020; Koohestani et al., 2022; Bijan SayyafZadeh et al., 2020).

موراکامی در سال ۲۰۱۰ با جمع‌آوری بیش از صد داده از مخازن در سراسر ژاپن و با در نظر گرفتن تأثیر کاهش ضخامت پوسته تانک در منحنی شکنندگی جهت ارزیابی ریسک مجتمع‌های صنعتی، مشاهده کرد تعداد مخازن آسیب‌دیده به مقدار قابل توجهی (حدود ۴) برابر بیشتر می‌شود (Murakami et al., 2010). واضح است این موضوع تأثیر مستقیمی بر روی نتایج ریسک رویدادهای طبیعی خواهد داشت. در روش‌های تحلیلی محاسبات بر اساس مشخصات اسمی یا اولیه سازه صورت می‌پذیرد و در روش تجربی، شکنندگی حاصله بر اساس آمار موجود آسیب‌های وارده به سازه‌ها با عمرهای متفاوت می‌باشد و شکنندگی حاصله مربوط به سن خاصی از سازه نیست. لذا در هیچ‌یک از روش‌های مذکور میزان تأثیر عمر سازه بر روی منحنی شکنندگی به‌وضوح مشخص نمی‌گردد.

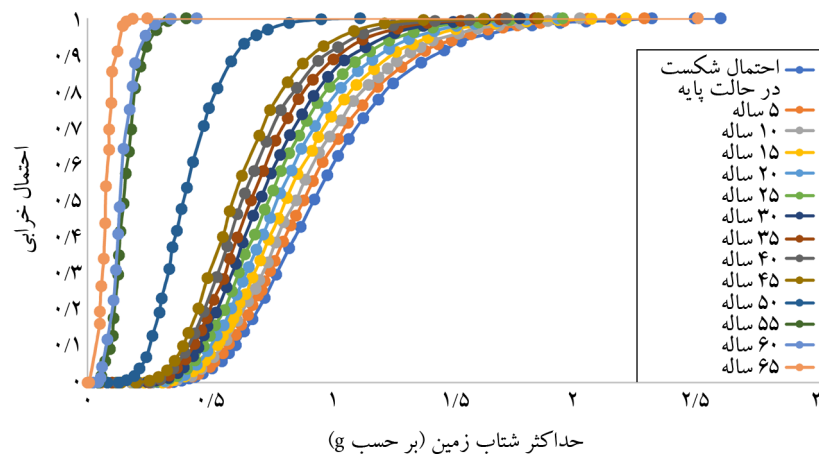
این در حالی است که با گذشت زمان، عواملی همچون فرسودگی و خوردگی سبب تغییر مشخصات المان‌ها می‌گردد. تانک‌های ذخیره فولادی از جمله سازه‌هایی هستند که به دلیل تماس سطح زیادی از جداره با سیالات در معرض خوردگی بالایی قرار دارند. خوردگی سبب کاهش ضخامت پوسته این

آنتونیونی در مطالعه‌ای جهت ارزیابی میزان تأثیر اثرات دومینویی، اقدام به ارائه الگوریتمی جدید نمود که تنها تا یک سطح اثرات مذکور را در نظر می‌گرفت (Antonioni et al., 2007). روش‌های ذکر شده بر مبنای روابط تحلیلی تهیه گردید بود و این مسئله محدودیت‌هایی را جهت بسط و توسعه آنها به وجود می‌آورد. عبدالحمیدزاده و همکاران جهت غلبه بر محدودیت‌های روش‌های موجود، الگوریتمی جدید بر مبنای روش مونت کارلو ارائه نمودند (Abdolhamidzadeh et al., 2010). روش مونت کارلو امروزه در بسیاری از حوزه‌های احتمالاتی و شبیه‌سازی نقش بسیار پر رنگی ایفا می‌کند و کاربردهای مختلفی در حوزه‌های گوناگون توسط روش مذکور ارائه شده است (Sayyafzadeh et al., 2019). الگوریتم مذکور امکان در نظرگیری اثرات دومینویی در هر سطحی را فراهم می‌نماید و با توجه به اهمیت این اثر، محدودیت‌های قبلی مرتفع گردید.

الساندردی و همکاران در مطالعه‌ای الگوریتمی جامع ارائه نمودند که قابلیت تولید و ارزیابی تمامی سناریوهای ممکنه را داشت (Alessandri et al., 2018). عددی بودن روش مذکور و جامع بودن آن امکان توسعه آن را برای در نظرگیری انواع الگوریتم‌ها و روش‌ها فراهم می‌نماید. روش‌ها و الگوریتم‌های مذکور برای در نظرگیری انواع مخاطرات و شرایط ممکنه همواره در حال رشد و توسعه بوده است. در برخی از مطالعات الگوریتم‌هایی جهت در نظرگیری انواع مخاطراتی همچون سیل و رعدوبرق و طوفان و... ارائه گردیده است (Antonioni et al., 2009, 2015; Misuri et al., 2020; Necci et al., 2016). همچنین الگوریتم‌های ارائه شده توسط سایر محققین برای انواع نیازها و ارزیابی‌هایی توسعه داده شده‌اند. ارتقا الگوریتم‌های موجود برای انجام محاسبات تاب‌آوری و ارزیابی تأثیر وجود موانع نمونه‌های از توسعه‌های صورت گرفته می‌باشد (Caputo et al., 2020; Misuri et al., 2021). علی‌رغم پیشرفت‌های بسیار در این حوزه، نیاز به تحقیقات و توسعه بیشتر این حوزه تأکید شده است (Mesa-Gómez et al., 2021).

سن مخزن، این افزایش شدت بیشتری به خود گرفته است. در این مطالعه از نمودارهای فوق برای شکنندگی مخازن گازوئیل مورد مطالعه استفاده شده است. به دلیل تفاوت وزن مخصوص گازوئیل و آب، جهت استفاده از شکنندگی‌های فوق مقادیر شدت اصلاح گردید. با ضرب کردن مقادیر شدت در ضریب $1/3$ (نسبت وزن مخصوص آب به گازوئیل) و صرف‌نظر از اثرات ناشی از تغییرات تنش‌های هیدرواستاتیکی نمودارهای شکنندگی اصلاح گردید و پارامترهای توزیع لوگ‌نرمال مربوطه حاصل گردید. پارامترهای حاصله جهت تعریف منحنی‌های شکنندگی مورد نیاز در جدول (۱) ارائه شده است.

مخازن می‌گردد و متعاقباً بر روی آسیب‌پذیری آنها تأثیر مستقیم دارد. بریومن و همکاران طی مطالعه‌ای به بررسی تأثیر خوردگی در طول زمان بر روی منحنی‌های شکنندگی برای مخازن پرداختند (Nie et al., 2011b). ایشان با تعیین مقدار ضخامت جداره مخزن در بازه یک زمانی ۶۵ ساله، منحنی شکنندگی مخزن را با توجه به کاهش ضخامت مخزن محاسبه نمودند. محتویات مخزن آب بوده و نمودارهای شکنندگی حاصله برای مخزن مذکور در شکل (۱) نمایش داده شده است. افزایش احتمال خرابی تا سن ۴۵ سالگی، به‌صورت تقریباً یکنواختی صورت گرفته است اما در حد فاصل ۴۵ تا ۵۵ سالگی



شکل (۱): شکنندگی‌های حاصل شده برای سن‌های مختلف تانک (Nie et al., 2011b).

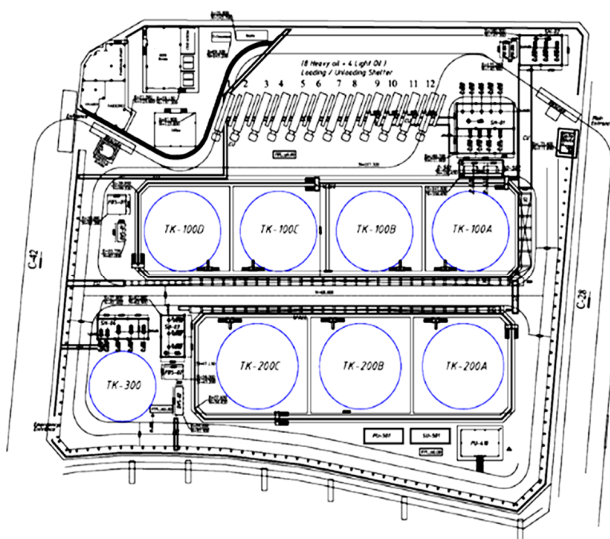
جدول (۱): پارامترهای شکنندگی‌های لوگ‌نرمال و ضخامت متناظر برای سن‌های مختلف تانک‌ها.

عمر سازه	ضخامت پوسته (میلی‌متر)	انحراف معیار استاندارد	میانگین
زمان ساخت	۱۵/۹۰	۰/۳۳۴۱۰۲	۰/۱۸۳۷۸۷
سال ۵	۱۴/۹۴	۰/۳۳۴۶۶۸	۰/۱۳۹۰۰۷
سال ۱۰	۱۳/۹۹	۰/۳۳۶۲۵۱	۰/۰۹۹۲۸
سال ۱۵	۱۳/۰۳	۰/۳۳۴۹۴۱	۰/۰۵۵۲۳۷
سال ۲۰	۱۲/۰۸	۰/۳۳۴۸۰۲	۰/۰۸۸۷۸
سال ۲۵	۱۱/۱۲	۰/۳۳۶۷۵۵	-۰/۰۵
سال ۳۰	۱۰/۱۷	۰/۳۳۷۶۰۸	-۰/۰۱
سال ۳۵	۹/۲۱	۰/۳۳۲۵۳۴	-۰/۰۱۵
سال ۴۰	۸/۲۶	۰/۳۳۲۷۲۹	-۰/۰۲
سال ۴۵	۷/۳۰	۰/۳۳۴۹۳۱	-۰/۰۲۵
سال ۵۰	۶/۳۵	۰/۳۴۱۳۴۷	۰/۰۶۷
سال ۵۵	۵/۳۹	۰/۳۷۵۲۴۹	-۱/۰۷
سال ۶۰	۴/۴۴	۰/۳۴۴۵۸۲	-۱/۰۷۵

محیط برنامه‌نویسی پایتون سبب شده است که برنامه از انعطاف‌پذیری بالایی در مدل‌سازی برخوردار باشد. همچنین دسترسی به کتابخانه‌ها و پکیج‌های بی‌شمار موجود محیط پایتون در کنار فرمان‌های مدل‌سازی امکان انواع ارزیابی‌ها و تحلیل‌ها را فراهم می‌نماید. پیاده‌سازی مدل در محیط برنامه‌نویسی سبب سهولت مدل‌سازی و عدم نیاز به ساخت چندین مدل مجزا و کاهش خطای انسانی می‌گردد. راهنمای کامل نرم‌افزار مذکور و توضیحات بیشتر در آدرس زیر قابل دسترسی می‌باشد: https://opensrane.github.io/OpenSRANE_Documentation

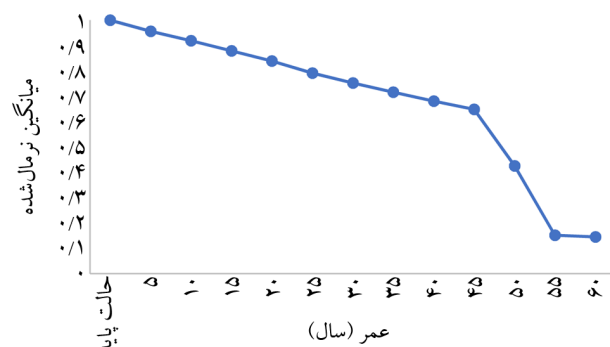
۴- معرفی مدل‌های مورد بررسی و بیان پارامترهای مورد بررسی (سه مدل کوچک، متوسط و بزرگ پیشنهاد شد)

در این مطالعه به یک پلنت ذخیره گازوئیل با جانمایی و نام‌گذاری نشان داده شده در شکل (۳) جهت ارزیابی تأثیر سن تجهیزات در نظر گرفته شده است. مشخصات موقعیت محلی و ابعادی تانک‌های نشان داده شده در شکل (۳) در جدول (۲) نمایش داده شده است. با توجه به استفاده از شکنندگی‌های به‌دست آمده از مطالعه (Nie et al., 2011b)، ابعاد در نظر گرفته شده برای تانک‌ها مطابق همین مرجع در نظر گرفته شده است.



شکل (۳): پلان سایت مورد بررسی و پلان مدل تهیه شده در نرم‌افزار.

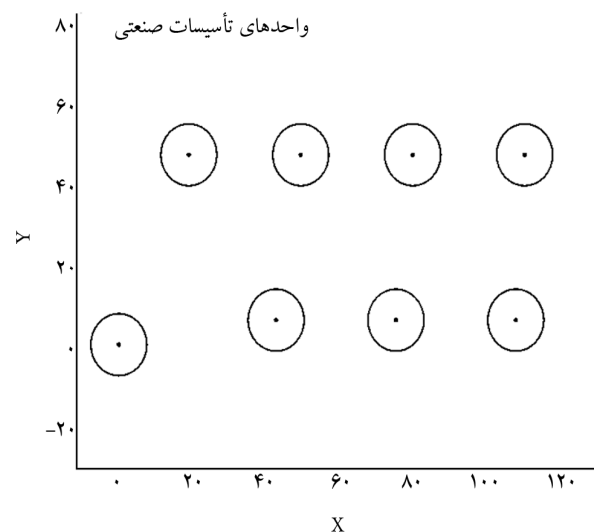
مقادیر پارامترهای شکنندگی ارائه شده در جدول (۱) نشان می‌دهد که مقادیر انحراف از معیار مقداری تقریباً ثابت و یکنواخت دارد. مقدار میانگین منحنی‌های شکنندگی حاصله نسبت به میانگین شکنندگی زمان ساخت در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲): نسبت مقدار پارامتر میانگین شکنندگی به شکنندگی زمان ساخت برای سن‌های مختلف زوال.

۳- معرفی بستر مورد استفاده

در این مطالعه از بستر OpenSRANE^۵ استفاده شده است (SayyafZadeh et al., 2024). بستر مذکور نرم‌افزاری کد باز و قابل توسعه و الهام گرفته از نرم‌افزار OpenSees می‌باشد (Zhu et al., 2018). این نرم‌افزار برای تحلیل ریسک رویدادهای طبیعی برای کارخانه‌ها و صنایع نفت و گاز تهیه شده است. پیاده‌سازی آن به صورت دستورات زبان برنامه‌نویسی در



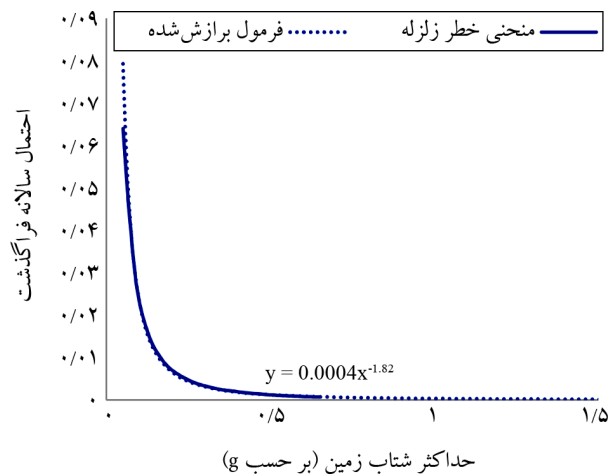
جدول (۲): موقعیت مکانی و نام و ابعاد مخازن مدل‌سازی شده (بر حسب متر).

نام تانک	شماره شناسه	مختصات X	مختصات Y	سطح مایع	ارتفاع	قطر	ضخامت
TK-300	۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۴۳	۱۱/۴۳	۱۵/۲۴	۰/۱۵۸۷۵
TK-200C	۲	۴۲/۷۰	۶/۰۳	۱۱/۴۳	۱۱/۴۳	۱۵/۲۴	۰/۱۵۸۷۵
TK-200B	۳	۷۵/۲۵	۶/۰۳	۱۱/۴۳	۱۱/۴۳	۱۵/۲۴	۰/۱۵۸۷۵
TK-200A	۴	۱۰۷/۸۰	۶/۰۳	۱۱/۴۳	۱۱/۴۳	۱۵/۲۴	۰/۱۵۸۷۵
TK-100D	۵	۱۹/۰۰	۴۷/۰۲	۱۱/۴۳	۱۱/۴۳	۱۵/۲۴	۰/۱۵۸۷۵
TK-100C	۶	۴۹/۴۰	۴۷/۰۲	۱۱/۴۳	۱۱/۴۳	۱۵/۲۴	۰/۱۵۸۷۵
TK-100B	۷	۷۹/۸۰	۴۷/۰۲	۱۱/۴۳	۱۱/۴۳	۱۵/۲۴	۰/۱۵۸۷۵
TK-100A	۸	۱۱۰/۲۰	۴۷/۰۲	۱۱/۴۳	۱۱/۴۳	۱۵/۲۴	۰/۱۵۸۷۵

جدول (۳): کران بالا و پایین آسیب‌پذیری تحت تأثیرات فیزیکی.

کران پایین تشعشع حرارتی (کیلووات بر مترمربع)	کران بالای تشعشع حرارتی (کیلووات بر متر مربع)	کران پایین اضافه فشار (bar)	کران بالای اضافه فشار (bar)	واحد‌های تأسیسات صنعتی
۱۲/۵	۳۷/۵	۰/۳	۰/۶	افراد
۴/۰	۱۲/۵	۰/۱	۰/۳	

نظرگیری اثرات دومینویی و همچنین آسیب‌پذیری اشخاص در برابر حرارت آتش و انفجار از توابع پروبیت استفاده می‌گردد. کران بالا و پایین مقادیر آسیب‌پذیری برای تجهیزات و اشخاص در جدول (۳) از منابع (Alessandri et al., 2018; Joaquim) استخراچ شده است. در توابع پروبیت تابعی کاملاً مشابه با توابع شکنندگی می‌باشد و مقدار احتمال آسیب‌پذیری را در برابر شدت یا دوز محرک وارده به المان آسیب‌پذیر مشخص می‌نمایند. پارامترهای توابع پروبیت به نحوی تعیین شدند که در کران پایین ارائه شده مقدار احتمال برابر با صفر و در کران بالای ارائه شده مقدار احتمال برابر با یک را باز گردانند. در حد فاصل مقادیر مذکور تابع پروبیت با در نظرگیری توزیع نرمال، به ازای هر مقدار شدت، مقدار احتمال آسیب‌پذیری متناظر را باز می‌گرداند. لازم است که توزیع باد منطقه نیز برای مدل تعیین گردد. گلباد مورد استفاده در این مدل در شکل (۵) نمایش داده شده است. با استفاده از داده‌های ارائه شده توسط گلباد، مقدار احتمال وزش باد در هر راستا و احتمال مقادیر سرعت‌های مختلف در هر راستا برای برنامه مشخص می‌گردد. برنامه در هر بار شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های تعریف شده اقدام به تعیین سرعت، راستا و کلاس وزش باد می‌نماید.


شکل (۴): منحنی خطر منطقه و رابطه برازش شده.

جهت منحنی خطر لرزه‌ای منطقه از مطالعه صورت گرفته توسط بوستان و همکاران استفاده گردید (Boostan et al., 2015). منحنی ارائه شده توسط ایشان توسط رابطه‌ای نمایی تخمین زده شد. در شکل (۴) منحنی مربوطه و رابطه برازش شده به آن نمایش داده شده است. همان‌طور که توضیح داده شد، محتویات درون مخازن گازوئیل می‌باشد. این ماده به دلیل داشتن موارد استفاده بالا، در بسیاری از مزارع تانک ماده اصلی کارخانه می‌باشد. برای در

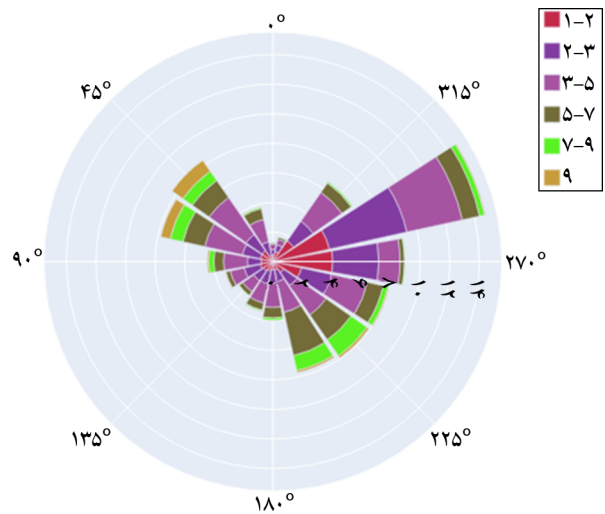
فیزیکی و انتشار ایمن مواد در محیط برابر با ۸/۸۲ درصد است. سایر فرضیات و تنظیمات در نظر گرفته شده برای مدل تهیه شده، در بخش مثال‌های سایت برنامه قابل دسترسی و مشاهده می‌باشد.

۵- الگوریتم انجام تحلیل

در حالت کلی ارزیابی عددی ریسک طبیعی پلنت‌های نفتی در دو حالت کلی تحلیلی و عددی صورت می‌گیرد. گومز و همکاران (Mesa-Gómez et al., 2021) نشان دادند که طی ۱۳ سال مطالعه بر روی روش‌های ارزیابی ریسک رویدادهای طبیعی، توافقی نسبی بین محققین بر روی الگوریتم انجام تحلیل این دسته از رویدادها شکل گرفته است. ایشان افزوده شدن اثرات دومینویی با توجه به تأثیر قابل توجه آنها بر روی نتایج را تنها تغییر محسوس و عمده صورت گرفته در بازه زمانی اعلام شده معرفی نمودند. نرم‌افزار OpenSRANE قابلیت پیاده‌سازی و توسعه برای انواع الگوریتم‌ها و روش‌ها را دارد. الگوریتم موجود در نرم‌افزار در زمان انجام این مطالعه برای یک بار شبیه‌سازی در شکل (۷) نمایش داده شده است. الگوریتم عددی ارائه شده دارای رویکردی جامع بوده که علاوه بر در نظرگیری اثرات دومینویی، محدودیت‌های موجود در روش‌های تحلیلی را ندارد.

مبنای الگوریتم نشان داده شده روش مونت کارلو می‌باشد. بر این اساس برای هر متغیر تصادفی تعریف شده با توجه به توزیع داده‌های مربوطه یک نمونه تولید می‌گردد و شبیه‌سازی بر اساس نمونه‌های تولید شده صورت می‌پذیرد. در انتها پس از انجام شبیه‌سازی‌های فراوان، با انجام عملیات آماری بر روی هر یک از نتایج حاصله، پاسخ احتمالاتی مد نظر به دست می‌آید.

در مرحله اول (Zero Level Analysis) ابتدا از منحنی خطر یک نمونه‌گیری صورت می‌گیرد و یک شدت از خطر تعریف شده تعیین می‌شود. سپس آسیب‌پذیری تجهیزات تحت شدت نمونه‌گیری شده ارزیابی می‌گردد و تجهیزات آسیب‌دیده مشخص می‌شوند. در صورتی که تجهیزاتی آسیب ندیده باشد این شبیه‌سازی به پایان می‌رسد و شبیه‌سازی بعدی آغاز می‌گردد. در صورت آسیب دیدن حداقل یک تجهیز، در مرحله بعدی خروج

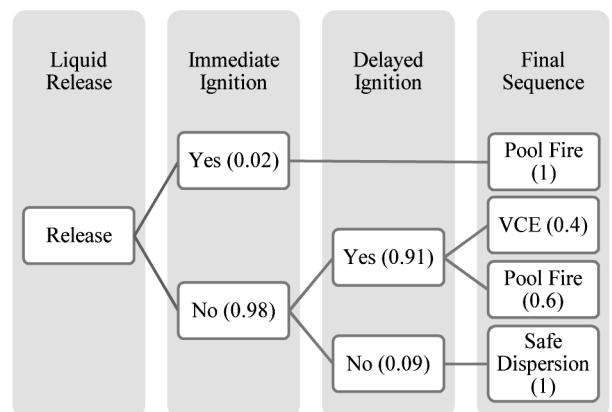


شکل (۵): تصویر گلباد تعریف شده.

با آسیب دیدن تانک و انتشار محتویات به درون محیط، حوادث فیزیکی مختلفی همچون انفجار، آتش آبی، آتش تأخیری و غیره می‌تواند رخ بدهد. وقوع هر یک از حوادث مذکور دارای احتمال متفاوتی می‌باشد.

جهت تعیین مقدار احتمال وقوع هر یک از حوادث فیزیکی محتمل از درخت رویداد استفاده می‌گردد. برای انواع مواد درخت‌های رویداد متفاوتی در منابع مختلف ارائه شده است. در شکل (۶) درخت رویداد مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است.

بر اساس درخت رویداد نشان داده شده در شکل (۶) احتمال وقوع آتش استخری برابر با ۵۵/۴۸ درصد و احتمال وقوع انفجار برابر با ۳۵/۷ درصد می‌باشد. همچنین احتمال عدم وقوع رویداد

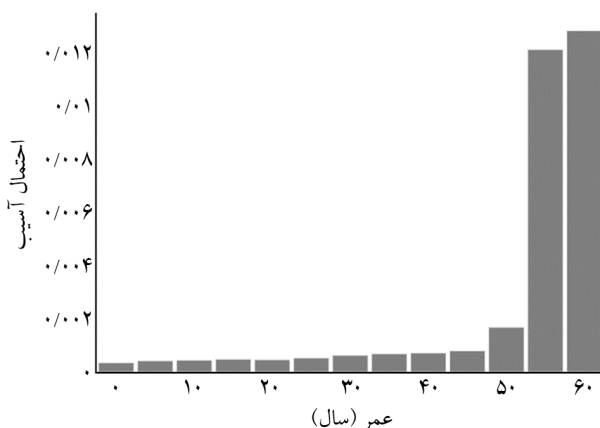


شکل (۶): درخت رویداد در نظر گرفته شده برای حوادث فیزیکی.

مراجعه نمایند. الگوریتم مذکور به تعداد دفعات درخواست شده توسط کاربر تکرار می‌گردد. سپس با انجام عملیات آماری در مرحله پس پردازش انواع نتایج مد نظر استخراج می‌گردد. در بخش بعدی نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم مذکور بر روی مدل مورد مطالعه ارائه و تفسیر می‌گردد.

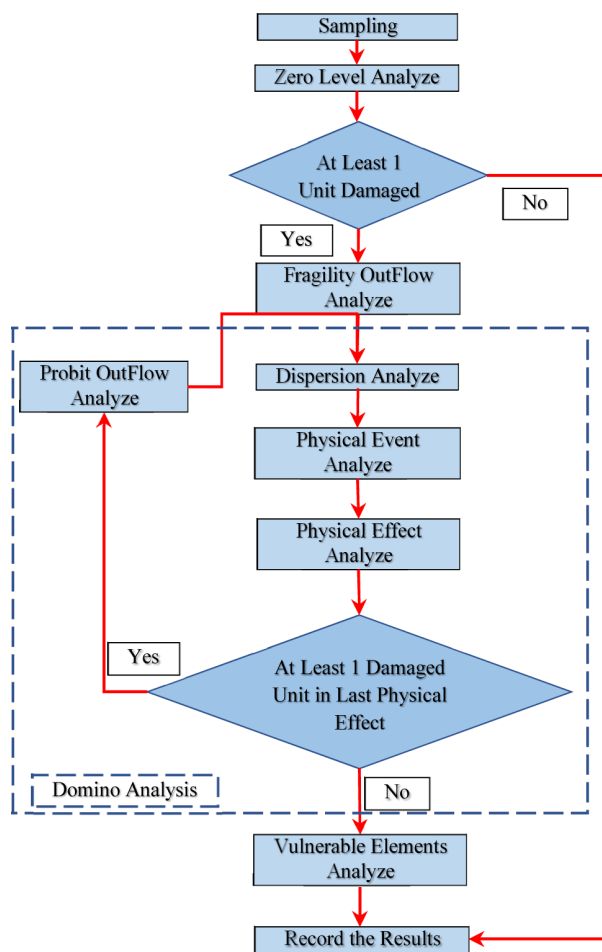
۶- بررسی و تفسیر نتایج حاصل از تحلیل

تحلیل مدل تهیه شده توسط یک کامپیوتر شخصی با هشت هسته 3.89 GHz (AMD Ryzen 7 3800X) و با رم 16.0 GB صورت پذیرفت. برای هر یک از شکنندگی‌های ارائه شده، ۱/۰۰۰/۰۰۰ شبیه‌سازی صورت گرفت. با توجه به قابلیت پردازش موازی نرم‌افزار OpenSRANE، برای شکنندگی‌های تا ۵۰ سالگی، مدت زمان صرف شده برای انجام این تحلیل حدوداً برابر با ۱۵ دقیقه بوده است. برای هر یک از فرسودگی‌های ۵۵ و ۶۰ سالگی، با توجه به وقوع خرابی‌های بسیار، مدت زمان صرف شده تقریباً کمتر از ۶۰ دقیقه بوده است. در ادامه به بررسی انواع نتایج حاصله از تحلیل‌های صورت گرفته پرداخته می‌شود. احتمال خرابی تجهیزات در سطح صفر، یکی از خروجی‌های استخراج شده از نرم‌افزار می‌باشد. در شکل (۸) احتمال خرابی یک تجهیز بر حسب فرسودگی تجهیز نمایش داده شده است. میزان تأثیر فرسودگی سازه تا ۴۵ سالگی تقریباً ناچیز می‌باشد در حالی که این تأثیر از ۵۰ سالگی به شدت تشدید می‌یابد.



شکل (۸): احتمال خرابی یک تجهیز در سنین مختلف.

مواد خطرناک از معازن آسیب‌دیده محاسبه و سپس شبیه‌سازی وارد بخش تحلیل دومینویی می‌شود. در این بخش انتشار مواد آزاد شده در محیط، وقوع رویدادهای فیزیکی و تأثیر آنها بر روی سایر تجهیزات محاسبه می‌گردد. در صورتی که تجهیز دچار آسیب ناشی از اثرات فیزیکی (اضافه فشار یا تشعشع حرارتی) شود، خروج ماده خطرناک از تجهیز مذکور محاسبه و مجدداً گام‌های بخش تحلیل دومینویی تکرار می‌گردد. در انتها آسیب‌پذیری المان‌های آسیب‌پذیر تعریف شده محاسبه و نتایج ذخیره می‌شود.



شکل (۷): الگوریتم تجزیه و تحلیل یک سناریو.

این الگوریتم در حالت کلی بر گرفته شده از مطالعه صورت گرفته توسط الساندري و همکاران (Alessandri et al., 2018) می‌باشد هر چند که در برخی از جزئیات دارای تفاوت‌هایی است و خوانندگان جهت آشنایی بیشتر می‌توانند به منبع اشاره شده

۶۰ سالگی این مقدار به شدت افزایش یافته است. به‌وضوح مقدار خروج از مواد در سطح صفر بیشتر از مقادیر اثرات دومینویی می‌باشد. اما نمی‌توان این مسئله را به‌صورت کلی بیان داشت. عواملی همچون مدل‌های در نظر گرفته شده برای رویدادهای فیزیکی و اثرات آنها و فواصل مخازن از یکدیگر از جمله عوامل مؤثر بر نتایج ارائه شده می‌باشد. از سوی دیگر در دسترس نبودن مقادیر منحنی‌های پروبیت به دلیل فرسودگی و ثابت فرض کردن آنها از دیگر عوامل مؤثر بر نتایج ارائه شده می‌باشد.

ریسک فردی، یکی از مهم‌ترین خروجی‌های محاسبات ارزیابی ریسک رویدادهای فرآیندی و طبیعیانه می‌باشد. با مقایسه پلات ریسک‌های فردی می‌توان میزان تأثیر فرسودگی بر آن را مشاهده نمود. در شکل (۱۰) نمودار ریسک فردی پلنت برای فرسودگی‌های مختلف ترسیم شده است. ریسک محاسبه شده در محدوده 10^{-5} تا 10^{-8} در نظر گرفته شده است.

همانند نتایج قبلی تا سن ۴۵ سالگی تفاوت محسوسی میان نتایج مشاهده نمی‌شود درحالی‌که در فرسودگی‌های ۵۰ سالگی و ۶۰ سالگی ناحیه مشخص شده با رنگ قرمز که بیانگر ریسک فردی حداکثر (10^{-5}) تعریف شده می‌باشد، سطح بسیار بیشتری را به خود اختصاص داده است.

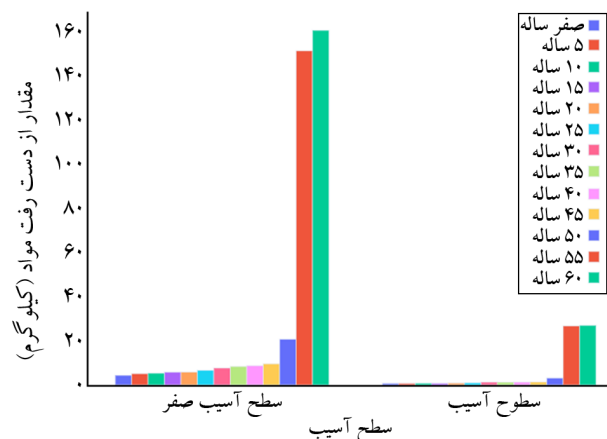
جهت انجام یک مقایسه عددی لازم است نتایج ریسک فردی محاسبه شده به‌صورت یک مقدار کمی بیان گردد. جهت بیان نتایج ریسک فردی به‌صورت یک مقدار کمی، مقدار ریسک فردی متناظر با هر سن به‌صورت مجموع مقادیر احتمال به‌دست آمده برای تمامی نقاطی که ریسک برای آنها محاسبه می‌شود، تعریف شد. بر این اساس مقدار مجموع ریسک فردی IR برابر می‌شود با:

$$IR = \sum_{n=1}^N P_n \quad (1)$$

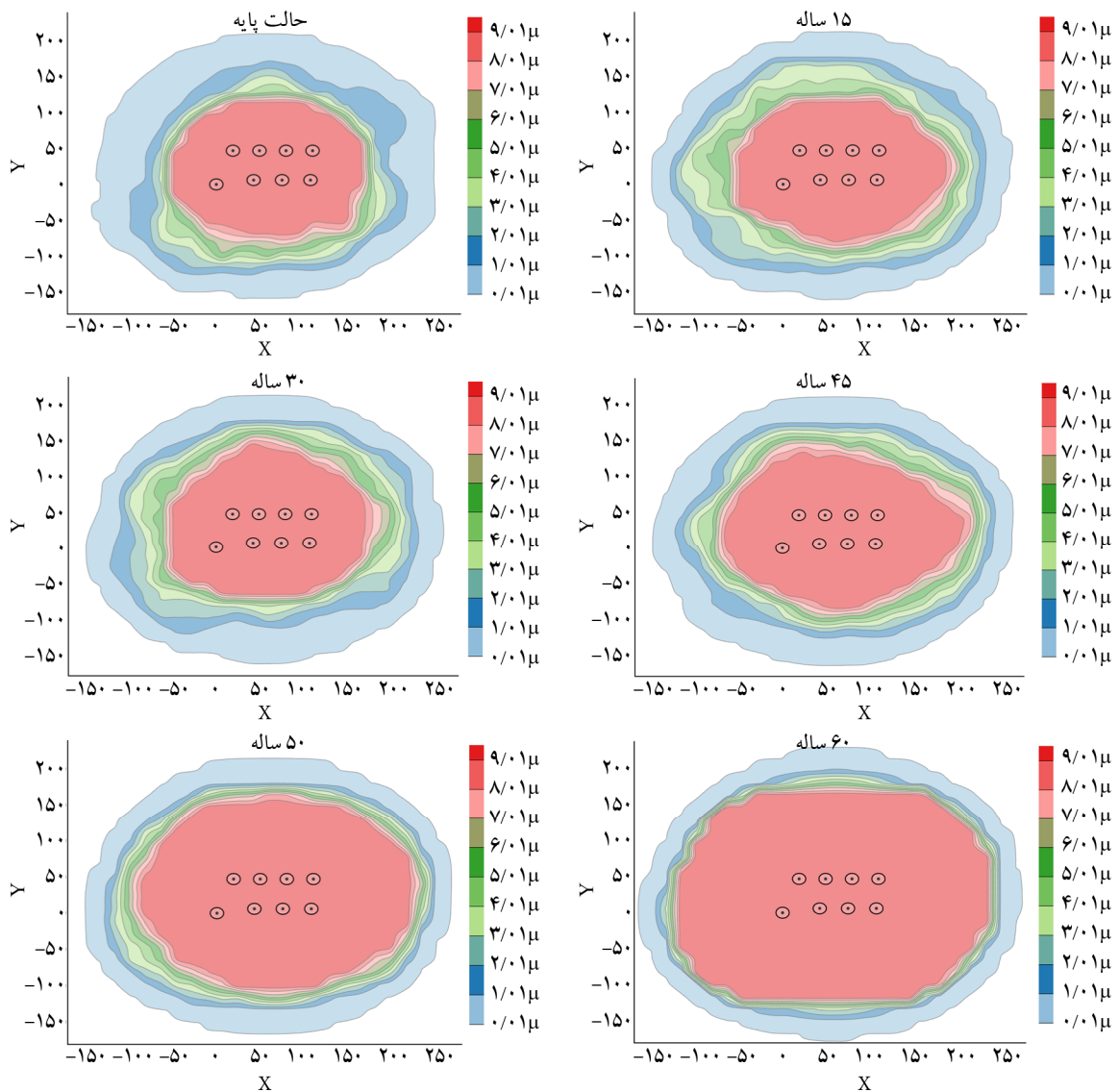
که در آن N تعداد نقاط تعریف شده جهت محاسبه آسیب‌پذیری فردی می‌باشد. P_n احتمال آسیب‌پذیری فردی در نقطه n^{th} می‌باشد. با استفاده از رابطه فوق مقدار مجموع ریسک فردی برای سن‌های فرسودگی مختلف محاسبه و در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

میزان افزایش احتمال آسیب‌پذیری نشان داده شده در شکل (۸) در مقایسه با میزان کاهش مقادیر میانگین منحنی‌های شکنندگی نشان داده شده در شکل (۲) بسیار قابل توجه می‌باشد. دلیل این نتیجه را می‌توان با بررسی منحنی خطر منطقه (شکل ۴) و منحنی‌های شکنندگی ۵۵ سالگی و ۶۰ سالگی تجهیزات دریافت. همپوشانی بخش عمده منحنی خطر لرزه‌ای منطقه با منحنی‌های شکنندگی مذکور سبب افزایش تعداد شبیه‌سازی‌های منجر به خرابی و متعاقباً افزایش احتمال خرابی تجهیزات در سن‌های مذکور گردیده است. همپوشانی بیشتر بیانگر مساحت بزرگ‌تر ناحیه مشترک زیر دو منحنی می‌باشد. با افزایش هر چه بیشتر مساحت ناحیه مشترک زیر دو منحنی، احتمال هم‌زمانی وقوع هر دو نمودار در شبیه‌سازی‌ها بیشتر می‌شود.

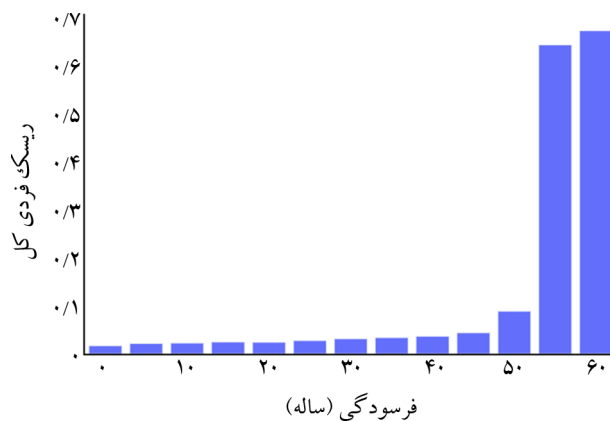
مقدار خروج محتویات مورد انتظار مخازن از دیگر خروجی‌های مورد بررسی می‌باشد. در شکل (۹) مقدار مورد انتظار خروج محتویات از مخازن بر حسب کیلوگرم برای سطح خرابی صفر (خرابی ناشی از مخاطره طبیعی) و خرابی‌های ناشی از اثرات دومینویی مشاهده می‌گردد. در خرابی‌های صورت گرفته در سطح صفر، با افزایش سن سازه تا ۴۵ سال، مقدار هدر رفت مواد خطرناک به‌صورت تقریباً خطی با شیب یکنواختی افزایش می‌یابد و تا ۴۵ سالگی به حدود دو برابر می‌رسد. همانند نتایج مشاهده شده در بخش قبل در ۵۰ سالگی مقدار هدر رفت مورد انتظار مواد ناگهان افزایش به خود گرفته و در ۵۵ و



شکل (۹): میزان هدر رفت مورد انتظار مواد برای سنین مختلف برای سطوح خرابی صفر و سایر سطوح خرابی.



شکل (۱۰): ریسک فردی برای سنین مختلف.



شکل (۱۱): مجموع ریسک فردی برای سن های فرسودگی مختلف.

قبلی پیروی می نماید. مقدار افزایش ریسک به صورت خطی تا ۴۵ سالگی به حدود دو برابر می رسد. مشاهده می شود که با در نظر

مشاهده می شود که الگوی افزایش ریسک فردی نشان داده شده در شکل (۱۱) به صورت مشابه از الگوهای نشان داده شده

نیست. ارزیابی سایر پلنت‌ها با ابعاد و جانمایی‌های مختلف و مقایسه با نتایج این مطالعه می‌تواند منجر به ترسیم نتایج کلی‌تری شود.

همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد در این مطالعه به دلیل نبود اطلاعات کافی در خصوص تأثیر فرسودگی بر روی توابع پروبیت، در محاسبات صورت گرفته از توابع پروبیت زمان ساخت استفاده شد و با توجه به تأثیر توابع پروبیت بر روی نتایج ناشی از اثرات دومینویی، لازم است در مطالعات آتی این موضوع مورد ارزیابی قرار گیرد.

توابع پروبیت توابعی کاملاً مشابه با توابع شکنندگی می‌باشد و مقدار احتمال آسیب‌پذیری را در برابر شدت یا دوز محرک وارد به المان آسیب‌پذیر مشخص می‌نمایند. پارامترهای توابع پروبیت به نحوی تعیین شدند که در کران پایین ارائه شده مقدار احتمال برابر با صفر و در کران بالای ارائه شده مقدار احتمال برابر با یک را باز گردانند. در حد فاصل مقادیر مذکور تابع پروبیت با در نظرگیری توزیع نرمال، به ازای هر مقدار شدت، مقدار احتمال آسیب‌پذیری متناظر را باز می‌گرداند.

لازم است که توزیع باد منطقه نیز برای مدل تعیین گردد. گلباد مورد استفاده در این مدل در شکل (۵) نمایش داده شده است. با استفاده از داده‌های ارائه شده توسط گلباد، مقدار احتمال وزش باد در هر راستا و احتمال مقادیر سرعت‌های مختلف در هر راستا برای برنامه مشخص می‌گردد. برنامه در هر بار شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های تعریف شده اقدام به تعیین سرعت، راستا و کلاس وزش باد می‌نماید.

References

- Abbiati, G., Broccardo, M., di Filippo, R., Stojadinović, B. & Bursi, O. S. (2021). Seismic fragility analysis of a coupled tank-piping system based on artificial ground motions and surrogate modeling. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 72. doi: 10.1016/j.jlp.2021.104575
- Abdolhamidzadeh, B., Abbasi, T., Rashtchian, D. & Abbasi, S. A. (2010). A new method for assessing

گرفتن اثرات فرسودگی برای توابع پروبیت، اثرات دومینویی تا حدود ۴۵ سالگی تأثیر چندان زیادی بر نتایج ندارد ولی با افزایش سن، در سال‌های ۵۰ و به‌ویژه ۵۵ و ۶۰ سالگی، مقدار ریسک فردی افزایش قابل توجهی به خود می‌گیرد. نتیجه فوق نشان‌دهنده اهمیت در نظرگیری اثرات فرسودگی در کنار اثرات دومینویی برای کارخانه‌های مسن می‌باشد.

۲- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله به مطالعه اثر فرسودگی بر روی نتایج محاسبات ریسک عددی رویدادهای طبیعی پرداخته شد. توابع شکنندگی اصلاح شده بر اساس مدت‌زمان فرسودگی سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. یک پلنت ذخیره مواد به‌عنوان نمونه، مورد مطالعه قرار گرفت و نرم‌افزار OpenSRANE به‌عنوان ابزاری جهت مدل‌سازی و ارزیابی ریسک رویدادهای طبیعی معرفی و استفاده شد.

نتایج نشان می‌دهد که فرسودگی تانک‌های ذخیره تا حدود ۴۵ سالگی تأثیر حداکثر دو برابری بر روی نتایج مدل مورد مطالعه دارد در حالی که فرسودگی‌های بیش از آن تأثیر چندین برابری بر روی نتایج را نشان می‌دهد. بر این اساس لزوم در نظرگیری اثر فرسودگی و کاهش ضخامت تجهیزات جهت ارزیابی ریسک پلنت‌های نفتی موجود و به‌ویژه پلنت‌های با سن بالا تأکید می‌گردد.

با توجه به سن و ضخامت جداره ارائه شده در جدول (۱)، ارتباط خطی میان این دو پارامتر مشاهده می‌شود. با جایگزین کردن سن سازه با ضخامت سازه می‌توان میزان تأثیر افزایش یا کاهش ضخامت سازه را بر روی نتایج مشاهده نمود. نتایج ارائه شده بیانگر تأثیر بسیار زیاد افزایش ناچیز ضخامت در کاهش ریسک پلنت‌های فرسوده می‌باشد. اما در سوی دیگر، تأثیر نه‌چندان محسوس افزایش همان مقدار ضخامت بر روی کاهش ریسک در سن‌های پایین مشاهده می‌شود. لذا می‌توان به‌عنوان نتیجه‌ای دیگر بیان نمود که لزوماً افزایش ضخامت تانک‌ها گزینه چندان مناسبی جهت کاهش ریسک پلنت‌های جوان

- Na-Tech events: Methodology and application to seismic loading scenarios. *Reliability Engineering and System Safety*, 195. doi: 10.1016/j.ress.2019.106685
- Cox, T. (1998). Risk integration and decision-making. *In Industrial Safety Series*, 6, 277-311. Elsevier.
- Cozzani, V., Antonioni, G., Landucci, G., Tugnoli, A., Bonvicini, S. & 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. doi: 10.1016/j.jlp.2013.07.009
- Cruz, A. M. & Steinberg, L. J. (2005). Industry preparedness for earthquakes and earthquake-triggered hazmat accidents in the 1999 Kocaeli earthquake. *Earthquake Spectra*, 21(2), 285-303. doi: 10.1193/1.1889442
- Damle, S., Mani, S. K. & 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*, 72(June), 104564. doi: 10.1016/j.jlp.2021.104564
- Di Sarno, L. & Karagiannakis, G. (2020). On the seismic fragility of pipe rack—piping systems considering soil–structure interaction. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(6), 2723-2757. doi: 10.1007/s10518-020-00797-0
- Fabbrocino, G., Iervolino, I., Orlando, F. & Salzano, E. (2005). Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas. *Journal of Hazardous Materials*, 123(1-3), 61-69. doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.04.015
- Giacomo, A., Sarah, B., Gigliola, S. & Valerio, C. (2009). Development of a framework for the risk assessment of Na-Tech accidental events. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 94, 1442-1450. doi: 10.1016/j.ress.2009.02.026
- Joaquim Casal. (2018). *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*. Elsevier. doi: 10.1016/C2016-0-00740-4
- Koohestani, S., Sayyafzadeh, B., Sarvghad Moghadam, A., & Sharifi, M. (2022). Seismic vulnerability study of derrick supported flare using incremental dynamic analysis. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 54(9), 3509-3528. doi: 10.22060/ceej.2022.20656.7491
- Krausmann, E. & Cruz, A. M. (2013). Impact of the 11 domino effect in chemical process industry. *Journal of Hazardous Materials*, 182(1-3), 416-426. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.049
- Alessandri, S., Caputo, A. C., Corritore, D., Giannini, R., Paolacci, F. & Phan, H. N. (2018). Probabilistic risk analysis of process plants under seismic loading based on Monte Carlo simulations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 136-148. doi: 10.1016/j.jlp.2017.12.013
- Antonioni, G., Bonvicini, S., Spadoni, G. & Cozzani, V. (2009). Development of a framework for the risk assessment of Na-Tech accidental events. *Reliability Engineering and System Safety*, 94(9), 1442-1450. doi: 10.1016/j.ress.2009.02.026
- Antonioni, G., Landucci, G., Necci, A., Gheorghiu, D. & Cozzani, V. (2015). Quantitative assessment of risk due to NaTech scenarios caused by floods. *Reliability Engineering and System Safety*, 142, 334-345. doi: 10.1016/j.ress.2015.05.020
- Antonioni, G., Spadoni, G. & Cozzani, V. (2007). A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events. *Journal of Hazardous Materials*, 147(1-2), 48-59. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.12.043
- Bezir, F., Öztürk, S., Sarı, A. & Akgül, K. (2022). Fragility analysis of atmospheric storage tanks by observational and analytical data. *International Journal of Steel Structures*, 22(1), 192-205. doi: 10.1007/s13296-021-00567-x
- SayyafZadeh, B., Sharifi, M., S. Moghadam, A. & Koohestani, S. (2024). Evaluation of tanks age-based deterioration effect on seismic risk of NATECH events, a case study using OpenSRANE. *SEE9*.
- SayyafZadeh, B., Koohestani, S., S. Moghadam, A. & Sharifi, M. (2023). Qualitative assessment of response to emergency situations during seismic Natech events in Tehran with the help of lessons learned from past events (in Persian). *Journal of Safe City*. doi: 10.22034/ISPDRC.2023.2005373.1036
- Boostan, E., Tahernia, N. & Shafiee, A. (2015). Fuzzy—probabilistic seismic hazard assessment, case study: Tehran region, Iran. *Natural Hazards*, 77(2), 525-541. doi: 10.1007/s11069-014-1537-1
- Caputo, A. C., Kalemi, B., Paolacci, F. & Corritore, D. (2020). Computing resilience of process plants under

- Necci, A., Antonioni, G., Bonvicini, S. & Cozzani, V. (2016). Quantitative assessment of risk due to major accidents triggered by lightning. *Reliability Engineering and System Safety*, 154, 60-72. doi: 10.1016/j.ress.2016.05.009
- Nie, J., Braverman, J., Hofmayer, C., Choun, Y., Kim, M. K. & Choi, I. (2011a). *Tank with Age-Related Degradations*.
- Nie, J., Braverman, J. I., Hofmayer, C. H., Choun, Y.-S., Kim, M. K., & Choi, I.-K. (2011b). Icone19-43630 seismic fragility analysis of a degraded condensate storage tank. *The Proceedings of the International Conference on Nuclear Engineering (Icone, 2011, 19)*, Icone1943- Icone1943. doi: 10.1299/jsmeicone.2011.19_ICONE1943_254
- Park, H. & 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*. doi: 10.1007/s13753-022-00409-2
- Salzano, E., Basco, A., Busini, V., Marzo, E., Rota, R. & Spadoni, G. (2013). Public awareness promoting new or emerging risks: Industrial accidents triggered by natural hazards (NaTech). February 2015, 37-41. <https://doi.org/10.1080/13669877.2012.729529>
- Santella, N., Steinberg, L. J. & Aguirra, G. A. (2011). Empirical estimation of the conditional probability of natech events within the United States. *Risk Analysis*, 31(6), 951-968. doi: 10.1111/J.1539-6924.2010.01561.X
- SayyafZadeh, B., Kouhestani, S. & Sharifi, M. (2020). Derrick-supported flare-stacks seismic fragility assessment: a case study. *Reliability Engineering and Resilience*, 2(2), 1-16. doi: 10.22115/rer.2021.283929.1040
- Sayyafzadeh, B., Omid, A. & Rasoolan, I. (2019). Mesoscopic generation of random concrete structure using equivalent space method. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 3(3), 82-94. doi: 10.22115/SCCE.2020.171191.1096
- SayyafZadeh, Bijan, S. Moghadam, A., Sahrifi, M. & Kashi, E. (2024). OpenSRANE, a flexible and extensible platform for quantitative risk assessment of NaTech events. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 8(3), 1–27. doi: 10.22115/SCCE.2023.407882.1685
- March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry. *Natural Hazards*, 67(2), 811-828. doi: 10.1007/s11069-013-0607-0
- Krausmann, E., Cruz, A. M. & Salzano, E. (2016). *Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations*. In *Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations*.
- Krausmann, E. & Necci, A. (2021). Thinking the unthinkable: A perspective on Natech risks and black Swans. *Safety Science*, 139, 105255. doi: 10.1016/j.ssci.2021.105255
- Madabhushi, S. P. G., & Haigh, S. K. (2005). *Earthquake Engineering Field Investigation Team (Great Britain) & Institution of Structural Engineers (Great Britain)*. The Bhuj, India, Earthquake of 26th January 2001 : A Field Report by EEFIT.
- Mesa-Gómez, A., Casal, J., Sánchez-Silva, M. & Muñoz, F. (2021). Advances and gaps in natech quantitative risk analysis. *Processes*, 9(1), 1-14. doi: 10.3390/pr9010040
- Misuri, A., Antonioni, G. & Cozzani, V. (2020). Quantitative risk assessment of domino effect in Natech scenarios triggered by lightning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64. doi: 10.1016/j.jlp.2020.104095
- Misuri, A., Landucci, G. & Cozzani, V. (2021). Assessment of risk modification due to safety barrier performance degradation in Natech events. *Reliability Engineering and System Safety*, 212. doi: 10.1016/j.ress.2021.107634
- Murakami, Y., Zama, S., Nishi, H., Hirano, A., Yamase, T., Hirokawa, Y., Yamada, M. & Kasai, N. (2010). Development of fragility curve considering aging of oil storage tanks and its application to risk assessment of industrial complexes. *American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP*, 1(2006), 15-18. doi: 10.1115/PVP2010-25508
- Nascimento, K. R. D. S. & Alencar, M. H. (2016). Management of risks in natural disasters: A systematic review of the literature on NATECH events. *In Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 44, 347-359. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.jlp.2016.10.003

Shao, L. C., Murphy, A. J., Chokshi, N., Kuo, P. T. & Chang, T. Y. (1998). Seismic responses and resistance of age degraded structures and components. *Nuclear Engineering and Design*, 181(1-3), 3-15. doi: 10.1016/S0029-5493(97)00331-2

Zhu, M., McKenna, F. & Scott, M. H. (2018). OpenSeesPy: Python library for the OpenSees finite element framework. *SoftwareX*, 7, 6-11. doi: 10.1016/j.softx.2017.10.009

واژه نامه

Technological	۱- فناوریانه
Natural Hazards Triggering Technological Disasters (Natech)	۲- طبعانه
Loss of Containment	۳- هدررفت مواد
Quantitative Risk Assessment (QRA)	۴- ارزیابی ریسک عددی
Open System for Risk Assessment of Natech Events	۵- بستر OpenSRANE

Assessment of Age-Related Degradation Effects on the Risk of Seismic NaTech Events: A Case Study Using OpenSRANE

Bijan Sayyafzadeh¹; Mahdi Sharifi^{2*}; Abdolreza S. Moghadam³ and Saeedeh Koohestani⁴

1. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, University of Qom, Qom, Iran
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, University of Qom, Qom, Iran, *Corresponding Author, email: m.sharifi@qom.ac.ir
3. Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquakes Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran
4. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, University of Qom, Qom, Iran

Today, with the growth of oil and gas industries, the growth of accidents caused by the effect of natural hazards on these industries is also observed. This category of technological accidents caused by natural hazards is called NaTech events. The severity of the damages caused by these events clarified the need for communities and researchers to evaluate and control this category of events or mitigate their risks. Quantitative risk assessment of NaTech events is one of the methods and approaches adopted for this purpose. In this method, the vulnerability of structures is estimated by using fragility curves obtained from different methods. Numerical analysis methods are one of the most widely used methods for calculating fragility curves. The fragility curve of the elements and components of a plant is conventionally calculated based on the characteristics of their construction time using various numerical analyses. While generally, in calculating fragilities, the effect of aging of structures on fragility and subsequently their effect on the results of risk assessments of industrial plants are not taken into account. Most of the studies conducted to calculate the fragility of structures are based on the basic characteristics and properties of the structures. This is while the structures lose their original features due to the age deterioration. From a seismic analysis point of view, aging or deterioration may affect dynamic properties, structural response, strength or capacity, failure modes, and failure initiation locations. The aging of the equipment affects the seismic fragility curve in two ways: on the average capacity and on the uncertainties, the former being potentially more important. Deterioration, often seen as a reduction in cross-sectional area or cracking, reduces the strength (equipment) and thus exacerbates brittleness. It is obvious that the fragilities variation clearly affects the risk assessment results of oil and gas industries. The purpose of this study is to investigate the effect of deterioration caused by the aging of tanks on the quantitative seismic risk results in oil and gas industries. In this study, a storage plant has been selected as a case study, and while introducing the OpenSRANE software, which is a flexible and extensible software, calculations and evaluations related to the seismic risk of NaTech events of the said plant have been carried out using the mentioned software or platform. By assigning the fragility corresponding to different deterioration ages, the seismic risk of NaTech events has been calculated for each age, and the results for different ages have been compared. It is worth mentioning that due to not having enough information about the effect of aging of structures on the relevant probit functions, the calculations have been done ignoring the mentioned effect, and the evaluation of this effect is left to future studies.

Keywords: NaTech, Risk Assessment, Oil and Gas Industries, Aging of Equipment.