

معرفی روشی برای تعیین حریم امن توسعه بافت‌های شهری در معرض خطر انفجار انبارهای نفت (مطالعه موردی انبارهای نفت تهران)

سید رضا موسوی^۱؛ کامبد امینی حسینی^{۲*}؛ هومن معتمد^۲

۱- دانشجوی دکتری مهندسی زلزله- زمینه خطرپذیری و مدیریت بحران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
۲- هیئت علمی پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۱/۰۹/۰۶؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۱/۱۱/۰۸

واژگان کلیدی	چکیده
انفجار ابر بخار، تأسیسات خطرناک، انبار نفت، تهران، مدیریت بحران، حریم امن	هم‌جواری بافت‌های مسکونی با تأسیسات خطرناک صنعتی، یکی از چالش‌های پیش روی مدیریت بحران در شرایط رخداد سوانح طبیعی یا انسان‌ساخت در دنیای مدرن امروز است. از این‌رو محاسبه پیامدهای ناشی از آسیب به این تأسیسات و اثرات آن در ایجاد خسارات و تلفات در بافت‌های مسکونی، از اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بحران برخوردار است. پیامدهای آسیب به تأسیسات خطرناک، بنا بر نوع فعالیت آنها و همچنین مواد خطرناکی که نگهداری می‌کنند، می‌توانند با سناریوهای متفاوتی مورد ارزیابی و بررسی قرار بگیرند. اضافه فشار ناشی از انفجار، تابش حرارتی ناشی از آتش‌سوزی و مسمومیت به دلیل پخش مواد سمی از دلایل عمده‌ی تهدید بافت‌های شهری مجاور تأسیسات خطرناک می‌باشند. در هر مورد، بنا بر میزان آسیب‌پذیری و اهداف کاهش ریسک، سناریوهای متفاوتی در نظر گرفته می‌شوند. شهر تهران نیز در معرض مخاطرات مختلف ناشی از آسیب به تأسیسات خطرناک می‌باشد. از انواع تأسیساتی که گمان می‌رود می‌توانند تهدیدی جدی برای ساکنان شهر تهران باشند، انبارهای نفت شمال غرب، شمال شرق و جنوب این شهر از اهمیت بیشتری برخوردارند. لذا تعیین حریم امن اطراف این تأسیسات و نحوه رعایت آن، همواره به‌عنوان یکی از چالش‌های موجود در زمینه‌ی مدیریت بحران این شهر مطرح بوده است. در این مقاله با در نظر گرفتن پیامدهای ناشی از انفجار ابر بخار (به‌عنوان بدترین سناریوی موجود)، نسبت به تعیین حریم امن اطراف این سه انبار نفت تهران پرداخته شده است. بدین‌منظور از دو روش مرسوم در محاسبه‌ی اضافه‌فشار ناشی از انفجار ابر بخار استفاده شده و اختلاف میان نتایج دو روش، مورد بحث و بررسی قرار داده شده است. همچنین با بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود در اطراف هر کدام از انبارهای نفت، اضافه‌فشار معیار برای تخریب ساختمان‌ها مشخص شده و در نهایت حریم امن در اطراف این تأسیسات محاسبه شده است. با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت که ساخت‌وساز مناسب و استاندارد می‌تواند مقدار حریم امن اطراف چنین تأسیساتی را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

زنده و محیط‌زیست هستند. به‌عنوان مثال در بسیاری از این تأسیسات از مواد آتش‌زا یا مواد سمی استفاده می‌شود که می‌تواند منشأ انفجار و آتش‌سوزی یا مسمومیت جانداران شوند. در این حالت این صنایع به‌صورت ذاتی صنایع خطرناک شناخته می‌شوند. طی قرن گذشته حوادث صنعتی بزرگ و

۱- مقدمه
با صنعتی شدن جوامع بشری در طی قرن گذشته و همچنین افزایش پیوسته‌ی جمعیت شهرها، امروزه شاهد مجاورت بافت‌های مسکونی شهری با تأسیسات صنعتی هستیم. برخی از این صنایع به‌صورت ذاتی دارای خطراتی برای موجودات

این حوادث مؤثر بوده‌اند، ولی همچنان این تأسیسات منشأ مخاطرات بالقوه مهمی در سطح جهان می‌باشند.

کشور ما ایران نیز به دلیل برخورداری از ذخایر غنی نفت و گاز و توسعه تأسیسات مرتبط در نقاط مختلف این سرزمین، در معرض مخاطرات ناشی از تأسیسات خطرناک می‌باشد. بسیاری از این تأسیسات (نظیر پالایشگاه‌ها، تأسیسات پتروشیمی و انبارهای نفت و گاز) در برابر زلزله و سایر سوانح طبیعی مانند سیلاب آسیب‌پذیر هستند. لذا در صورت رخداد مخاطرات طبیعی مختلف و آسیب‌دیدگی این تأسیسات، احتمال بروز مشکلات و مخاطرات ثانویه (نظیر انفجار، آتش‌سوزی و نشت مواد سمی) و ایجاد آسیب‌های مضاعف به محیط پیرامون این تأسیسات دور از انتظار نیست. زواره و همکاران [۴] در مطالعه خود بر روی انبار نفت شمال غرب تهران به این موضوع اشاره می‌کنند که در صورت بروز حادثه در این انبار نفت و به دلیل وجود کاربری‌هایی مانند رستوران در مجاورت آن، خسارات انسانی محتمل است. از این‌رو باید با به‌کارگیری تجارب جهانی و همچنین شناخت دقیق وضعیت این تأسیسات در نقاط مختلف کشور، نسبت به ارتقای ایمنی و تاب‌آوری در بافت‌های شهری هم‌جوار با این تأسیسات اقدام نمود.

در این مقاله، ضمن معرفی برخی آیین‌نامه‌ها و روش‌های مختلف برای برآورد حریم امن در اطراف انبارهای نفت که در مجاورت شهرها واقع شده‌اند، تلاش شده است تا برخی از این روش‌ها برای شهر تهران به کار گرفته شود. مطالعات فراوان انجام شده در زمینه‌ی تحلیل خطر زلزله برای شهر تهران که از بین آنها می‌توان به مطالعه جعفری و همکاران [۵] و زعفرانی و همکاران [۶] اشاره کرد، نشان می‌دهند که احتمال وقوع زلزله‌ای بزرگ در شهر تهران بسیار محتمل است. همچنین با وجود انبارهای نفت در شمال شرق، شمال غرب و جنوب شهر تهران، وقوع حوادث صنعتی تحت اثر زلزله نیز کاملاً محتمل است. برای ارزیابی اثرات ناشی از آسیب‌دیدگی تأسیسات خطرناک بر محیط شهری، از روش محاسبات اضافه‌فشار استفاده شده است و نحوه محاسبه اضافه‌فشار ناشی از انفجار توسط دو روش پرکاربرد ارائه گردیده است. سپس با معرفی شرایط منطقه مورد مطالعه و وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های بافت مسکونی اطراف این تأسیسات در شهر

ناگوارگی به سبب آسیب‌دیدگی این تأسیسات رخ داده است که سبب کشته و مجروح شدن هزاران انسان و آسیب‌های فراوان به مستحذات و محیط‌زیست شده‌اند. به‌عنوان نمونه حوادثی مانند نشست سیانید در بوپال هند در سال ۱۹۹۵ - که سبب مرگ حدود ۶۰۰ هزار نفر و معلولیت بیش از ۲۰۰ هزار نفر شد - و انفجار در پتروشیمی جیلین چین در سال ۲۰۰۵ - که باعث کشته و مجروح شدن نزدیک به ۷۰ نفر شد - [۱] نشان‌دهنده جدی بودن خطر این دست از حوادث برای تمام جوامع صنعتی و مخصوصاً جوامع در حال صنعتی شدن است. همچنین این حوادث تأثیر زیادی بر روی معیشت انسان‌ها و سلامت جسمی و روانی آنها بر جای گذاشته و صدمات جبران‌ناپذیری را به محیط‌زیست وارد نموده‌اند.

بر مبنای مطالعات کروز [۲] زلزله سال ۱۹۹۹ کوجائیلی ترکیه سبب اشتعال ۳۰ هزار تن ماده سوختنی، رهائش ۱۰۰ هزار مترمکعب نفت و ۲۵۰ هزار مترمکعب بنزین و ورود گازهای متصاعد شده از آنها به اتمسفر شد. همچنین رهائش ۶/۵ میلیون کیلوگرم اکریلونیتریل و ورود آن به آب‌های زیرزمینی و دریا، پیامدهای بهداشتی و زیست‌محیطی بسیاری را تا سالیان متمادی در منطقه به‌جا گذاشت. در زلزله سال ۲۰۱۱ توکو ژاپن هم حدود ۴۰ هزار مترمکعب پسماند سمی آرسنیک آزاد شد که از طریق رودخانه‌ها به سواحل و دریا رسید. همچنین در یکی از سایت‌های مرتبط با مخازن گاز مایع، آتش‌های تویی (BLEVE) به قطر ۶۰۰ متر ایجاد شد. در اثر انفجار مخازن نگهداری گاز مایع، پرتابه‌های ناشی از آنها باعث آسیب به مخازن نگهداری قیر در مناطق مجاور و نشت قیر به زمین و اقیانوس شد. همچنین در اثر وقوع این آتش‌سوزی‌ها و انفجارها، حدود هزار نفر از ساکنین مناطق صنعتی مجاور این تأسیسات، مجبور به تخلیه‌ی محل زندگی‌شان شدند [۳].

حوادث متعدد دیگری نیز در این رابطه در طول تاریخ مشاهده شده است که برخی به دلیل سوانح طبیعی و برخی ناشی از خطاهای انسانی بوده‌اند. در حال حاضر نیز رخداد این حوادث در نقاط مختلف جهان امری محتمل است. البته پیشرفت‌های حاصل شده در فازهای مختلف طراحی و بهره‌برداری صنایع خطرناک و همچنین توجه به ایمنی در این تأسیسات تا حدودی در کاهش خسارات و تلفات ناشی از بروز

تهران، معیار تعیین فاصله‌ی ایمن از محل تأسیسات خطرناک نفتی مشخص شده است.

اگرچه یک مطالعه دقیق و جامع در زمینه‌ی آسیب‌پذیری لرزه‌ای انبارهای نفت می‌تواند احتمال رخداد حوادث صنعتی ناشی از آن را با دقت بیشتری بررسی کند، هدف این مطالعه بررسی حریم امن اطراف انبارهای نفت تحت بدترین سناریوی ممکن است؛ یعنی جهت برآوردن اهداف مطالعاتی مدیریت بحران شهر، فرض بر این است که آن سناریو رخ می‌دهد، فارغ از محاسبه‌ی درصد احتمال رخداد آن.

بعد از رخداد حوادث ناگوار ناشی از آسیب‌دیدگی تأسیسات خطرناک (مانند سوزو (Seveso) در ایتالیا)، اتحادیه اروپا برای جلوگیری از تکرار این حوادث و کاهش پیامدهای آنها، قوانین و مقررات مختلفی در خصوص جانمایی و شرایط ایجاد و بهره‌برداری از تأسیسات خطرناک را تدوین نمود و اسناد مهمی نظیر سوزو، سوزو ۲ و سوزو ۳ (امروز تنها این سند تحت اجرا قرار دارد) تهیه و لازم‌الاجرا شدند [۷]. یکی از موارد مهم و قابل توجه در این اسناد جداول مربوط به حداکثر میزان مجاز مواد خطرناک جهت نگهداری در انبارهای این تأسیسات می‌باشد. همچنین آیین‌نامه‌ی COMAH (*The Control of Major Hazards Regulation 2015*) نیز توسط اداره ایمنی و بهداشت HSE (*Health and Safety Executive*)، برای پیاده‌سازی قوانین سوزو در بریتانیا وضع شده است [۸].

البته این آیین‌نامه‌ها اغلب متمرکز به مشخصات و شرایط داخل سایت تأسیسات خطرناک هستند و اطلاعات چندانی در خصوص نحوه توسعه ایمن در اطراف این سایت‌ها ارائه نمی‌کنند. لذا تهیه راهنماهای فنی و محاسباتی و همچنین قوانین و مقررات مربوط به پیامدهای آسیب به تأسیسات خطرناک در خارج از سایت نیز امری ضروری است که می‌تواند راهنمای مناسبی جهت تعیین و تخمین حریم امن ساخت‌وساز در اطراف تأسیسات خطرناک باشد. در این چارچوب اقداماتی نیز تاکنون صورت پذیرفته است. به‌عنوان مثال، راهنمای مدیریت ریسک برای تجزیه و تحلیل پیامدهای خارج از سایت که توسط سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده امریکا (*United States Environmental Protection Agency (EPA)*)

ارائه شده است، برای بررسی اثرات آسیب‌دیدگی تأسیسات خطرناک بر محیط پیرامونی خود، دو سناریوی «رهايش در بدترین حالت (*Worst-Case Release Scenario*)» و «رهايش جایگزین (*Alternative Release Scenario*)» برای تعیین پیامدهای تابش حرارتی ناشی از آتش‌سوزی، اضافه‌فشار ناشی از انفجار و مسمومیت ناشی از رهايش مواد سمی را مورد بررسی قرار می‌دهد [۹]. در سناریوی رهايش در بدترین حالت برای مواد قابل اشتعالی که در این راهنما معرفی شده‌اند (موادی که طبق قوانین ایالات‌متحده امریکا خطرناک محسوب شده و در کد 40 CFR 68.22 مقررات فدرال معرفی شده‌اند)، باید ابر بخاری را در نظر گرفت که حاوی مقدار کل ماده‌ای است که از یک مخزن یا خط لوله رها شده است (سرعت رهايش مطرح نیست) و تمام محتوای ابر بخار در محدوده‌ی اشتعال‌پذیری (*Flammability Limits*) در نظر گرفته می‌شوند. همچنین در این سناریو مدل انفجار این ابر بخار به صورت مدل انفجار ضربه‌ای (*detonation*) مدل می‌شود.

در همین چارچوب و در مطالعه‌ای دیگر، بوش [۱۰] به مدل‌های رهايش، پخش و سناریوهای متعاقب آن پرداخته است و علاوه بر توضیح روش هم‌ارزی TNT برای محاسبه‌ی اضافه‌فشار ناشی از انفجار ابر بخار، به معرفی مدلی دیگری به نام روش چند انرژی یا *Multi – Energy Method (MEM)* پرداخته است. اساس روش چند انرژی این فرض است که انفجار احتراقی (*deflagration*) تنها در قسمت‌هایی از ابر بخار ساکن رخ می‌دهد که به اندازه‌ی کافی توسط موانع مسدود شده باشد و/یا تا حدی محدود شده باشد؛ بنابراین برخلاف فرض اغلب روش‌های معادل TNT که تمامی محتوای انرژی ابر بخار را در نظر می‌گیرند، روش MEM تنها انرژی احتراق آن قسمت‌هایی از ابر بخار را در نظر می‌گیرد که در مناطق مسدود شده و/یا تا حدی محدود شده قرار گرفته باشند. این فرض، در واقع بیانگر سرعت گرفتن شعله در آن بخش از ابر بخار است که به‌واسطه موانع محصور شده است. بر همین اساس مفهومی تحت عنوان *Deflagration to Detonation Transition (DDT)* معرفی شده است که دلالت بر تبدیل حالت از انفجار احتراقی به انفجار ضربه‌ای دارد.

این تبدیل حالت، توسط مکانیسم‌های خاصی که سبب

کاربری‌های صنعتی منتشر شده است که یکی از این جداول مخصوص تأسیسات تولیدکننده‌ی محصولات شیمیایی، نفت و زغال‌سنگ می‌باشد [۱۳].

با توجه به مرور ادبیات فنی در این رابطه، به‌طور خلاصه می‌توان گفت برای تعیین حریم امن اطراف تأسیسات خطرناک در ابتدا باید نوع خطر و پیامدی که آن تأسیسات برای بافت‌های مجاور ایجاد می‌کنند شناسایی شود و در ادامه با استفاده از مدل‌های محاسباتی موجود و یا قوانین و راهنماهای مرتبط، نسبت به تعیین فواصل ایمن برای انواع کاربری‌ها اقدام شود.

۲- روش‌شناسی

در این بخش روش‌های مورد استفاده برای محاسبه‌ی اضافه‌فشار ناشی از انفجار ابر بخار و همچنین نحوه محاسبه‌ی اضافه‌فشار معیار برای تخریب ساختمان‌ها، در قالب سه زیربخش «مدل‌سازی و تعریف سناریوی مطالعاتی»، «روش‌های محاسبه‌ی اضافه‌فشار ناشی از انفجار ابر بخار» و «معیار تعیین حریم امن» ارائه شده است. در بخش اول فرضیات در نظر گرفته شده توضیح داده می‌شود، در بخش دوم روش‌های مرسوم در محاسبه اضافه‌فشار به‌صورت گام‌به‌گام ارائه شده و در بخش سوم معیاری برای تعیین محدوده خطر و منطقه‌ی ایمن معرفی شده است.

۲-۱- مدل‌سازی و تعریف سناریوی مطالعاتی

طبق توصیه‌ی راهنمای مدیریت ریسک برای تجزیه‌وتحلیل پیامدهای خارج از سایت، پیامدهای ناشی از انفجار ابر بخار باید برای تعیین حریم ایمن در اطراف تأسیسات خطرناک حاوی مواد قابل اشتعال، در نظر گرفته شود [۹]. همچنین طبق مطالعه آلونسو و همکاران [۱۴]، انفجار ابر بخار در میان انواع مختلف انفجارها، یکی از جدی‌ترین مخاطرات در صنایع پالایشگاهی و نفتی است؛ بنابراین فرض نخست در این پژوهش در نظر گرفتن انفجار ابر بخار به‌عنوان عامل اصلی تهدید کننده‌ی بافت اطراف تأسیسات خطرناک می‌باشد.

فرض دیگر آن است که ماده‌ی قابل اشتعال مورد نظر برای تشکیل ابر بخار، بنزین است. مطابق با مطالعه‌ی انجام

آشفتگی و محدودیت هرچه بیشتر ابر بخار می‌شوند صورت می‌گیرد و سبب ایجاد اضافه‌فشارهای بزرگ‌تری در محیط اطراف می‌شوند. به همین دلیل در مطالعه‌ی بوش نیز برای تعیین مقدار قدرت منبع در تولید این اضافه‌فشارها، نمودارهای متفاوتی ارائه شده است که تنها یک نمودار مربوط به مکانیسم انفجار ضربه‌ای است.

علاوه بر موارد فوق، آیین‌نامه‌ها و راهنماهای دیگری نیز در این راستا تهیه شده است که برخی از آنها، محدوده‌ی امن اطراف تأسیسات خطرناک برای انجام فعالیت‌های مختلف را مشخص کرده‌اند. به‌طور مثال کینی و گراهام [۱۱] در مطالعه خود، فواصل ایمن بین ساختمان‌های مسکونی و مسیرهای حمل‌ونقل عمومی تا مراکز در معرض خطر وقوع انفجار را برحسب وزن ماده‌ی انفجاری مشخص کردند. همچنین سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا نیز در راهنمای برنامه مدیریت ریسک برای تجزیه‌وتحلیل پیامدهای سوانح صنعتی در خارج از سایت، معیارهایی را معرفی کرده است. در این موارد فرض‌های متفاوتی در زمینه شرایط جوی، میزان رهاش مواد خطرناک و مدت‌زمان رهاش در نظر گرفته شده و بر اساس آنها فواصل حداقلی از مخازن مواد خطرناک محاسبه و ارائه شده است.

در مطالعه‌ی دیگری که توسط دپارتمان محیط‌زیست وزارت منابع طبیعی و محیط‌زیست مالزی منتشر شده است، فاصله ایمن از تأسیسات خطرناک مختلف، با هدف حفاظت از جان، مال، آسایش، رفاه انسان‌ها و حفظ منابع حساس زیست‌محیطی معرفی شده است [۱۲]. در این راهنما، دو نوع ناحیه حائل اولیه و ثانویه تعیین شده است که ناحیه حائل اولیه، فاصله‌ی کاربری‌های مجاور تا محدوده‌ی خارجی تأسیسات است و ناحیه حائل ثانویه، فاصله‌ی قسمت‌های مختلف داخلی سایت تا محدوده‌ی خارجی آن است که با توجه به شرایط تأسیسات می‌توانند مقادیر مختلفی داشته باشند. در این راهنما کاربری‌های مجاز و قابل قبول برای حضور در مناطق حائل اولیه و ثانویه و همچنین فواصل الزام‌آور از فعالیت‌ها و صنایع خطرناک در دسته‌بندی‌های مختلف در جداول مشخصی ارائه شده است. در راهنمای ارائه شده توسط سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالت ویکتوریا استرالیا نیز جداولی برای تعیین حدفاصل بین انواع

که در آن F flash fraction (-)، C_p میانگین گرمای ویژه (کیلوژول بر کیلوگرم کلوین)، ΔT اختلاف بین دمای مخزن و دمای جوش مایع در فشار محیطی (کلوین) و L گرمای نهان تبخیر (کیلوژول بر کیلوگرم) می‌باشند.

- محاسبه‌ی وزن قابل اشتعال در ابر بخار از رابطه‌ی ۲:

$$W_f = F \times W_{release} \quad (2)$$

که در آن $W_{release}$ مقدار ماده‌ی رها شده از مخزن و W_f مقدار ماده موجود در ابر بخار هستند.

- محاسبه‌ی وزن معادل TNT در ابر بخار از رابطه‌ی ۳:

$$W_{TNT} = \alpha_e \frac{W_f H_f}{H_{TNT}} \quad (3)$$

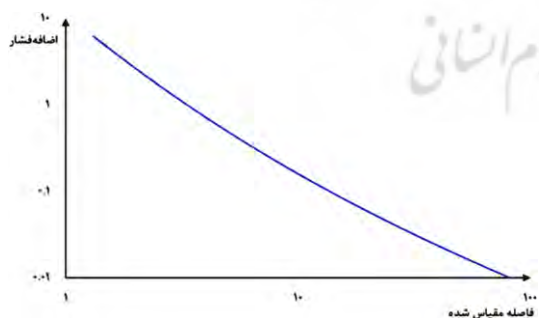
که در آن W_{TNT} وزن معادل TNT (کیلوگرم)، W_f وزن ماده سوختنی در ابر بخار (کیلوگرم)، H_f گرمای احتراق ماده سوختنی (مگاژول بر کیلوگرم)، H_{TNT} انرژی انفجار TNT (برابر ۴/۶۸ مگاژول بر کیلوگرم) و α_e ضریب عملکرد TNT (برابر ۰/۰۳) می‌باشند.

- محاسبه‌ی فاصله‌ی مقیاس شده هاپکینسون از رابطه‌ی ۴:

$$\bar{R} = \frac{R}{W_{TNT}^{1/3}} \quad (4)$$

که در آن \bar{R} فاصله مقیاس شده‌ی هاپکینسون (متر بر ریشه سوم کیلوگرم)، W_{TNT} وزن TNT (کیلوگرم) و R فاصله از محل انفجار (متر) می‌باشد.

- تعیین اضافه فشار ناشی از انفجار ابر بخار (بار) با استفاده از نمودار شکل ۱؛



شکل ۱- نمودار اضافه فشار بر مبنای فاصله‌ی مقیاس شده هاپکینسون (بازسازی شده از شکل ۷-۱ مرجع [۱۸])

۲-۲-۲- روش چند انرژی (MEM)

در این مدل که توسط بوش [۱۰] ارائه شده است، در ابتدا

شده توسط ژانگ و همکاران [۱۵]، برای مدل سازی بنزین می‌توان از ماده‌ی ایزواکتان C_8H_{18} استفاده کرد و خصوصیات این ماده را در محاسبات مربوط به اضافه فشار ناشی از انفجار ابر بخار بنزین در نظر گرفت.

همچنین بر اساس مطالعه‌ی انجام شده توسط شادمان [۱۶] بر روی انبار نفت ری، حجم ذخیره سازی بنزین در مخزن ذخیره سازی آن در انبار نفت جنوب تهران، برابر ۲۰ هزار مترمکعب می‌باشد؛ بنابراین در این پژوهش به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی برای سایر انبارهای نفت تهران، یک مخزن معادل با حجم ذخیره سازی ۲۰ هزار مترمکعب بنزین در هر یک از انبارهای نفت واقع در شمال غرب، شمال شرق و جنوب تهران مورد بررسی قرار داده شده است و فرض می‌شود این مخزن هنگام زلزله گسیخته شده و تمام محتویات ماده درون آن تخلیه می‌گردد. جهت به دست آوردن حجم ابر بخار ایجاد شده از نرم افزار ALOHA استفاده شده است [۱۷]. همچنین در این سناریو، حریم امن در اطراف این مخازن با فرض آسیب دیدگی آنها به صورت جداگانه و غیرهمزمان مورد بررسی قرار گرفته و وضعیت مناطق مسکونی در اطراف آنها در چنین شرایطی بررسی شده‌اند. در نهایت نیز محاسبه‌ی اضافه فشار به روش چند انرژی و با استفاده از مدل انفجار ضربه‌ای (detonation) انجام شده است.

۲-۲-۲- محاسبه اضافه فشار ناشی از انفجار ابر بخار

طبق فرض‌های بیان شده در بالا، در این بخش ابتدا با در نظر گرفتن مدل انفجاری ابر بخار، به معرفی روش‌های محاسبه‌ی اضافه فشار ناشی از آن با استفاده از دو روش شناخته شده هم‌ارزی TNT و چند انرژی MEM پرداخته شده است.

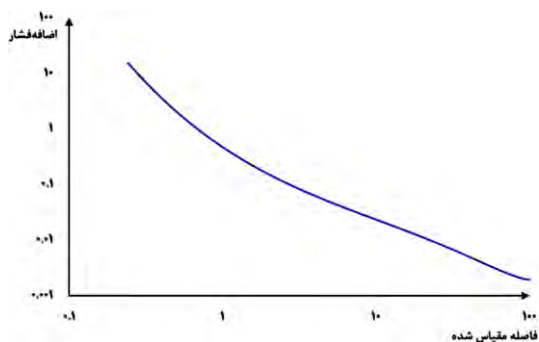
۲-۲-۲-۱- روش هم‌ارزی TNT

برای این منظور از روش ارائه شده توسط انجمن مهندسی شیمی ایالات متحده آمریکا استفاده شده است که شامل مراحل زیر است [۱۸]:

- تعیین مقدار ماده‌ی ذخیره شده در مخزن؛

- محاسبه‌ی Flash Fraction با استفاده از رابطه‌ی ۱:

$$F = 1 - \exp\left[\frac{-C_p \Delta T}{L}\right] \quad (1)$$



شکل ۲- نمودار اضافه فشار بر مبنای فاصله‌ی مقیاس شده (بازسازی شده از نمودار شکل ۵-۸ مرجع [۱۰] که در آن عدد قدرت منبع برابر ۱۰ فرض شده است)

در نهایت اضافه فشار ناشی از انفجار ابر بخار با استفاده از رابطه ۷ به دست می‌آید.

$$P = \bar{P} \times P_a \quad (7)$$

که در آن P اضافه فشار (کیلوپاسکال) و \bar{P} اضافه فشار مقیاس شده است.

۲-۳- معیار تعیین حریم امن

تعیین حریم ایمن در اطراف تأسیسات خطرناک، به پارامترهای مختلفی از جمله نوع خطر مورد بررسی و همچنین میزان ریسک قابل قبول در اثر بروز آن خطر بستگی دارد. با تغییر هر کدام از این پارامترها می‌توان سناریوها و معیارهای مختلفی را جهت تعیین حریم امن در نظر گرفت. برای این منظور در گام اول باید وضعیت آسیب پذیری ساختمان‌ها در برابر انفجار ارزیابی شود.

به منظور تعیین وضعیت آسیب پذیری ساختمان‌ها تحت بار انفجار، مطالعات مختلفی تاکنون صورت گرفته است که اغلب نشان می‌دهند می‌توان بنا بر تیپ ساختمان‌های موجود در بافت شهری مجاور، انتظار بروز آسیب‌های متفاوتی را در آنها داشت. بررسی‌ها نشان می‌دهند که ساختمان‌های مصالح بنایی عملکرد ضعیف‌تری در مقایسه با ساختمان‌های اسکلت فولادی و بتنی تحت بار انفجاری دارند. از این رو در نظر گرفتن یک مقدار آستانه‌ی تخریب برای اضافه فشار و تعیین حریم

حجم ابر بخار محاسبه شده و سپس حجم انسدادی ابر بخار با استفاده از ضوابط مربوطه برآورد می‌گردد. در این پژوهش به منظور در نظر گرفتن شرایط محیطی از جمله باد و دمای هوا، از نرم افزار ALOHA به منظور مدل سازی انتشار ابر بخار استفاده شده است.

فرضیات مطرح شده جهت این مدل سازی نرم افزاری عبارتند از:

- باد غالب تهران از جهت غرب به شرق و با سرعت ۱ متر بر ثانیه جریان دارد (این فرض به این دلیل است که هرچه سرعت باد بیشتر باشد باعث رقیق تر شدن ابر بخار و کاهش شدت انفجار می‌شود. راهنمای EPA که در قسمت مقدمه معرفی شد سرعت را برای بدترین سناریو ۱/۵ متر بر ثانیه در نظر می‌گیرد)؛
- دمای محیط شهر و همچنین دمای ذخیره سازی بنزین ۲۰ درجه سانتی گراد است؛
- ماده تخلیه شده از مخزن، پراکنده شده و مساحتی به میزان ۱۰ هزار مترمربع و ارتفاع ۲ متر را می‌پوشاند. پس از تخمین حجم ابر بخار (V_c) توسط نرم افزار، قسمت‌هایی از آن که توسط موانع (تأسیسات و تجهیزات) محصور شده‌اند، به عنوان حجم انسدادی ($V_{onstructed}$) در نظر گرفته شده و پس از کسر حجم این موانع از حجم ابر بخار انسدادی، حجم ابر بخار خالص (V_{gr}) به دست می‌آید. در نهایت انرژی حاصل از احتراق ابر بخار از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید.

$$E = V_{gr} \times H_f \quad (5)$$

که در آن E انرژی حاصل از احتراق ابر بخار (ژول) و H_f گرمای احتراق واحد جرم یا حجم ماده‌ی قابل اشتعال (MJ/m^3) است. گرمای احتراق ترکیب استوکیومتری ایزواکتان و هوا، ۳ مگاژول بر مترمکعب فرض می‌گردد. در ادامه فاصله‌ی مقیاس شده از رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$r' = \frac{r}{\left(\frac{E}{P_a}\right)^{1/3}} \quad (6)$$

اضافه فشار مقیاس شده نیز با استفاده از نمودار شکل ۲ محاسبه می‌شود.

معیار متفاوتی برای اضافه فشار آستانه‌ی تخریب کامل در نظر گرفته می‌شود.

برای بافت روستایی گل حصار که در ضلع شرقی انبار نفت جنوب تهران و در مجاورت یک کیلومتری آن قرار گرفته، به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات آماری این روستا، از مشاهدات میدانی به‌عنوان مبنای تعیین آستانه‌ی اضافه فشار استفاده شده است. در مشاهدات صورت گرفته مشخص شد اگرچه سازه‌هایی که اخیراً بنا شده و یا در حال حاضر در دست احداث هستند تا حد زیادی با استانداردهای شهرسازی امروز تهران مطابقت دارند، اما بسیاری از سازه‌هایی که از گذشته در روستا وجود دارند و بخش غالب بافت روستایی حال حاضر گل حصار را تشکیل می‌دهند، همچنان از کیفیت مناسبی برخوردار نبوده و در نتیجه در برابر انفجار فرضی صورت گرفته در انبار نفت مجاور عملکرد مناسبی نخواهند داشت. شکل ۳ تعدادی از ساختمان‌های منطقه‌ی گل حصار را نشان می‌دهد که در فاصله‌ی یک کیلومتری و یا کمتر از انبار نفت قرار گرفته‌اند؛ بنابراین اضافه فشار معیار در این منطقه با کمی تخفیف حدود ۲۷/۵ کیلوپاسکال در نظر گرفته می‌شود.

۳- نتیجه و بحث

در این بخش با استفاده از روابط ارائه شده در قسمت قبل به محاسبه‌ی اضافه فشار ناشی از انفجار ابر بخار در یک مخزن حاوی ۲۰ هزار مترمکعب بنزین که با ماده ایزواکتان مدل شده است، در سه انبار نفت پرداخته می‌شود. باید توجه داشت که اضافه فشار محاسبه شده از روش هم‌ارزی TNT در هر سه مورد عددی یکسان است؛ اما اضافه فشار حاصل از روش چند انرژی (MEM) وابستگی زیادی به شرایط انسدادی و محدودیت محیط انتشار ابر بخار دارد. سپس عدد حاصل از انفجار ابر بخار با عدد آستانه‌ی تخریب در نظر گرفته شده برای هر بافت شهری در یک نمودار رسم شده و در نهایت حریم ایمن از تخریب کامل ساختمان‌های مسکونی تعیین می‌شود.

ایمن بر مبنای آن، نیازمند شناخت دقیق تیپ ساختمان‌های بافت مجاور تأسیسات خطرناک است. با توجه به دسته‌بندی ارائه شده در مطالعه‌ی کینگ و همکاران [۱۹] برای سازه‌های بتن آرمه، فولادی و مصالح بنایی می‌توان به ترتیب اعداد ۸۲/۷، ۶۸/۹ و ۲۰/۷ کیلوپاسکال را به‌عنوان اضافه فشار آستانه‌ی تخریب کامل در نظر گرفت (در مطالعه اصلی اضافه فشار آستانه بر واحد پوند بر اینچ مربع معرفی شده که در مطالعه حاضر واحدها متریک شده‌اند). به همین منظور در این پژوهش با بررسی ساختمان‌های موجود در فاصله‌ی یک کیلومتری هر یک از تأسیسات نفتی در بافت‌های شهری مجاور آنها، اضافه فشار آستانه‌ی تخریب کامل ساختمان تعیین شده است.

جدول ۱- اطلاعات بلوک‌های شهری مناطق یک و پنج تا فاصله‌ی یک کیلومتری از محل تأسیسات نفتی.

منطقه یک	منطقه پنج	
۲۴۰۲	۱۲۱۹	تعداد واحدهای اسکلت بتن آرمه
۷۹	۳۷	درصد از کل
۶۲۵	۲۰۲۸	تعداد واحدهای اسکلت فولادی
۲۱	۶۲	درصد از کل
۸	۴۴	تعداد واحدهای مصالح بنایی
۰	۱	درصد از کل
۷۲/۶	۵۲/۲	اضافه فشار معیار (کیلوپاسکال)

برای بافت‌های شهری منطقه پنج و منطقه یک تهران از داده‌های آماری سال ۱۳۹۰ استفاده شده است. تیپ‌بندی واحدهای بلوک‌های شهری مناطق پنج و یک تهران که در فاصله‌ی یک کیلومتری انبارهای نفت شهران و اقدسیه قرار دارند مطابق با این آمار، به شرح جدول ۱ می‌باشد. با توجه به درصد واحدهای اسکلت بتنی و فولادی، این اعداد به‌عنوان ضریب وزنی جهت تعیین یک معیار کلی برای اضافه فشار آستانه‌ی تخریب هر یک از مناطق مورد نظر به کار می‌روند و در نتیجه برای هر کدام از این دو منطقه عدد



شکل ۳- بافت روستایی گل حصار در فاصله یک کیلومتر از انبار نفت جنوب تهران (ری)

۳-۱- اضافه فشار حاصل از روش هم‌ارزی TNT

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، برای مدل‌سازی رفتار انفجاری ابر بخار بنزین می‌توان از خصوصیات ماده ایزواکتان استفاده کرد که چگالی آن در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد برابر با ۶۹۸ کیلوگرم بر متر مکعب است [۲۰]. با توجه به فرض این پژوهش مبنی بر حجم ذخیره‌سازی ۲۰ هزار مترمکعب بنزین مدل‌سازی شده با ایزواکتان، وزن ذخیره‌سازی این ماده در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد برابر است با:

$$W_{storage} = 20000 \times 698 = 13960000 \text{ kg} \quad (8)$$

در نتیجه و بر اساس اطلاعات مندرج برای ایزواکتان در وبسایت *pubchem* و محاسبات انجام شده مطابق با روابط ۱ تا ۳، مقدار وزن معادل TNT برای مخزن مدل‌سازی شده برابر با ۲ کیلوگرم خواهد بود [۲۱] برای محاسبه فاصله‌ی مقیاس‌شده با استفاده از رابطه ۴، فواصل واقعی از محل انفجار در رابطه قرار گرفته و با استفاده از نمودار شکل ۱

اضافه‌فشار در هر فاصله بر مبنای بار به دست می‌آید.

۳-۲- اضافه فشار حاصل از روش چند انرژی (MEM)

بعد از مدل‌سازی انجام شده در نرم‌افزار *ALOHA*، ابر بخار حاصل از تبخیر ماده‌ی رها شده مطابق با شکل ۴ به صورت خروجی ظاهر می‌شود. برای هر کدام از انبارهای نفت، حجم ابر بخار خالص محاسبه شده و در نهایت انرژی حاصل از احتراق آن به دست می‌آید. این مقادیر برای هر کدام از انبارهای نفت در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای محاسبه‌ی فاصله‌ی مقیاس‌شده با استفاده از رابطه ۶، فواصل واقعی از محل انفجار در رابطه قرار گرفته و با استفاده از نمودار شکل ۲، اضافه‌فشار مقیاس‌شده در هر فاصله به دست می‌آید و در نهایت اضافه‌فشار ایجاد شده با ضرب کردن اضافه‌فشار مقیاس‌شده در فشار اتمسفری به دست می‌آید.

بعد از انجام محاسبات مربوط به اضافه فشار ناشی از انفجار ابر بخار مخزن مدل شده توسط دو روش مذکور در فواصل مختلف از محل انفجار، این اعداد را به همراه عدد آستانه معیار که در بخش گذشته برای بافت‌های مسکونی مناطق سه‌گانه‌ی اطراف انبارهای نفت در نظر گرفته شد در نمودار شکل ۵ ترسیم کرده و در نتیجه حداقل فاصله مجاز برای در امان ماندن ساختمان‌های بافت شهری از تخریب کامل، از تلاقی این نمودارها حاصل می‌شود. با توجه به نمودارهای نشان داده شده در شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که در روش چند انرژی (MEM) - که مفهوم کلیدی آن در نظر گرفتن ابر بخار انسدادی به عنوان پتانسیلی برای تولید اضافه فشار قابل توجه است - با فاصله گرفتن از محل انفجار، سرعت تغییرات اضافه فشار بیشتر از سرعت این تغییرات در روش هم‌ارزی TNT است. دلیل این اختلاف می‌تواند تفاوت در مکانیسم انفجار در مواد منفجره و ابر بخار هیدروکربنی باشد. بنابراین می‌توان گفت اگرچه استفاده از این روش ساده، سریع و کاربردی است، اما این روش همواره با میزانی از دست بالا گرفتن و غلو کردن همراه است؛ بنابراین استفاده از یک روش منعطف‌تر که بتواند پیامدهای ناشی از انفجار ابر بخار را با توجه به شرایط محیطی تخمین بزند، لازم است. در روش چند انرژی با در نظر گرفتن محیط‌های انسدادی ابر بخار - نه تمامی ابر بخار به عنوان منبع تولید اضافه فشار - تا حدی به واقعیت نزدیک‌تر خواهیم بود. اگرچه در روش چند انرژی نیز کاستی‌های زیادی وجود دارد. برای مثال این روش شرایط جوی را که می‌تواند عامل مهمی در شکل‌گیری یا عدم شکل‌گیری انفجار ابر بخار باشد، در نظر نمی‌گیرد. اعداد حاصل از نمودارهای شکل ۵ در جدول ۳ به عنوان فواصل ایمن در برابر تخریب کامل ساختمان‌ها نمایش داده شده است.



(۱)



(۲)



(۳)

شکل ۴- ابر بخار انسدادی در (۱) انبار نفت شهران (۲) انبار نفت اقدسیه (۳) انبار نفت ری.

جدول ۲- حجم خالص ابر بخار منتشر شده.

انبار نفت ری	انبار نفت اقدسیه	انبار نفت شهران	
۹۰۰ هزار	۳۵۰ هزار	۵۵۰ هزار	حجم ابر بخار انسدادی (مترمکعب)
۱۲۰ هزار	۱۰۰ هزار	۱۰۰ هزار	حجم موانع تأسیساتی (مترمربع)
۷۸۰ هزار	۲۵۰ هزار	۴۵۰ هزار	حجم خالص ابر بخار (مترمکعب)
۲/۳۵ هزار	۱ هزار	۱/۳۵ هزار	انرژی احتراق (گیگاژول)

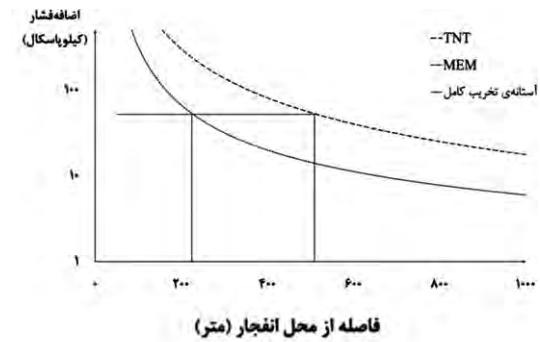
معرفی روشی برای تعیین حریم امن توسعه بافت‌های شهری در معرض خطر انفجار انبارهای نفت (مطالعه موردی انبارهای نفت تهران)

با مقایسه‌ی فواصل به‌دست‌آمده در جدول ۳ و پیامدهای ناشی از حوادث تاریخی نظیر انفجار در انبار نفت بونسفیلد انگلستان و انفجار انبار نگهداری آمونیوم نیترات در بندر بیروت، می‌توان نتیجه گرفت در فواصل به‌دست‌آمده در این پژوهش، پیامدهای مشابه محتمل است.

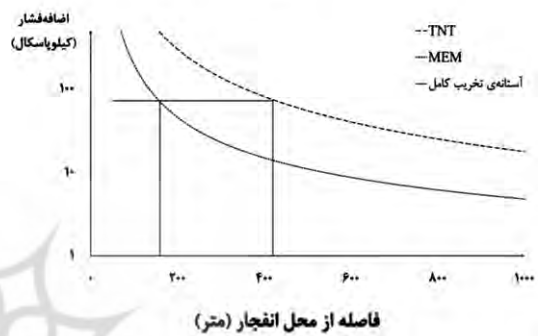
در حادثه بونسفیلد که علت آن نشت بنزین از مخزن نگهداری این ماده و تشکیل ابر بخار قابل انفجار بود، در فاصله‌ی کمتر از ۵۰۰ متر از محل انفجار، آسیب‌های شدید ساختمانی مشاهده شد (شکل ۶، بالا). همچنین در انفجار انبار ذخیره‌سازی آمونیوم نیترات در بندر بیروت، آسیب‌های ساختمانی شدیدی برای سازه‌های مصالح بنایی تا فاصله حدود ۲ کیلومتری مشاهده شد (شکل ۶، پایین).



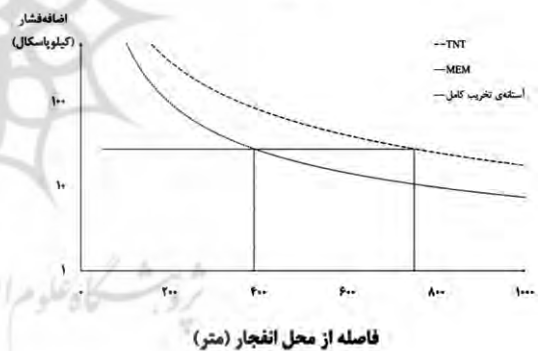
شکل ۶. خسارات ساختمانی ایجاد شده در انفجار بونسفیلد (بالا) [۲۳] و انفجار بیروت (پایین) [۲۲].



(۱)



(۲)



(۳)

شکل ۵- ناحیه امن تخریب کامل ساختمان‌ها در اطراف (۱) انبار نفت شهران، (۲) انبار نفت اقدسیه و (۳) انبار نفت ری

جدول ۳- فواصل ایمن از انبارهای نفت در برابر تخریب کامل ساختمان‌ها.

روش چند انرژی (MEM)	روش هم‌ارزی TNT	
۲۲۵ متر	۵۱۰ متر	انبار نفت شهران
۱۶۰ متر	۴۲۰ متر	انبار نفت اقدسیه
۳۹۰ متر	۷۵۰ متر	انبار نفت ری

است؛ درحالی‌که با در نظر گرفتن آستانه‌های تخریب پایین‌تر نیز می‌توان تلفات زیادی را در اثر تخریب جزئی ساختمان انتظار داشت. سناریوی تعریف شده و فرضیات در نظر گرفته شده در این پژوهش، نمونه‌ای از سناریوها و فرضیات فراوانی است که می‌توان برای تعیین حریم امن در اطراف تأسیسات خطرناک نفتی در نظر گرفت. با این حال به نظر می‌رسد که تاکنون به اهمیت رعایت حریم ایمن از این تأسیسات در شهر تهران و سایر شهرهای کشور توجه لازم مبذول نشده است و این مسئله می‌تواند تبعات جبران‌ناپذیری را پس از رخداد زلزله احتمالی، در صورت آسیب‌دیدگی این تأسیسات به دنبال داشته باشد.

به‌منظور کاهش پیامدهای احتمالی آسیب‌دیدگی این تأسیسات بر محیط پیرامونی آنها، لازم است سیاست‌های متناسب توسط مراجع ذی‌ربط تدوین گردند تا میزان خطرپذیری این تأسیسات کاهش یابد یا در صورت امکان نسبت به انتقال این انبارهای نفت به خارج از شهر اقدام شود. همچنین لازم است پارامترهای تأثیرگذار و تعیین‌کننده در میزان خطر با دقت کافی مورد مطالعه قرار گیرند تا با استفاده از اطلاعات دقیق‌تر، نتایج این مدل‌سازی از دقت بهتری برخوردار شوند. همچنین لازم است اثرات توپوگرافی و کیفیت ساختمان‌ها نیز با دقت لازم در این مدل‌سازی ملحوظ شوند. البته در نظر گرفتن هر کدام از این موارد می‌تواند پیچیدگی‌های بسیاری را در مدل‌سازی ایجاد کند و عدم قطعیت‌های بیشتری را به نتایج وارد نماید.

البته ذکر این نکته لازم است که مکانیسم‌های انفجار در ماده‌ای مانند آمونیوم نیترات و انفجار ابر بخار هیدروکربن‌ها متفاوت است، اما قدرت انفجار ابر بخار در انبار نفت بونسفیلد در سال ۲۰۰۵ کمی دور از انتظار بود. نتایج تحقیقاتی که بعد از این انفجار انجام شد، نشان داد که شرایطی مانند وجود باد کم و آشفستگی ابر بخار ناشی از حضور درختان و بوته‌ها در محل انتشار ابر بخار، در ایجاد انفجار ضربه‌ای نقش داشته‌اند [۲۳-۲۴].

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله نحوه ارزیابی حریم ایمن توسعه در پیرامون تأسیسات خطرناک با تمرکز ویژه بر انبارهای نفت واقع در شهر تهران، مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه، علیرغم وجود کاستی‌هایی در دسترسی به اطلاعات لازم و همچنین ساده‌سازی‌های انجام شده، نشان می‌دهد که پیامدهای ناشی از آسیب‌دیدگی انبارهای نفت در شهر تهران، بسیار ویرانگر خواهد بود. همان‌طور که در قسمت قبل مشخص شد، حداقل فاصله ایمن در برابر انفجار در انبار نفت اقدسیه کم‌ترین مقدار را دارد (۱۶۰ متر) که این مورد به دلیل تعداد زیاد ساختمان‌های بتنی در این منطقه است. از طرف دیگر ساخت‌وساز نامناسب در منطقه گل حصار سبب افزایش حداقل فاصله ایمن از انبار نفت مجاور آن به مقدار ۳۹۰ متر شده است. باید این نکته را مد نظر قرار داد که این فواصل برای تخریب کامل ساختمان

۵- مراجع

- [1] Guan, Wenling, Qingwen Liu, and Chengjie Dong. Risk assessment method for industrial accident consequences and human vulnerability in urban areas. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 76 (2022): 104745.
- [2] Cruz, A.M., 2003. Joint natural and technological disasters: assessment of natural disaster impact on industrial facilities in highly urbanized areas. Dissertation. UMI Number: 3116886, 204 pp.
- [3] Krausmann, Elisabeth, Ana Maria Cruz, and Ernesto Salzano. *Natech risk assessment and management: reducing the risk of natural-hazard impact on hazardous installations*. Elsevier, 2016.
- [4] Doregar Zavareh, Razieh, et al. The environmental risk assessment of fire and explosion in storage tanks of petroleum products. *Sustainability*, 14.17 (2022): 10747.
- [5] Jafari, Mohammad Ashtari. Statistical prediction of the next great earthquake around Tehran, Iran. *Journal of Geodynamics*, 49.1 (2010): 14-18.
- [6] Zafarani, Hamid, et al. Stochastic modeling of Iranian earthquakes and estimation of ground motion for future earthquakes in Greater Tehran. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29.4 (2009): 722-741.
- [7] <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0018>.
- [8] <https://www.hse.gov.uk/pubns/books/1111.html>.
- [9] US EPA. Risk management program guidance for offsite consequence analysis. (1999).
- [10] Bosch, C.J.H. *Methods for the calculation of physical effects*. Yellow Book (1997).
- [11] Kinney, G.F., and K.J. Graham. *Explosive shocks in air*, 2 nd. New York: Springer Science, 10 (1985): 978-3.
- [12] Malaysia, guidelines for siting and zoning of industry and residential areas, 2012.
- [13] VICtOfLa, V. I. C. T. O. R. I. A. Recommended separation distances for industrial residual air emissions. (2013).
- [14] Alonso, Fernando Diaz, et al. Consequence analysis to determine the damage to humans from vapour cloud explosions using characteristic curves. *Journal of hazardous materials*, 150.1 (2008): 146-152.
- [15] Zhang, Peili, Jianjun Liang, and Jian Wang. Equivalent analysis of the explosion overpressure of gasoline vapor-air mixture by using iso-octane equivalence ratio. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 137.5 (2019): 1775-1781.
- [16] M.Shadman, H.sarkheil. Modeling and quantitative assessment of hazards of fuel storage tanks of Ray oil storage facilities using PHAST software (2016) [in Persian]
- [17] ALOHA Software. <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>.
- [18] Kumar, Ashok. Guidelines for evaluating the characteristics of vapor cloud explosions, flash fires, and bleves. Center for Chemical Process Safety (CCPS) of the AIChE, Published by the American Institute of Chemical Engineers, New York, NY (1994), 387 pages, [ISBN: 0-8169-0474-X], US List

Price: \$150, (1996): S11-S12.

- [19] King, Kim W., Johnny H. Wawclawczyk, and Cem Ozbey. Retrofit strategies to protect structures from blast loading. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36.8 (2009): 1345-1355.
- [20] Budavari, S. (ed.). *The Merck Index - Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals*. Rahway, NJ: Merck and Co., Inc., 1989., p. 817.
- [21] Pubchem website. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Isooctane-d8>.
- [22] A damaged building in the aftermath of a massive explosion in Beirut, Lebanon, Aug. 5, 2020 (EPA photo).
- [23] The Buncefield incident, 11 December 2005: the final report of the Major Incident Investigation Board. Health and Safety Executive, 2008.
- [24] Johnson, D. Michael. The potential for vapour cloud explosions—Lessons from the Buncefield accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23.6 (2010): 921-927.





Introducing a Method for Determining the Safe Area of Urban Area Development at Risk of Explosion of Oil Depots (Case Study of Tehran Oil Depots)

R. Mousavi¹; K. Amini Hosseini^{2*}; H. Motamed³

1. Ph.D. Candidate, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Earthquake Risk Management Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran (Corresponding Author)
3. Assistant Professor, Earthquake Risk Management Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

Abstract:

The proximity of residential structures to hazardous industrial facilities is one of the challenges facing disaster management in natural or artificial disasters in today's modern world. Therefore, calculating the consequences of damage to these facilities and its effects on damage and loss of residential structures is of great importance in urban planning and disaster management. The consequences of damage to hazardous facilities, depending on the type of activity and the hazardous materials they store, can be assessed in different scenarios. Overpressure due to explosion, heat radiation due to fire, and poisoning due to the spread of toxic substances are the main reasons for the threat to urban areas adjacent to hazardous facilities. Different scenarios are considered in each case depending on the vulnerability and risk reduction goals. Tehran is also exposed to various hazards caused by damage to hazardous facilities. Among the types of facilities that are thought to be a severe threat to the residents of Tehran, the oil depots in the northwest, northeast, and south of the city are more important. Therefore, determining the safe area around these facilities and how to comply with them has always been one of the challenges in crisis management in this city. This article, taking into account the consequences of the vapor cloud explosion (as the worst-case scenario), determines the safe area around these three oil depots in Tehran. For this purpose, two conventional methods have been used to calculate the overpressure due to vapor cloud explosion. The difference between the results of the two methods has been discussed. Also, by examining the vulnerability of the buildings around each of the oil depots, the standard overpressure for the demolition of the buildings has been determined. Finally, the safe area around these facilities has been calculated.

Key Words: Vapor Cloud Explosion (VCE), Hazardous Installations, Oil Depot, Disaster Management, Safe Zone, Tehran.

* Corresponding author: IIEES, Tehran, Iran; kamini@iiees.ac.ir