Archive of SID

نشریه‌ی علمی-پژوهشی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

ارزیابی و شبیه‌سازی آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پرخطر در برابر تهدیدات با رویکرد پدافند غیرعامل

محیا قوچانی[۱]، محمد تاجی[۲*]، مجتبی دربانیان[۳]

۱- کارشناس ارشد معماری، گروه تحقیقاتی تصمیم‌گیری هوشمندانه، تهران، ایران.

۲- (نویسنده مسئول)، استادیار ، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود، ایران.

۳- کارشناس ارشد عمران، گروه تحقیقاتی تصمیم‌گیری هوشمندانه، تهران، ایران.

دریافت مقاله ۱۳۹۷/۰۹/۲۴ پذیرش مقاله ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

واژگان کلیدی

پدافند غیرعامل
آسیب‌پذیری
انبارهای نگهداری مواد پر خطر
تهدیدات انفجار

چکیده

در کشور ما بیشتر طرح‌ها بدون در نظر گرفتن مبانی پدافند غیرعامل طراحی و اجرا شده است. انبارهای نگهداری مواد پر خطر از جمله مهم‌ترین سازه‌های حساس و آسیب‌پذیر هستند که از این نظر مستثنی نیستند. کوچک‌ترین آسیب به این انبارها، پیامدهای وخیم اقتصادی، اجتماعی و... را به دنبال خواهد داشت. برای جلوگیری از عوامل تهدید از جمله تروریستی، حملات زمینی و موشکی به این تأسیسات، لازم است اقدامات پدافند غیرعامل در نظر گرفته شود. هدف این پژوهش ارزیابی و شبیه‌سازی ریسک سوله‌های نگهداری مواد پرخطر با تأکید بر تهدید انفجار می‌باشد. بنابراین با استفاده از روش تحقیق توصیفی- تحلیلی، اطلاعات و معیارهای مورد بحث با استفاده از تکنیک *FEMA* و روش *AHP* تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که آسیب انبارهای نگهداری مواد پرخطر در درجهٔ اول در برابر تهدید به بمب‌گذاری و محمولهٔ انفجاری است. بر همین اساس یک سولهٔ نگهداری مواد پرخطر در برابر انفجار توسط نرم‌افزار *ABAQUS* در سناریوهای متفاوت شبیه‌سازی شده است. در نهایت پیشنهاداتی در جهت کاهش ریسک و آسیب-پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر در برابر انفجار و بمب‌گذاری با استفاده از ابزارهای مناسب و گزینه‌های مکانی ، ارائه شده است.

۱- مقدمه

فضای سرزمینی کشور ما در معرض انواع تهدیدهایی است که در شقوق مختلف اقتصادی، اجتماعی و امنیتی می‌توانند باعث به وجود آمدن مشکلات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی شوند و امنیت ملی را تهدید کنند (*Amiri et al, 2014: 134*). در واقع، نبود امنیت باعث ایجاد بحران در جوامع خواهد شد (*Meymandi Parizi & Kazeminiya, 2015: 120*). بدین روی، تأمین امنیت با رویکرد پدافند غیرعامل که در غیاب آن توسعه و پویایی کشور غیر ممکن خواهد بود، نگاهی ویژه‌ای می‌طلبد. در این میان زیرساخت‌ها نقشی تعیین‌کننده در فرآیند توسعه هر کشور ایفا می‌کند و حفظ امنیت زیرساخت‌ها در برابر حملات و تهدیدها، از اولویت-های امنیتی هر کشور است. اجتناب‌ناپذیر بودن و طیف گستردهٔ تهدیدهای بالقوه و بالفعل کانون‌های بحران در پیرامون کشور، لزوم تمهیدات پدافند غیرعامل را بیش از پیش نشان می‌دهد (*Hosseini Amini, 2012: 302*). به بیان دیگر، آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و سوء استفاده از این آسیب‌پذیری‌ها می‌تواند به مختل شدن خدمات‌رسانی آن‌ها و تبعات شدیدی مانند کشته شدن انسان‌ها، زیان‌های

* سمنان، شاهرود. دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود، دانشکده فنی مهندسی. رایانامه: **mohammadtaji@yahoo.com**

www.SID.ir

Archive of SID

اقتصادی و حتی آسیب رسیدن به امنیت ملی منجر شود (*Huang et al, 2014: 66*).

زیرساخت‌های شهری، تعیین‌کنندهٔ بقای شهرنشینی در دنیای امروز هستند. به عنوان یکی از مراکز جذاب تهاجم، همواره مدنظر دشمنان بوده و در استراتژی انهدام مراکز ثقل واردن در حلقهٔ دوم قرار دارد؛ از این رو تهدیدات متعددی برای آنها متصور است (*Hosseini et al, 2016: 331*). در واقع شهرها به دلیل تجمع مراکز ثقل و تأسیسات، در رأس تهدیدات قرار دارند و در برخی موارد باعث هم‌افزایی خطر می‌شوند. از این رو مهاجمان برای درهم شکستن ارادهٔ ملت استراتژی انهدام مراکز ثقل و زیرساخت‌ها را در دستور کار دارند (*Modiri et al, 2016: 164*). همه ساله اعتبارات زیادی صرف احداث زیرساخت‌های حیاتی در کشور می‌گردد و از سوی دیگر هر روزه در گوشه‌ای از جهان شاهد تخریب و انهدام زیرساخت‌های ملی کشورها در اثر بمباران‌ها و آتش ویرانگر دشمنان هستیم و امروزه این روند، متوقف نشده و ادامه خواهد یافت.

زیرساخت‌های حیاتی در هر کشوری به صورت شبکه‌وار و به صورت هم‌افزا به تداوم و توسعهٔ فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و.. یک کشور گره خورده است (*Shahbazi et al, 2011: 170*). برای انجام اقدامات مؤثر در کاهش آسیب‌پذیری و ریسک زیرساخت‌های حیاتی، شناسایی و ارزیابی تهدیدات از ارکان اساسی پدافند غیرعامل است. لذا از نظر فنی و هزینهٔ فایده، محافظت از زیرساخت‌ها در برابر تهدیدات محتمل امکان‌پذیر است و دفاع غیرعامل باعث افزایش تاب‌آوری و بازگشت‌پذیری زیرساخت‌های شهری می‌شود. دفاع غیرعامل به عنوان بسترساز توسعهٔ پایدار و یکی از مؤثرترین و پایدارترین روش‌های دفاع در برابر تهدیدات محسوب و عرصه‌های مختلف فضاهای شهری را شامل می‌شود (*Ghazanfari, 2013: 3*).

با توجه به تهدیدهای مختلفی که کشور ما با آن مواجه است، لازم است در خصوص سنجش آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پرخطر به عنوان تأسیسات حیاتی توجه کرد و شناخت حاصل از میزان آسیب‌پذیری را برای ایجاد مصونیت‌های زیرساختی به‌کار گرفت. منظور از انبارهای نگهداری مواد پر خطر، انبار نگهداری مواد شیمیایی می‌باشد. انبار مواد شیمیایی به محلی اطلاق می‌گردد که انواع ترکیبات شیمیایی و سموم اشکال مختلف گاز، مایع و جامد در آن به‌طور موقت نگهداری می‌شود (*Mirzaei, 2016: 35*). با توجه به این مورد که سوله‌هایی که داری کاربری انبار مواد پر خطر سمی یا انفجاری هستند، از بیرون سازه مورد حمله قرار می‌گیرند، لازم است تدابیر خاصی به جهت حفاظت بهتر از این انبارهای مهم و حساس به عمل آید.

با توجه به مطالب فوق این سؤال در ذهن نقش می‌بندد که چگونه و با چه اقداماتی می‌توان از زیرساخت‌ها به ویژه انبارهای نگهداری مواد پر خطر، به نحو مطلوب حفاظت کرد؟ این امر با کاربست فناوری اطلاعات از جمله سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی در مراحل شناخت و تحلیل داده‌ها راحت‌تر، دقیق‌تر و جامع خواهد بود. به همین دلیل، پژوهش حاضر با هدف شناخت و ارزیابی آسیب‌پذیری و با کمک گرفتن از ابزار مناسب و دقیق با رویکرد پدافند غیرعامل، به ارزیابی آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر، به عنوان یکی از مهم‌ترین تأسیسات حیاتی، مبادرت خواهد کرد و در تلاش خواهد بود راه را برای برنامه‌ریزی اقدامات مناسب جهت کاهش خطرپذیری در انبارهای نگهداری مواد پر خطر هموار سازد. بنابراین اهداف خرد پژوهش شامل:

- شناسایی تهدیداتی که آسیب‌پذیری انبار مواد نگهداری مواد پر خطر را افزایش می‌دهد.
- تعیین حد خطر برای تخریب سازهٔ انبارهای نگهداری مواد پر خطر.

سابقهٔ رخداد تهدیدات انسان‌ساخت در شهرهای کشورهای مختلف، بسیار پر تکرار بوده و تهدیداتی نظیر حملات هوایی و موشکی، تهدیدات تروریستی، خرابکاری عمدی، بمب‌گذاری و حملات سایبری به زیرساخت‌ها از فراوانی بیشتری برخوردارند که این امر موجب می‌گردد نتوان از احتمال وقوع این گونه تهدیدات در آن‌ها چشم‌پوشی نمود (*Ataee, 2015: 35*). به همین دلیل در پژوهش حاضر فرض بر این است که ، بیشترین آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر در برابر تهدیدات ویژه همچون بمب‌گذاری و حملات انتحاری باشد. همچنین با توجه به قوانین موج شوک ناشی از انفجار، فرض بر این است که هرچه فاصلهٔ بمب‌گذاری نسبت به سازه بیشتر باشد،

www.SID.ir

Archive of SID

میزان آسیب‌پذیری سازه کاهش می‌یابد.

۲- پیشینهٔ پژوهش

پژوهشگران زیادی در مورد اصول مبتنی بر پدافند غیرعامل در زمینهٔ زیرساخت‌های شهری، تحقیق کرده‌اند. *Goehhering* (۲۰۰۹) به بهبود طراحی شهر دفاعی و چگونگی تحقق اهداف طراحی دفاعی در یک محیط با به‌کارگیری ابزارهای تحلیلی، پرداخته است. *Levitin & Hausken* (۲۰۱۱) در تحقیقی با هدف ارزیابی حملهٔ پیشگیرانه در مقابل اهداف نادرست و حفاظت در استراتژی دفاعی، نحوهٔ توزیع منابع با به‌کارگیری دفاع بهینه در پیشگیر مؤثر حملات، استقرار اهداف کاذب و پشتیبانی اهداف را تجزیه و تحلیل کرده‌اند. *Schmidtlein* (۲۰۱۱) در پژوهشی ارتباط فضایی بین آسیب‌پذیری اجتماعی و تخمین خسارات زلزله را بررسی کرد.

در ایران از سال ۱۳۸۲ بنا به اشارهٔ مقام معظم رهبری، مبنی بر ضرورت توجه به موضوع پدافند غیرعامل، ساز و کار اجرایی این رویکرد تشکیل شد و پس از آن، حوزه‌های پژوهشی نیز به این سمت سوق یافت. در برنامهٔ چهارم توسعه نیز با فراهم کردن نیازمندی‌های قانونی آن در بند ۱۱ مادهٔ ۱۲۱ و سپس در مواد ۱۹۸ و ۱۹۹ برنامهٔ پنجم توسعهٔ کشور، این مسئله به طور جدی و با پشتوانهٔ قانونی جایگاه ویژه‌ای یافت. به دنبال آن پژوهش‌های علمی نیز به دنبال پاسخ‌گویی به این نیاز، با حرکت سریع‌تری پی گرفت (*Razavian et al, 2018: 34*).

برنافر و افردای (۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان "اولویت‌بندی مراکز حیاتی، حساس و مهم شهر بندرانزلی و ارائه راهکارهای دفاعی از دید پدافند غیرعامل" با مطالعهٔ شهر بندرانزلی به عنوان شهری ساحلی و با عملکرد مناسب اقتصادی، در نهایت با استفاده از مدل استراتژیک *SWOT* راهبردهای دفاعی مناسب از جمله توسعه و ایجاد فضاهای امن در مراکز مهم، ایجاد مراکز مهم متعدد به جای مراکز حساس منفرد، کاهش خطر ناشی از کاربری‌های مهم خطرزا و پراکنش مراکز مهم در شهر برای این شهر پیشنهاد داده‌اند (). میمندی پاریزی و کاظمی‌نیا (۲۰۱۵) در پژوهش خود، با تأکید بر تأسیسات حیاتی و تهدیدپذیر و با استفاده از سه شاخص تراکم جمعیتی، کیفیت ابنیه و نسبت فضاهای پر و خالی، آسیب‌پذیری شهر کرمان را بررسی و پهنه‌بندی کرده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد منطقهٔ ۳ به دلیل استقرار کاربری‌های حیاتی، آسیب‌پذیرترین منطقهٔ شهر و منطقهٔ ۱۴ به دلیل تراکم جمعیتی و کیفیت بهتر ابنیه، امن‌ترین منطقهٔ شهر است.

امان‌پور و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود در مقیاس شهر کوهدشت، پس از بررسی کاربری‌های حیاتی و حساس، از طریق مدل و توابع هم‌پوشانی، آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شهری را تهیه کرده‌اند. نتایج *GIS _FAHP* ترکیبی پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد حدود ۶۸ درصد از پهنهٔ شهر کوهدشت در وضعیت آسیب‌پذیر قرار دارد. پژوهش مشهدی و امینی‌ورکی (۲۰۱۵)، به ارائه چارچوبی برای ارزیابی تهدیدها، آسیب‌پذیری و خطرپذیری زیرساخت‌های حیاتی کشور مبادرت می‌پردازد و ضمن برشماری شاخص‌ها و تبیین آن، برآورد کمّی از مؤلفه‌های ریسک را به استفاده از منطق فازی و براساس اصل تبدیل مباحث توصیفی-کیفی به اعداد کمّی منوط می‌داند.

در خارج از کشور، بحث حملات تروریستی به تأسیسات شیمیایی به خصوص تأسیسات نفتی بعد از حادثه ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۱ مطرح شده و بررسی‌هایی روی آن صورت گرفته است .در اکتبر سال ۲۰۰۴ انجمن نفت آمریکا (*API*) به همراه انجمن ملی صنایع پتروشیمی و پالایش نفت (*NPRA*) ویرایش دوم روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی صنایع نفت و پتروشیمی را منتشر نمود که در آن بحث آسیب‌پذیری تأسیسات نفتی در برابر حملات تروریستی مطرح و بررسی گردیده است (*Security Vulnerability Assessment Methodology for the Petroleum and Petrochemical Industries, 2004: 26*).

وزارت دادگستری ایالات متحده (*DOJ*) در نوامبر سال ۲۰۰۲، ویرایش نهایی گزارش ویژه‌ای را منتشر نمود و در آن روشی برای ارزیابی آسیب‌پذیری تأسیسات شیمیایی ایالات متحده ارائه داده است (*A Method to Assess the Vulnerability of U.S . Chemical Facilities, 2002*). در سال ۲۰۰۸ مطالعه‌ای تحت عنوان "ارزشیابی ریسک حملات تروریستی به تأسیسات شیمیایی و سیستم‌های حمل و نقل در مناطق شهری" توسط *Giuseppe Maschio* و *Maria Francesca Millazzo* در ایتالیا

www.SID.ir

Archive of SID

انجام شده است، که بیشتر سیستم‌های حمل و نقل مواد خطرناک را مد نظر دارد (*Resilience of Cities to Terrorist and other Threats, 2008: 42*).

Cioaca (۲۰۱۳) در مقاله‌ای با عنوان "ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حمل و نقل هوایی در برابر تهدیدات تروریستی" به بررسی احتمال رخداد تهدیدات در فرودگاه به‌ویژه ترمینال‌های مسافربری می‌پردازد و به منظور خنثی نمودن و یا کاستن از اثرات تهدید تروریستی بر ترمینال‌ها، راهکارهایی را ارائه می‌دهد. *Alcaraz* و *Zeadally* (۲۰۱۵) در مقاله "حفاظت از زیرساخت‌های حساس الزامات و چالش‌های قرن ۲۱" معتقدند زیرساخت‌های حساس نقش خیلی مهمی در حمایت از جامعهٔ مدرن بازی می‌کند. قابلیت اطمینان، عملکرد، استمرار خدمات، ایمنی، تعمیر و نگهداری و حفاظت از زیرساخت‌ها از اولویت‌های ملی برای کشورها در سراسر جهان می‌باشد. آن‌ها به بررسی آسیب‌پذیری و تهدیدات پیش روی زیرساخت‌های حساس مدرن با تأکید بر سیستم‌های کنترل صنعتی و راهکارهای حفاظت از آن‌ها پرداخته‌اند و همچنین به تعدادی از چالش‌های این حوزه مانند مدیریت امنیتی اشاره نموده‌اند.

۳- روش تحقیق

تحقیق حاضر در صدد استخراج و اولویت‌بندی تهدیدات انسان‌ساخت متوجه زیرساخت‌های شهری می‌باشد. بر همین اساس روش تحقیق، روش توصیفی است. به منظور گردآوری و تحلیل داده‌ها در این پژوهش روش ترکیبی (کمی - کیفی) انتخاب شده است. در مرحلهٔ شناسایی تهدیدات، آسیب‌پذیری، معیارهای آسیب‌پذیری تأسیسات حیاتی از روش کتابخانه‌ای (کیفی) و در بخش اولویت‌بندی تهدیدات از روش پرسش‌نامه (کمّی) استفاده می‌شود. جامعهٔ آماری تحقیق تمامی کارشناسانی هستند که مشترک در حوزهٔ دفاع غیرعامل و شهرسازی و جغرافیا دارای تجربه و تخصص می‌باشند. بر این اساس تعداد ۳۰ نفر انتخاب شدند.

در این تحقیق از روش *AHP* (تحلیل سلسله مراتبی) و *FEMA* (سازمان مدیریت بحران فدرال) جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات استفاده شده است. پس از توزیع پرسشنامه، ارزیابی تهدیدات مؤثر بر زیرساخت‌های حیاتی به ویژه انبارهای نگهداری مواد پر خطر و تکمیل آن توسط جامعهٔ خبرگان تحقیق، میانگین حسابی نظرات جامعه خبرگان براساس طیف لیکرت نمره‌دهی شده که به روش *FEMA* مرسوم است. اما نمرات ارائه شده از این طریق برای ارزیابی تهدیدات مؤثر نمی‌باشد؛ زیرا وزن شاخص‌ها در آن‌ها لحاظ نشده است. در این راستا با در نظر گرفتن وزن هر شاخص می‌توان به امکان‌پذیری صحیح تهدیدات مؤثر بر زیرساخت‌ها دست یافت که این مهم با استفاده از روش *AHP* انجام می‌گیرد. در نهایت تهدیدی که بیشترین تأثیر را در آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر را دارا باشد، توسط نرم‌افزار *ABAQUS* در سناریوهای متفاوت شبیه‌سازی و تحلیل می‌شود.

۴- آسیب و آسیب‌پذیری

از کار افتادن مراکز شهری و تأسیسات مهم و حیاتی به عنوان قلب هر نظام به برهم خوردن و تعادل سیستم‌های شهری و بروز دشواری‌های مختلف در حیات جوامع انسانی منجر می‌شود که کنترل و تداوم شرایط جامعه ساکن در فضا را با چالش جدی و بحران مواجه می‌کند (*Meymandi Parizi & Kazeminiya, 2015: 120*). در همین راستا آسیب، صدمه یا خسارتی است که به کاهش ارزش کارایی برخی از مکان‌ها یا اجزای یک جامعه منجر می‌شود و می‌تواند در پی آن، سلامت یا فعالیت‌ها و روند زندگی افراد را متأثر سازد (*Ahadnejad, 2009: 29*). آسیب‌پذیری اغلب به ظرفیت برای خسارت (*Cutter et al, 1998: 531*)، درجه و میزان تخریب در عامل یا گروهی از عوامل که از وقوع هر پدیده حاصل می‌شود (*Little et al, 2004: 497*) یا به ظرفیت نداشتن کافی جامعه برای رویارویی در برابر تهدیدها و مخاطرات تعریف می‌شود که بر پایهٔ موقعیت افراد و گروه‌ها در دنیای فیزیکی و اجتماعی استوار است (*Clark et al, 1998: 61*). به طور کلی می‌توان گفت آسیب‌پذیری عبارت است از میزانی از خسارت به عنصری معین در معرض خطر که اغلب بر روی برداری از صفر (بدون خسارت) تا یک (خسارت و تخریب کامل) قرار دارد (*Razaviyan et al, 2018: 37*).

اگر آسیب‌پذیری را درجه یا سطحی بدانیم که یک نظام به علت فشارهای وارده مستعد پذیرش آسیب است،

www.SID.ir

Archive of SID

مطابق با دیدگاه حاکم در علوم انسانی، این درجه به طور ویژه در ارتباط با دو عامل تعیین می‌شود: ۱) سامانه‌های مواجهه با بحران، فشار و تهدید؛ ۲) ناتوانی نظام برای غلبه بر بحران (*Mohammadi deh cheshmeh, 2013: 16*). در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و تحلیل‌های کلان از تئوری آسیب‌پذیری، تعاریف عمومی‌تری بیان شده است و برای رتبه‌بندی کیفی آسیب‌پذیری، آن را با معیارهای گوناگونی تقسیم‌بندی می‌کنند (*Pelling, 2003: 18*). از آنجایی که جامعهٔ امروزی بسیار پویاست و توسعهٔ تکنولوژیک و ظهور تهدیدهای جدید به سرعت اتفاق می‌افتد، بسیار مهم است اقدامات مدیریت ریسک به صورت کنشی و نه واکنشی صورت گیرد (*Johansson and Hassel, 2010: 136*). ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در واقع تحلیلی از کارایی زیرساخت و سیستم‌ها در مواجهه با تهدیدها برای شناسایی ضعف‌های زیرساخت‌ها می‌باشد و راه‌های اصلاحی که برای کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها می‌تواند طراحی یا اجرا شود، معرفی می‌کند (*Mashhadi, 2011: 52*). این آسیب-پذیری از منظر شاخص‌های آمادگی کارایی، ضعف فنی، امکانات و ضعف‌های حفاظتی متغیر است.

۱-۴- تبیین شاخص‌ها و معیارهای آسیب‌پذیری تأسیسات حیاتی

ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در واقع تحلیلی از کارایی زیرساخت و سیستم‌ها در مواجهه با تهدیدها برای شناسایی ضعف‌های زیرساخت‌ها می‌باشد و راه‌های اصلاحی که برای کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها می‌تواند طراحی یا اجرا شود، معرفی می‌کند (همان). این آسیب‌پذیری از منظر شاخص‌های آمادگی کارایی، ضعف فنی، امکانات و ضعف‌های حفاظتی متغیر است.

- **ضعف رویارویی:** به میزان توان یا ضعف در مواجهه با وقوع تهدید علیه دارایی‌های حیاتی اتلاق می‌شود. توان رویارویی به عوامل ذاتی و محیطی مختلف بستگی دارد که عبارتند از (*Abazarlou, 2013: 106*):

الف) عوامل ذاتی: کوچکی، گستردگی، سختی، هزینه‌ساز بودن؛

ب) عوامل محیطی: آمایش منطقه‌ای، ملزومات دفاعی.

- **ضعف حفاظتی و ابزارهای دفاعی:** این شاخص به میزان قوت یا ضعف در مقابله با حمله از سوی عامل تهدید علیه دارایی‌های حیاتی بستگی دارد. اما در اینجا اصل، جلوگیری از حمله نیست بلکه هدف، دفع حمله است. عوامل مؤثر بر ضعف حفاظتی و تمهیدات دفاعی به صورت زیر می-باشند (*Jalali Farahani, 2012: 131*):

الف) آمایش منطقه‌ای؛

ب) دارا بودن تجهیزات حفاظتی و امنیتی.

- **امکان دسترسی:** دسترسی به دارائی، به میزان در دسترس بودن دارائی در صورت حمله بستگی دارد. در این مؤلفه، منظور موقعیت دارائی و موانع موجود در برابر دشمن است. به طوری که مجاورت و یا دوری از مبدأ تهدید و وجود یا عدم وجود موانع در دسترسی عامل تهدید، کاهش یا افزایش آسیب‌پذیری را به دنبال خواهد داشت. هدف در صورتی قابل دسترسی است که دشمن بتواند با نیروی انسانی و تجهیزات کافی به آن رسیده و مأموریت مربوطه را با موفقیت انجام دهد. قابلیت دسترسی در یک اصطلاح کلی، سهولت دسترسی و یا مشکل بودن حرکت و نزدیک شدن به سمت هدف می‌باشد (*Ataee, 2015: 128*). گام‌های اساسی در تشخیص قابلیت دسترسی عبارتند از :

الف) نفوذ و رخنه از مبدأ به منطقهٔ هدف و حرکت از نقطهٔ ورود به سمت منطقهٔ هدف؛

ب) حرکت به سمت اجزای حساس منطقه هدف و خروج و فرار از محل هدف.

ملاحظات تأثیرگذار دسترسی به هدف عبارت است از:

الف) سامانه‌های اعلام خبر؛

ب) تجهیزات تجسسی، شناسایی و مراقبتی؛

ج) توانایی و قابلیت تسلیحات پدافند هوایی موجود در منطقهٔ هدف؛

د) عوارض زمینی و محیطی و موانع مصنوعی؛

و) تراکم جمعیت و نیروی انسانی؛

ی) شرایط آب و هوایی.

- **امکان کشف و شناسایی:** امکان شناسایی، به میزان به‌کارگیری اصول استتار، اختفا و پوشش وابسته می-باشد. به طوری که هر مقدار این اصول بهتر و بیشتر مدنظر قرار گیرد، احتمال و به تبع آن آسیب‌پذیری کاهش خواهد یافت. این پارامتر به پیچیدگی جنس تهدید، اندازهٔ هدف و حتی به شرایط آب و هوایی نیز وابسته است. قابلیت کشف و

www.SID.ir

Archive of SID

شناسایی هدف، میزان تشخیص و شناسایی هدف توسط منابع، تجهیزات و سامانه‌های شناسایی و اطلاعاتی متجاوز در شرایط مختلف می‌باشد. شرایط آب و هوایی تأثیر قابل توجهی در میزان دید دارد. باران و برف و مه آلودگی و... موجب تقلیل تشخیص و شناسایی می‌شود. عوامل دیگری نظیر فاصله، نور و فصول سال نیز در کشف و شناسایی هدف مؤثرند (*Ghazanfari*, 2013: 98). عوامل مهم و مؤثر در کشف و شناسایی هدف عبارتند از :

الف) ابعاد هدف، پیچیدگی هدف، علائم و آثار هدف؛

ب) استتار، اختفاء پوشش گیاهی و مصنوعی و امکانات فریب؛

ج) فاصله از مراکز شاخص، فاصله از بزرگراه‌ها و فاصله از مراکز حیاتی، حساس و مهم؛

د) وضعیت عوارض زمینی و میزان رطوبت؛

و) میزان آموزش و مهارت متجاوز.

۲-۴- ارزیابی آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر

بدیهی است با دانستن اینکه دشمن چه در سر دارد، می‌توان به کاهش آسیب‌پذیری در دارائی‌های جذاب برای دشمن اقدام نمود. به طور کلی منظور از کاهش آسیب‌پذیری در دارائی حیاتی، برطرف کردن نقاط ضعف در طراحی، به‌کارگیری و یا اقدام عملی در جهت کاهش خسارت دارائی‌های حیاتی با هدف مصون‌سازی است. در این راستا به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری نیاز به شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری داریم که با توجه به مطالعات صورت گرفته چهار معیار ضعف رویارویی، ضعف حفاظتی و ابزارهای دفاعی، امکان دسترسی و امکان کشف و شناسایی می‌باشند.

در ادامه به منظور اعتبار نتایج حاصل از ارزیابی آسیب‌پذیری بایستی در گام اول شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری، مورد وزن‌دهی قرار گیرند. این امر بدان خاطر است که تأثیر هر شاخص به اندازهٔ وزن خود در ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از رخداد تهدیدات بر هر دارائی لحاظ شود. چرا که همهٔ شاخص‌های معرفی شده از وزن یکسانی برخوردار نیستند. به منظور وزن‌دهی به شاخص‌های فوق‌الذکر پس از تنظیم پرسشنامه، توزیع و گردآوری نتایج آن با استفاده از تکنیک AHP در نرم افزار Expert Choice نتایج استخراج گردید.

شاخص‌های کیفی بایستی به یک مقدار کمّی تبدیل شوند تا بتوان محاسبات مربوط به تصمیم‌گیری چند شاخصه بر روی آن‌ها انجام داد. عمده شاخص‌های دارای مقیاس رتبه‌ای هستند که با استفاده از روش طیف‌بندی جدول (۱) می‌توان آن‌ها را به اعداد کمّی تبدیل کرد.

جدول ۱: تبدیل کیفیت به کمیّت جهت امتیازدهی خبرگان (*Delbari & Davoudi, 2012: 64*)

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقیق، دو شاخص اهمیت مساوی دارند.
۳	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت i اندکی بیشتر از j است.
۵	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت i بیشتر از j است
۷	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت i خیلی بیشتر از j است
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر i نسبت به j به طور قطعی به اثبات رسیده است.
۲،۴،۶،۸	ترجیحات بینابین	هنگامی که حالت میانه وجود دارد.

جدول (۲) نشان‌دهندهٔ اهمیت نسبی معیارهای کلی از دیدگاه خبرگان می‌باشد. نرخ ناسازگاری مقایسهٔ زوجی این معیارها ۱٪ بوده که نشان‌دهندهٔ دقت قابل قبول این مقایسهٔ زوجی است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲: میانگین نظر خبرگان در امتیازدهی به شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری (تگارندگان)

معیارها	ضعف رویارویی	ضعف حفاظتی و ابزارهای دفاعی	امکان دسترسی	امکان کشف و شناسایی	رتبه‌بندی
ضعف رویارویی	-	۵	۵	۷	۲
ضعف حفاظتی و ابزارهای دفاعی	-	-	۷	۵	۳
امکان دسترسی	-	-	-	۹	۱
امکان کشف و شناسایی	-	-	-	-	۴

پس از توزیع پرسشنامهٔ ارزیابی آسیب‌پذیری دارائی-های حیاتی و تکمیل آن توسط جامعهٔ خبرگان تحقیق، نمره‌دهی خام و نمره‌دهی با اعمال وزن شاخص‌ها بیان گردیده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نمره‌دهی براساس طیف لیکرت صورت پذیرفته است که در روش ارزیابی ریسک *FEMA* مرسوم است. با توجه به تکنیک *FEMA* در ارزیابی آسیب‌پذیری، مقیاس درجه‌بندی آسیب-پذیری و مشخص نمودن گروه‌بندی آن‌ها براساس مقیاس ارائه شده در جدول (۳) است.

جدول ۳: مقیاس آسیب‌پذیری دارائی‌های حیاتی و گروه‌بندی ان‌ها *(FEMA 452, 2005: 29)*

مقیاس	نمره	تفسیر	گروه‌بندی
خیلی بالا	۱۰	یک یا چند نقطه ضعف اصلی شناسایی شده‌اند که دارایی‌ها را به شدت مستعد تهاجم یا خطر می‌کند. در ساختمان، عدم افزونگی و حفاظت فیزیکی وجود دارد و کل کاربری‌ها بعد از مدت بسیار طولانی پس از حمله، دوباره به‌کار خواهد افتاد.	گروه ۱
بالا	۹- ۸	یک یا چند نقطه ضعف اصلی شناسایی شده‌اند که دارایی‌ها را خیلی زیاد مستعد تهاجم یا خطر می‌کند. در ساختمان، عدم افزونگی و حفاظت فیزیکی وجود دارد و کل کاربری‌ها بعد از مدت بسیار طولانی پس از حمله، دوباره به‌کار خواهد افتاد.	
متوسط رو به بالا	۷	یک ضعف اصلی شناسایی شده است که دارایی‌ها را خیلی مستعد تهاجم یا خطر می‌کند. در ساختمان، عدم افزونگی و حفاظت فیزیکی ناکافی وجود دارد و اکثر کاربری‌ها بعد از مدت بسیار طولانی پس از حمله، دوباره به-کار خواهد افتاد.	گروه ۲
متوسط	۶- ۵	یک ضعف اصلی شناسایی شده است که دارایی‌ها را نسبتاً مستعد تهاجم یا خطر می‌کند. در ساختمان، عدم افزونگی و حفاظت فیزیکی نامناسب وجود دارد و اکثر کاربری‌ها بعد از مدت قابل ملاحظه‌ای پس از حمله، دوباره به‌کار خواهد افتاد.	
متوسط رو به پایین	۴	یک ضعف اصلی شناسایی شده است که دارایی‌ها را تا اندازه‌ای مستعد تهاجم یا خطر می‌کند. در ساختمان، عدم افزونگی و حفاظت فیزیکی نامناسب وجود دارد و اکثر کاربری‌ها بعد از مدت قابل ملاحظه‌ای پس از حمله، دوباره به‌کار خواهد افتاد.	
پایین	۳- ۲	یک ضعف اصلی شناسایی شده است که دارایی‌ها را احتمالاً مستعد تهاجم یا خطر می‌کند. در ساختمان، عدم افزونگی و حفاظت فیزیکی مناسب وجود دارد و اکثر کاربری‌ها بعد از مدت کوتاهی پس از حمله، دوباره به‌کار خواهد افتاد.	گروه ۳
خیلی پایین	۱	نقطه ضعفی وجود ندارد. ساختمان، دارای درجهٔ مناسبی از افزونگی و حفاظت فیزیکیاست که باعث می‌شود کل کاربری‌ها بلافاصله پس از حمله، دوباره به‌کار آید.	

به منظور کسب نتایج حقیقی از پرسشنامه‌های ارزیابی آسیب‌پذیری وزن هر یک از شاخص‌های ارزیابی آسیب-پذیری را لحاظ می‌نماییم و به گروه‌بندی هرکدام از تهدیدات مبادرت می‌نماییم. مطابق جدول (۴)، نمره‌دهی خام بدون اعمال وزن شاخص‌ها لحاظ گردیده است و در جدول (۵)، این ضرایب اعمال شده‌اند که نتیجه آن به شرح زیر قابل مشاهده می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴: ارزیابی آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر در برابر تهدیدات احتمالی توسط خبرگان (نگارندگان)

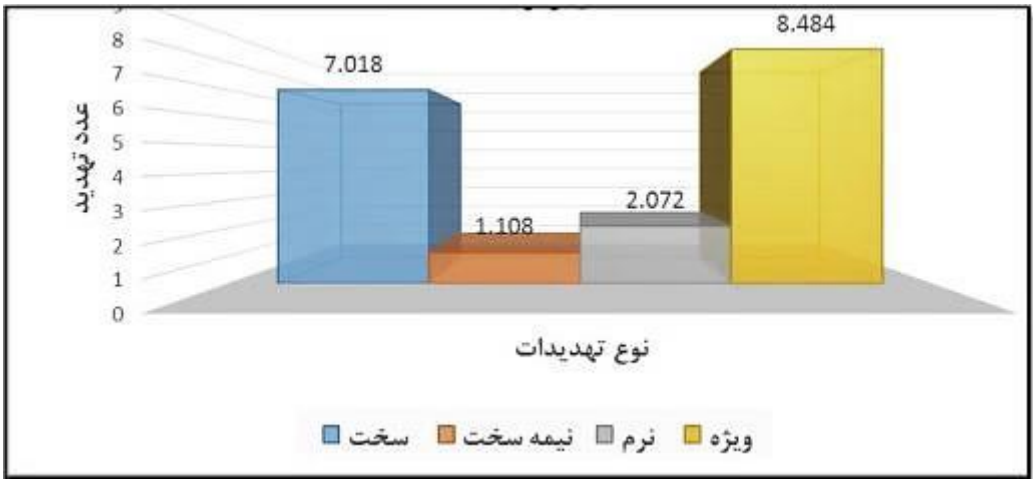
تهدیدات / شاخص‌ها		ضعف رویارویی	ضعف حفاظتی و دفاعی	امکان دسترسی	امکان کشف و شناسایی	جمع نمرات
سخت	هوایی و موشکی	۹	۸	۶	۹	۳۲
	شیمیایی، میکروبی، هسته‌ای					
	دریایی، زمینی (توپخانه، چنگ‌افزار زرهی، پیاده)					
نیمه سخت	بمب‌های الکترو مغناطیسی	۱	۱	۱	۴	۷
	بمب‌های گرافیتی					
	بمب‌های صوتی					
نرم	جاسوسی و نفوذ انسانی	۲	۲	۲	۴	۱۰
	تظاهرات ناآرام، آشوب، اغتشاش خرابکاری فنی					
	تحریم اقتصادی، عملیات روانی					
ویژه	سایبر تروریسم	۱۰	۸	۸	۸	۳۴
	تهدیدات زیستی (بیوتروریسم، مواد و کالای آلوده، شیوع بیماری و....)					
	تهدید به بمب‌گذاری و اعمال آن					
	حملات انتحاری و محمولهٔ انفجاری					
	گروگانگیری، آتش‌زنی عمدی، قتل، ترور، عملیات ویژه					

جدول ۵: ارزیابی آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر در برابر تهدیدات با اعمال وزن شاخص‌ها (نگارندگان)

تهدیدات / شاخص‌ها		وزن شاخص‌ها	ضعف رویارویی	ضعف حفاظتی و دفاعی	امکان دسترسی	امکان کشف و شناسایی	جمع نمرات	درجهٔ تهدید
			۰,۲۴۲	۰,۰۹۲	۰,۶۳۰	۰,۰۳۶		
سخت	حملات هوایی و موشکی		۲,۱۷۸	۰,۷۲۶	۳,۷۸	۰,۳۲۴	۷,۰۱۸	۲
نیمه سخت	بمب‌های الکترو مغناطیسی		۰,۲۴۲	۰,۰۹۲	۰,۶۳۰	۰,۱۴۴	۱,۱۰۸	۳
نرم	نفوذ انسانی – خرابکاری فنی		۰,۴۸۴	۰,۱۸۴	۱,۲۶	۰,۱۴۴	۲,۰۷۲	۳
ویژه	تهدید به بمب‌گذاری و اعمال آن - حملات انتحاری و محمولهٔ انفجاری		۲,۴۲	۰,۷۳۶	۵,۰۴	۰,۲۸۸	۸,۴۸۴	۱

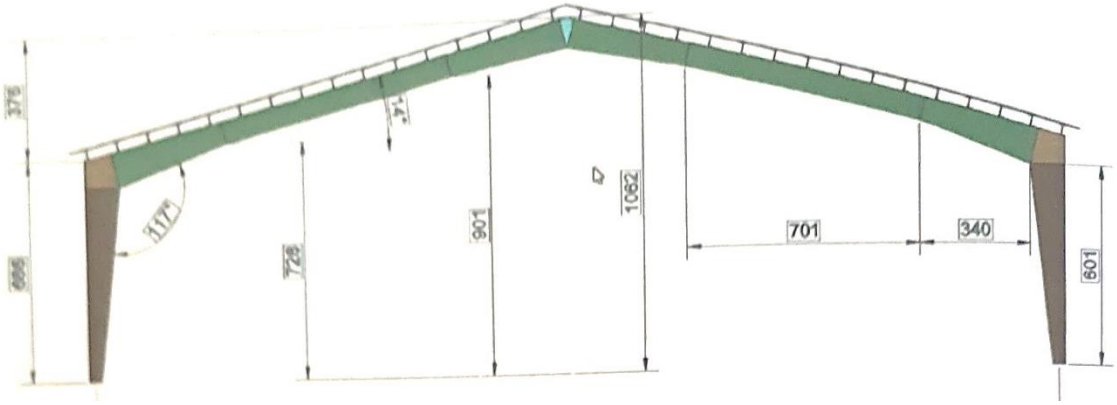
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر در برابر تهدیدات (نگارندگان)

براساس نتایج بدست آمده از نظرات خبرگان، بیشترین آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر در برابر تهدیدات ویژه همچون بمب‌گذاری و حملات انتحاری می‌باشد (شکل ۱). بنابراین در بخش بعد به شبیه‌سازی سازهٔ نگهداری مواد پرخطر توسط نرم‌افزار *ABAQUS* در سناریوهای متفاوت پرداخته خواهد شد. در این پژوهش یک قاب از یک سولهٔ صنعتی ۱ به عرض (دهانه) ۲۹,۷ متر و طول ۵۰,۵ متر و دیوار حدفاصل بین آن‌ها، تحت بارگذاری انفجاری با فواصل و مقادیر متفاوت مادهٔ منفجره معادل *TNT* مورد مطالعه قرار گرفته است. فاصلهٔ قاب‌ها از یکدیگر ۵,۰۵ متر بوده و ارتفاع تاج سوله برابر ۱۰,۶۲ متر می‌باشد. ارتفاع ستون‌ها نیز برابر ۶,۰۱ متر است (شکل ۲).



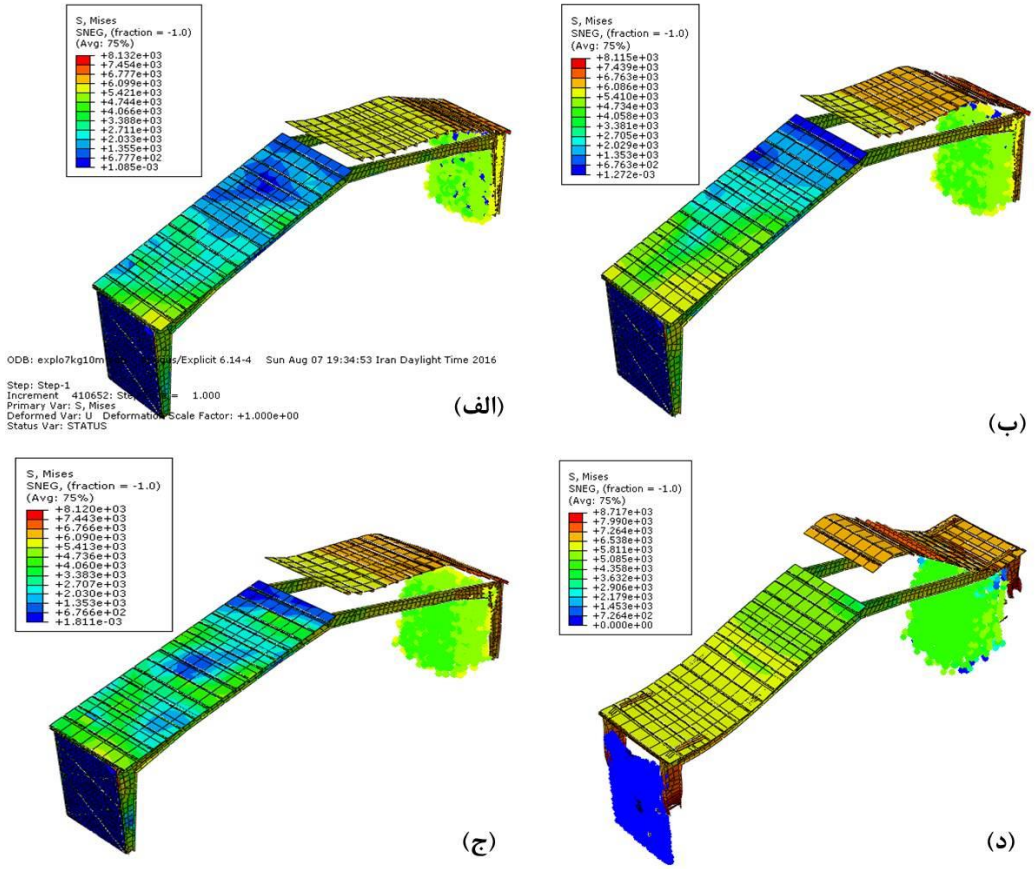
شکل ۲: نمای اندازه‌گیری شده مقطع سولهٔ مدل‌سازی شده در نرم‌افزار (نگارندگان)

مقادیر تخمینی به جهت حملات محتمل خرابکارانه در این پژوهش چهار مقدار ۷,۵ کیلوگرم، ۲۵ کیلوگرم، ۳۵ کیلوگرم و ۵۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است. همچنین فواصل انفجاری برای این مقادیر برابر ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متر از بیرون سازه در نظر گرفته شده است. تأثیرات تغییر فاصله و تغییر وزن خرج انفجاری تا تخریب کامل سازه مورد بررسی قرار گرفته به نحوی که در مقدار ۵۰ کیلوگرم خرج انفجاری، سوله کاملاً تخریب می‌گردد (شکل ۳). از آنجایی که در مسائل مربوط به انفجار، مدت زمان بارگذاری انفجاری و اعمال بار در کسر بسیار کوچکی از ثانیه صورت می‌گیرد (حدود چند صدم ثانیه) و همچنین روند پیچیدهٔ حل مسئله نیازمند زمان بسیار زیاد و کامپیوترهای با پردازندهٔ قوی می-

www.SID.ir

Archive of SID

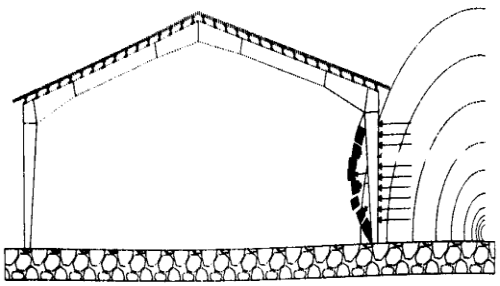
باشد، مدت زمان کل تحلیل برابر ۱ ثانیه اختیار شده است که زمان مناسبی است (*Taji, 2018: 43*).



شکل ۳: تغییر شکل سازه پس از انفجار. الف) ۷٫۵ کیلوگرم معادل *TNT* ماده منفجره، ب) ۲۵ کیلوگرم معادل *TNT* ماده منفجره، ج) ۳۵ کیلوگرم معادل *TNT* ماده منفجره، د) ۵۰ کیلوگرم معادل *TNT* ماده منفجره؛ در فاصلهٔ ۱۰ متری بیرون سازه (نگارندگان)

الف) سناریو ۱

در این حالت وضعیت خرج انفجاری به لحاظ وزن و فاصله (۲۰ متری) به گونه‌ای است که ابر کرهٔ انفجاری، کل سازه را در بر نمی‌گیرد و پوستهٔ بیرونی کرهٔ انفجاری در تماس با سطح خارجی سازه است و قدرت تخریب آن صرفاً موجب انهدام دیوار انبار مذکور می‌گردد. واضح است که در این حالت موج شوک فرودی بر روی سطح سازه پس از برخورد و برگشت به سمت مرکز انفجار، در لحظات و فواصل مشخصی با موج ارسال پس از خودی سمت مرکز انفجار ساطع می‌گردد (شکل ۴). به لحاظ دامنه و فرکانس هماهنگ شده و موجب تشکیل ستون‌های ماخ می‌گردند که خود اثر تخریبی موج‌های بعدی را چندین برابر می‌کند.



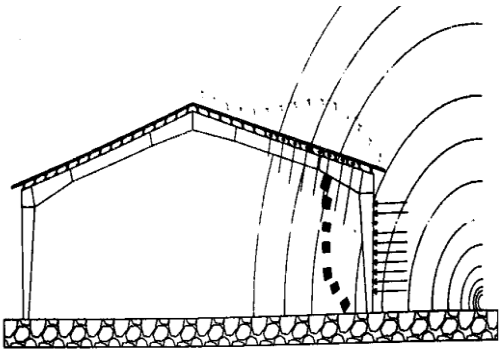
شکل ۴: مد تخریب در سناریوی اول (نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

ب) سناریو ۲

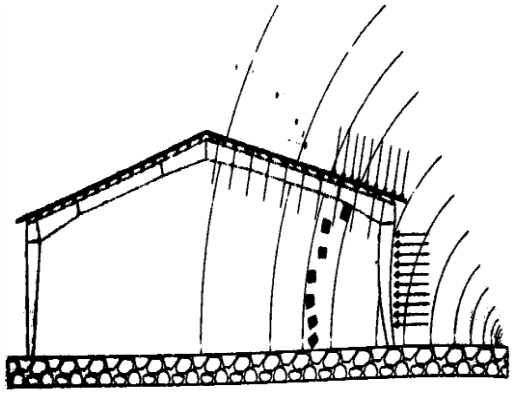
مّد دوم تخریب بدین صورت است کـه وضـعیت خـرج انفجاری به لحاظ وزن و فاصله (۳۰ متری) به گونه‌ای اسـت که قدرت تخریب آن بالا بوده و پس از رسیدن به سازه ابتدا دیوار تخریب و سپس مـوج انفجـار کماکـان در حـال ادامـه حرکت به درون سازه می‌باشد. به محـض ورود چـون تـراکم هوای محبوس داخل انبار، فشار بیشـتری نسـبت بـه هـوای خارج ایجاد می‌کند. برآیند نیروهای وارد بر سقف و لایه‌ها به سمت بالا بوده و موجب پرت شدن لایه‌ها و سقف به سـمت آسمان پرتاب گردند. از آنجایی کـه فشـار در ابتـدای مسـیر بیشتر بوده و با دور شدن از مرکز انفجار از شدت آن کاسـته می‌شود، آن سمتی از سقف که بـه مرکـز انفجـار نزدیـک‌تـر است زودتر کنده شده و تغییر مکان بیشـتری نیـز دارد. بـه مرور که از مرکز انفجار دور می‌شویم و زمان نیـز مـی‌گـذرد قدرت انفجار تحلیل رفته و تغییر مکان قسمت‌هـای انتهـایی سقف کمتر می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵: مد تخریب در سناریوی دوم (نگارندگان)

ج) سناریو ۳

مُد سوم تخریب بدین صورت است که وضعیت خرج انفجاری به لحاظ وزن و فاصله (۴۰ متری) به گونه‌ای است که قدرت تخریب آن بسیار بالا بـوده و سـرعت بارگـذاری نیـز بسـیار سریع‌تر از دو مد قبلی است. شعاع کرهٔ انفجاری نیـز خیلـی بزرگ‌تر از حالت‌های قبلی است. پـس از رسـیدن بـه سـازه، ابتدا دیوار تخریب و سپس موج انفجار کماکان در حال ادامه حرکت به درون سازه می‌باشد. به محض ورود تـراکم هـوای محبوس داخل انبار فشار بیشـتری نسـبت بـه هـوای خـارج ایجاد می‌کند. اما به دلیل سرعت بالا بارگذاری قبـل از آنکـه سازه فرصت تغییر شکل پیدا کند، نیروی افقی وارد بر سقف سازه، ابتدا موجب ایجاد لنگر حول مرکز سقف می‌گردد. این لنگر باعث کمی دوران حول قسمت مرکزی سقف شـده کـه اعمال نیروی بیشتر نیز موجب تغییر شکل سقف مـی‌گـردد. اما در این حین با مرور زمان، انفجار وارد فاز منفی خود شده و شاهد حالت فشار منفی (مکش) خواهیم بود. ایـن نیـروی حاصل از مکش در فاز منفی انفجار موجـب اعمـال نیـرو در جهت عکس به سازه و سـقف آن شـده و تغییـر شـکل زیـر حاصل می‌گردد (شکل ۶).

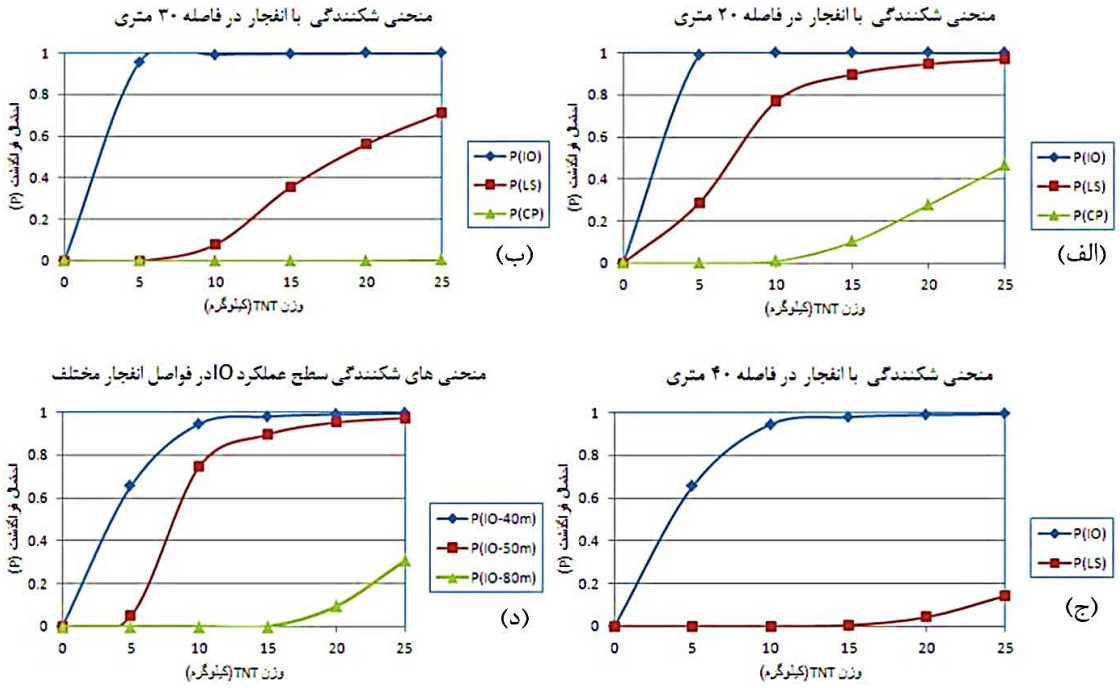


شکل ۶: مد تخریب در سناریوی سوم (نگارندگان)

با محاسبهٔ نیروی انفجـار و اعمـال آن بـه صـورت بـار گسترده خطی به سازه، مقدار جابه‌جـایی‌هـای نسـبی سـازه جهت برآورد منحنی‌های شکنندگی، جمع‌آوری شـده اسـت که با اعمال محاسبات احتمالاتی، منحنـی‌هـای شـکنندگی انفجار برای سازه طبق فواصل مشخص شده در سه سـناریو، در شـکل (۷) ارائـه شـده اسـت. یـک منحنـی شـکنندگی، احتمال خسارت متناظر با یک حالت خسارت به خصـوص را برای چندین سطح انفجار یا فاصلهٔ انفجـار، نشـان مـی‌دهـد. منحنی‌های شکنندگی یک سازه، نسبت بین سطح انفجـار و سطح خسارت انفجاری محتمل را نشان می‌دهـد. اسـتاندارد تغییر مکان جـانبی نسـبی مـاکزیمم بـرای سـطح عملکـرد قابلیت استفادهٔ بی وقف (*IO*) برابر با ۰٫۰۰۷، سطح عملکـرد ایمنی جانبی (*LS*) برابر با ۰٫۰۲۵ و سـطح عملکـرد آسـتانهٔ فروریـزش (*CP*) برابـر بـا ۰٫۰۵ مـی‌باشـد (*Seismic improvement instructions for existing buildings, 2013: 6*).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷: منحنی‌های شکنندگی انفجار در فاصله‌های الف) ۲۰ متری، ب) ۳۰ متری، ج) ۴۰ متری، د)سطح عملکرد *IO* در فواصل مختلف (نگارندگان)

با توجه به منحنی‌های شکنندگی رسم شده برای این نوع سازه و تحت بارهای انفجار و فواصل انفجار عنوان شده، سطوح عملکرد ایمنی جانی (*LS*) و آستانهٔ فروریزش (*CP*) نرخ تغییرات بیشتری را در مقابل سطح عملکرد قابلیت استفادهٔ بی وقفه (*IO*) از خود نشان می‌دهند. یعنی برای بار ناشی از انفجار این سطح عملکرد، تعیین‌کننده می‌باشد. همان طور که از نمودارهای شکل (۷) مشخص است فراگذشت ۵۰ درصد برای حداقل بار انفجاری (۲۵ کیلوگرم) تا فاصلهٔ ۴۰ متری اتفاق می‌افتد.

این فاصله یک فاصلهٔ آزاد معمول در سازه‌های انبارهای نگهداری مواد پر خطر است که اتفاق افتادن انفجار با حداقل میزان مواد منفجره (که قابل حمل باشد) تا این فاصله محتمل‌تر می‌باشد. یعنی بیشتر سازه‌های انبارهای نگهداری مواد پر خطر برای این سطح عملکرد آسیب‌پذیر می‌باشند. در فاصلهٔ ۳۰ متری احتمال فراگذشت سطح عملکرد (*CP*) با حداکثر مواد منفجره ۲۵ کیلوگرم *TNT* به صفر می‌رسد. تا فاصلهٔ ۴۰ متری نیز سطح عملکرد (*LS*) نیز به مقدار صفر نزدیک می‌شود. منحنی‌های شکنندگی برای سطح عملکرد (*IO*) تا فاصلهٔ ۸۰ متری با این مقدار مواد منفجره با یکدیگر مقایسه شده‌اند که تا فاصلهٔ حدود ۱۰۰ متری نیز مقادیر احتمال به صفر میل می‌کند.

۵- نتیجه گیری

زیرساخت‌های حیاتی به عنوان یکی از فضاهای موجود در سطح کلان شهرهای کشور، به علت جذابیت و احتمال مورد هدف قرار گرفتن از سوی معاندان، نیازمند توسعه در بستر دفاع غیرعامل می‌باشند تا آسیب‌پذیری آن‌ها به حداقل برسد. هدف این تحقیق تعیین تهدیدات پیش روی زیرساخت‌های حیاتی به ویژه انبارهای نگهداری مواد پر خطر و اولویت‌بندی آن‌ها بوده است. در گام اول با روش تحقیق توصیفی- تحلیلی و با استفاده از منابع کتابخانه‌ای، سوابق رویداد تهدیدات در جهان و نظرات خبرگان به شناسایی تهدیدات متوجه زیرساخت‌های حیاتی شهرها پرداخته شد که نتایج در چهار دسته تهدیدات شامل

www.SID.ir

Archive of SID

تهدیدات سخت، نیمه سخت، نرم و ویژه ارائه گردید.

در گام دوم نیز براساس تکنیک فما که مبنای عمل این تحقیق در تعیین تهدیدات پایهٔ زیرساخت‌های حیاتی بود، به ارزیابی و اولویت‌بندی هر یک از تهدیدات پرداخته شد که پس از اعمال وزن هر کدام از شاخص‌های ارزیابی تهدیدات، بمب‌گذاری و حملات انتحاری حائز بیشترین امتیاز گردید. در گام سوم نمونه‌ای از انبارهای نگهداری مواد پر خطر تحت باگذاری انفجار، تجزیه و تحلیل شد. در صورت در نظر گرفتن مواد انفجاری معادل ۲۵ کیلوگرم TNT به عنوان معیاری برای حملات تروریستی و بمب‌گذاری، فاصلهٔ ساختمان انبار نگهداری مواد پرخطر از عامل انفجار، می-بایست حداقل برابر ۴۰ متر اختیار گردد تا تغییر شکل‌های سازه منجر به ناپایداری کلی سازه نگردد.

در نهایت پیشنهادات زیر برای کاهش ریسک و آسیب‌پذیری انبارهای نگهداری مواد پر خطر در برابر تهدید انفجار و بمب‌گذاری لازم به نظر می‌رسد:

- تقویت کنترل‌های مهندسی و وسایل ایمن‌سازی؛
- استفاده از سنسورهای حرارتی، دودی و شعله‌ای در قسمت مخازن و تقویت سیستم‌های هشدار و اطفای حریق؛
- امکان ایجاد انسداد ورودی به درون محدودهٔ انبارهای نگهداری مواد پر خطر به منظور عدم بهره‌برداری توسط دشمن؛
- با توجه به استقرار انبارهای نگهداری مواد پرخطر شیمیایی در مجاورت شبکه ارتباطی که دید مستقیم و تشخیص بصری را ایجاد می‌نماید، از این رو طراحی و ایجاد خط عبوری کندروی اختصاصی برای این مراکز و تأمین فضای سبز لازم حائل بین این مراکز و معابر الزامی هست. همچنین در این معابر از پارکینگ حاشیه‌ای ممانعت به عمل آید؛
- ایمن‌سازی انبارهای مواد نگهداری مواد پر خطر با اقداماتی نظیر استفاده از عمق زمین، استفاده از پوشش مناسب برای اختفاء، ایجاد لایه‌های محافظ برای خطوط انتقال انرژی ضروری می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

A Method to Assess the Vulnerability of U.S. Chemical Facilities. (2002). National institute of Justice, Final Version.

Abazarlou, S. (2013). Assessing the vulnerability of the city to passive defense with fuzzy logic, Master's thesis, Islamic Azad University, Tehran Branch, Tehran.

Alcaraza, C., Zeadally, Sh. (2015). Critical infrastructure protection: Requirements and challenges for the 21st century, *International journal of critical infrastructure protection*, 8, 53–66. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874548214000791

Amanpour, S., Mohammadi Deh-Cheshmeh, M., Alizadeh, M. (2016), Evaluation of the vulnerability of Kohdasht urban infrastructure to the non-operational defense approach, *Town and Country Planning*, 8(1), 133-154. Retrieved from https://jtcp.ut.ac.ir/article_59145.html

Amiri, A., AhmadiPour, Z., Mostajabi Sarhangi, H. (2014). Space-security analysis of energy transmission lines in Iran (oil and gas pipelines). *Journal of Applied Geographical Research*, 14(34), 133-157. Retrieved from https://jgs.khu.ac.ir/article-1-2073-fa.html

Ataee, H. (2015). Assessing the vulnerability of the country's civilian airports to threats and providing vulnerability reduction strategies, master's thesis, Malek Ashtar University of Technology, Tehran.

Bornafar, M., Afradi, K. (2014). Prioritizing critical, critical and important centers of Bandar-e-Anzali and providing defensive solutions from inertial defense, *Journal of Applied Geosciences Research*, 14(32), 161-179. Retrievedfrom https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_id=1834&sid=1&slc_lang=fa

Cioaca, C. (2013). *Critical aviation infrastructures vulnerability assessment to terrorist threats*, Romania: Air Force ACADEMY.

Clark, G.E., Moser, S.C., Ratick, S.J., Dow, K., Meyer, W.B., Emani, S., Schwarz, H.E. (1998). Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA., USA. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 3(1), 59-82. Retrieved from https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009609710795

Cutter, S.L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in human geography*, 20(4), 529-539. Retrieved from https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/030913259602000407

Delbari, A., Davoudi, A. (2012). Application of Analytical Dynamic Analytical Process (AHP) Technique in Ranking Indicators for the Evaluation of Tourist Attractions, *Journal of Research in Operations and its Applications*, 9(2), 57-79. Retrieved from http://jamlu.liau.ac.ir/article-1-408-fa.html

Fema452. (2005). Risk Assessment, a How to guide to Mitigation Potential Terrorist Attacks Against Buildings, Federal Emergency Management Agency, USA.

Ghazanfari, M. (2013). Investigating the vulnerability of metro stations (Case study: Valiasr Metro Station), Master's Degree, Malek Ashtar University of Technology, Tehran.

Goehhering, A. (2009). Analytical methods to enhance passive urban design. *26th conference in passive*

www.SID.ir

Archive of SID

and low energy architecture, Quebec City, Canada

Hosseini Amini, H. (۲۰۱۲). Application of passive defense in geopolitics and urban planning (Shahriar city). *Journal of Geography*, 10(35), ۲۹۹-۳۱۰. Retrieved from https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=175938

Hosseini, T., Arefi, L., Bitarafan, M., Abazarlou, S., Zavadskas, E. (2016). Evaluation types of exterior walls to reconstruct Iran earthquake areas (Ahar Heris Varzeqan) by using AHP and fuzzy methods, *International Journal of Strategic Property Management*, 20(3), 328-340. Retrieved from https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/1648715X.2016.1190794

Huang, C.N., Liou, J.J., Chuang, Y.C. (2014). A method for exploring the interdependencies and importance of critical infrastructures. Knowledge-Based Systems, 55(1), 66-74. Retrieved from https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2562564

Jalali Farahani, Gh. (2012). Introduction to Threat Assessment Method and Model in Passive Defense, Tehran: Imam Hossein University Press and Publishing Institute.

Johansson, J., Hassel, H. (2010). An approach for modelling interdependent infrastructures in the context of vulnerability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(12), 1335-1344. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/223326761_An_approach_for_modelling_interdependent_infrastructures_in_the_context_of_vulnerability_analysis

Levitin, G. & Hausken, K. (2011). Preventive strike vs. false targets and protection in the fence strategy, *Reliability Engineering and System Safety*, 96(8), 912-924. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832011000366

Little, M., Paul, K., Jordens, C.F., Sayers, E.J. (2000). Vulnerability in the narratives of patients and their carers: studies of colorectal cancer. *Health*, 4(4), 495-510. Retrieved from https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/136345930000400405?journalCode=heaa

Mashhadi, H., (2011). Pattern of Threat Assessment, Vulnerability and Risk of Vital Infrastructure, Master's Degree, Malek Ashtar University of Technology, Tehran.

Mashhadi, H., Amini Vorky, S. (2015). Compilation and Presentation of a Threat Assessment, Vulnerability and Vulnerability Analysis of Vital Infrastructure, *Journal of Crisis Management*, 4(7), 69-85. Retrieved from http://www.joem.ir/article_14796.html

Meymandi Parizi, S., Kazeminiya, A. (2015). Destructive zoning of the city of Kerman based on passive defense principles. *Journal of the Academy of Sciences*, 7(1), 119-144. Retrieved from https://jtcp.ut.ac.ir/article_54784.html

Mirzaei, M. R. (2016). Structural Analysis of Risk Storage Materials under Explosive Loading with Numerical Method, Master's Degree, Islamic Azad University, Shahroud Branch.

Modiri, M., Ahadnezhad Roushti, M., Hosseini, A. (2016). Risk management in human-made crises with passive defense approach (case study: Tehran metropolis), *Journal of Urban Planning and Research*, 7(27), 163-182. Retrieved from https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=278939

Mohammadi deh cheshmeh, M. (2013). Immigrant Safety and Security, Ahwaz: Shahid Chamran

www.SID.ir

Archive of SID

University.

Pelling, M. (2003). The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience, London: Earthscan Publications.

Razavian, M.T., Aliyan, M., Rustami, H. (2018). Evaluation of spatial vulnerability of Yazd province's infrastructures with passive defense approach, *Town and Country Planning*, 10(1), 31-63. Retrieved from https://jtcp.ut.ac.ir/article_63549.html

Resilience of Cities to Terrorist and other Threats. (2008). NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Risk Evaluation of Terrorist Attacks against Chemical Facilities and Transport Systems in Urban Areas, pp 37- 53.

Schmidtlein, M. (2011). Modeled earthquake losses and social vulnerability in Charleston, South Carolina. *Applied Geography*, 31, 269- 281. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622810000652

Security Vulnerability Assessment Methodology for the Petroleum and Petrochemical Industries. (2004). Second Edition, American Petroleum Institute/ National Petrochemical & Refiners Association, pp 3- 36.

Seismic Upgrade Instruction for Existing Buildings, 360 (First Review), 1392, Vice President of Strategic Planning and Control

Shahbazi, M., Shafiee, M., Aboutalebi, Z. (2011). *Network approach to critical infrastructure*, Strategic Report of the Economic Research Delegation, Center for Strategic Studies, Expediency Council.

Taji, M. (2018). *Course notes of explosion theory and design of structures against it*, Islamic Azad University of Shahroud Branch.

www.SID.ir