Archive of SID

ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی پل‌های خاص به‌منظور تداوم خدمت‌رسانی در شرایط بحران

زهرا جمشیدی: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
محمدیاسر رادان *: استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Radan@mut.ac.ir
محمدعلی نکوئی: استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

پل‌ها یکی از عناصر کلیدی و راهبردی در شبکه‌ی حمل‌ونقل یک کشور هستند و از این رو، از اولین اهداف حملات انفجاری در زیرساخت‌های حمل و نقل هستند. انهدام پل‌ها در یک شبکه منجر به کاهش قابل توجه دسترسی و بروز تأخیر در جابه‌جایی می‌شود. به‌منظور مقابله و کاهش اثرات پیامدهای ناشی از این‌گونه تهدیدات، رعایت الزامات طراحی و ساخت بهینه‌ی سازه‌های مستحکم و مقاوم در برابر امواج انفجاری، ضروری و حیاتی است. علیرغم افزایش هر روزه‌ی این نوع تهدیدات در سراسر جهان، تاکنون پژوهش‌های بسیار محدودی در مورد ارزیابی ریسک پل انجام شده است.

در این پژوهش، ضمن بررسی انواع روش‌های ارزیابی ریسک، به دلیل وجود ارتباط منطقی، جامعیت و سهولت استفاده، روش مطرح شده در دستورالعمل FEMA ۴۵۲ انتخاب شد. به‌منظور تعیین اهمیت نقاط آسیب‌پذیر پل‌ها، پرسش‌نامه‌ای بر اساس معیارهای FEMA طراحی و در اختیار خبرگان و کارشناسان مرتبط قرار داده شد. در این پرسش‌نامه، ابتدا تهدیدات متوجه شبکه‌ی راه شناسایی و رتبه‌بندی شده و سپس، ارزش دارایی‌های پل مورد بررسی قرار گرفته و میزان آسیب‌پذیری محتمل در هر سناریوی تهدید محاسبه گردید. به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل شده، یکی از پل‌های مسیر راه آهن درود - خرم آباد برای مطالعه‌ی موردی انتخاب و محاسبات ریسک روی اجزای آن صورت پذیرفت. نتایج تحلیل‌ها، عدد ریسک ۲۵۰ را آستانه‌ی تعیین دارایی‌های همراه با ریسک بالا و خیلی بالا معرفی نموده و بر همین اساس، عرشه و ستون با اعمال ضریب تهدید، ارزش دارایی و آسیب‌پذیری بیشترین عدد ریسک را به خود اختصاص دادند.

به‌منظور تحلیل خرابی پل در اثر وقوع انفجار، با کمک نرم‌افزار ANSYS نسخه‌ی شماره‌ی ۱۵، پل مورد نظر مدل‌سازی شده و دارایی‌های با ریسک بالاتر از مقدار تعیین شده تحت بارهای ناشی از انفجار مقادیر مختلف TNT قرار گرفته و رفتار پل از نظر پایداری کلی و خرابی بتن مورد توجه قرار گرفت. با بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی، راهکارهایی به‌منظور کاهش ریسک در مقابل تهدیدات انفجاری تروریستی ارائه گردید که به تداوم خدمت‌رسانی پل در زمان بحران کمک خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: *پل، بارگذاری انفجار، ملاحظات پدافند غیرعامل، مدیریت بحران، ارزیابی ریسک*

Passive Defense Considerations in the Design of Specific Bridges for Continuous Service in Crisis Situations

Zahra Jamshidi[1], Mohammad yaser Radan[*2], Mohammad ali Nekooie[3]

Abstract

Bridges are one of the key elements in a country's transportation network; thus, they are the first targets of exsplosive attacks on transport infrastructure. Destruction of bridges in a network leads to a significant reduction in access and latency in the transmission. In order to counteract and mitigate the consequences of these types of threats, it is essential to meet the requirements for designing and constructing optimal structures resistant to explosive waves. Despite the rising number of such threats every day around the world, there has been very limited research on the risk assessment of the bridge.

In this research, along with a review of a variety of risk assessment methods, the method proposed in the FEMA452 instruction was selected due to its rationale, comprehensiveness and ease of use. In order to determine the importance of vulnerable bridges, a questionnaire was developed based on FEMA criteria and was made available to experts. In this questionnaire, network threats were first identified and ranked, and then, the value of bridge assets was investigated and the probable vulnerability was calculated in each threat scenario. In order to evaluate the results, one of the bridges of Dorood-Khorramabad railway route was selected as the case study and risk calculations were made on its components. The results of the analyses revealed the risk number of 250 as the threshold for identifying assets of high and ultra high risks. Accordingly, the deck and column introduced the highest risk number by applying the coefficient of threat, asset value, and vulnerability.

In order to analyze the breakdown of the bridge due to the explosion, version 15 of ANSYS software was used. In this regard, the bridge was modeled and the assets with a higher risk than the specified value were subjected to the loads of explosion of different values of the TNT. Then, the bridge behavior of the overall stability and concrete damage was noticed. By reviewing the results of modeling, solutions to reduce the risk of explosive threats have been presented, which will help to continue the service of the bridge in the time of crises.

Keywords: *Bridge, Explosive loading, passive defense, Crisis Management, Risk Assessment*

1. MSc student, Departement of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran
2. Assitance profesor, Departement of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran, Radan@mut.ac.ir
3. Assistant professor, Departement of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

شریان‌های حیاتی یا همان زیرساخت‌ها جزء بنیان‌های اصلی و چارچوب‌های پایه‌ی هر جامعه به شمار می‌آیند که دربرگیرنده‌ی تمامی تأسیسات، خدمات و تسهیلات مورد نیاز آن جامعه‌اند. در زندگی مدرن، با افزایش وابستگی سریع به این امکانات، این نیاز روزافزون شده است. عملیات تروریستی روی پل‌های ملی یک تهدید روزافزون در جوامع امروزی است. اطلاعات گردآوری‌شده توسط مؤسسه‌ی حمل‌ونقل مینتا امریکا نشان می‌دهد که دست‌کم ۵۳ حمله‌ی تروریستی در سراسر جهان در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ به‌طور خاص پل‌ها را هدف گرفته و ۶۰ درصد این حملات بمب‌گذاری بوده‌اند. برای حملات اخیر نیز می‌توان به بمب‌گذاری پل‌ها و معابر اصلی موصل توسط داعش، عملیات انفجاری بر روی پل راوه در غرب استان الانبار، اشاره کرد.

افزون بر این، ریزش ناگهانی پل‌ها در ایالات متحده و حملات تروریستی بر پل‌ها در عراق عواقب اقتصادی- اجتماعی خرابی‌های ویرانگر پل‌ها را نشان می‌دهد. برای کمک به تضمین ایمنی پل‌ها به‌منزله‌ی یکی از اصلی‌ترین زیرساخت‌های شبکه‌ی حمل‌ونقل در مواجهه با بحران‌های ناشی از جنگ، نیاز به طراحی مقاوم اجزای پل در برابر انفجار وجود دارد.

با انهدام این بخش از زیرساخت‌ها، خطوط مواصلاتی کشور مورد تهاجم، قطع گردیده و امکان حمل‌ونقل و به طبع خدمات‌رسانی و پشتیبانی سلب می‌شود، بنابراین کشورهایی که طعم خرابی و خسارات ناشی از جنگ را تجربه نموده‌اند برای حفظ سرمایه‌های ملی و منابع خود توجه ویژه‌ای به دفاع غیرعامل نموده و در راهبردهای دفاعی خود جایگاه والایی برای آن قائل شده‌اند [۱].

انجام اقدامات دفاع غیرعامل در جنگ‌های امروزی برای مقابله با تهاجمات دشمن و تقلیل خسارات ناشی از حملات هوایی، زمینی و دریایی مهاجم، موضوعی بنیادی است که وسعت و گستره‌ی آن، تمامی زیرساخت‌های کلیدی، مراکز حیاتی، حساس و مهم نظامی و غیرنظامی کشور نظیر پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، جاده‌ها، بندرها، فرودگاه‌ها و ... را در بر می‌گیرد. هر یک از این تهدیدات (که در حال حاضر به‌صورت بالقوه هستند) در صورت بروز می‌توانند خسارات جبران‌ناپذیر مالی، انسانی و ... برای کشور به همراه داشته باشند. در زمینه‌ی امنیت حمل‌ونقل، تقریباً ۶۰ درصد حملات تروریستی به زیرساخت‌های بزرگراه‌ها متشکل از حملات انفجاری بوده است که نشان‌دهنده‌ی نیاز به سازه‌های مقاوم در برابر انفجار است. با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، در این مطالعه اثر انفجار به‌منزله‌ی یکی از عوامل تهدید بر روی پل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

از منابع و مراجع مهمی که تاکنون در زمینه‌ی تحلیل و طراحی سازه‌ها در برابر انفجار تدوین شده‌اند می‌توان به دستورالعمل TM 5-1300 [۲]، دستورالعمل TM 5-855-1 [۳]، دستورالعمل‌های FEMA 452,426,427,428[۴، ۵، ۶]، نشریه‌ی شماره‌ی ۴۲ انجمن مهندسان عمران امریکا [۷]، راهنمای طراحی سازه‌ای مقاوم در برابر انفجار در تأسیسات پتروشیمی [۸]، طراحی سازه‌ای برای حفاظت فیزیکی [۹] و راهنمای توصیه‌های امنیت پل توسط مؤسسه‌ی آشتو [۱۰] اشاره کرد. در این میان تنها دستورالعملی که مستقیماً برای پل‌ها تدوین شده است، دستورالعمل توصیه‌های امنیت پل است که در سال ۲۰۱۱ توسط آشتو منتشر شده است و تأکید آن بیشتر بر پایه‌ی پل‌ها است.

فوجیکارا و برونیو آزمایش‌هایی با مقیاس ¼ روی ستون‌های بتن مسلح شکل‌پذیر (از لحاظ لرزه‌ای) و ستون‌های غیر شکل‌پذیر با پوشش فولادی انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند که هیچ یک از این ستون‌ها رفتار شکل‌پذیری در برابر انفجار از خود نشان ندادند و دچار گسیختگی برشی در پای ستون شدند [۱۱].

عبدالأحد و آروکیاسامی ظرفیت پل‌های با سیستم عرشه‌ی دال بتنی و تیر T شکل را در برابر انفجارهای ضعیف و متوسط مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. آن‌ها همچنین اثر الیاف FRP را در بالا بردن ظرفیت پل در اثر انفجار بررسی کردند. از نتایج مهم تحقیق آن‌ها این بود که استفاده از بتن با مقاومت بالا تأثیر چندانی در افزایش مقاومت پل در برابر انفجار نداشته و همچنین الیاف FRP تأثیر بسیار خوبی در بالا بردن ظرفیت پل ایجاد کرده است.

توکال احمد و همکارش تحقیقاتی در مورد «پاسخ پل‌ها در اثر بارگذاری انفجار و روش‌های محافظت برای کاهش خطرات ناشی از انفجار در پل‌ها» انجام داد [۱۳]. آن‌ها ابتدا طیف‌های بارگذاری معادل استاتیکی را برای دستگاه یک درجه‌ی آزادی الاستیک تهیه نمودند. برای در نظر گرفتن اثرات پلاستیسیته، طیف حاصل را بر فاکتور شکل‌پذیری که تابعی است از شاخص شکل‌پذیری تقسیم کردند. سپس به مدل‌سازی پل با استفاده از نرم‌افزار ELS پرداختند و راهکارهایی برای کاهش خطرات انفجار در پل‌ها ارائه کردند.

ژو و آروکیاسامی نحوه‌ی ارزیابی اثرات انفجار روی پل‌های با عرشه‌ی مختلط را مورد تحقیق قرار دادند [۱۴]. آن‌ها یک نمونه پل را در معرض چند سناریوی محتمل انفجار با استفاده از نرم‌افزار ANSYS تحلیل کردند. آن‌ها روشی برای مدل‌سازی انفجار در یک پل با عرشه‌ی کامپوزیت ارائه کردند.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر نوع تحقیق در زمره‌ی تحقیقات کاربردی - توسعه‌ای و از نظر ماهیت تحقیق در زمره‌ی تحقیقات توصیفی محسوب می شود. روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش از نوع ترکیبی (توصیفی- اکتشافی- نمونه‌ی موردی) است.

به‌منظور بررسی اثر انفجار بر روی پل‌ها، در این پژوهش ابتدا نرم‌افزار مناسب برای شبیه‌سازی انتخاب گردید. در ادامه یک پل خاص به پیشنهاد صنعت به‌منظور شبیه‌سازی انتخاب شد. پس از آن به بررسی بهترین روش شبیه‌سازی مدل با کمترین ساده‌سازی پرداخته شد. سپس برای وزن خرج‌های مختلف در فواصل افقی متفاوت تحلیلی انجام شد که مبنای سایر تحلیل‌ها قرار گرفت. بررسی اثر انفجار با توجه به سناریوی انتخابی و تهدید مبنا در پایه‌ی پل و عرشه از سایر تحلیل‌هایی است که صورت گرفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

علاوه بر آن، به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز روش تحلیل محتوا (کیفی) و روش کمی انتخاب و نرم‌افزار Ansys workbench به‌منزله‌ی ابزار تحلیل پل انتخاب گردید.

جامعه‌ی آماری مطلوب در این تحقیق کارشناسانی هستند که مشترکاً در حوزه‌ی دفاع غیرعامل و مهندسی عمران دارای تجربه و تخصص باشند که بر این اساس در حدود ۴۰ نفر از کارشناسان این دو حوزه شناسایی گردیدند. لیکن با توجه به عدم دسترسی به کل جامعه‌ی آماری و کمبود وقت به‌منظور تکمیل پرسش‌نامه‌های این پژوهش، از فرایند نمونه‌گیری قضاوتی استفاده گردید. در فرایند نمونه‌گیری قضاوتی بخشی از جامعه که اعضای آن بر پایه‌ی داوری محقق مشخص می‌شود، گزینش می‌گردند. تعداد نفرات گزینش‌شده نیز توسط فرمول کوکران استخراج خواهد شد [۱۵].

مبانی نظری

- پدافند غیرعامل:

پدافند غیرعامل عبارت است از مجموعه اقدامات غیرمسلحانه‌ای که باعث افزایش قدرت بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقای پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی می‌گردد [۱۶].

- اصول پدافند غیرعامل عبارت‌اند از:

۱. انتخاب عرصه‌های ایمن در جغرافیای کشور؛
۲. تعیین مقیاس بهینه‌ی استقرار جمعیت و فعالیت در فضا؛
۳. پراکندگی در توزیع عملکردها متناسب با تهدیدات و جغرافیا؛
۴. کوچک‌سازی و ارزان‌سازی و ابتکار در پدافند غیرعامل؛
۵. انتخاب مقیاس بهینه از پراکندگی و توجیه اقتصادی پروژه؛
۶. عدم وابسته‌سازی سامانه‌های حیاتی به هم؛
۷. مقاوم‌سازی، استحکامات و ایمن‌سازی سازه‌های حیاتی؛
۸. مکان‌یابی بهینه‌ی استقرار عملکردها در فضا؛
۹. مدیریت بحران دفاعی در عرصه‌ها و حوزه‌ها؛
۱۰. استتار و نامرئی‌سازی سامانه‌ها در برابر سنجنده‌ها؛
۱۱. کور کردن سامانه‌ی اطلاعاتی دشمن؛
۱۲. اختفا با استفاده از عوارض طبیعی؛
۱۳. پوشش در همه‌ی زمینه‌ها؛
۱۴. فریب، ابتکار عمل و تنوع در کلیه‌ی اقدامات؛
۱۵. حفاظت اطلاعات سامانه‌های حیاتی و مهم؛
۱۶. تولید سازه‌های دومنظوره [۱۷].

- پدافند غیرعامل در حوزه‌ی حمل و نقل:

هنگامی‌که یک پل آسیب جدی می‌بیند، ترافیک عبوری مختل می‌شود. سرعت، ابتکار و خلاقیت باعث بازگشت شرایط عادی به پل می‌شود.

شرایط ویژه‌ی کشور از نظر امنیتی و احتمال انجام حملات تروریستی و تهدیدات بالقوه باعث شده است که سیستم‌های حمل‌ونقل نیاز فوری به توسعه‌ی برنامه‌ی مدیریت اضطراری به‌منظور انجام عکس‌العمل سریع داشته باشند. پل‌ها در جاده‌های اصلی، یکی از اجزای حیاتی شبکه‌ی حمل‌ونقل هستند. دلایلی که باعث اهمیت پل‌ها در شبکه‌ی حمل نقل هستند، عبارت‌اند از:

۱. پل ظرفیت سیستم حمل‌ونقل را کنترل می‌کند؛
۲. پل بیشترین هزینه در کیلومتر را در سیستم دارد؛
۳. اگر پل از بین برود، سیستم از بین می‌رود [۱].

برخی سناریوهای رخداد تهدید در پل‌ها

سناریو دیدگاهی است با سازگاری درونی و محتوایی نسبت به آنچه در آینده می‌تواند رخ دهد. همچنین سناریوها ابزاری برای نظم‌دهی به ادراک یک فرد درباره‌ی محیط‌های آینده است که تصمیم‌های فرد در آن محیط‌ها گرفته خواهد شد [۱۸].

- اهداف تدوین سناریو:

- بسترسازی برای برنامه‌ریزی و ارائه‌ی راهکارهای دفاعی؛
- ارتقای فرهنگ و دانش سازمانی و یادگیری گروه‌های هدف؛
- شناسایی نقاط ضعف، قوت و قابلیت‌های زیرساخت؛
- شناسایی قابلیت‌ها، شیوه‌ها و ابزار دشمن در تهاجم به زیرساخت‌ها [۱۹].

همچنین بیان این سناریوها نقطه‌ی شروعی در استخراج سناریوی پایه‌ی تهدیدات برای پل‌ها خواهد بود، به‌نحوی‌که با بهره‌گیری از نظرات متخصصان و جامعه‌ی خبرگان تحقیق که نظراتشان در قالب پرسش‌نامه اخذ می‌گردد، سعی می‌شود سناریوهای اولویت‌دار شناسایی و در نهایت سناریوی پایه استخراج گردد تا مدل‌سازی بر مبنای سناریوی پایه انجام شود.

سناریوی اول: بمب‌گذاری تروریستی

عامل اجرای این سناریو گروه‌های تروریستی مورد حمایت معاندان جمهوری اسلامی ایران هستند. اعضا یا مربیان این گروه‌ها با دیدن آموزش‌های لازم در کشورهای معاند، وارد خاک کشور شده و با تجهیز از سوی کشورهای معاند، اقدام به عملیات بمب‌گذاری، با هدف خدشه‌دار کردن وجهه‌ی بین‌المللی امنیت کشور، مخالف پرور نشان دادن حاکمیت ملی، وارد ساختن جراحات و تلفات شدید انسانی و شکاف بین مردم و نظام می‌نمایند [۱۷].

این‌گونه عملیات تروریستی در محدوده‌ای می‌تواند رخ دهد که دسترسی جزو مهم‌ترین پارامتر این رویداد است. پایه‌ی ستون‌ها (در پل‌هایی که امکان دسترسی آن وجود دارد)، عملیات تروریستی بر روی عرشه‌ی پل و یا تکیه‌گاه، محتمل‌ترین گزینه‌ها برای بمب‌گذاری است.

در هر یک از موارد فوق، نتایج زیر قابل پیش‌بینی است:

- تخریب شدید محیط خارجی و داخلی که در معرض اثرات ناشی از انفجار بمب قرار دارند؛

www.SID.ir

Archive of SID

- کاهش اعتماد عمومی نسبت به راه‌ها؛
- اخلال در سیستم حمل‌ونقل؛
- از بین رفتن کمک‌رسانی و انتقال تجهیزات دفاعی در زمان بحران و احتمال نابودی دارایی‌های ارزشمند در معرض انفجار.

سناریوی دوم: حمله‌ی موشکی

با توجه به اوضاع بین‌المللی و شرایط حساس منطقه، اسرائیل با چراغ سبز امریکا و تحت حمایت‌های این کشور، مجری این سناریو خواهد بود. در ادامه، امریکا نیز وارد عمل شده و با استفاده از فرصت‌های منطقه‌ای که برای خود ایجاد نموده اقدامات عملیاتی و تهاجمی خود را گسترش خواهد داد. در این بین احتمال تهاجم موشکی به زیرساخت‌های حیاتی کشور و ازجمله پل‌ها، وجود دارد. دشمن در این سناریو، وارد ساختن خسارات اقتصادی کلان، از بین بردن راه‌های ارتباطی، شکاف بین مردم و نظام و تخریب زیرساخت‌ها را دنبال می‌نماید [۱۷].

در این سناریو، نتایج عمده‌ی زیر را بر اثر رخداد تهدید می‌توان متصور شد:

- کاهش شدید اقبال عمومی به استفاده از سیستم حمل‌ونقل؛
- انهدام پل‌های استراتژیک کشوری که ثروت ملّی محسوب می‌شوند؛
- توقف کنترل ترافیک عبوری؛
- ایجاد اختلال در کمک‌رسانی و تجهیزات دفاعی در زمان بحران.

راهکارهای ارزیابی خطر برای پل‌ها

پس از رخداد هر تهدیدی، شناسایی پیامدهای آن، یکی از اصلی‌ترین پیش‌نیازهای استخراج نقاط آسیب‌پذیر دارایی است. پیامدها باید در حوزه‌های مختلف بررسی شوند.

- پیامدهای کالبدی:

آسیب‌های کالبدی ناشی از وقوع تهدید بر دو دسته‌ی آسیب‌های اولیه و ثانویه تقسیم‌پذیرند. آسیب‌های اولیه شامل کلیه‌ی صدماتی که بلافاصله پس از وقوع تهدید وارد می‌شوند، است؛ منظور از آسیب‌های ثانویه نیز تشدید و بسط دامنه‌ی آسیب‌های اولیه براثر عملکرد محیطی است [۲۰].

آسیب‌های اولیه و ثانویه در انهدام پل:

الف. اثر تخریبی ناشی از موج انفجار و ترکش؛

ب. اثر تخریبی بر دیگر اجزای شبکه‌ی حمل‌ونقل.

- پیامدهای انسانی:

هرچه ابعاد تهدید گسترده‌تر باشد، میزان خسارت و تلفات انسانی بیشتر خواهد شد. علاوه بر تلفات انسانی ناشی از انفجار، حرارت، ترکش و ... درصدی از خسارت و تلفات انسانی ناشی از هجوم افراد برای خروج سریع است. این هجوم منجر به ازدحام شدید در مسیرهای ارتباطی خروجی می‌گردد.

- پیامدهای اجتماعی:

ایجاد رعب و وحشت در بین عموم جامعه و بی‌اعتمادی مردم نسبت به سیستم حمل‌ونقل ازجمله‌ی مهم‌ترین این پیامدها است.

- پیامدهای اقتصادی:

پیامدهای اقتصادی ناشی از رخداد تهدیدات در پل‌ها خارج شدن آن از مدار خدمات‌رسانی است.

مهم‌ترین پیامدهای اقتصادی:

- وارد شدن هزینه‌های سنگین برای جایگزینی و بهسازی آسیب‌ها؛
- کنسل شدن حمل‌ونقل عبوری و تعلیق بسیاری از امور که وابسته به آن‌ها است؛
- هزینه‌های سنگین ایجاد وقفه در راه‌اندازی مجدد و انتقال بار ترافیکی بر دیگر سیستم‌های حمل‌ونقل؛
- اتلاف هزینه و زمان ناشی از تأخیر در خدمات وابسته؛
- زیان‌های اقتصادی ناشی از عدم اطمینان مردم به سیستم حمل‌ونقل؛
- زیان‌های ناشی از عدم استفاده از این سیستم حمل‌ونقل.

AASHTO LRFD

آیین‌نامه اشتو ال ار اف دی راهنمایی است که در بخش ارزیابی ریسک به طراحی جزئیات از قبیل نوع، هندسه و اهمیت پل پرداخته است. در زمان برنامه‌ریزی و ساخت پروژه‌های جدید پل‌سازی و یا در مورد مقاوم‌سازی پل‌های بهره‌برداری شده باید نسبت به ارزیابی درجه‌ی اهمیت پل پرداخته شود، که شامل شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی است و همچنین وجود مسیرهای جایگزین به پل نسبت به حفاظت و امنیت پل مورد توجه قرار گیرد. همچنین در این آیین‌نامه ذکر می‌گردد که باید مطالعه‌ی آسیب‌پذیری به‌طور رسمی انجام شود و راهکارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری در طراحی مدنظر قرار گیرد. در بحث نیازهای طراحی در آیین‌نامه بیان شده است که اندازه و مکان وقوع تهدید در کنار نوع و هندسه و اهمیت سازه در تحلیل پل‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. نیازهای طراحی باید از تجزیه‌وتحلیل یک تهدید مبنا تعیین شود.

پس از ارزیابی آسیب‌پذیری و ارزیابی ریسک، با توجه به نقاط آسیب‌پذیرتر باید پل برای یک‌بار انفجاری مناسب طراحی گردد.

در مدل‌سازی بار انفجاری باید به موارد زیر توجه گردد:

- اندازه‌ی ماده‌ی منفجره؛
- شکل ماده‌ی منفجره؛
- نوع ماده‌ی منفجره؛
- فاصله‌ی توقف (فاصله‌ی بین مرکز یک‌بار انفجاری و هدف موردنظر)؛
- مکان ماده‌ی منفجره ؛
- انواع مختلف پرتاب یا برخورد ماده‌ی منفجره.

نوع ماده‌ی منفجره و مکان و شکل و اندازه‌ی آن تعیین‌کننده‌ی شدت نیروی انفجاری است.

www.SID.ir

Archive of SID

برای مقایسه مواد منفجره معمولاً به معادل TNT تبدیل می‌شوند، معادل TNT نسبت وزن ماده‌ی منفجره به وزن TNT است. افزایش فاصله‌ی توقف باعث کاهش فشار در هدف به‌صورت تابعی درجه‌ی سوم نسبت به فاصله می‌گردد، مکان مواد منفجره تعیین‌کننده‌ی اثرات تقویت‌کننده‌ی موج انفجار انعکاسی از سطح پیرامون اجزای سازه‌ای است، همچنین شدت آسیب ایجادشده براثر متلاشی شدن اجزای نزدیک به انفجار را تعیین می‌کند.

دستورالعمل FEMA452

یکی از اهداف این تحقیق تحلیل ریسک شرایط غیرمترقبه به روش FEMA452 است. FEMA452 برای مقابله با تهدیدات انسان‌ساز و حملات خرابکارانه تدوین شده و در اختیار مراکز حساس دولتی و عمومی قرار داده شده است. مزیت شاخص این دستورالعمل، سادگی کار با آن ضمن جامعیت روش است. در این دستورالعمل با رسم جداولی، مراحل مختلف تحلیل آسیب‌پذیری و مدیریت ریسک سامانه‌ی موردنظر امتیازدهی شده و در نهایت مقدار ریسک برای قسمت‌های اصلی سامانه، محاسبه می‌شود [۲۱].

گام اول شناسایی و رتبه‌بندی تهدیدات است که تهدیدات محتمل شناسایی و با توجه به معیارها امتیازدهی می‌شوند و طبق دستورالعمل (FEMA) تهدیدات با امتیاز بالا برای مراحل بعدی انتخاب خواهند شد. در گام بعد ارزیابی ارزش دارایی‌ها صورت می‌گیرد که در این مرحله برآورد شدت خسارت جانی و مالی وارد به یک اجزا در اثر وقوع یک تهدید خاص است. در این گام با شناسایی دارایی‌های کلیدی با تدوین معیارها، شدت خسارت در برابر تهدیدات تعیین می‌شود. در گام سوم آسیب‌پذیری دارایی‌های کلیدی در برابر تهدیدات شناسایی‌شده، محاسبه می‌شود و در آخر ارزیابی ریسک هر اجزا با تکمیل سه مرحله‌ی قبل مشخص می‌شود.

معرفی و وزن‌دهی به شاخص‌های ارزیابی تهدیدات

روند شناسایی، غربالگری و معرفی تهدیدات با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان و سوابق رخداد تهدیدات که دارایی‌های کلیدی پل را در معرض ریسک قرار می‌دهند استخراج گردیدند. در ادامه به‌منظور تعیین تهدید مبنای پل و اولویت‌بندی تهدیدات استخراج‌شده لازم است به ارزیابی تهدیدات پرداخته شود تا امکان اثرگذاری هر یک از آن‌ها بر دارایی‌های کلیدی پل مشخص شود. در این راستا به‌منظور ارزیابی تهدیدات نیاز به شاخص‌های ارزیابی تهدید داریم. جدول ۱ معیارهای ارزیابی تهدیدات پل را بیان می‌دارد.

در ادامه به‌منظور نمره‌دهی و اولویت‌بندی دارایی‌های کلیدی استخراج‌شده لازم است به ارزیابی دارایی‌های موجود در یک پل پرداخته شود تا میزان اهمیت هر یک از آن‌ها مشخص شود. جدول ۲ معیارهای ارزیابی دارایی‌های کلیدی پل را بیان می‌دارد.

در ادامه به‌منظور اعتبار نتایج حاصل از ارزیابی دارایی‌های کلیدی پل باید در گام اول شاخص‌های ارزیابی دارایی مورد

جدول ۱ : معیارهای ارزیابی تهدیدات اجزا پل [۱۹]

ردیف	شاخص
۱	شدت خسارت
۲	توانایی دشمن
۳	سابقه تهدید
۴	هزینه-فایده

جدول ۲ : معیارهای ارزیابی دارایی‌های کلیدی پل [۱۹]

ردیف	شاخص
۱	ارزش اقتصادی
۲	کمیت بهره‌برداران
۳	عدم امکان جایگزینی و ترمیم
۴	تأثیر فرایندی
۵	نقش سیستمی

جدول ۳: ارزش دارایی اجزای پل

ارزش دارایی	
میانگین	اجزای پل
۷،۹	عرشه‌ی پل
۷،۱۲۵	ستون‌ها و پایه‌های پل
۶،۳۲۸۸۸۹	پی پل
۴،۵۵۸۳۳۳	کابل‌ها
۵،۴۱۲۷۷۸	کوله‌ها و سازه‌های حائل
۶،۰۶۰۵۵۶	تکیه‌گاه پل

وزن‌دهی قرار گیرند. این امر بدان خاطر است که تأثیر هر شاخص به‌اندازه‌ی وزن خود در میزان اهمیت یک دارایی لحاظ شود. چرا که همه‌ی شاخص‌های معرفی‌شده در جدول ۲ از وزن یکسانی برخوردار نیستند.

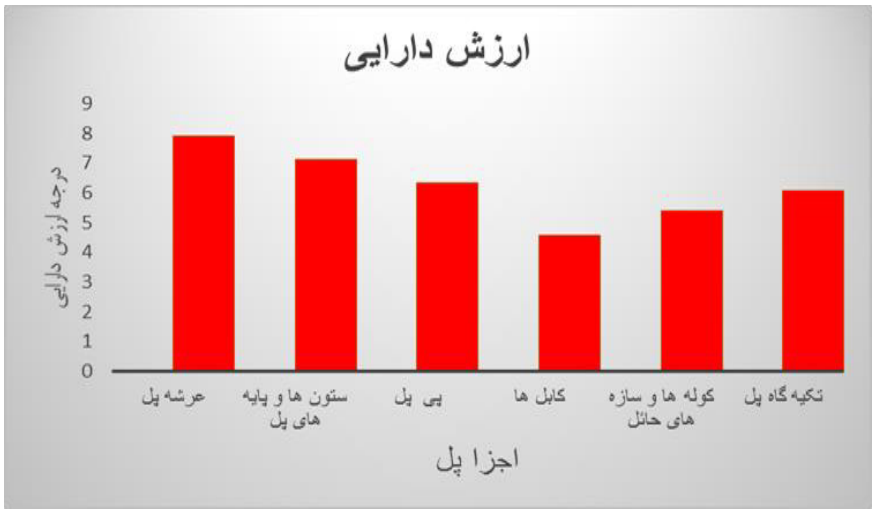
مطابق جدول ۳ نمره‌دهی شاخص‌ها با اعمال ضرایب لحاظ گردیده است که نتیجه‌ی آن در تصویر ۷ قابل مشاهده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نظرات جامعه‌ی خبرگان بیشترین ارزش دارایی عرشه و ستون‌ها است و کابل‌ها در رتبه‌ی آخر جای گرفته است.

وزن‌دهی به شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری اجزای پل

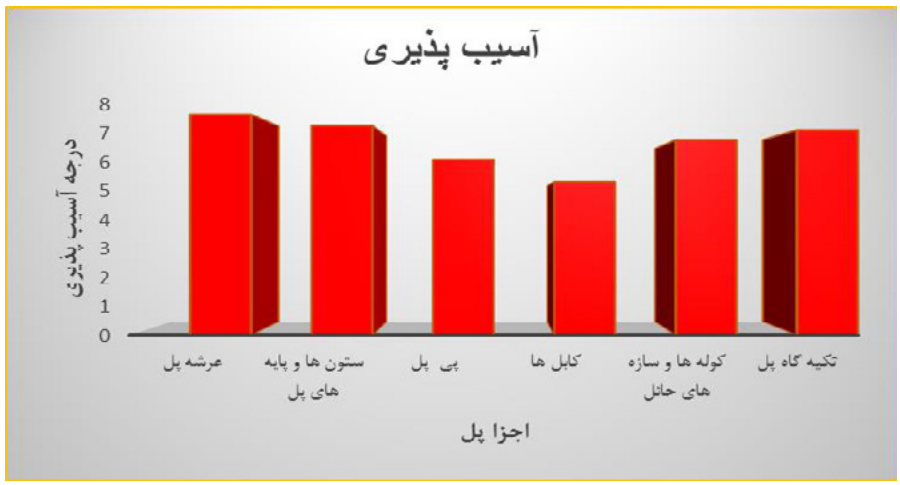
شناسایی هر نقطه‌ضعفی از دارایی‌های کلیدی که باعث بهره‌گیری مهاجمین برای حساس کردن آن دارایی در برابر تهدیدات می‌شود را می‌توان آسیب‌پذیری آن دارایی تلقی نمود. به‌طور کلی منظور از کاهش آسیب‌پذیری، برطرف کردن نقاط

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۱: نمودار ارزش دارایی



تصویر ۲: آسیب‌پذیری اجزای پل

جدول ۴: شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری پل [۱۹]

ردیف	شاخص
۱	ضعف ساختاری
۲	ضعف تجهیزات دفاعی
۳	امکان دسترسی و شناسایی

ضعف در طراحی، به‌کارگیری و یا اقدام عملی برای کاهش خسارت دارایی‌ها با هدف مصون‌سازی است. در این راستا به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری نیاز به شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری داریم که در جدول ۴ بیان می‌شود.

مطابق جدول ۵ نمره‌دهی شاخص‌ها با اعمال ضرایب لحاظ گردیده است که نتیجه‌ی آن در تصویر ۸ قابل مشاهده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نظر جامعه‌ی خبرگان بیشترین آسیب‌پذیری در عرشه و ستون‌ها است و کابل‌ها در رتبه‌ی آخر جای گرفته است.

جدول ۵: آسیب‌پذیری اجزای پل

آسیب‌پذیری	
میانگین	اجزای پل
۷،۵۸۶۶۶۷	عرشه‌ی پل
۷،۲۰۰۵۵۶	ستون‌ها و پایه‌های پل
۶،۰۳۷۷۷۸	پی پل
۵،۲۶۵	کابل‌ها
۶،۷۱۲۲۲۲	کوله‌ها و سازه‌های حائل
۷،۰۵۱۶۶۷	تکیه‌گاه پل

تعیین ریسک دارایی‌های کلیدی پل

در این پژوهش با شناخت زیرساخت سعی گردید تا شاخص‌های اصلی ارزیابی ریسک پل از منظر پدافند غیرعامل استخراج و با ترکیب روش کیفی و کمی، میزان ریسک دارایی‌های پل تعیین گردد. با این ارزیابی می‌توان نقاط ضعف و آسیب‌پذیر پل‌ها را شناسایی کرد و برای رفع کاهش ضعف آن‌ها اقدام نمود. ریسک از روش FEMA از حاصل‌ضرب تهدید در آسیب‌پذیری در ارزش دارایی به دست می‌آید، که در آن عدد ریسک هر چقدر بالاتر

www.SID.ir

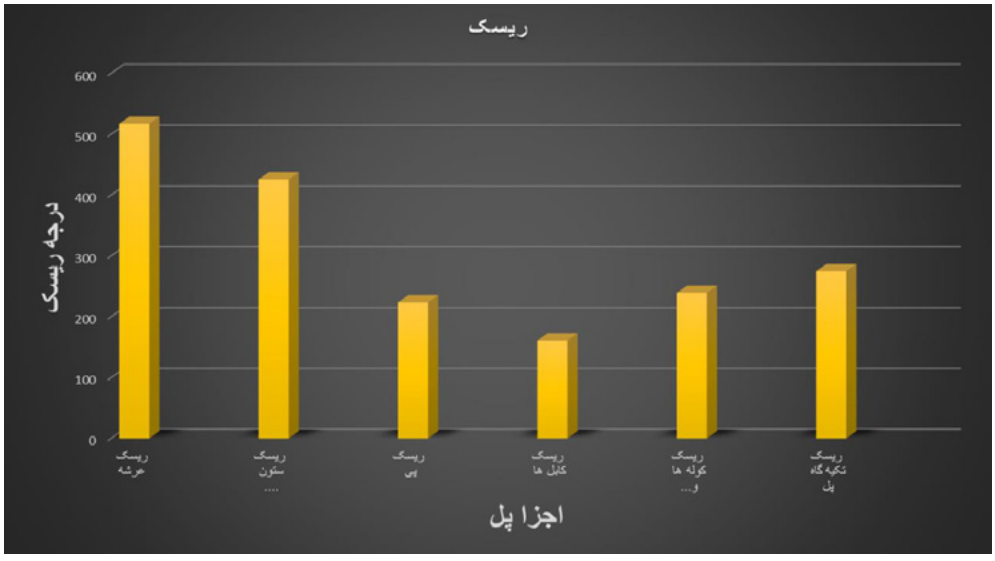
Archive of SID

جدول ۶: مقیاس نهایی درجه‌ی ریسک

مقیاس	نمره	تفسیر	
خیلی بالا	۶۰۰–۱۰۰۰	دارایی به‌شدت مستعد تهاجم هستند	گروه ۱
بالا	۲۵۰–۶۰۰	دارایی خیلی زیاد مستعد تهاجم است	
متوسط رو به بالا	۲۰۰–۲۵۰	دارایی خیلی مستعد تهاجم است	گروه ۲
متوسط	۱۵۰–۲۰۰	دارایی نسبتاً مستعد تهاجم است	
متوسط رو به پایین	۱۰۰–۱۵۰	دارایی کمی مستعد تهاجم است	
پایین	۵۰–۱۰۰	دارایی خیلی کم مستعد تهاجم است	گروه ۳
خیلی پایین	۱–۵۰	دارایی به‌ندرت مستعد تهاجم است یا ارزش تهاجم ندارد	

جدول ۷: درجه‌ی ریسک

ریسک	MAX ریسک عرشه	MAX ریسک ستون	MAX ریسک پی	MAX ریسک کابل ها	MAX ریسک کوله ها و...	MAX ریسک تکیه گاه پل
میانگین	517.3646111	425.9338889	223.8484556	161.0299389	239.4167778	274.9688889
درجه ریسک	بالا	بالا	متوسط رو به بالا	متوسط	متوسط رو به بالا	بالا



تصویر ۳: میزان ریسک اجزای مختلف پل

باشد نشان‌دهنده‌ی احتمال بیشتر ایجاد خطرات و خسارات برای زیرساخت مورد نظر است.

محاسبه‌ی ریسک = آسیب‌پذیری × تهدید × ارزش دارایی

سه مؤلفه‌ی تهدید، آسیب‌پذیری و دارایی بر اساس جدول محاسباتی اعداد اولویت ریسک، عددگذاری شده و از حاصل‌ضرب سه عدد مذکور، عدد اصلی ریسک به دست می‌آید [۲۱].

بر این مبنا، برای هر دارایی ماتریس ریسک تشکیل گردید. در ماتریس ریسک با داشتن اعداد دارایی، تهدید و آسیب‌پذیری که از بخش‌های پیشین به دست آمده بود عدد نهایی ریسک به دست می‌آید. اعداد ریسک به دست آمده حامل نتایج مفهومی مفیدی هستند، لیکن باید مشخص شود که بالا یا پایین بودن اعداد ریسک به چه معنی است که در اینجا به وجود مقیاسی برای تفسیر اعداد ریسک احتیاج می‌شود. این مقیاس در سند شماره‌ی ۴۵۲ مربوط به آژانس مدیریت شرایط اضطراری فدرال ایالات متحده امریکا موجود است اما به علت اینکه مقیاس ارائه‌شده در آن سند با توجه به تهدیدات مبنای کشور ایالات متحده است طبیعتاً نمی‌تواند مقیاس صحیح و قابل استنادی برای تهدیدات حوزه‌ی این تحقیق باشد، پس به مقیاسی بومی که قابلیت استناد داشته باشد نیاز پیدا می‌کنیم که بدین منظور با مشورت با کارشناسان و به‌منظور کسب نتایج منطقی، مقیاس قابل مشاهده در جدول ۶ تدوین شد و مبنای قیاس در تحلیل ریسک پل‌ها قرار گرفت.

با ارزیابی ریسک و تعیین ارزش دارایی‌ها مهندسان و مسئولان می‌توانند تصمیمات و پیش‌بینی‌های واقعی‌تر نسبت به گذشته

www.SID.ir

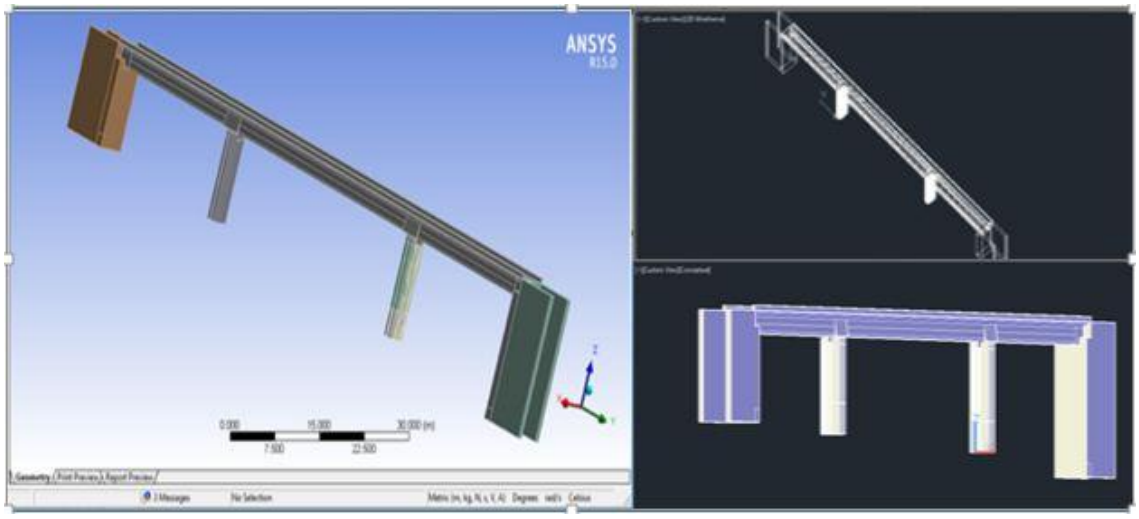
Archive of SID

در مورد افزایش بازدارندگی و یا مقاوم‌سازی نسبت به دارایی‌های کلیدی اتخاذ کنند.

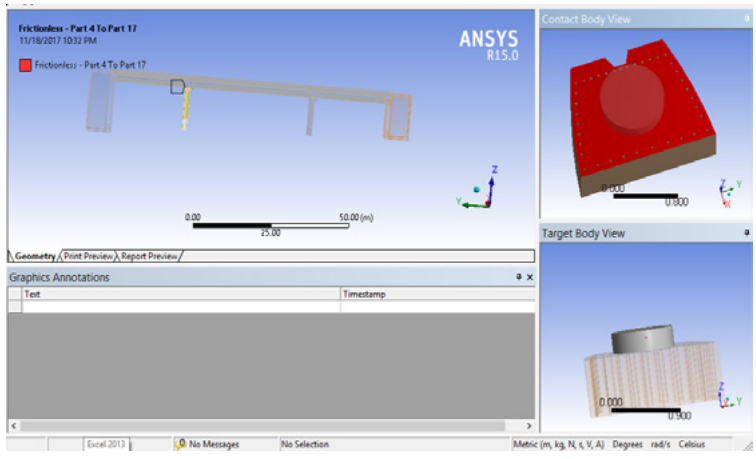
نحوه‌ی شبیه‌سازی پل در نرم‌افزار

برای شبیه‌سازی پل و سایر مدل‌ها در نرم‌افزار انسیس ابتدا مدل موردنظر را در نرم‌افزار اتوکد ترسیم نموده و سپس وارد محیط نرم‌افزار انسیس نموده‌ایم. علت این کار طراحی ساده‌تر با زمان کمتر است. در تصویر ۴ مدل ترسیم شده در اتوکد و انسیس قابل مشاهده است.

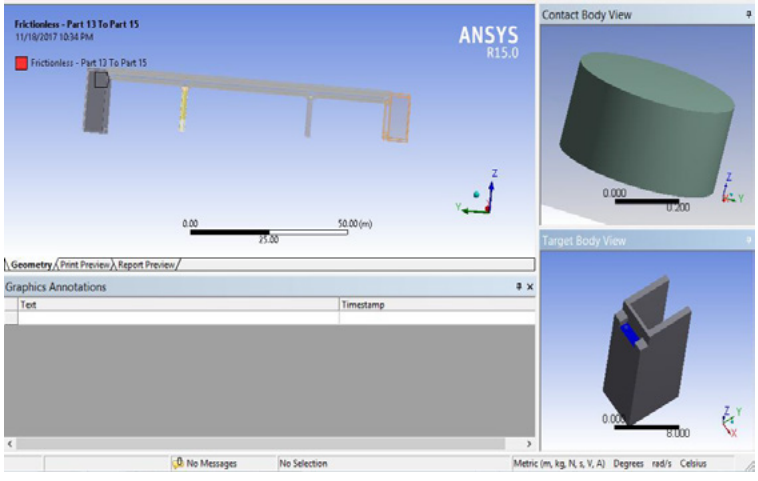
پس از وارد نمودن مدل به نرم‌افزار انسیس، با استفاده از کتابخانه‌ی نرم‌افزار، تخصیص متریال به اجزای سازه‌ای پل صورت می‌گیرد که این بخش در قسمت Geometry تعریف شده



تصویر ۴: مدل ترسیم‌شده در اتوکد و انسیس



تصویر ۵: اتصال نئوپرن به ستون

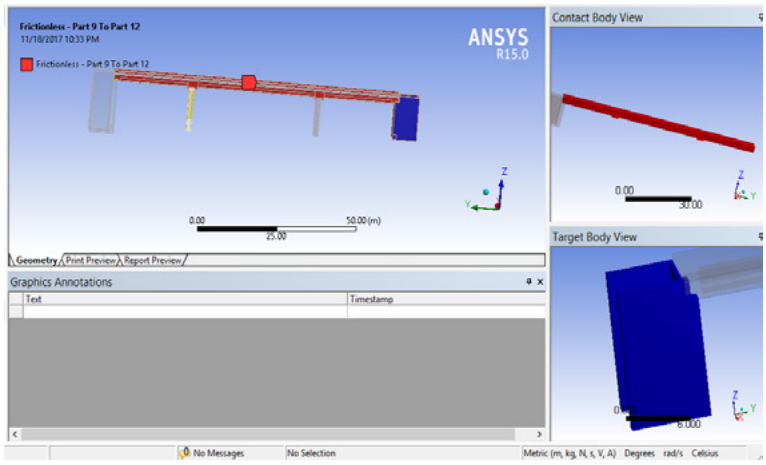


تصویر ۶: اتصال نئوپرن به کوله و عرشه

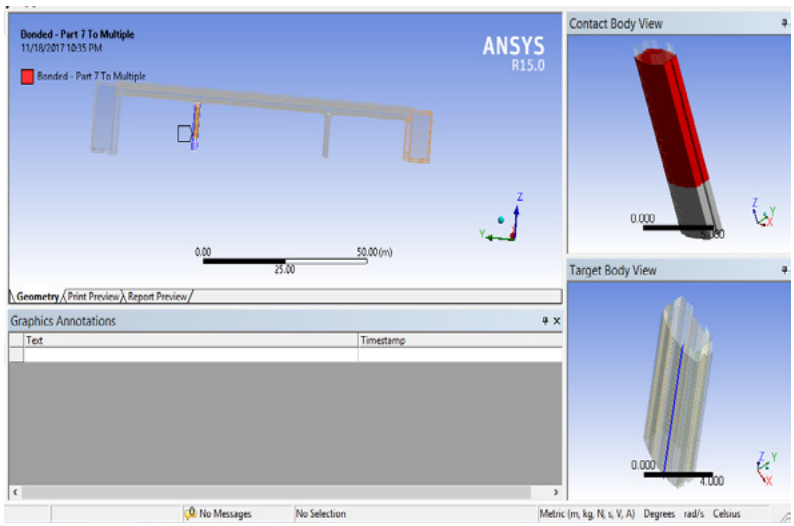
www.SID.ir

Archive of SID

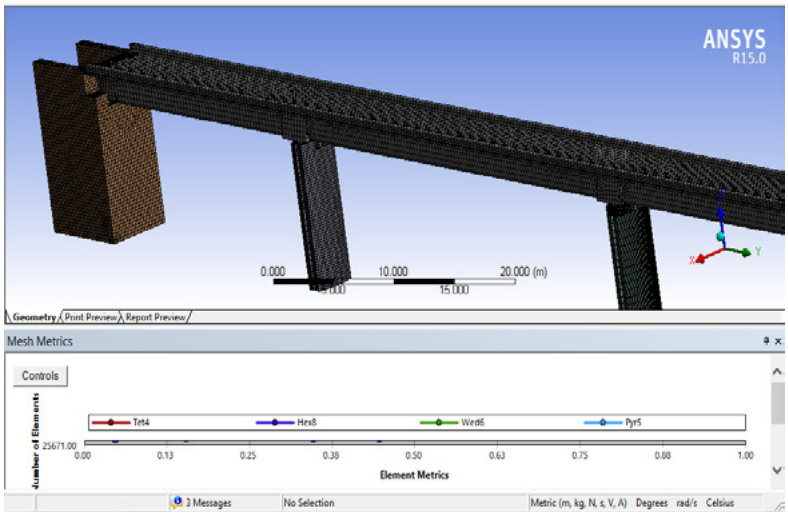
است، در مرحله‌ی بعد نحوه‌ی اتصالات اجزا (Connection) تعریف می‌شود که در تصویر ۵، ۶، ۷ و ۸ بعضی از اتصالات برای نمونه نمایش داده شده است، در این پژوهش اتصال بین بتن و میلگرد به دلیل چسبندگی بالا از نوع Bonded تعریف شده است،



تصویر ۷: اتصال کوله به عرشه



تصویر ۸: اتصال میلگرد با بتن



تصویر ۹: مش زدن مدل

www.SID.ir

Archive of SID

مرحله‌ی بعد عمل مش‌زنی است که در تصویر ۹ قابل مشاهده است. همچنین در قسمت Explicit Dynamics شرایط مرزی و اولیه و نیز نتایج مورد انتظار تعریف می‌گردد.

به‌منظور مدل‌سازی بتن مسلح تلاش شده است تا حد امکان این شبیه‌سازی به واقعیت نزدیک باشد. بدین منظور میلگردهای طولی با استفاده از المان لینک که یک المان دوبعدی است مدل‌سازی گردید و خاموت‌های عرضی نیز به‌صورت معادل در مقاومت بتن لحاظ گردیده است. در این مدل‌سازی ماده‌ی منفجره به‌صورت جسم کروی با اختصاص ماده‌ی TNT است، وزن این جسم کروی برابر خواهد بود با وزن معادل TNT ماده‌ی منفجره.

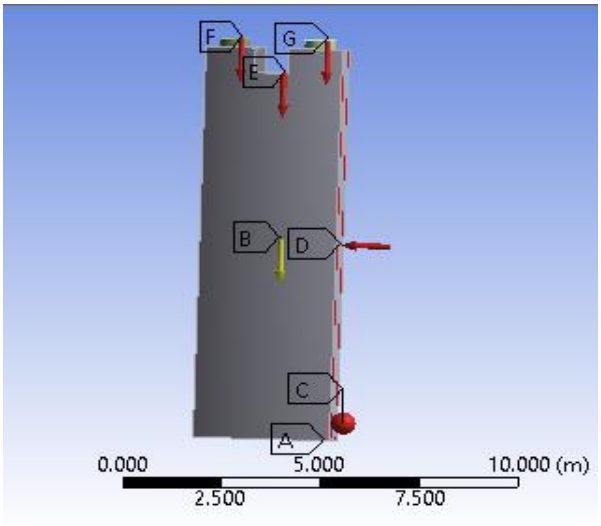
اثر انفجار روی پایه‌ی پل

بعد از مدل‌سازی پل در نرم‌افزار انسیس و اعمال بارگذاری بر سازه، مکان ماده‌ی منفجره را مشخص می‌کنیم، در تصویر ۱۰ اعمال بار (بار وزن مرده و بار زنده و نیروی گرانش و نیروی باد) و مکان ماده‌ی منفجره در ستون مشخص شده است.

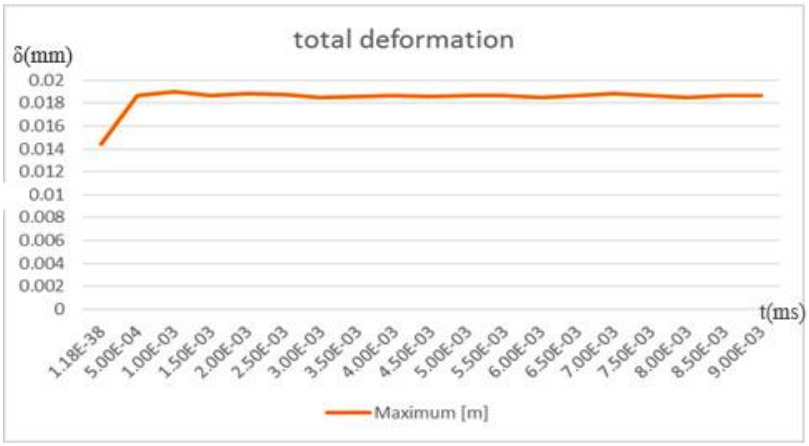
با افزایش وزن ماده‌ی منفجره میزان خرابی افزایش می‌یابد. برای وزن خرج ۱۰ کیلوگرم، شعاع تأثیری که موجب شکست بتن با مقاومت ۳۵ مگا پاسکال می‌شود تقریباً برابر ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر است و خرابی به‌صورت موضعی است. برای سایر وزن‌ها نیز شعاع تخریب‌شده با نتایج به‌دست‌آمده قابل تطبیق دادن است. می‌توان گفت که برای وزن خرج بالای ۱۰۰ کیلوگرم خرابی بتن می‌تواند به خرابی پایه و درنتیجه ریزش موضعی پل منجر شود. باید به این نکته توجه داشت که در صورت خرابی پایه، پل‌ها بر اساس نحوه‌ی اجرا و ساخت و میزان تکیه‌ی پل به پایه‌ها با اشکال متفاوتی از خرابی و یا ریزش روبه‌رو خواهند شد.

مقدار بیشینه تغییر شکل ستون از لحظه‌ی شروع انفجار به حداکثر میزان خود رسیده و بعد از چند ثانیه این تغییر شکل نوسان کوچکی را در بر خواهد داشت که تقریباً ثابت می‌شود پس از ثانیه‌های آغازین انفجار بیشترین فشار بر ستون اعمال می‌شود.

پس از انجام تحلیل‌های صورت گرفته بر روی مدل بیشینه تنش قائم از نتایج استخراج گردید که بیشینه تنش قائم نیز در چند دوره‌ی آغازین انفجار به وجود آمده است.



تصویر ۱۰: نحوه‌ی اعمال بار بر ستون

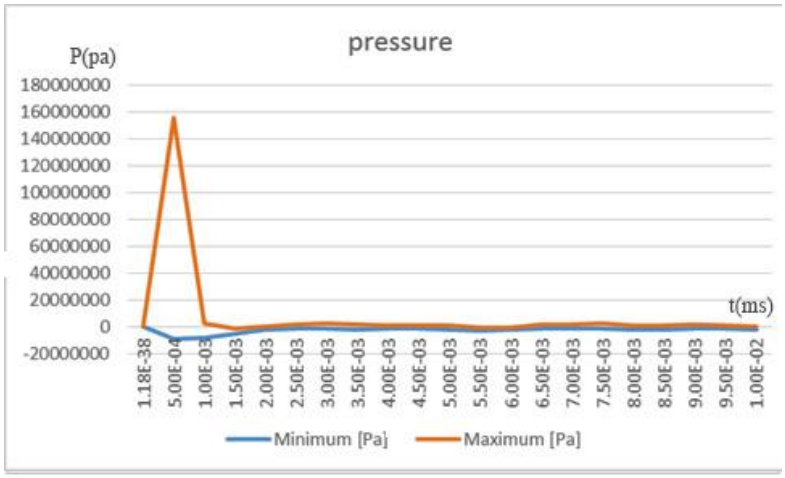


تصویر ۱۱: تغییر شکل ستون بر حسب زمان

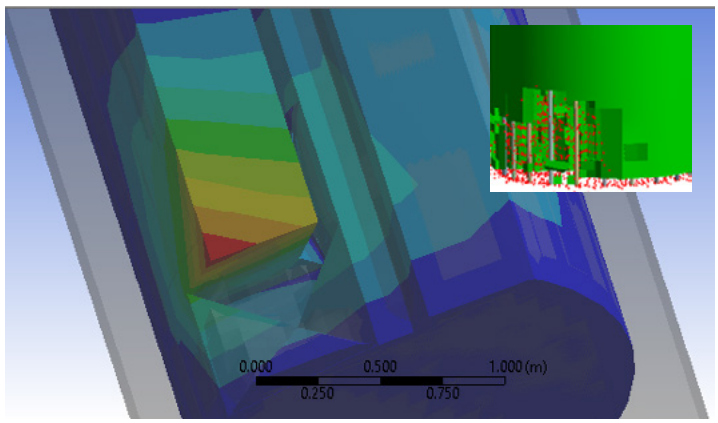
www.SID.ir

Archive of SID

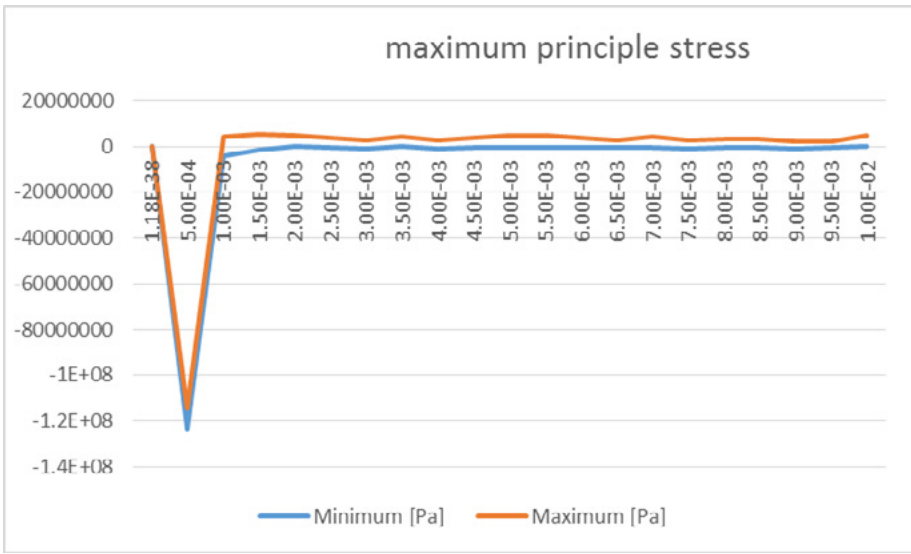
در این تحلیل‌ها تنش‌های فشاری با علامت منفی و تنش‌های کششی با علامت مثبت نمایان می‌شوند، ازاین‌رو min principal نشان‌دهنده‌ی تنش‌های فشاری و max principal نشان‌دهنده‌ی تنش‌های کششی است. ضمناً با توجه به این موضوع که نقاط در نظر گرفته شده در روی مدل در قسمت فشاری است نمودارهای مربوط به تنش اصلی مینیمم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



تصویر ۱۲: فشار ناشی از انفجار



تصویر ۱۳: تغییر شکل ستون در اثر وقوع انفجار



تصویر ۱۴: ماکزیمم تنش قائم

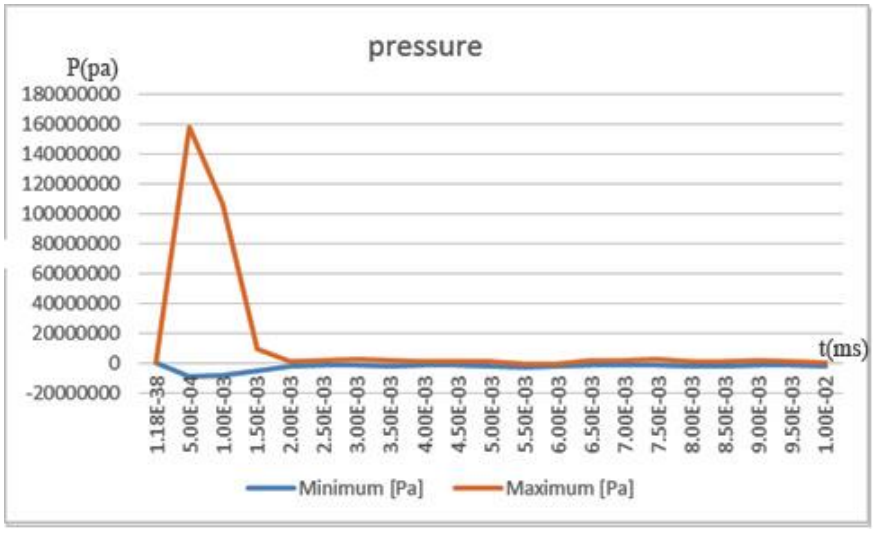
www.SID.ir

Archive of SID

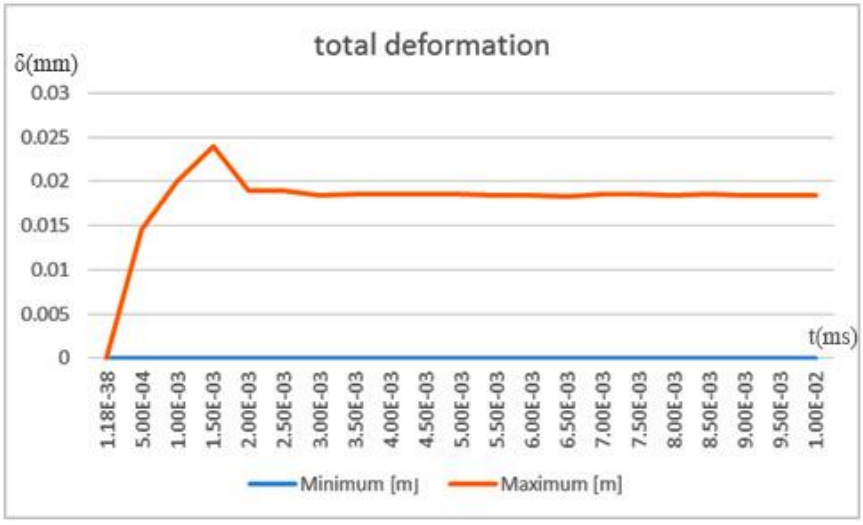
شبیه‌سازی پایه‌ی پل بتن مسلح در اثر انفجار با TNT مورد تحلیل قرار گرفت، وزن خرج ۱۰۰ کیلوگرم، برای مدل‌سازی در نظر گرفته شد که موجب خرابی پایه و درنتیجه ریزش موضعی پل می‌گردد.

اثر انفجار روی عرشه‌ی پل

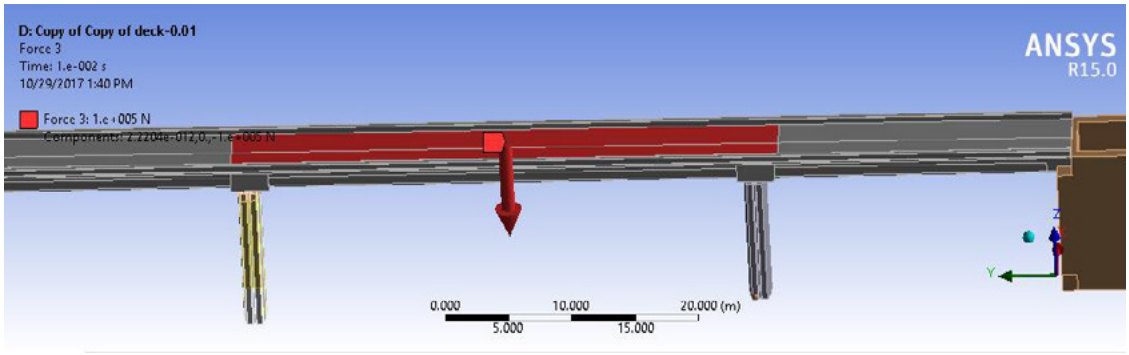
به‌منظور بررسی اثر انفجار بر روی عرشه‌ی پل و با توجه به نتایج به‌دست آمده در مباحث قبل و برای ساده‌سازی و کاهش زمان تحلیل، تنها یک دهانه از پل مورد تحلیل قرار گرفت. در تصویر ۱۷ مدل آماده شده برای شبیه‌سازی مشاهده می‌گردد. برای بررسی اثر مکان ماده‌ی منفجره، نقطه‌ی میانی دهانه برای



تصویر ۱۵: فشار ناشی از انفجار



تصویر ۱۶: تغییر شکل عرشه



تصویر ۱۷: نحوه‌ی بارگذاری روی عرشه

www.SID.ir

Archive of SID

بارگذاری انفجار انتخاب شده است. اثر انفجار با وزن خرج‌های پایین بر روی عرشه به‌صورت تخریب موضعی بتن است. شعاع این تخریب نیز با دقت بالایی به نتایج به‌دست‌آمده نزدیک است. همچنین مشخص گردید که برای این پل وزن خرج بالای ۱۰۰ کیلوگرم موجب خرابی شدید می‌شود.

ارائه‌ی راهبردهای کاهش آسیب‌پذیری در طراحی پل‌ها

رویکرد مقابله با انواع تهدیدات زیرساخت‌های حیاتی کشور دارای دو مرحله است: مرحله‌ی اول «کاهش احتمال وقوع تهدید» و مرحله‌ی دوم «حداقل سازی آسیب درصورت وقوع تهدید» است. در هر دو مرحله پنج رویکرد اصلی به شرح ذیل وجود دارد:

- به حداقل رساندن احتمال وقوع تهدید؛
- حداکثر کردن زمان هشدار یا اخطار دهی؛
- به حداقل رساندن توان آسیب‌رسانی اولیه‌ی تهدید؛
- به حداقل رساندن تأثیرات موجی تهدید (دومینو)؛
- به حداقل رساندن زمان بازسازی پس از وقوع تهدید.

بنابراین، برخی از مهم‌ترین روش‌های تحقق اهداف موردنظر که منجر به اقدامات عملی می‌گردند، عبارت‌اند از:

- احداث راه‌های جایگزین در صورت امکان در شرایط اضطرار و خاص؛
- پیش‌بینی و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف تهدید و ایجاد سازوکار مناسب برای رفع موانع موجود و سرویس‌دهی به‌موقع و مناسب؛
- پیش‌بینی و احداث کنارگذر برای پل‌های مهم و حساس؛
- ایجاد مراکز مدیریت ترافیک راه‌ها در شرایط تهدید و بحران در راهدارخانه‌ها؛
- تدوین دستورالعمل مناسب در طراحی پل‌ها بر اساس تلفیق راهکارهای مهندسی و پدافند غیرعامل؛
- بهسازی، تعمیرات، مقاوم‌سازی و نگهداری پل‌های حساس و استراتژیک؛
- احداث انبارهای کوچک با منابع ضروری نزدیک به پل‌های استراتژیک مهم به‌منظور استفاده در مواقع ضروری و حساس؛
- شناسایی و تهیه‌ی مشخصات فنی پل‌ها (BMS) و اجرای مدیریت پل‌ها.

علاوه بر راهبردهای پیشنهادی فوق که متناسب با اولویت‌بندی ارائه‌شده لازم است به‌کار گرفته شوند، در ادامه راهکارهای موضوعی در خصوص کاهش آسیب‌پذیری پل‌ها ارائه شده‌اند.

هر محور راه چندین پل دارد که تخریب هر یک، آن محور را تا بازسازی، غیرقابل استفاده می‌نماید. معمولاً حفاظت کامل از پل‌ها در برابر حملات هوایی یا موشکی مقدور نیست، با این حال در شبکه‌ی ترابری باید شناسایی پل‌های خاص صورت پذیرد. پل‌های با دهانه‌های بالای ۵۰ متر و برون‌مرزی، پل‌هایی که از نظر انتقال تجهیزات دفاعی به نقاط مرزی دارای اهمیت بسیار بالایی قرار دارند و برای حفاظت هر یک راهکارهای لازم اجرا شود. به‌طور کلی روش‌های ذیل برای کاهش اختلال در حمل‌ونقل نیروهای خودی و ایجاد اخلال در استفاده‌ی دشمن از پل‌ها قابل توجه است:

- با توجه به سابقه‌ی تهدیدات پل باید نسبت به پل‌های استراتژیک کشور توجه ویژه‌ای داشته باشیم و روش‌هایی برای کاهش خطرات احتمالی پیش‌بینی کنیم که می‌توان به کاهش دسترسی، روش‌های استتار، روش‌های جایگزین و فریب اشاره کرد.
- استفاده از قطعات پیش‌ساخته – ممکن است انفجار در یکی از دهانه‌های پل صورت گیرد، پس بهتر است از این روش برای بازسازی استفاده کنیم چون در زمان کوتاه‌تری به نتیجه‌ی دلخواه خود می‌رسیم.
- دسترسی به اطلاعات پل – برای بازسازی بعد از انفجار مهندسان باید به اطلاعات پل ساخته‌شده دسترسی داشته باشند تا بتوانند پل را به بهترین روش مورد بهسازی و مقاوم‌سازی قرار دهند.
- روش‌های امنیتی – یکی از روش‌ها که در حوزه‌ی پدافند غیرعامل مورد توجه ویژه‌ای است، روش‌های امنیتی است که پل مورد نظر دارای ایستگاه بازرسی باشد چون نقش مهمی در انتقال تجهیزات دفاعی دارد.
- مدیریت پل‌ها – باید پل‌ها به‌خوبی شناسایی و مشخصات فنی آن‌ها در دسترس باشد و با توجه به استانداردها مورد بازرسی فنی قرار بگیرند.
- روش‌های محافظتی
- روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌ای

در جدول ۸ سیاست‌های کلی را به تفکیک روش مهندسی و حوزه‌ی پدافند غیرعامل شرح داده‌ایم.

روش‌های افزایش مقاومت سازه‌ای

کاهش آسیب دال دسترسی در پل برحسب شدت آن، روش‌های متفاوتی دارد. یکی از آسیب‌های دال دسترسی نشست آن است. یکی از روش‌ها آن است که سیستم روسازی مجدداً تعبیه شود و یا علائمی هشداردهنده برای زمانی که آسیب آن جزئی باشد به‌منظور کاهش سرعت عبور و مرور استفاده نمود.

برای آسیب‌دیدگی ستون‌ها نیز برحسب شدت آسیب، روش‌های متفاوتی را می‌توان ارائه نمود. از آسیب‌هایی که به ستون وارد می‌شود می‌توان کنده شدن پوشش بتن، ترک‌های برشی ریز و یا عمیق، بیرون‌زدگی خاموت‌ها و آرماتورهای اصلی، گسیخته شدن آرماتورهای عرضی را نام برد، که دلیل آن ناکافی بودن آرماتورهای عرضی و یا فاصله‌ی زیاد بین خاموت‌ها است. بنا بر شدت آسیب‌ها می‌توان از تسمه‌های فولادی یا ورق FRP و یا تقویت رو سازه به‌وسیله‌ی پوشش‌های فولادی استفاده نمود، همچنین اگر آسیب به علت گسیختگی خمشی باشد که ستون

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸: راهبردهای کلی کاهش آسیب‌پذیری پل‌ها

سیاست‌های کلی	روش‌های مهندسی	روش‌های پدافند غیرعامل
کاهش دسترسی	ساخت راه‌های دسترسی کاذب با ترافیک کاذب	استفاده از توپوگرافی منطقه، استفاده از راه‌های کاذب، استفاده از حصار
روش‌های استتار	با استفاده از علوم راداری نوین این راهکارعملا قابل‌استفاده نیست	استتار مدرن از دید تجهیزات الکترونیکی و هدایت‌کننده موشک‌ها و استفاده از رنگ‌های ضدرادار، استفاده از توپوگرافی منطقه
روش‌های جایگزین برای پل	استفاده از قطعات پیش‌ساخته خرپایی	استفاده از راه‌های جایگزین در صورت امکان- راه های کنارگذر
دسترسی به اطلاعات پل	دسترسی به نقشه‌های پل برای مرمت سریع لازم و ضروری است	طبقه‌بندی اطلاعات مرتبط با پل شامل جانمایی، نوع سازه، روش‌های جایگزین، نحوه‌ی استتار و اختفا و . . . .
روش‌های فریب	استفاده از طرحی که پل سالم را به پل منهدم و غیرضروری نشان دهد	استفاده از ماکت‌های بزرگ پل
روش‌هایی برای اتصال سریع قطعات	استفاده از قطعات پیش‌ساخته	برای تخریب پل بتوان آن را به‌راحتی غیرقابل استفاده نمود و قطعات را جدا نمود برای عدم دسترسی دشمن در جنگ‌های نظامی
روش‌های امنیتی		پیش‌بینی مکان و سیستم مناسب برای اتصال دوربین مداربسته و سیستم روشنایی ،ایجاد ایستگاه‌های نگهبانی قبل از پل
روش‌های محافظتی	استفاده از دیوارهای بتنی اطراف ستون برای کاهش موج انفجار به سازه اصلی	
مدیریت پل‌ها	شامل شناسایی و تهیه مشخصات فنی پل‌ها (BMS)	ایجاد مراکز مدیریت ترافیک راه‌ها در شرایط تهدید و بحران

دچار پوسته‌پوسته شدن پوشش در بتن می‌شود، آرماتورهای بیرون زده، مشاهده‌ی ترک‌های عمودی کوتاه، خرد شدن موضعی بتن، بیرون‌زدگی آرماتورها، ترک‌های عمودی در طول همپوشانی نیز دیده می‌شود. می‌توان بتن آسیب‌دیده را حذف کرد و با بتن پلیمری اصلاح‌شده جایگزین نمود و یا با برداشتن بتن آسیب‌دیده، تسمه‌های فولادی نصب کرد و نیز می‌توان از ورق‌های FRP استفاده نمود. همچنین در آسیب‌هایی از قبیل خردشدگی بتن در تمام طول مفصل یا دهانه، انحراف مفاصل، گسیختگی پانچ، گسیختگی نشیمن‌گاه رو سازه، نشست متفاوت پانل‌های عرشه‌ی بتنی برحسب شدت خسارت می‌توان از روش‌هایی مانند مسدود نمودن پل، تقویت و تثبیت رو سازه، جایگزینی پنل‌های آسیب‌دیده‌ی عرشه با اعضای پیش‌ساخته استفاده کرد. برای رفع دیگر آسیب‌هایی از قبیل ترک‌های مایل عرضی برشی و خمشی در کوله و همچنین آسیب عمده‌ی دیوارهای جانبی و پشتی می‌توان از روش‌هایی چون تنظیم نشیمن‌گاه‌ها، تعمیر بتن آسیب‌دیده، نصب ورق‌های FRP ، تزریق رزین اپوکسی در ترک‌ها برحسب شدت خسارت و آسیب‌دیدگی استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

هنگامی‌که یک پل آسیب جدی می‌بیند، ترافیک عبوری مختل می‌شود. سرعت، ابتکار و خلاقیت باعث بازگشت شرایط عادی به پل می‌شود. شرایط ویژه‌ی کشور از نظر امنیتی و احتمال انجام حملات تروریستی و تهدیدات بالقوه باعث شده است که سامانه‌های حمل‌ونقل نیاز فوری به توسعه‌ی برنامه‌ی مدیریت اضطراری به‌منظور انجام عکس‌العمل سریع داشته باشند. پل‌ها در جاده‌های اصلی، یکی از اجزای حیاتی شبکه‌ی حمل‌ونقل هستند. دلایلی که باعث اهمیت پل‌ها در شبکه‌ی حمل و نقل هستند، عبارت‌اند از:

۱. پل ظرفیت سیستم حمل‌ونقل را کنترل می‌کند؛
۲. پل بیشترین هزینه در کیلومتر را در سیستم دارد؛
۳. اگر پل از بین برود، سیستم از بین می‌رود.

نقش بی‌بدیل پل‌ها برای انتقال نیرو، امدادرسانی، حفظ یکپارچگی، تعادل‌بخشی و حفظ انسجام ملی در مواقع تهدید و بحران سبب شده است مسئولان و متولیان امر با نگاهی ویژه به تداوم خدمت این زیرساخت مهم، انجام مطالعات پدافند غیرعامل را در رأس امور قرار دهند.

امروزه یکی از اهداف مهم دشمن برای از پای درآوردن کشوری که مورد هجوم است وارد کردن آسیب‌های جدی به رگ‌های حیاتی کشور (محورهای مواصلاتی و حمل‌ونقل) است، بنابراین برای خنثی‌سازی این ترفند دشمن، باید راه‌های مقابله با آن را شناخت و به کار برد.

www.SID.ir

Archive of SID

در این تحقیق می‌خواستیم به سه هدف زیر برسیم:

- آسیب‌شناسی پل و ارزیابی ریسک پل؛
- ارائـه‌ی راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری در طراحی پل‌های خاص؛
- تجزیه‌وتحلیل پل مورد مطالعه در برابر انفجار.

در این تحقیق ارزیابی ریسک صورت گرفت و با توجه به آسیب‌پذیری ستون و عرشه با نمره‌دهی بالا در برابر انفجار مدل‌سازی شده‌اند و راهکارهای مقاوم‌سازی نیز برای آن‌ها بیان گردید، همچنین راهکارهای ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی پل‌ها و دیگر راهکارهای حوزه‌ی پدافند نیز بیان شد. برای انفجار پل مورد مطالعه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و بارگذاری روی آن صورت گرفت.

هر محور راه چندین پل دارد که تخریب هر یک، آن محور را تا بازسازی، غیرقابل استفاده می‌نماید. معمولاً حفاظت کامل از پل‌ها در برابر حملات هوایی یا موشکی مقدور نیست، بااین‌حال در شبکه‌ی ترابری باید شناسایی پل‌های خاص صورت پذیرد. پل‌های با دهانه‌های بالای ۵۰ متر و برون‌مرزی، پل‌هایی که از نظر انتقال تجهیزات دفاعی به نقاط مرزی دارای اهمیت بسیار بالایی قرار دارند و برای حفاظت هر یک راهکارهای لازم اجرا شود. به‌طورکلی روش‌های ذیل برای کاهش اختلال در حمل‌ونقل‌ها قابل توجه است:

تا حد امکان از احداث پل جلوگیری کنیم، اگر گزینه‌ی خاکریز و تونل قابل‌اجرا است. حال اگر مجبور به احداث پل شدیم از همان ابتدا به روش‌های مقاوم‌سازی بپردازیم و برای پل‌های در حال ساخت این روش‌ها را اجرا نماییم که می‌توان از الیاف در بتن برای تقویت آن و یا از ورق‌های FRP برای افزایش مقاومت در برابر انفجار استفاده نمود. روش‌های جزئی‌تر برای عرشه، ستون و کوله و تکیه‌گاه به طور خلاصه ذکر گردید، روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌ای جدا از ملاحظات پدافند غیرعامل نیستند بلکه آن‌ها در راستای طولی هم قرار دارند و اگر این اصول قبل از احداث پل رعایت گردد اهداف پدافند غیرعامل احیا می‌شود و هزینه‌های روش‌های مختص پدافند بسیار زیاد کاهش می‌یابد، پس چه‌بهتر که در زمان ساخت سازه‌ای جدید تمامی گزینه‌های مهندسی سازه‌ای به همراه امنیت آن در وقوع حوادث را در نظر بگیریم تا موجب کاهش خسارات در زمان وقوع بحران شویم.

برای پل‌های ساخته‌شده به بحث بهسازی پل و تعمیر و نگهداری آن که تحقق آن پس از بازرسی فنی پل تحقق می‌یابد باید پرداخته شود، بنابراین باید مهندسان خبره‌ای را برای بازرسی پل‌های استراتژیک آموزش دهیم تا این اصل به‌خوبی اجرا گردد و پل ساخته‌شده از نظر سازه‌ای ضعیف و فرسوده نباشد؛ سپس اصول پدافند غیرعامل از قبیل استتار و اختفا و فریب و کاهش دسترسی و روش‌های محافظتی امنیتی و روش‌های جایگزین مانند احداث کنارگذر و ... اجرا گردد.

نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل پژوهش

- با افزایش فاصله از منبع انفجار تا یک فاصله‌ی خاص با کاهش شدید انرژی موج روبه‌رو هستیم و سپس روند کاهش با شیب نزدیک به صفر دنبال خواهد شد.
- نتایج به‌دست‌آمده در اثر شبیه‌سازی پایه‌ی پل بتن مسلح، دقت بالایی به‌منظور تعمیم آن برای بتن مسلح با شرایط مختلف را داراست. همچنین مشخص گردید که برای این پل وزن خرج بالای ۵۰ کیلوگرم موجب خرابی پایه و درنتیجه ریزش موضعی پایه‌ی پل می‌گردد.
- اثر انفجار با وزن خرج‌های پایین بر روی عرشه به‌صورت تخریب موضعی بتن است. همچنین مشخص گردید که برای این پل وزن خرج بالای ۱۰۰ کیلوگرم موجب خرابی شدید عرشه خواهد شد.
- وقـوع انفجار در روی عرشه و در ابتدای دهانـه‌ی آن موجب تحت تأثیر قرار گرفتن کلاهک پایه نیز می‌گردد لذا انفجار بـر روی عرشه در ابتدای دهانـه‌ها حالت مخرب‌تری به دنبال خواهد داشت.
- وجود مانع مسیر رسیدن موج انفجار به نقطه‌ی مورد نظر را افزایش می‌دهد و لذا مقدار انرژی رسیده کاهش می‌یابد. در واقع می‌توان بیان نمود که یکی از مزیت‌های مانع در کاهش انـرژی موج رسیده افـزایش فاصله در رسیدن امواج انفجار است.
- هر چه از پشت مانع به سمت بیرون می‌رویم به دلیل کـاهش مسیر حقیقی مـوج (بـرخـلاف افـزایـش مسیر مستقیم)، انـرژی مـوج رسیـده افـزایـش می‌یابد. لذا نقطه‌ای در پشت مانع که اولین نقطه‌ای از دیوار است که امواج به آن می‌رسند، دارای بیشترین تنش ناشی از موج است.
- پس از نقطه‌ی مورد نظر به دلیل خـارج شدن مانع از مسیر موج، با افزایش فاصله انرژی موج رسیده کاهش خواهد یافت. با این حال تا نقطه‌ای خاص هنوز امواج تحت تأثیر مانع قرار دارند.
- با عبور از نقطه‌ای خاص، نقاط مورد نظر کاملاً از پوشش مانع خارج شده و موج مستقیماً به آن‌ها خواهند رسید. لذا انرژی رسیده به این نقاط با حالت بدون مانع تفاوتی ندارد.
- نقاطی که در پوشش مانع قرار ندارند به‌مراتب تحت انـرژی مـوج بـالاتری نسبت بـه نـقاط پشت مـانع قرار می‌گیرند. این موضوع مؤید این مطلب است که امواج انحرافی بدون در نظر گرفتن فاصله از قدرت پایین‌تری نسبت بـه امـواج بـا نـحوه‌ی انتشار مستقیم برخوردار خواهند بود.
- وجود بتن ۳۵ مگا پاسکالی و بتن فوق توانمند تفاوتی در مقدار موج رسیده به پشت مانع ندارند و هر دو به یک میزان انرژی موج را منحرف می‌کنند و کاهش می‌دهند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که عامل اصلی کاهش انرژی

www.SID.ir

Archive of SID

امـواج عـامل انـحـراف اسـت و بـتـن ۳۵ مگا پاسکالی علی‌رغم تخریب شدن عمل انحراف را به اندازه‌ی بتن فوق توانمند انجام می‌دهد.

منابع

۱. خواجه نائینی، علی (۱۳۸۸). ملاحظات ناحیه‌ای و دفاعی در آمایش سرزمین (توازن ناحیه‌ای و پدافند غیرعامل). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه تهران.

2. US Army corps of engineers, (1990). TM 5-1300: Structures to resist the effects of accidental explosions.Washington: US Department of Defense (DoD).

3. US Army corps of engineers, (1986). TM-5-855-1: Fundamental of protective design for conventional weapons. Washington: US Department of Defense (DoD).

4. FEMA. (2003). FEMA 426: Reference manual to mitigate potential terrorist attacks against buildings. Federal Management Agency.

5. FEMA. (2003).FEMA 427: Primer for design of commercial building to mitigate terrorist attacks. Federal Management Agency.

6. FEMA. (2003). FEMA 428: Primer to design safe school projects in case of terrorist attacks. Federal Management Agency.

7. ASCE. (1985). Manual NO 42: Design of structures to resist nuclear weapons effects. American Society of Civil Engineers.

8. ASCE. (1997). Design of blast resistant buildings in petrochemical facilities. American Society of Civil Engineers.

9. ASCE. (1999). Structural design for physical security: state of practice. American Society of Civil Engineers.

10. AASHTO. (2011). Bridge security guidelines. American Association of State Highway and transportation Officials.

11. Fujikara, S. Bruneau, M. (2008). Blast resistant of seismically designed bridge piers. The 14th World Conference on Earthquake Engineering , Beijing , China.

12. Abdelahad, F A. Arockiasamy, M. (2008). Analysis of blast/explosion resistant reinforced concrete solid slab and T-beam bridges, MSc Thesis, Florida university.

13. Tokal-Ahmed, Y M. Najm, H S. (2009). Response of bridge structures subjected to blast loads and protection techniques to mitigate the effect of blast hazards on bridges. Ph.D Thesis, State University of New Jersey.

14. Zhou, F. Arockiasamy, M. (2009). Blast/Explosion resistant analysis of composite steel girder bridge system. MSc Thesis, Florida University.

۱۵. خاکی، غلامرضا (چاپ دوم ۱۳۹۱). *روش تحقیق با رویکردی به پایان‌نامه نویسی*. تهران: انتشارات فوژان.

۱۶. مرکز پدافند غیرعامل فاوا (۱۳۸۹). ملاحظات پدافند غیرعامل فاوا - جلد اول. تهران: نشر سازمان فناوری اطلاعات ایران - اداره کل روابط عمومی و امور بین‌الملل.

۱۷. عطایی،محمدحسن(۱۳۹۴) ارزیابی آسیب پذیری فرودگاه‌های غیر نظامی کشور در برابر تهدیدات و ارائه راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری ،نمونه موردی: فرودگاه بین المللی امام خمینی(ره). پایان‌نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۱۸. سازمان پدافند غیرعامل کشور، معاونت مدیریت بحران و دفاع غیر نظامی (۱۳۹۰). راهنمای پدافند غیرعامل در مدیریت بحران ناشی از جنگ.

۱۹. جلالی فراهانی، غلامرضا (۱۳۹۱). *مقدمه ای بر روش و مدل برآورد تهدیدات در پدافند غیرعامل*. تهران: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه جامع امام حسین(ع).

۲۰. حسینی، سید بهشید (۱۳۸۹). *معیارهای عمومی در طراحی ساختمان های عمومی شهری*. تهران: نشر عابد.

21. FEMA 452 (2005): Risk Assessment, a How to guide to Mitigation Potential Terrorist Attacks against Buildings, Federal Emergency Management Agency, USA.

www.SID.ir