

ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی پل‌های خاص به منظور تداوم خدمت‌رسانی در شرایط بحران

زهرا جمشیدی: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

محمد یاسر رادان*: استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Radan@mut.ac.ir

محمد علی نکویی: 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 حمل و نقل 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. به منظور 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. به منظور 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 راه‌شناسایی و رتبه‌بندی شده و سپس، ارزش‌داری‌های پل مورد بررسی قرار گرفته و میزان آسیب‌پذیری محتمل در هر سناریوی تهدید محاسبه گردید. به منظور ارزیابی نتایج حاصل شده، یکی از پل‌های مسیر راه آهن درود - خرم‌آباد برای مطالعه‌ی موردی انتخاب و محاسبات ریسک روی اجزای آن صورت پذیرفت. نتایج تحلیل‌ها، عدد ریسک ۲۵۰ را آستانه‌ی تعیین‌داری‌های همراه با ریسک بالا و خیلی بالا معرفی نموده و بر همین اساس، عرشه و ستون با اعمال ضریب تهدید، ارزش‌داری و آسیب‌پذیری بیشترین عدد ریسک را به خود اختصاص دادند.

به منظور تحلیل خرابی پل در اثر وقوع انفجار، با کمک نرم‌افزار ANSYS نسخه‌ی شماره‌ی ۱۵، پل مورد نظر مدل‌سازی شده و دارای‌های 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 به منظور 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 Jamshidi¹, Mohammad yaser Radan^{*2}, Mohammad ali Nekooie³

Abstract

Bridges are one of the key elements in a country's transportation network; thus, they are the first targets of explosive 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

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 برونو آزمایش‌هایی با مقیاس $\frac{1}{4}$ 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].

عبدالاحد 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 می‌شود. روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش از نوع ترکیبی (توصیفی-اکتشافی-نمونه‌ی موردی) است.

به منظور بررسی اثر انفجار بر روی پل‌ها، در این پژوهش ابتدا نرم‌افزار مناسب برای شبیه‌سازی انتخاب گردید. در ادامه یک پل خاص به پیشنهاد صنعت به منظور 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.

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 آمریکا 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 راه 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 آمریکا [۷]، راهنمای

علاوه بر آن، به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز روش تحلیل محتوا (کیفی) و روش کمی انتخاب و نرم‌افزار Ansys workbench به منزله‌ی 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 به منظور 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:

هنگامی که یک پل آسیب جدی می‌بیند، ترافیک عبوری مختل می‌شود. سرعت، ابتکار و خلایق 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 به منظور انجام عکس‌العمل سریع داشته باشند. پل‌ها در جاده‌های اصلی، یکی از اجزای حیاتی شبکه‌ی حمل‌ونقل هستند. دلایلی که باعث اهمیت پل‌ها در شبکه‌ی حمل‌ونقل 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، به نحوی که 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؛

- کاهش اعتماد عمومی نسبت به راه‌ها؛
- اختلال 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 از جمله 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 ملی 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 بر اثر 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 از جمله‌ی 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 اشتوال آر 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 تجزیه و تحلیل یک تهدید مبنا تعیین شود.

پس از ارزیابی آسیب‌پذیری و ارزیابی ریسک، با توجه به نقاط آسیب‌پذیرتر باید پل برای یک بار 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 یک بار 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.

جدول ۱: معیارهای ارزیابی تهدیدات اجزای 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
۷,۰۹	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

وزن دهی قرار گیرند. این امر بدان خاطر است که تأثیر هر شاخص به اندازه‌ی وزن خود در میزان اهمیت یک دارایی لحاظ شود. چرا که همه‌ی شاخص‌های معرفی شده 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.

وزن دهی 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

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 به صورت 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 بر اثر متلاشی شدن اجزای نزدیک به انفجار را تعیین می‌کند.

دستورالعمل FEMA452

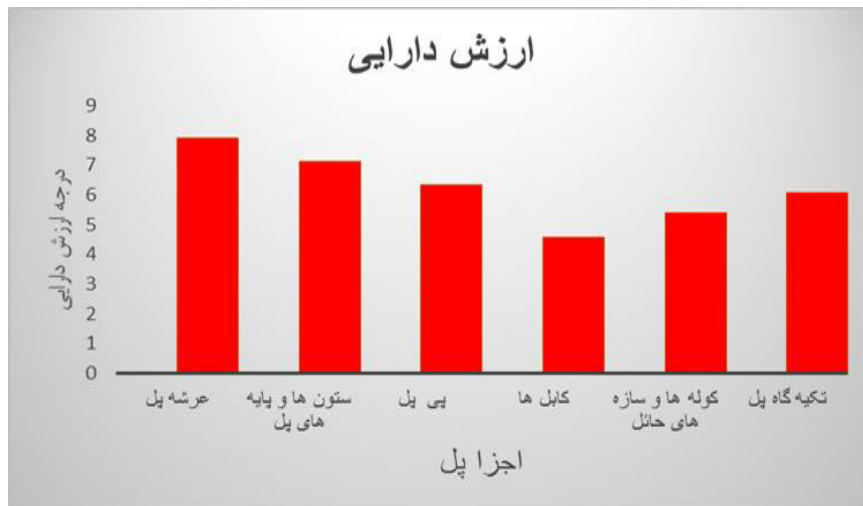
یکی از اهداف این تحقیق تحلیل ریسک شرایط غیرمترقبه به روش FEMA452 است. FEMA452 برای مقابله با تهدیدات انسان‌ساز و حملات خرابکارانه تدوین شده و در اختیار مراکز حساس دولتی و عمومی قرار داده شده است. مزیت شاخص این دستورالعمل، سادگی کار با آن ضمن جامعیت روش است. در این دستورالعمل با رسم جداولی، مراحل مختلف 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 شناسایی شده، محاسبه می‌شود و در آخر ارزیابی ریسک هر اجزا با تکمیل سه مرحله‌ی قبل مشخص می‌شود.

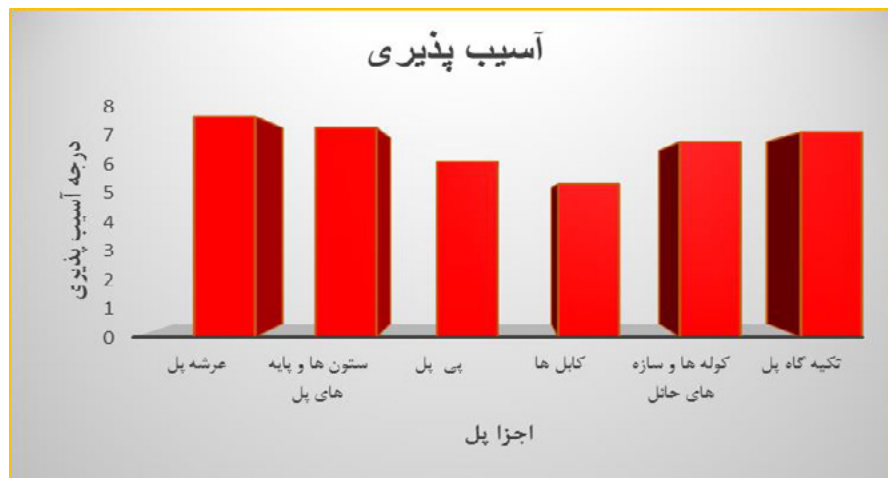
معرفی و وزن دهی به شاخص‌های ارزیابی تهدیدات

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 استخراج شده 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 استخراج شده 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



تصویر ۱: نمودار ارزش دارایی



تصویر ۲: آسیب پذیری اجزای پل

جدول ۵: آسیب پذیری اجزای پل

آسیب پذیری	
اجزای پل	میانگین
عرشه پل	۷,۵۸۶۶۶۷
ستون ها و پایه های پل	۷,۲۰۰۵۵۶
پی پل	۶,۰۳۷۷۷۸
کابل ها	۵,۲۶۵
کوله ها و سازه های حائل	۶,۷۱۲۲۲۲
تکیه گاه پل	۷,۰۵۱۶۶۷

تعیین ریسک دارایی های کلیدی پل

در این پژوهش با شناخت زیرساخت سعی گردید تا شاخص های اصلی ارزیابی ریسک پل از منظر پدافند غیرعامل استخراج و با ترکیب روش کیفی و کمی، میزان ریسک دارایی های پل تعیین گردد. با این ارزیابی می توان نقاط ضعف و آسیب پذیر پل ها را شناسایی کرد و برای رفع کاهش ضعف آن ها اقدام نمود. ریسک از روش FEMA از حاصل ضرب تهدید در آسیب پذیری در ارزش دارایی به دست می آید، که در آن عدد ریسک هر چقدر بالاتر

جدول ۴: شاخص های ارزیابی آسیب پذیری پل [۱۹]

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

ضعف در طراحی، به کارگیری و یا اقدام عملی برای کاهش خسارت دارایی ها با هدف مصون سازی است. در این راستا به منظور ارزیابی آسیب پذیری نیاز به شاخص های ارزیابی آسیب پذیری داریم که در جدول ۴ بیان می شود.

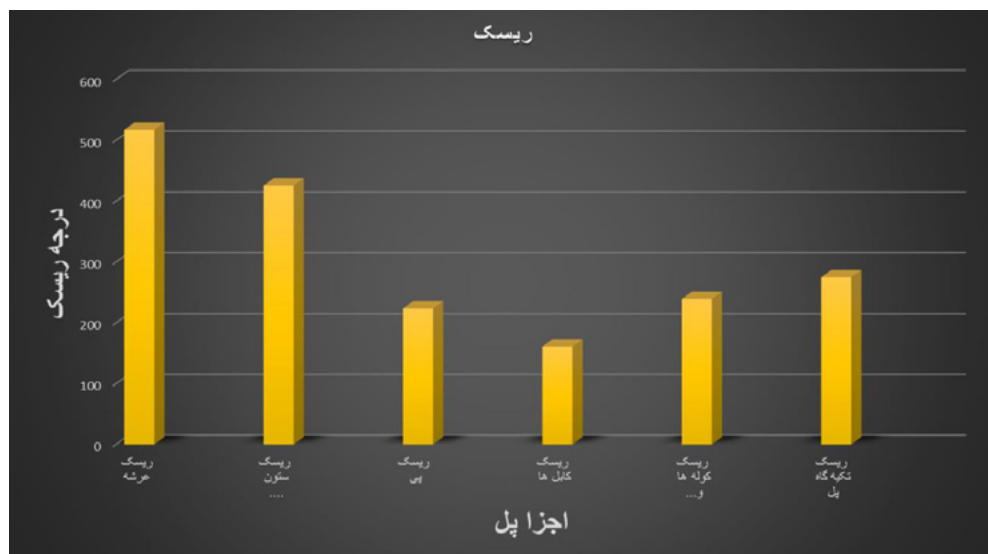
مطابق جدول ۵ نمره دهی شاخص ها با اعمال ضرایب لحاظ گردیده است که نتیجه ی آن در تصویر ۸ قابل مشاهده است. بر اساس نتایج به دست آمده از نظر جامعه ی خبرگان بیشترین آسیب پذیری در عرشه و ستون ها است و کابل ها در رتبه ی آخر جای گرفته است.

جدول ۶: مقیاس نهایی درجه‌ی ریسک

مقیاس	نمره	تفسیر
خیلی بالا	۶۰۰-۱۰۰۰	دارایی به شدت مستعد تهاجم هستند
بالا	۲۵۰-۶۰۰	دارایی خیلی زیاد مستعد تهاجم است
متوسط رو به بالا	۲۰۰-۲۵۰	دارایی خیلی مستعد تهاجم است
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
خیلی پایین	۱-۵۰	دارایی به ندرت مستعد تهاجم است یا ارزش تهاجم ندارد

جدول ۷: درجه‌ی ریسک

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



تصویر ۳: میزان ریسک اجزای مختلف پل

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 آمریکا موجود است اما به علت اینکه مقیاس ارائه شده 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 به منظور 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

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 حاصل ضرب 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

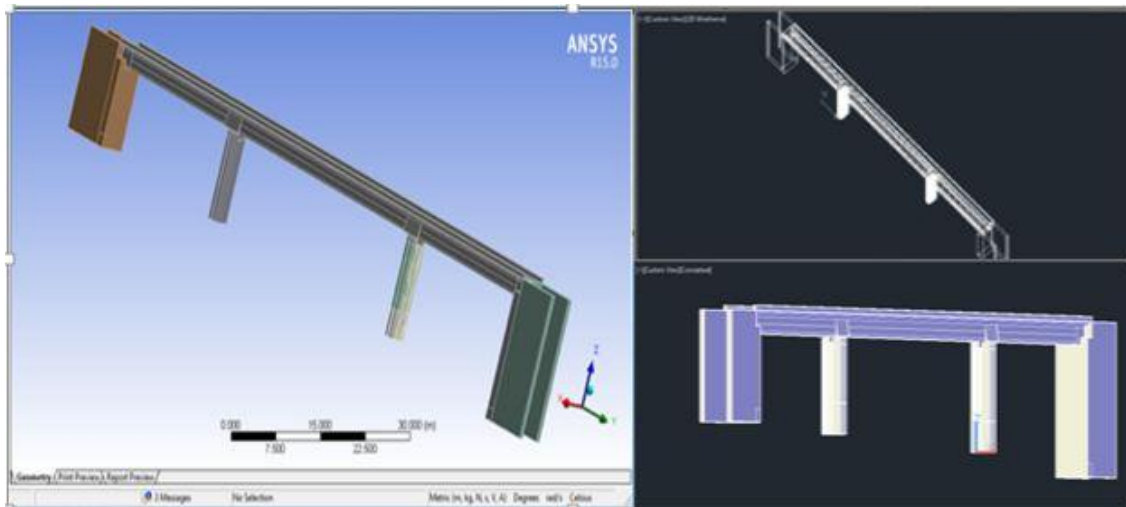
در مورد افزایش بازدارندگی و یا مقاوم سازی نسبت به دارایی های کلیدی اتخاذ کنند.

نحوه ی شبیه سازی پل در نرم افزار

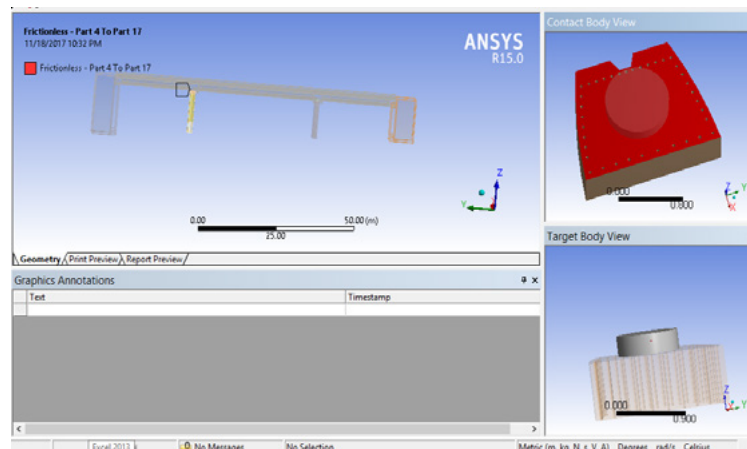
برای شبیه سازی پل و سایر مدل ها در نرم افزار انسیس ابتدا مدل مورد نظر را در نرم افزار اتوکد ترسیم نموده و سپس وارد محیط

نرم افزار انسیس نموده ایم. علت این کار طراحی ساده تر با زمان کمتر است. در تصویر ۴ مدل ترسیم شده در اتوکد و انسیس قابل مشاهده است.

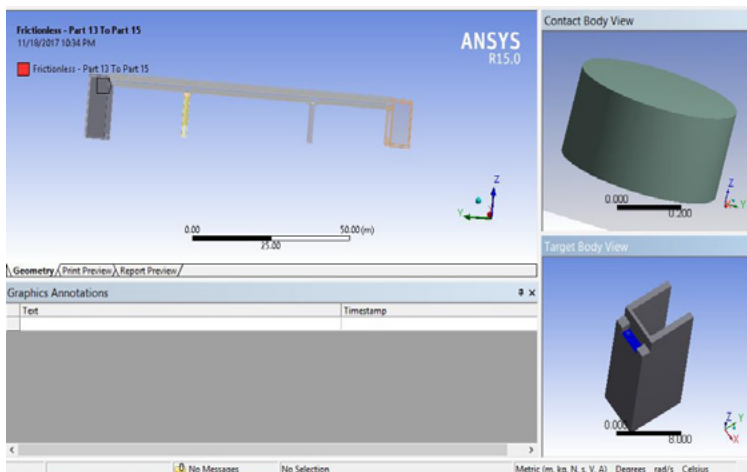
پس از وارد نمودن مدل به نرم افزار انسیس، با استفاده از کتابخانه ی نرم افزار، تخصیص متریال به اجزای سازه ای پل صورت می گیرد که این بخش در قسمت Geometry تعریف شده



تصویر ۴: مدل ترسیم شده در اتوکد و انسیس



تصویر ۵: اتصال نئوپرن به ستون



تصویر ۶: اتصال نئوپرن به کوله و عرشه

۶۰

شماره هفدهم

بهار و تابستان
۱۳۹۹

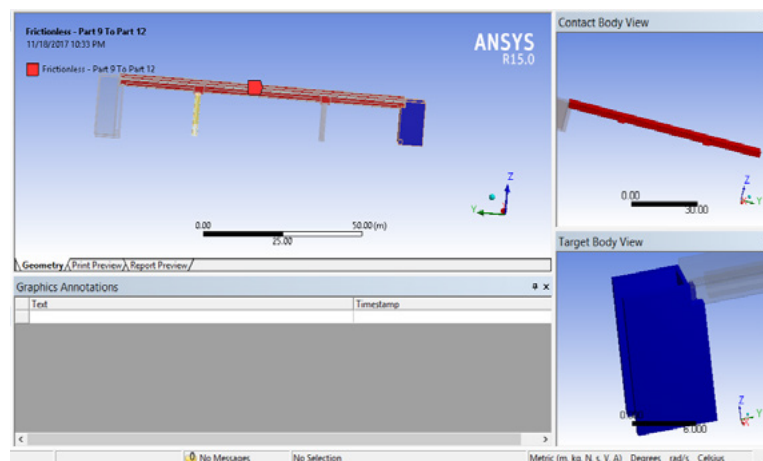
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرین

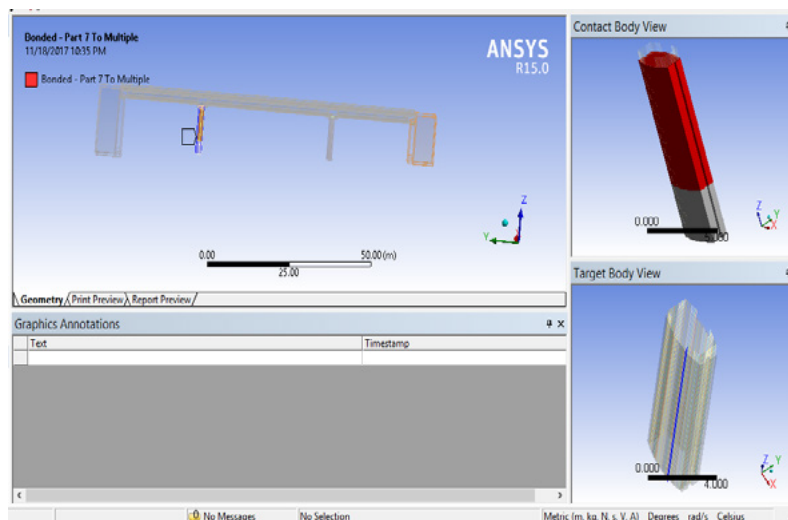
ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی پل های خاص به منظور
تداوم خدمت رسانی در شرایط بحران

نمونه نمایش داده شده است، در این پژوهش اتصال بین بتن و میلگرد به دلیل چسبندگی بالا از نوع Bonded تعریف شده است،

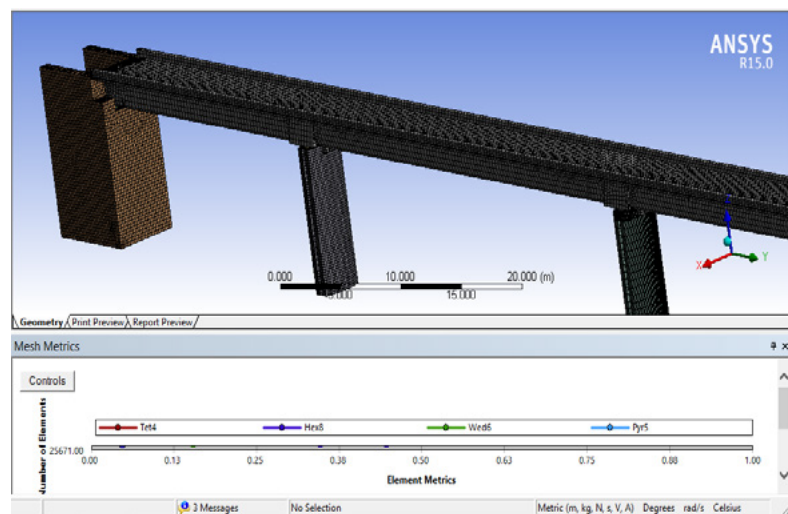
است، در مرحله‌ی بعد نحوه‌ی اتصالات اجزا (Connection) تعریف می‌شود که در تصویر ۵، ۶، ۷ و ۸ بعضی از اتصالات برای



تصویر ۷: اتصال کوله به عرشه



تصویر ۸: اتصال میلگرد با بتن



تصویر ۹: مش زدن مدل

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.

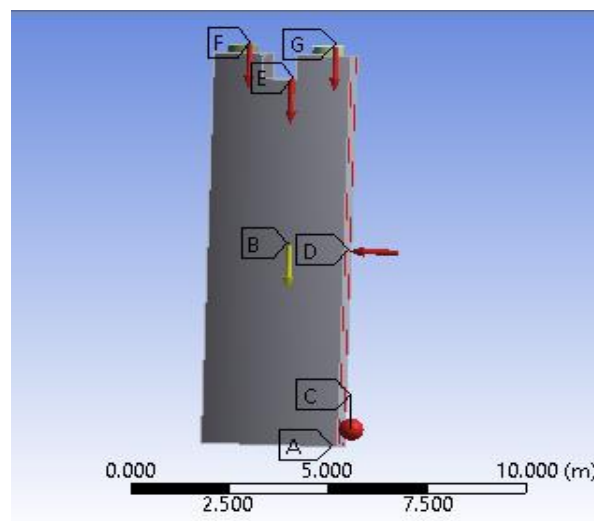
به منظور مدل‌سازی بتن مسلح تلاش شده است تا حد امکان این شبیه‌سازی به واقعیت نزدیک باشد. بدین منظور میلگردهای طولی با استفاده از المان لینک که یک المان دوبعدی است مدل‌سازی گردید و خاموت‌های عرضی نیز به صورت معادل در مقاومت بتن لحاظ گردیده است. در این مدل‌سازی ماده‌ی منفجره به صورت جسم کروی با اختصاص ماده‌ی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

اثر انفجار روی پایه‌ی پل

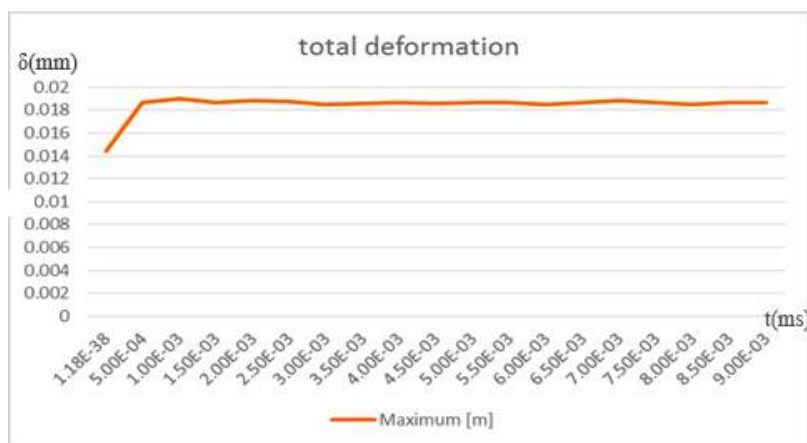
بعد از مدل‌سازی پل در نرم‌افزار انسیس و اعمال بارگذاری بر سازه، مکان ماده‌ی منفجره را مشخص می‌کنیم، در تصویر ۱۰ اعمال بار (بار وزن مرده و بار زنده و نیروی گرانش و نیروی باد) و مکان ماده‌ی منفجره در ستون مشخص شده است.

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 به صورت موضعی است. برای سایر وزن‌ها نیز شعاع تخریب‌شده با نتایج به دست آمده قابل تطبیق دادن است. می‌توان گفت که برای وزن خرج بالای ۱۰۰ کیلوگرم خرابی بتن می‌تواند به خرابی پایه و در نتیجه 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.



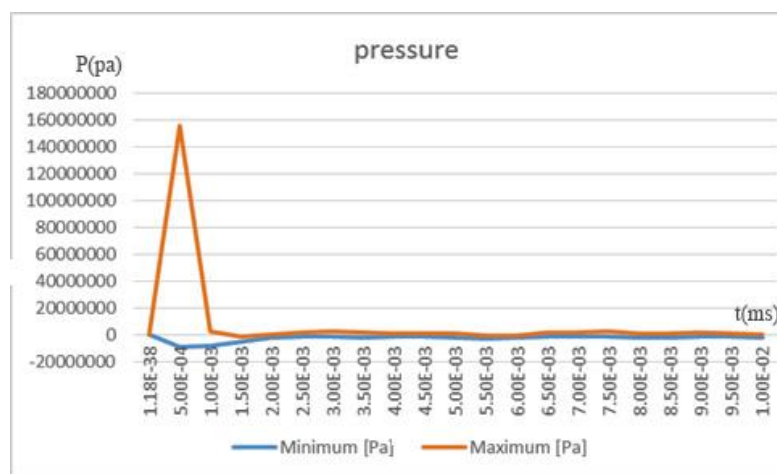
تصویر ۱۰: نحوه‌ی اعمال بار بر ستون



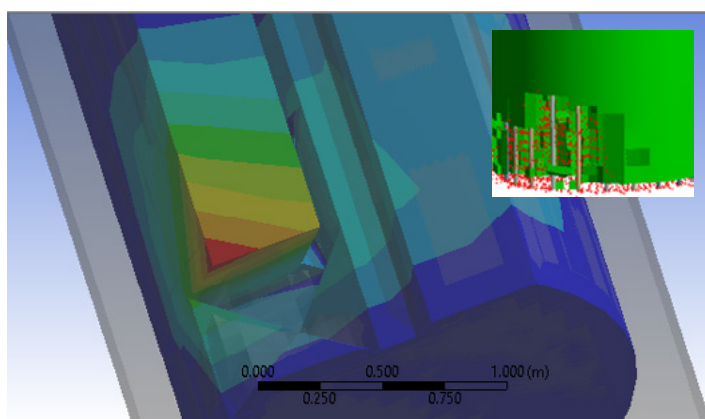
تصویر ۱۱: تغییر شکل ستون بر حسب زمان

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.

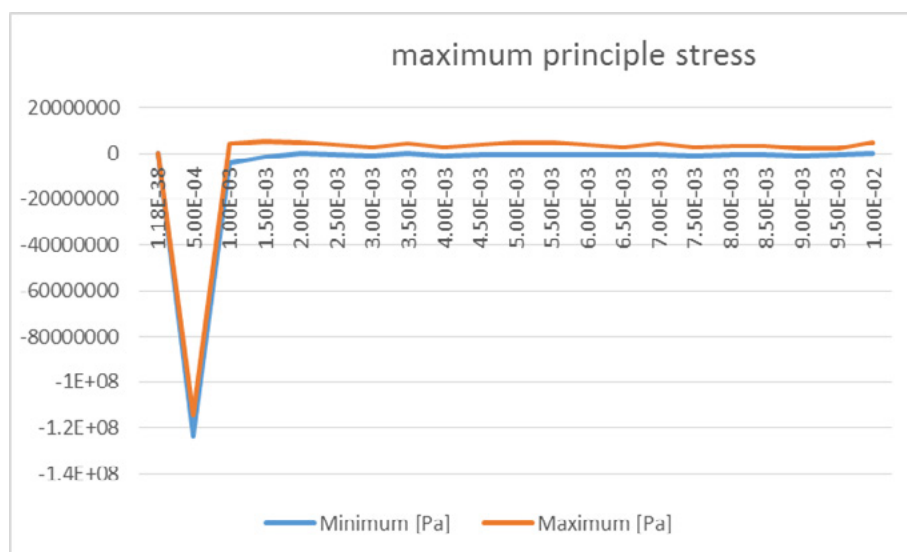
در این تحلیل‌ها تنش‌های فشاری با علامت منفی و تنش‌های کششی با علامت مثبت نمایان می‌شوند، از این رو min principal نشان‌دهنده‌ی تنش‌های فشاری و max principal نشان‌دهنده‌ی



تصویر ۱۲: فشار ناشی از انفجار



تصویر ۱۳: تغییر شکل ستون در اثر وقوع انفجار

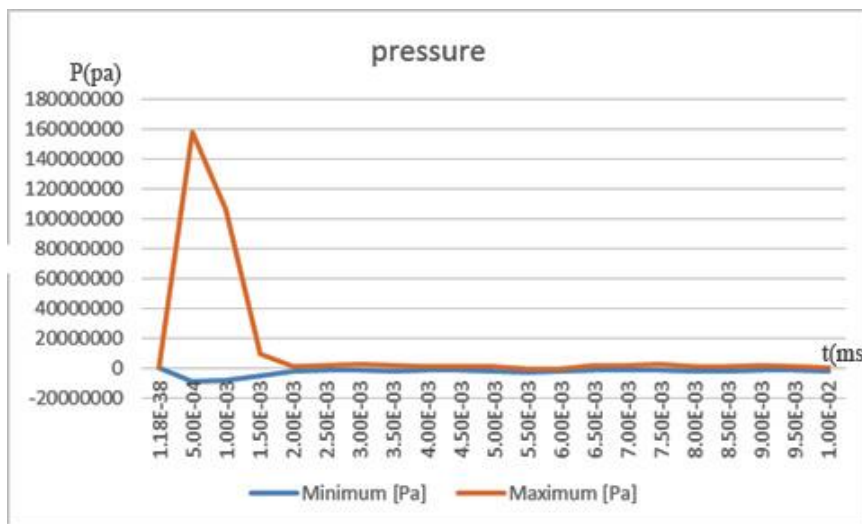


تصویر ۱۴: ماکزیمم تنش قائم

اثر انفجار روی عرشه‌ی پل

به منظور بررسی اثر انفجار بر روی عرشه‌ی پل و با توجه به نتایج به دست آمده در مباحث قبل و برای ساده سازی و کاهش زمان تحلیل، تنها یک دهانه از پل مورد تحلیل قرار گرفت. در تصویر ۱۷ مدل آماده شده برای شبیه سازی مشاهده می گردد. برای بررسی اثر مکان ماده‌ی منفجره، نقطه‌ی میانی دهانه برای

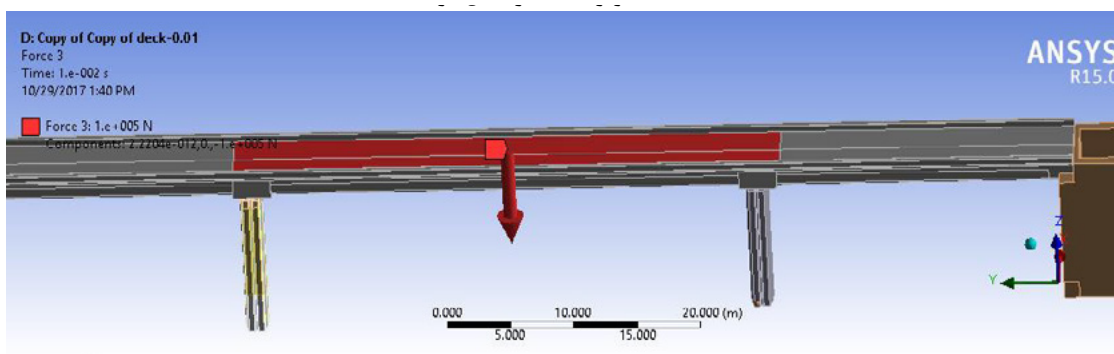
شبیه سازی پایه‌ی پل بتن مسلح در اثر انفجار با TNT مورد تحلیل قرار گرفت، وزن خرج ۱۰۰ کیلوگرم، برای مدل سازی در نظر گرفته شد که موجب خرابی پایه و در نتیجه ریزش موضعی پل می گردد.



تصویر ۱۵: فشار ناشی از انفجار



تصویر ۱۶: تغییر شکل عرشه



تصویر ۱۷: نحوه‌ی بارگذاری روی عرشه

بارگذاری انفجار انتخاب شده است. اثر انفجار با وزن خرج های پایین بر روی عرشه به صورت تخریب موضعی بتن است. شعاع این تخریب نیز با دقت بالایی به نتایج به دست آمده نزدیک است. همچنین مشخص گردید که برای این پل وزن خرج بالای ۱۰۰ کیلوگرم موجب خرابی شدید می شود.

ارائه ی راهبردهای کاهش آسیب پذیری در طراحی پل ها

رویکرد مقابله با انواع تهدیدات زیرساخت های حیاتی کشور دارای دو مرحله است: مرحله ی اول «کاهش احتمال وقوع تهدید» و مرحله ی دوم «حداقل سازی آسیب در صورت 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 آسیب رسانی اولیه ی تهدید؛
 - به حداقل رساندن تأثیرات موجی تهدید (دومینو)؛
 - به حداقل رساندن زمان بازسازی پس از وقوع تهدید.
- بنابراین، برخی از مهم ترین روش های تحقق اهداف مورد نظر که منجر به اقدامات عملی می گردند، عبارت اند از:
- احداث راه های جایگزین در صورت امکان در شرایط اضطرار و خاص؛
 - پیش بینی و شبیه سازی سناریوهای مختلف تهدید و ایجاد سازوکار مناسب برای رفع موانع موجود و سرویس دهی به موقع و مناسب؛
 - پیش بینی و احداث کنارگذر برای پل های مهم و حساس؛
 - ایجاد مراکز مدیریت ترافیک راه ها در شرایط تهدید و بحران در راهدارخانه ها؛
 - تدوین دستورالعمل مناسب در طراحی پل ها بر اساس تلفیق راهکارهای مهندسی و پدافند غیرعامل؛
 - بهسازی، تعمیرات، مقاوم سازی و نگهداری پل های حساس و استراتژیک؛
 - احداث انبارهای کوچک با منابع ضروری نزدیک به پل های استراتژیک مهم به منظور استفاده در مواقع ضروری و حساس؛
 - شناسایی و تهیه ی مشخصات فنی پل ها (BMS) و اجرای مدیریت پل ها.

علاوه بر راهبردهای پیشنهادی فوق که متناسب با اولویت بندی ارائه شده لازم است به کار گرفته شوند، در ادامه راهکارهای موضوعی در خصوص کاهش آسیب پذیری پل ها ارائه شده اند.

هر محور راه چندین پل دارد که تخریب هر یک، آن محور را تا بازسازی، غیرقابل استفاده می نماید. معمولاً حفاظت کامل از پل ها در برابر حملات هوایی یا موشکی مقدور نیست، با این حال در شبکه ی ترابری باید شناسایی پل های خاص صورت پذیرد.

پل های با دهانه های بالای ۵۰ متر و برون مرزی، پل هایی که از نظر انتقال تجهیزات دفاعی به نقاط مرزی دارای اهمیت بسیار بالایی قرار دارند و برای حفاظت هر یک راهکارهای لازم اجرا شود. به طور کلی روش های ذیل برای کاهش اختلال در حمل و نقل نیروهای خودی و ایجاد اختلال در استفاده ی دشمن از پل ها قابل توجه است:

- با توجه به سابقه ی تهدیدات پل باید نسبت به پل های استراتژیک کشور توجه ویژه ای داشته باشیم و روش هایی برای کاهش خطرات احتمالی پیش بینی کنیم که می توان به کاهش دسترسی، روش های استتار، روش های جایگزین و فریب اشاره کرد.
 - استفاده از قطعات پیش ساخته - ممکن است انفجار در یکی از دهانه های پل صورت گیرد، پس بهتر است از این روش برای بازسازی استفاده کنیم چون در زمان کوتاه تری به نتیجه ی دلخواه خود می رسیم.
 - دسترسی به اطلاعات پل - برای بازسازی بعد از انفجار مهندسان باید به اطلاعات پل ساخته شده دسترسی داشته باشند تا بتوانند پل را به بهترین روش مورد بهسازی و مقاوم سازی قرار دهند.
 - روش های امنیتی - یکی از روش ها که در حوزه ی پدافند غیرعامل مورد توجه ویژه ای است، روش های امنیتی است که پل مورد نظر دارای ایستگاه بازرسی باشد چون نقش مهمی در انتقال تجهیزات دفاعی دارد.
 - مدیریت پل ها - باید پل ها به خوبی شناسایی و مشخصات فنی آن ها در دسترس باشد و با توجه به استانداردها مورد بازرسی فنی قرار بگیرند.
 - روش های محافظتی
 - روش های مقاوم سازی سازه ای
- در جدول ۸ سیاست های کلی را به تفکیک روش مهندسی و حوزه ی پدافند غیرعامل شرح داده ایم.

روش های افزایش مقاومت سازه ای

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

برای آسیب دیدگی ستون ها نیز برحسب شدت آسیب، روش های متفاوتی را می توان ارائه نمود. از آسیب هایی که به ستون وارد می شود می توان کنده شدن پوشش بتن، ترک های برشی ریز و یا عمیق، بیرون زدگی خاموت ها و آرماتورهای اصلی، گسیخته شدن آرماتورهای عرضی را نام برد، که دلیل آن ناکافی بودن آرماتورهای عرضی و یا فاصله ی زیاد بین خاموت ها است. بنا بر شدت آسیب ها می توان از تسمه های فولادی یا ورق FRP و یا تقویت رو سازه به وسیله ی پوشش های فولادی استفاده نمود، همچنین اگر آسیب به علت گسیختگی خمشی باشد که ستون

جدول ۸: راهبردهای کلی کاهش آسیب پذیری پل ها

سیاست های کلی	روش های مهندسی	روش های پدافند غیرعامل
کاهش دسترسی	ساخت راه های دسترسی کاذب با ترافیک کاذب	استفاده از توپوگرافی منطقه، استفاده از راه های کاذب، استفاده از حصار
روش های استتار	با استفاده از علوم راداری نوین این راهکار عملاً قابل استفاده نیست	استتار مدرن از دید تجهیزات الکترونیکی و هدایت کننده موشک ها و استفاده از رنگ های ضد رادار، استفاده از توپوگرافی منطقه
روش های جایگزین برای پل	استفاده از قطعات پیش ساخته خربایی	استفاده از راه های جایگزین در صورت امکان - راه های کنارگذر
دسترسی به اطلاعات پل	دسترسی به نقشه های پل برای مرمت سریع لازم و ضروری است	طبقه بندی اطلاعات مرتبط با پل شامل جانمایی، نوع سازه، روش های جایگزین، نحوه ی استتار و اختفا و ...
روش های فریب	استفاده از طرحی که پل سالم را به پل منهدم و غیر ضروری نشان دهد	استفاده از ماکت های بزرگ پل
روش هایی برای اتصال سریع قطعات	استفاده از قطعات پیش ساخته	برای تخریب پل بتوان آن را به راحتی غیر قابل استفاده نمود و قطعات را جدا نمود برای عدم دسترسی دشمن در جنگ های نظامی
روش های امنیتی		پیش بینی مکان و سیستم مناسب برای اتصال دور بین مدار بسته و سیستم روشنایی، ایجاد ایستگاه های نگهبانی قبل از پل
روش های محافظتی	استفاده از دیوارهای بتنی اطراف ستون برای کاهش موج انفجار به سازه اصلی	
مدیریت پل ها	شامل شناسایی و تهیه مشخصات فنی پل ها (BMS)	ایجاد مراکز مدیریت ترافیک راه ها در شرایط تهدید و بحران

عادی به پل می شود. شرایط ویژه ی کشور از نظر امنیتی و احتمال انجام حملات تروریستی و تهدیدات بالقوه باعث شده است که سامانه های حمل و نقل نیاز فوری به توسعه ی برنامه ی مدیریت اضطراری به منظور انجام عکس العمل سریع داشته باشند. پل ها در جاده های اصلی، یکی از اجزای حیاتی شبکه ی حمل و نقل هستند. دلایلی که باعث اهمیت پل ها در شبکه ی حمل و نقل هستند، عبارت اند از:

۱. پل ظرفیت سیستم حمل و نقل را کنترل می کند؛
 ۲. پل بیشترین هزینه در کیلومتر را در سیستم دارد؛
 ۳. اگر پل از بین برود، سیستم از بین می رود.
- نقش بی بدیل پل ها برای انتقال نیرو، امداد رسانی، حفظ یکپارچگی، تعادل بخشی 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 آسیب های جدی به رگ های حیاتی کشور (محورهای مواصلاتی و حمل و نقل) است، بنابراین برای خنثی سازی این ترفند دشمن، باید راه های مقابله با آن را شناخت و به کار برد.

دچار پوسته پوسته شدن پوشش در بتن می شود، آرماتورهای بیرون زده، مشاهده ی ترک های عمودی کوتاه، خرد شدن موضعی بتن، بیرون زدگی آرماتورها، ترک های عمودی در طول همپوشانی نیز دیده می شود. می توان بتن آسیب دیده را حذف کرد و با بتن پلیمری اصلاح شده جایگزین نمود و یا با برداشتن بتن آسیب دیده، تسمه های فولادی نصب کرد و نیز می توان از ورق های FRP استفاده نمود. همچنین در آسیب هایی از قبیل خردشدگی بتن در تمام طول مفصل یا دهانه، انحراف مفاصل، گسیختگی پانچ، گسیختگی نشیمن گاه رو سازه، نشست متفاوت پانل های عرشه ی بتنی بر حسب شدت خسارت می توان از روش هایی مانند مسدود نمودن پل، تقویت و تثبیت رو سازه، جایگزینی پانل های آسیب دیده ی عرشه با اعضای پیش ساخته استفاده کرد. برای رفع دیگر آسیب هایی از قبیل ترک های مایل عرضی برشی و خمشی در کوله و همچنین آسیب عمده ی دیوارهای جانبی و پشتی می توان از روش هایی چون تنظیم نشیمن گاه ها، تعمیر بتن آسیب دیده، نصب ورق های FRP، تزریق رزین اپوکسی در ترک ها بر حسب شدت خسارت و آسیب دیدگی استفاده کرد.

نتیجه گیری

هنگامی که یک پل آسیب جدی می بیند، ترافیک عبوری مختل می شود. سرعت، ابتکار و خلاقیت باعث بازگشت شرایط

در این تحقیق می‌خواستیم به سه هدف زیر برسیم:

- آسیب‌شناسی پل و ارزیابی ریسک پل؛
- ارائه‌ی راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری در طراحی پل‌های خاص؛
- تجزیه و تحلیل 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 تجزیه و تحلیل قرار گرفت و بارگذاری روی آن صورت گرفت.

هر محور راه‌چندین 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 حمل و نقل‌ها قابل توجه است:

تا حد امکان از احداث پل جلوگیری کنیم، اگر گزینه‌ی خاکیز و تونل قابل اجرا 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 به‌طور 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 چه بهتر 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 به خوبی 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 در نتیجه 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.
- وقوع انفجار در روی عرشه و در ابتدای دهانه‌ی آن موجب تحت تأثیر قرار گرفتن کلاهک پایه نیز می‌گردد لذا انفجار بر روی عرشه در ابتدای دهانه‌ها 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 انرژی موج رسیده افزایش فاصله در رسیدن امواج انفجار است.
- هر چه از پشت مانع به سمت بیرون می‌رویم به دلیل کاهش مسیر حقیقی موج (برخلاف افزایش مسیر مستقیم)، انرژی موج رسیده افزایش 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 خارج 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 به مراتب تحت انرژی موج بالاتری نسبت به نقاط پشت مانع قرار می‌گیرند. این موضوع مؤید این مطلب است که امواج انحرافی بدون در نظر گرفتن فاصله از قدرت پایین‌تری نسبت به امواج با نحوه‌ی انتشار مستقیم برخورددار 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

امواج عامل انحراف است و بتن ۳۵ مگا پاسکالی
 علی‌رغم تخریب شدن عمل انحراف را به اندازه‌ی بتن
 فوق توانمند انجام می‌دهد.

منابع

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 بین‌المللی 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. جلالی‌فراهانی، غلامرضا (۱۳۹۱). مقدمه‌ای 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 ساختمان‌های 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.

۱. خواجه نائینی، علی (۱۳۸۸). ملاحظات ناحیه‌ای و دفاعی در آمایش سرزمین (توازن ناحیه‌ای و پدافند غیرعامل). پایان‌نامه 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.

۶۸

شماره هفدهم
 بهار و تابستان
 ۱۳۹۹
 دوفصلنامه
 علمی و پژوهشی

بهرار
 تابستان

ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی پل‌های خاص به منظور
 تداوم خدمت رسانی در شرایط بحران