تدوین چک لیست بازرسی چشمی سریع پل‌ها برای ارزیابی ریسک‌های امنیتی

مقاله علمی – پژوهشی

مهدی دزفولی نژاد، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
رضا رؤفی*، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
احمد دالوند، دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: r_raoufi@iauahvaz.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸– پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵
صفحه ۱۹۶-۱۷۳

چکیده

تاکنون چک لیست‌های متعددی جهت بازرسی پل‌ها با کاربردهای مختلف ارایه شده است. اما تمرکز بخش‌های عمده‌ای از چک لیست‌های مذکور بر جمع‌آوری اطلاعات در خصوص آسیب پذیری لرزه‌ای و یا شناسایی انواع خرابی در پل‌ها بوده و نمی‌توانند جهت ارزیابی سریع ریسک‌های امنیتی مورد استفاده قرار گیرند. هدف از مقاله حاضر تلاش برای تدوین چک لیست بازرسی چشمی جهت ارزیابی سریع امنیت پل‌ها می‌باشد. در طراحی این چک لیست سعی شده تا سوالات بصورت ساده و شفاف بیان شوند تا به راحتی و با داشتن اطلاعات عمومی از پل‌ها و بدون انجام تست‌های مخرب یا غیر مخرب بتوان پارامتر احتمال موفقیت در اجرای عملیات را (P_{suc}) که در ارزیابی آسیب پذیری پل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد بصورت کمی محاسبه نمود. چک لیست ارایه شده در این مقاله به لحاظ شکلی از الگوی ارایه شده در نشریه FEMA 455 تبعیت می‌کند اما به لحاظ محتوای سوالات و معیارهای ارزیابی کاملاً با آن متفاوت است. زیرا چک لیست نشریه FEMA 455 بر ساختمان تمرکز دارد. ولی چک لیست این مقاله پل‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد. چک لیست این مقاله در سه بخش سوالات، جدول امتیازدهی و راهنمای تصویری تدوین شده است. بخش سوالات به بررسی وضعیت امنیتی پل‌ها از دیدگاه معیارهای مرتبط با چهار گروه اقدامات بازدارنده (D1 : Deter)، تشخیصی (D2 : Detect)، محدود کننده (D3 : Deny)، تاخیری (D4 : Delay) می‌پردازند. در این چک لیست ۶ سناریو تهدید انسان ساز رایج در پل‌ها شامل : انفجار با وسایل نقلیه از زمین، از آب، انفجار با وسایل دستی، آتش زدن، ضربه مستقیم با وسایل نقلیه زمینی و آبی مورد بررسی قرار گرفته است. چک لیست ارایه شده برای ارزیابی امنیت انواع پل‌های متداول با کاربرد حمل و نقل جاده‌ای اعم از درون و برون شهری از نوع دره‌ای و رودخانه‌ای قابل استفاده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، امنیت پل، بازرسی چشمی، تهدیدات انسان ساز، چک لیست

۱- مقدمه

پل‌ها آسیب پذیرترین جزء شبکه حمل و نقل محسوب می‌شوند. شکست آن‌ها در اثر وقوع رویدادهای مخرب آثار اقتصادی و اجتماعی زیادی در پی خواهد داشت (Garg et al., 2020). تحقیقات انجام شده در کشورهای مختلف در خصوص مهمترین علل شکست پل‌ها نشان از برابری اهمیت حملات خرابکارانه در مقایسه با سایر رویدادهای مخرب دارد. رتبه‌بندی مهمترین دلایل شکست پل‌ها در کلمبیا طی سال‌های ۱۹۸۶ الی ۲۰۰۱ نشان می‌دهد که حملات خرابکارانه مهمترین علت فروریزش پل‌ها در این کشور بوده است (Diaz et al., 2009). همچنین مقایسه دلایل شکست پل‌ها در چین و سایر

کشورها طی سال‌های ۲۰۰۱ الی ۲۰۰۹ نیز نشان می‌دهد که حملات خرابکارانه به اندازه برخی تهدیدات طبیعی مثل رانش زمین باعث فروریزش پل‌ها شده‌اند (Frangopol et al., 2010). برآوردهای مالی انجام شده در برخی تحقیقات نشان می‌دهد که حملات خرابکارانه در مقایس تخریب یک پل می‌تواند در حد یک طوفان با شدت کم زیان مالی داشته باشد (Al Kazimi & MacKenzie, 2016). به عنوان نمونه برخی محققین پیش بینی کرده‌اند که یک حمله خرابکارانه بر روی پل عبوری از رودخانه میسی‌سیپی می‌تواند در حدود ۱۷٫۸ میلیون دلار به اقتصاد امریکا ضربه وارد نماید (Richardson et al., 2014). مهاجمان معمولاً تلاش می‌کنند تا اجزای کلیدی پل (مثل پایه‌ها و عرشه‌ها) که خرابی آنها می‌تواند منجر به توقف یا فروریزش کامل پل شود را مورد هدف قرار دهند (Winget et al., 2005). متولیان شبکه نیز در مقابل می‌کوشند تا با تخصیص منابع و مقاوم‌سازی اجزای کلیدی، قابلیت اطمینان آن‌ها را در برابر رویدادهای مخرب افزایش داده و از شکست پل‌ها جلوگیری نمایند. اما هزینه تامین کلیه الزامات مطابق با آیین نامه‌های طراحی جهت مقاوم‌سازی یک پل در برابر تمامی انفجارهای محتمل، بسیار زیاد است (Deng et al., 2016) . محدودیت منابع در اختیار یکی از چالش‌های اساسی در این زمینه است و بنابراین مقاوم سازی تمامی پل‌های شبکه عملاً غیر ممکن می‌باشد (Williamson & Winget, 2005). با توجه به این که مالکان شبکه منابع کافی برای مقاوم سازی تمامی پل‌های موجود در شبکه را در اختیار ندارند، لذا می‌بایست با بهره‌گیری از ابزارها و مدل‌های مدیریت و ارزیابی ریسک، پل‌هایی را که از دیدگاه امنیتی دارای نمره ریسک بالاتری هستند را به عنوان پل‌های حیاتی شناسایی نموده و در اولویت انتخاب برای تخصیص منبع قرار دهند.

فقدان مدل یکپارچه و مورد وفاق همه سازمان‌های متولی و بهره‌بردار برای ارزیابی ریسک‌های امنیتی پل‌ها سبب شده تا بسیاری از این سازمان‌ها پروژه‌های تحقیقاتی ویژه‌ای در این خصوص تعریف نمایند. از جمله این موراد می‌توان به سیاست گذاری‌های انجام شده توسط پنل روبان آبی[1] در آمریکا (Bridge et al., 2003; Cooper et al.; Duwadi & Chase, 2006) و پروژه تحقیقاتی سِرُن[2] در اتحادیه اروپا (Kaundinya et al., 2014; Rothenpieler, 2013) اشاره نمود. در ذیل این سیاست‌گذاری‌ها، برنامه‌های پژوهشی مختلفی نظیر تدوین روش‌های طراحی و ابزارهای محاسباتی، انجام تست‌های مخرب آزمایشگاهی هم در مقیاس واقعی پل و هم در مقیاس مصالح (کابل، بتن و فولاد)، انجام پژوهش‌هایی در زمینه توسعه ابزارهای بازرسی میدانی مانند چک لیست‌ها، تست‌های غیر مخرب و....، بصورت بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت تعریف شده است. مقاله حاضر از بین حوزه‌های مختلف ارزیابی ریسک و امنیت پل به موضوع تهیه و تدوین یک چک لیست بازرسی چشمی می‌پردازد. در طراحی این چک لیست سعی شده تا سوالات بصورت ساده و شفاف بیان شوند تا به راحتی و با داشتن اطلاعات عمومی از پل‌ها و بدون انجام تست‌های مخرب یا غیرمخرب بتوان پارامتر احتمال موفقیت[3] در اجرای عملیات را (P_{suc}) که در ارزیابی آسیب پذیری تهدیدات انسان‌ساز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jaeger et al., 1998; Kbar, 2009) را بصورت کمی محاسبه نمود. در ادامه مقاله و در بخش دوم تحقیقات پیشین مرتبط با انواع مختلف چک لیست‌های بازرسی پل ارایه شده‌اند. در بخش سوم مواد و روش‌های عملی بکارگرفته شده در این مقاله مورد بحث قرار گرفته است. این بخش با مروری مختصری از انواع مدل‌های مورد استفاده برای ارزیابی ریسک‌های امنیتی پل‌ها آغاز و سپس به سناریوهای تهدید و اصول مورد استفاده در طراحی سوالات چک لیست ختم می‌گردد. در بخش چهارم حدود و دامنه کاربرد چک لیست طراحی شده بیان گردیده است. بخش پنجم شامل متن اصلی چک لیست و توضیحات مربوط به نحوه تکمیل و امتیازدهی به آیتم‌ها می‌باشد سرانجام در بخش ششم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارایه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

در خصوص بازرسی پل‌ها تا کنون چک لیست‌های متعددی با کاربردهای مختلف اعم از چک لیست بازرسی تعمیر و نگهداری، چک لیست ارزیابی لرزه‌ای، چک لیست‌های سنجش ایمنی در برابر سیل و.. در تحقیقات پیشین ارایه شده است. هدف از مقاله حاضر تلاش برای تدوین چک لیست بازرسی سریع چشمی برای ارزیابی امنیت پل‌های منفرد می‌باشد. تدوین چک لیست برای ارزیابی امنیت پل موضوع نسبتاً جدیدی بوده و تحقیقات مرتبط اندکی در این موضوع در دسترس می‌باشد. بر اساس جستجوی انجام شده توسط مؤلفین

این مقاله، در حال حاضر فقط یک مورد چک لیست بازرسی میدانی در زمینه ارزیابی ریسک‌های امنیتی ویژه پل‌ها در دسترس می‌باشد. این چک لیست اولین بار در سال ۲۰۰۶ در گزارش شماره NJ-2006-011 دفتر تحقیقات سازمان حمل و نقل ایالت نیوجرسی آمریکا[۴] و با عنوان بازرسی آسان امنیت پل‌ها (Nassif et al., 2006) معرفی شده و پس از آن طی چند مرحله مورد بازنگری و بروز رسانی قرار گرفته است. آخرین ویرایش این چک لیست در سال ۲۰۱۲ منتشر شده است (M. Valeo et al., 2012).

این گزارش که با حمایت مدیریت بزرگراه‌های فدرال آمریکا[۵] و با همکاری دانشگاه راتگرز نیوجرسی[۶] منتشر شده است به ضرورت و نیاز موجود برای تهیه و تدوین یک چک لیست بازرسی میدانی در موضوع امنیت پل‌ها اشاره کرده و اقدامات انجام شده در سازمان حمل و نقل نیوجرسی در خصوص تهیه یک چک لیست ساده و کاربردی را گزارش می‌دهد. اکثر سوالات چک لیست معرفی شده در این گزارش با هدف سهولت کاربرد بصورت بصورت بله یا خیر تنظیم شده بودند، هر چند این گزارش شامل متن اصلی چک لیست نبوده و صرفاً به معرفی آن بسنده شده است. در سال ۲۰۰۸ عیسی و همکاران، این چک لیست را توسعه داده و نتایج تفصیلی بیشتری در خصوص نحوه استفاده از این چک لیست در بازرسی پل‌های ایالت نیوجرسی ارایه نمودند. لازم به ذکر است در این تحقیق نیز متن اصلی چک لیست در دسترس عمومی قرار نگرفته است (Issa, 2008) .

والئو و همکاران در سال ۲۰۱۰ متن اصلی چک لیست و سوالات طراحی شده در آن را بصورت عمومی در تحقیق خود ارایه نمودند و با هدف تکمیل و بهبود چک لیست پیشین، ارزش وزنی اختصاص داده شده به هر یک از سوالات موجود در چک لیست را مورد بازنگری قرار دادند. والئو و همکاران در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل سلسه مراتبی و انجام مقایسات زوجی بین سوالات موجود در چک لیست پیشین، ارزش وزنی جدید و اصلاح شده‌ای را برای سوالات موجود در چک لیست پیشنهاد نمودند. این محققین اعتقاد داشتند که استفاده از مقادیر وزنی جدید و اصلاح شده سبب حصول نتایج قوی تری نسبت به نسخه پیشین چک لیست می‌شود (M. Valeo, 2010).

والئو و همکاران در سال ۲۰۱۲ نیز مجدداً با بکارگیری یک جامعه آماری توسعه یافته و انجام یک نظر سنجی جدید، وزن‌های ارایه شده در چک لیست را برای هر سوال اصلاح نمودند (M. Valeo et al., 2012). همچنین این محققین با انجام یک تحلیل حساسیت، اثر حذف سوالات مختلف بر تغییرات نتایج حاصل از ارزیابی ریسک را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که حذف برخی از سوالات تاثیری زیادی بر نتایج نهایی رتبه‌بندی ریسک پل‌ها نخواهد داشت، لذا، در نهایت پیشنهاد نمودند که جهت سهولت کاربرد می‌توان تعداد سوالات موجود را از ۳۷ سوال به ۲۴ سوال کاهش داد و این اقدام تاثیری چندانی بر نتایج حاصل از ارزیابی ریسک نخواهد گذاشت.

نشریه ۵۱۱ نظام فنی و اجرای کشور با موضوع راهنمای بهسازی لرزه‌ای پل‌ها، یک چک لیست بازرسی میدانی با عنوان شناسنامه فنی پل ارایه نموده است که جهت غربالگری اولیه و شناخت پل‌های دارای اولویت مورد استفاده قرار می‌گیرد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور, ۱۳۹۰). اگرچه برخی از اطلاعات ثبت شده در این چک لیست مانند موقعیت مکانی، مشخصات هندسی و یا فیزیکی پل‌ها در ارزیابی ریسک‌های امنیتی پل تا حدودی قابل استفاده‌اند، اما تمرکز اکثر بخش‌های این چک لیست بر جمع‌آوری اطلاعات درخصوص فاکتورهای موثر بر آسیب پذیری لرزه‌ای بوده و نمی‌توان از آن به تنهایی جهت ارزیابی ریسک‌های امنیتی استفاده نمود. فاکتورهایی نظیر وضعیت روشنایی، وضعیت پوشش گیاهی اطراف پل و کوله‌ها، وضعیت علایم هشدار دهنده، دوربین‌های مداربسته و مانند این‌ها که در ارزیابی آسیب‌پذیری پل‌ها در برابر تهدیدات امنیتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در این چک لیست مورد بررسی قرار نگرفته است.

در حوزه تعمیرات و نگهداری پل‌ها نیز در سال‌های اخیر رویکرد استفاده از چک لیست در بازرسی میدانی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در ایران مسئولیت تعمیر و نگهداری پل‌های موجود درون شهری و برون شهری بترتیب به عهده شهرداری‌ها و سازمان راهداری می‌باشد. هر دو گروه این متولیان به تناسب حوزه در اختیار خود، چک لیست‌های جداگانه‌ای را برای بازرسی چشمی پل‌ها تهیه نموده و مورد استفاده قرار می‌دهند. سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای استفاده از چک لیست ارایه شده در فصل ۲ نشریه ۲۸۰ نظام

فنی و اجرایی کشور را برای بازرسی میدانی و شناسایی انواع خرابی پل‌های برون شهری پیشنهاد نموده است. این چک لیست دارای ۳ فرم مجزا برای جمع‌آوری اطلاعات در خصوص انواع خرابی و نواقص در زیرسازه، روسازه و وضعیت بالادست و پایین دست پل‌های مورد مطالعه می‌باشد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور, ۱۳۸۳).

در خصوص پل‌ها درون شهری نیز شهرداری تهران، سه سند جداگانه جهت بازدید و دستورالعمل بازرسی چمشی پل‌ها تهیه نموده و ابلاغ نموده است (دستورالعمل بازدید پل‌ها، ۱۳۹۸؛ دستورالعمل بازرسی پل‌های سطح ۱، ۱۳۹۸؛ دستورالعمل بازرسی سطح ۲، ۱۳۹۸). این مجموعه سه‌گانه چک لیست به انضمام راهنمای تصویری موجود در آن‌ها، با هدف شناسایی عیوب ظاهری و آسیب‌های مشهود پل‌ها تهیه و تدوین شده اند. تمرکز اصلی این چک لیست‌ها نیز بر انواع خرابی پل‌ها نظیر ترک‌ها، خوردگی‌ها، عریان شدگی‌ها، آب شستگی‌ها و مانند این‌ها بوده و معیارهای موثر در آسیب پذیری پل‌ها در حوزه تهدیدات امنیتی را مورد بررسی قرار نمی‌دهند. در ایران علیرغم این که چک لیست‌های بازرسی مختلفی جهت ارزیابی لرزه‌ای و یا تعمیر و نگهداری پل‌ها تهیه و تدوین شده است (جغتایی، ۱۳۹۱)، اما در وهله نخست موضوع ارزیابی ریسک‌های امنیتی پل‌ها و به تبع آن موضوع تهیه و تدوین چک لیست ارزیابی امنیتی برای پل‌ها تاکنون چندان مورد توجه قرار نگرفته است. با توجه به این که ترجمه دستورالعمل طراحی ایمن پل‌ها (هوائی، ۱۳۹۸) تنها منبع موجود و در دسترس به زبان فارسی در زمینه امنیت پل‌ها می‌باشد، لذا به نظر می‌رسد نیاز به تلاش‌های تحقیقاتی بیشتر در این حوزه وجود دارد.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- مدل‌های ارزیابی ریسک امنیتی پل‌ها

در سال‌های اخیر و به ویژه پس از حملات ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۱، ابزارها و مدل‌های ارزیابی و مدیریت ریسک متنوعی در حوزه امنیت زیرساخت‌های حیاتی در تحقیقات مختلف ارایه شده است. با این حال اکثر این تحقیقات بر زیرساخت‌هایی مانند ساختمان، سد، تاسیسات شیمیایی، صنعتی و غیره تمرکز داشته‌اند و فقط تعداد اندکی از این تحقیقات موضوع امنیت پل‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند. بطور مثال سازمان مدیریت بحران فدرال امریکا[۷]، تاکنون شماری از دستورالعمل‌های مختلف در زمینه ریسک‌های امنیتی منتشر نموده (جدول ۱)، اما تمامی آن‌ها بر انواع ساختمان تمرکز داشته‌اند.

در حوزه تحقیقات متمرکز بر پل‌ها اکثر ابزارها و مدل‌های مدیریت و ارزیابی ریسک ارایه شده بر رویدادهای مخرب طبیعی مثل سیل یا زلزله تمرکز داشته‌اند. توجه بیشتر محققان بر مخاطرات طبیعی باعث شده تا روش‌های ارزیابی ریسک پل‌ها در حوزه مخاطرات طبیعی تقریباً تثبیت و یکپارچه شوند. اما در زمینه مخاطرات انسان‌ساز تاکنون مدلی یکپارچه جهت ارزیابی ریسک و اولویت‌بندی پل‌های شبکه ارایه نشده و اکثر متولیان مختلف به صورت پراکنده از مدل‌های داخلی خود استفاده می‌کنند (Bridge et al., 2003). در جدول (۲) برخی از این مدل‌ها ارایه شده است.

جدول ۱. مجموعه دستورالعمل‌های ارزیابی و مدیریت ریسک سازمان مدیریت بحران فدرال امریکا

کد	عنوان	زیرساخت مورد بررسی
FEMA 426	راهنمای مرجع برای کاهش حملات خرابکارانه احتمالی علیه ساختمان‌ها	انواع ساختمان‌ها
FEMA 427	مبانی اولیه طراحی ساختمانهای تجاری برای کاهش حملات خرابکارانه	ساختمان‌های تجاری
FEMA 428	مبانی اولیه طراحی ایمن مدارس برای حملات خرابکارانه و تیراندازی	ساختمان‌های آموزشی
FEMA 429	بیمه، دارایی و مقررات اولیه برای مدیریت تهدیدات خرابکارانه در ساختمان‌ها	انواع ساختمان‌ها
FEMA 430	طراحی محوطه و فضای‌های شهری برای امنیت	محوطه پیرامون ساختمان
FEMA 452	ارزیابی ریسک: راهنمایی برای کاهش حملات خرابکارانه احتمالی علیه ساختمان‌ها	انواع ساختمان‌ها
FEMA 453	راهنمای طراحی برای پناهگاه‌ها و اتاق‌های امن	پناهگاه‌ها
FEMA 455	دفترچه راهنما برای ارزیابی چشمی سریع ساختمان‌ها برای ارزیابی تهدیدات خرابکارانه	انواع ساختمان‌ها
FEMA 459	افزایش محافظت از ساختمان‌های تجاری موجود در برابر حملات خرابکارانه	ساختمان‌های تجاری

جدول ۲. مدل مختلف ارزیابی ریسک

محققین	مدل ارزیابی ریسک	محدوده ارزیابی ریسک
(Ray, 2007)	$\mathrm{TBR} = \sum \left[I_j \sum \left(O_{ij} \cdot V_{ij} \right) \right]$	بین اجزای یک پل منفرد
(Rummel et al., 2002)	$BCI = \left[\frac{1}{8} \times \left(\sum_{i=1}^{8} CI_i \times \frac{F_{CI_i}}{CI_{i_{max}}} \right) \right] \times RF$	بین پل‌های متعدد
(Li et al., 2016)	$R_{ij} = \sum_{k=1}^{6} \left[w_k^A \times \sqrt{\left(\sqrt{a_{ij}^{k1} \times a_{ij}^{k2}} \times \sum_{l=1}^{3} \left[w_l^C \times c_{ij}^{kl} \right] \right)} \right]$	بین اجزای یک پل منفرد
(A Duchaczek & Skorupka, 2013)	$R = p \times c$	بین پل‌های متعدد
(Artur Duchaczek & Skorupka, 2016)	$R_i = \frac{p_i c_i}{\sum_{i=1}^{n} (p_i c_i)}$	بین پل‌های متعدد
(Bridge et al., 2003)	$RS = IF \times \sum [OF_i \times VF_i]$	بین اجزای پل‌های متعدد
(Davis et al., 2017)	$R = O \times V \times I$	بین پل‌های متعدد
(Smith et al., 2002)	$\mathrm{BCS} = \frac{x}{c_{max}} \times 100$	بین پل‌های (زیرساخت) متعدد
(M. Valeo et al., 2012)	$R = O \times V \times I$	بین پل‌های متعدد
(Leung et al., 2004)	ماتریس (شدت، احتمال وقوع)	بین پل‌های متعدد

مدل‌های ارایه شده جهت مدیریت ریسک‌های امنیتی پل‌ها علیرغم پراکندگی و تنوع در جزییات، بطور کلی از یک الگوی تقریباً مشابه پیروی می‌کند: (۱) تعیین لیست پل‌های مورد بررسی، (۲) شناسایی انواع تهدیدات امنیتی و شیوه‌های تهاجم، (۳) ارزیابی آسیب پذیری پل‌ها، (٤) تعیین اهمیت‌های پل مورد بررسی، (٥) تعیین نمره ریسک پل‌ها و رتبه بندی آن‌ها، (٦) تعریف اقدامات و استراتژی‌ها متقابل کاهنده ریسک (۷) تحلیل هزینه–صرفه و پیاده‌سازی تعداد محدودی از اقدامات با توجه به حداکثر بودجه در اختیار و میزان اثر بخشی اقدامات در کاهش ریسک، (٦) تهیه برنامه اجرایی پیاده‌سازی اقدامات به صورت کارا (Ray, 2007). چارچوب کلی روش ارزیابی ریسک این مدل‌ها مطابق رابطه (۱) می‌باشد(Issa, 2008) .

$$\mathrm{R} = \mathrm{O} \times \mathrm{V} \times \mathrm{I} \qquad (۱)$$

ریسک در این رابطه بصورت حاصلضرب سه فاکتور احتمال وقوع[۸] (O)، آسیب پذیری[۹] (V) و اهمیت[۱۰] (I) تعریف شده است. چک لیست‌های ارایه شده در تحقیقات پیشین برای سنجش هر سه فاکتور فوق از طریق بازدید میدانی طراحی شده بودند، اما چک لیست ارایه شده در این مقاله صرفاً بر فاکتور آسیب‌پذیری پل (V) تمرکز دارد و دو فاکتور احتمال وقوع (O) و اهمیت (I) در این چک لیست مورد بررسی قرار نمی‌گیرند. زیرا اولاً برای ارتقاء امنیت پل، مالکان پل‌ها قدرت مداخله بیشتری در فاکتور آسیب پذیری به نسبت دو فاکتور دیگر دارند (Nassif et al., 2006). در واقع مالکان شبکه از طریق تخصیص منابع و کاهش آسیب پذیری پل‌هاست که می‌تواند ریسک‌های امنیتی را کاهش دهند. ثانیاً دو فاکتور احتمال وقوع و اهمیت پل با ابزارهای مشخص و پذیرفته شده دیگری غیر از چک لیست قابل سنجش هستند که برای تعیین آن‌های نیازی به بازدید میدانی و تکمیل چک لیست نمی‌باشد. در جدول (۳) به مقایسه بین ابزارهای سنجش و نوع مداخله ممکن توسط مالکان بر فاکتورهای مختلف ارزیابی ریسک اشاره شده است.

جدول۳. مقایسه ابزارهای سنجش و نوع مداخله ممکن توسط مالکان بر فاکتورهای مختلف ارزیابی ریسک

فاکتور	فازهای تهدید	معیار مورد سنجش	ابزارهای سنجش	نوع مداخله ممکن توسط مالکان
O	انتخاب هدف	احتمال نسبی انتخاب شدن در بین سایر پل‌ها	استفاده از داده‌های پیشین برای شناسایی ترجیحات و معیارهای جذابیت از دیدگاه مهاجم	کاهش احتمال نسبی انتخاب شدن با افزودن پل‌های جدید به شبکه
V	P_{Suc} اجرای عملیات	احتمال موفقیت در اجرای عملیات	چک لیست‌های بازرسی میدانی پل(*)	پیاده سازی اقدامات بازدارنده، تشخیص دهنده، محدوده کننده و وفقه ایجاد کننده
	P_{fail} اعمال آسیب	احتمال شکست پل در یک سطح آسیب مشخص در صورت موفقیت آمیز بودن اجرای عمیات	ترسیم منحنی شکنندگی پل در سطوح آسیب مد نظر	پیاده سازی اقدامات سازه‌ای مثل سخت کنندگی و افزودن مسیرهای بار و ایجاد فاصله امن
I	ظهور پیامد	آثار اجتماعی، اقتصادی و سیاسی شکست پل	روابط کمی برای تحلیل پیامدهای اقتصادی- اجتماعی- سیاسی شکست پل	بیمه کردن پل/ اقدامات احیاء و بازیابی سریع

(*) در این مقاله آسیب پذیری مطابق رابطه $V = \sqrt{P_{Suc} \times P_{fail}}$ تعریف شده و برای محاسبه P_{Suc} یک چک لیست بازرسی میدانی ارایه می‌شود.

۳-۱-۱- احتمال وقوع تهدید (O)

احتمال وقوع تهدید در یک پل خاص (O) معمولاً به صورت احتمال نسبی انتخاب شدن یک پل به عنوان هدف در بین سایر پل‌ها تعریف می‌شود. احتمال نسبی انتخاب شدن یک پل به عنوان هدف به میزان جذابیت آن پل از دیدگاه مهاجمان بستگی داشته و برای سنجش آن نیاز به داده‌های تاریخی و اطلاعات طبقه‌بندی شده و ثبت شده در بلند مدت برای شناسایی دیدگاه‌ها، ترجیحات و تحلیل روانشناختی مهاجمان می‌باشد. لذا نمی‌توان برای سنجش دیدگاه مهاجمان از چک لیست طراحی شده برای یک بازدید میدانی استفاده نمود.

لازم به ذکر است که برخی محققین بر پایه این استدلال که پل‌های با اهمیت‌تر و آسیب‌پذیرتر، از دیدگاه مهاجمان جذابیت بیشتری برای انتخاب شدن به عنوان هدف را دارند، در تخمین این احتمال نسبی به میزان (V) و میزان (I) پل توجه کرده اند (A Duchaczek & Skorupka, 2013; Artur Duchaczek & Skorupka, 2016). وجود همبستگی بین این سه پارامتر و ماهیت هوشمند و استراتژیک بودن تهدیدات انسان ساز، باعث شده تا تعیین این پارامتر (O) به روش‌های احتمالاتی ارزیابی ریسک مورد انتقاد برخی از محققین قرار گرفته (Brown & Cox, 2011; Council, 2010; Cox, 2008; Greenberg et al., 2012) و پیشنهاد شده در تحلیل این پارامتر، از رویکرد تعادل نش در نظریه بازهای استفاده شود(Feng et al., 2016) . در هرحال در این مقاله از سنجش این فاکتور با استفاده از چک لیست صرف نظر شده است.

۳-۱-۲- اهمیت پل (I)

پارامتر اهمیت برای یک پل (I) بیانگر آثار اقتصادی، اجتماعی و سیاسی شکست آن پل می‌باشد، از دیدگاه این پارامتر هر چه آثار شکست پل در ابعاد مختلف بیشتر باشد، آن پل با اهمیت‌تر است (Issa, 2008). برای سنجش پارامتر اهمیت پل معیارهای مختلفی در تحقیقات مختلف ارایه شده است، جدول (٤) به برخی از معیارها اشاره می‌کند.

همانگونه که در این جدول ملاحظه می‌شود، اکثر معیارهای موثر در سنجش پارامتر (I) به ویژگی‌های منحصر به فرد پل وابسته‌اند. محققین مختلف تا کنون روابط متعددی برای محاسبه معیارهای موثر بر فاکتور اهمیت پل پیشنهاد نموده‌اند. در جدول (۵) به برخی از این روابط اشاره شده است. لازم به ذکر است اهمیت پل (I) به منشاء تهدید وابسته نمی‌باشد، لذا، برای سنجش این پارامتر می‌توان از روابط ارایه شده در تحقیقات مرتبط با سایر تهدیدات نظیر سیل و زلزله نیز استفاده نمود. با توجه به این که جهت سنجش اهمیت پل نیازی به انجام بازدید میدانی و استفاده از چک لیست نمی‌باشد، لذا، در تدوین چک لیست ارایه شده در این مقاله به این فاکتور پرداخته نمی‌شود.

جدول ٤. سنجش پارامتر اهمیت پل

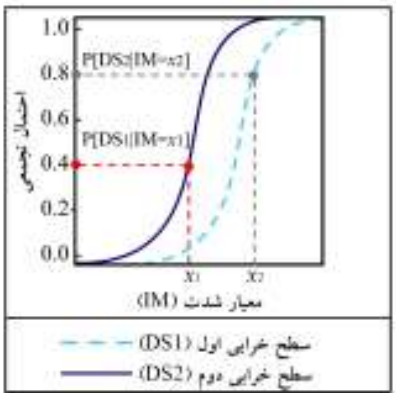
محققین	معیارهای اجتماعی-اقتصادی موثر در اهمیت پل (I)
(Rummel et al., 2002)	اهمیت تجاری (ترافیک سنگین)، اهمیت کاربری روزانه (ترافیک سبک و طول مسیر جایگزین)، اهمیت مسیر جاده ای متقاطع (ترافیک مسیر متقاطع و بین ایالتی بودن)، اهمیت مسیر دریای متقاطع (در صورت وجود)، اهمیت بین‌المللی (مسیرهای مرزی)، اهمیت نظامی (مسیرهای استراتژیک)، اهمیت بازسازی (پیچیدگی سازه و بزرگی طول دهانه)
(Li et al., 2016)	هزینه بازسازی در صورت تخریب، زمان بازسازی در صورت تخریب، اهمیت اجتماعی
(Bridge et al., 2003)	ارزش تاریخی و نمادین، هزینه بازسازی (احتمال آسیب)، اهمیت از جهت مسیر تخلیه اضطراری، اهمیت در اقتصاد منطقه ای، اهمیت در حمل و نقل منطقه‌ای، نرخ درآمد سالانه (هزینه‌های توقف)، (اهمیت برای مراکز متصل و وابسته به پل)، اهمیت نظامی، میزان جمعیت در معرض آسیب
(Smith et al., 2002)	میزان تلفات جانی، اهمیت زیست محیطی، هزینه بازسازی مجدد، زمان بازسازی مجدد، اهمیت نظامی، وجود یا عدم وجود جایگزین، اهمیت اجتماعی، اقتصادی، اهمیت نمادین، کارکرد خدمات اضطراری
(M. Valeo et al., 2012)	میزان ترافیک عبوری، طول بزرگترین دهانه، اهمیت از جهت مسیر تخلیه اضطراری، ارزش تاریخی و نمادین، وجود تاسیسات صنعتی و شیمیایی در نزدیکی، نزدیکی به مراکز مهم

جدول ۵. برخی روابط پیشنهاد شده برای محاسبه معیارهای موثر بر فاکتور اهمیت پل

معیار اهمیت	محققین	پارامترهای مورد سنجش و رابطه پیشنهاد شده
اهمیت اقتصادی شکست پل	(Decò et al., 2013)	$C_{dir.i}$ = هزینه مستقیم شکست پل $C_{dir.i} = WL \sum_{j=1}^{N_{out}} \{P_{ij} [\alpha_j c_{reb} d_{r.j}(1 + V_{c.ij}) + \beta_j c_{rem} + \gamma_j c_{reb} b_r(1 + V_{c.ij})]\}$
	(Dong & Frangopol, 2015)	C_{op}= هزینه غیر مستقیم شکست پل: افزایش استهلاک وسایل نقلیه در مسیر جایگزین $C_{op} = P_E \cdot \left[C_{op.car}\left(1 - \frac{TR_D}{100}\right) + C_{op.truck}\left(\frac{TR_D}{100}\right)\right] \cdot D_l \cdot ADT$
	(Dong & Frangopol, 2016)	C_{TL}= هزینه غیر مستقیم شکست پل ناشی اتلاف زمان سفر مسافران و بار در مسیر جایگزین $C_{TL} = P_E \cdot \left[C_{AW} O_{car}\left(1 - \frac{TR_D}{100}\right) + (C_{ATC}\, O_{truk} + C_{good})\left(\frac{TR_D}{100}\right)\right] \cdot \left[ADT\, \frac{D_l}{S} + ADE\left(\frac{l}{S_D} - \frac{l}{S_0}\right)\right]$
اهمیت زیست‌محیطی شکست پل	(Mackie et al., 2016)	CFR(im) = نسبت هزینه ای‌گازهای گلخانه ای تولید شده در اثر انجام اقدامات بازسازی پل. $CFR(im) = C\alpha_{CFR} L_{CFR}(im)$
اهمیت اجتماعی شکست پل	(Guo et al., 2017)	$I_{BCW}(e)$= مرکزیت میانی پل(تعداد مسیرهای از دست رفته در اثر شکست پل) $I_{BCW}(e) = \sum_{i,j \in V} \frac{b_{ij}(e)}{b_{ij}}$
	(Guo et al., 2017)	C = ضریب خوشگی (تعداد کاهش اتصالات سه تایی بین گره‌های شبکه در اثر شکست پل) $C = \frac{3 \times N_{tri}^{c}}{N_{tri}^{all}}$
	(Merschman et al., 2020)	C_4= افزایش مسافت سفر استفاده کنندگان شبکه تا مراکز اورژانس و خدمات فوری پس از شکست پل $C_4 = 1 + \gamma_4 * \frac{TTT_0 - TTT_i}{TTT_0}$

۳-۱-۳- آسیب پذیری (V)

برای سنجش آسیب پذیری (V) نیز تا کنون رویکردهای مختلفی ارایه شده است (Venna & Fricker, 2009). در تحقیقات متمرکز بر رویدادهای مخرب طبیعی مثل زلزله و سیل از ترسیم منحنی شکنندگی پل (شکل ۱) و تخمین احتمال شکست پل در یک سطح آسیب مشخص (P_{fail}) به‌عنوان ابزاری متداول و پذیرفته شده برای سنجش آسیب پذیری پل‌ها استفاده شده است ($V = P_{fail}$).



شکل ۱. منحنی شکنندگی (Qeshta, 2019)

در تحقیقات متمرکز بر حملات انسان ساز نیز برخی از محققین آسیب پذیری پل را بر مبنای احتمال شکست آن در صورت انجام یک حمله موفق در نظر گرفته‌اند و برای تعیین احتمال شکست پل از منحنی شکنندگی پل استفاده نموده اند(Issa, 2008). با توجه به اینکه انفجار رایج‌ترین سناریو حملات خرابکارانه می‌باشد، در این تحقیقات عمدتاً از معیار شدت[11] فاصله مقیاس شده[12] برای منحنی شکنندگی پل استفاده شده است. جدول (٦) تفاوت معیارهای شدت‌های مورد استفاده در ترسیم منحنی شکنندگی با توجه به نوع تهدید مورد بررسی را نمایش می‌دهد.

جدول ٦. معیارهای شدت منحنی شکنندگی در تهدیدات مختلف

تهدید مورد بررسی	معیار شدت (IM)
زلزله	حداکثر شتاب زمین
سیل	ارتفاع موج
حمله خرابکارانه (انفجار)	فاصله مقیاس شده
حمله خرابکارانه (برخورد کامیون)	سرعت کامیون
حمله خرابکارانه (آتش)	دمای سازه

با توجه به تفاوت ماهوی بین تهدیدات طبیعی و انسان ساز در خصوص تحلیل آسیب‌پذیری پل‌ها در برابر حملات خرابکارانه، علاوه بر تخمین احتمال شکست سازه‌ای پل P_{fail}، احتمال موفقیت در اجرای عملیات نیز باید P_{Suc} در نظر گرفته شود(Jaeger et al., 1998; Kbar, 2009). زیرا در حوزه تهدیدات انسان ساز حتی اگر احتمال شکست سازه‌ای و فروریزش کامل پل در برابر یک سناریو تهدید بالا باشد، اما می‌توان با بکارگیری اصول امنیت محیطی و کاهش احتمال موفقیت در اجرای آن سناریو، آسیب پذیری پل را کاهش داد. لذا، در این مقاله مفهوم آسیب‌پذیری پل مطابق رابطه (۲) به دو بخش احتمال موفقیت و احتمال شکست تفکیک می‌شود.

$$V = \sqrt{P_{Suc} \times P_{fail}} \qquad (۲)$$

۳-۲- اصول پنج‌گانه امنیت محیطی D5

یکی از الگوهای رایج در پیاده سازی اقدامات امنیتی در محیط پیرامون زیرساخت‌های حیاتی استفاده از اصول پنجگانه امنیت محیطی یا D5 می‌باشد (Rowshan & Simonetta, 2003). بسیاری از تحقیقات جهت تامین امنیت محیطی زیرساخت‌های حیاتی، پیاده‌سازی اصول ۵ گانه D5 شامل اقدامات بازدارنده (D1: Deter)، تشخیصی (D2: Detect)، محدود کننده (D3: Deny)، تاخیری (D4: Delay) و اقدامات دفاعی (D5: Defend) را توصیه نموده‌اند (جدول۷). هدف از چک لیست ارایه شده در این مقاله سنجش احتمال موفقیت از زمان شروع تا مرحله اجرای کامل عملیات می‌باشد. با توجه به این که اصل پنجم این الگو (پیاده سازی اقدامات دفاعی) بر پاسخگویی به تهدیدات در مرحله بعد از انجام کامل و موفقیت آمیز تمرکز دارد، این اصل در چک لیست حاضر مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. لذا، سوالات مورد بررسی در چک لیست این مقاله در چهار گروه مختلف تدوین شده و به بررسی وضعیت امنیتی پل از دیدگاه معیارهای مرتبط با اصول D1 الی D4 می‌پردازند.

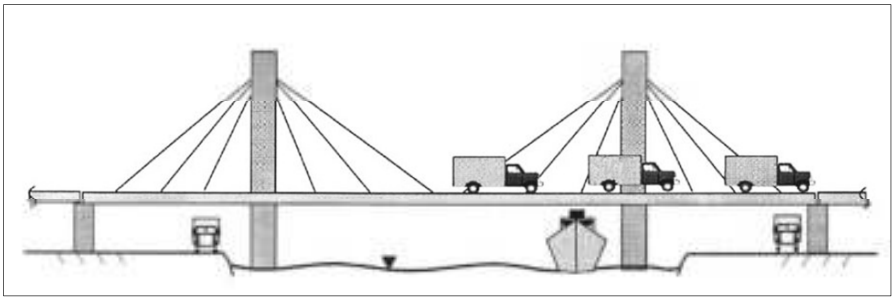
۳-۳- سناریوهای تهدید مورد بررسی

تحقیقات مختلف، سناریوهای متداول تهدیدات امنیتی برای پل‌ها را در گروه‌بندی‌های مختلف ارایه نموده‌اند (Hinman et al., 2009; Li et al., 2016). اما دسته بندی ارایه شده در برخی مقالات بیشتر در سایر منابع مورد پذیرش و استفاده قرار گرفته است. در چک لیست معرفی شده در این مقاله ٦ نوع تهدیدات امنیتی برای پل‌ها مطابق با الگو ارایه شده توسط رِی (Ray, 2007) (شکل۲) در نظر گرفته

می‌شود. در جدول (۸) سناریوهای مورد بررسی در در چک لیست این مقاله، کد و وزن نسبی اختصاصی به هر تهدید (w_{T_j}) اشاره شده است. لازم به ذکر است سناریو تهدید آسیب به پل با استفاده از تجهیزات آسیب رسان غیر انفجاری مثل برش اجزا کلیدی با اره برقی یا برش با هوا به دلیل پایین بودن وزن اهمیت نسبی آن و دامنه محدود اثر بخشی در برخی از انواع خاص پل‌ها، در این چک لیست مورد بررسی قرار نگرفته است. اما سایر سناریوهای تهدید مورد بررسی در این چک لیست در انواع متداول پل (شاه‌تیری، معلق، کابلی، قوسی، باکسی و...) امکان عملیاتی شدن را دارند در خصوص شدت سناریوهای تهدید مورد بررسی در چک لیست نیز باید اشاره نموده بر خلاف رویکرد متداول در ارزیابی ریسک رویدادهای مخرب طبیعی مثل زلزله که شدت و سطوح مختلف آسیب براساس سطح خطر زلزله و دوره بازگشت آن مورد بررسی قرار می‌گیرد، اما در تهدیدات انسان ساز به دلیل غیر قابل پیش بینی بودن استفاده از رویکرد تحلیل سناریوی بدترین حالت[۱۳] برای هریک از شیوه‌های تهاجم متداول می‌باشد.

جدول ۷. اصول پنج‌گانه امنیت محیطی D5

گروه	اقدامات بازدارنده	اقدامات تشخیصی	اقدامات محدود کننده	اقدامات تاخیری	اقدامات دفاعی
	D_1	D_2	D3	D_4	D_5
کد	$D_{101\sim106}$	$D_{201\sim212}$	$D_{301\sim308}$	$D_{401\sim407}$	مورد بررسی قرار نمی‌گیرد
نمونه	نصب تابلو و علایم هشدار تحت نظارت بودن پل	روشنایی پل و نصب دوربین مداربسته و سنسور	حصارکشی و فنس و کنترل ورود و خروج	استفاده از موانع فیزیکی	حفاظت از اجزا کلیدی پل با استفاده از پوشش‌های مقاوم در برابر انفجار و ضربه مستقیم
	کاهش احتمال موفقیت در اجرا عملیات (P_{suc})				کاهش احتمال شکست پل(P_{fail})



شکل ۲. سناریوهای متداول تهدیدات امنیتی برای پل‌ها (Ray, 2007)

جدول ۸ . سناریوهای مورد بررسی در این مقاله و کد اختصاصی و وزن اهمیت نسبی هر تهدید در چک لیست

نوع تهاجم	انفجار با وسایل نقلیه از زمین	انفجار با وسایل نقلیه از آب	انفجار با وسایل دستی	ضربه مستقیم با وسایل نقلیه زمینی	ضربه مستقیم با وسایل نقلیه آبی	آتش زدن
وزن اهمیت نسبی(w_{T_j})	۰/۳۶	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۰۹
کد در چک لیست	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6

٤- حدود و دامنه کاربرد

چک لیست ارایه شده در این مقاله برای ارزیابی امنیت انواع پل‌های متداول با کاربرد حمل و نقل جاده‌ای اعم از درون شهری و برون شهری دره ای و رودخانه ای تدوین شده است. این چک لیست شامل برخی از انواع پل‌ها مانند پل‌های دارای معماری خاص و غیرمتداول، پل‌های مسیر ریلی، پل‌های متحرک و دارای تجهیزات مکانیکی نبوده و ابنیه فنی مسیر مانند آبروها، آبنماها، تونل‌ها و دیوارهای حایل را پوشش نمی‌دهد. این چک لیست همچنین تقاطع‌های غیر همسطح طبقاتی و پیچیده را پوشش نمی‌دهد، اما درصوت نیاز به ازریابی امنیت این گروه پل‌ها ابتدا می‌بایست هر تقاطع بر اساس تعداد خطوط اتصالی مبدا- مقصد موجود در آن به چند زیر پل جزء تفکیک شده و سپس ریسک نسبی هریک از این زیر پل‌ها بصورت جداگانه ارزیابی شود.

همچنین این چک لیست برای پل‌هایی که دارای ارزش تاریخی و باستانی هستند نظیر سی و سه پل اصفهان و یا پل ساسانی دزفول طراحی نشده است. زیرا برای محافظت از این گروه از پل‌های می‌بایست برنامه‌های حفاظتی خاص و ویژه با جزییات بیشتر پیش بینی شود. لازم به ذکر است سوالات چک لیست ارایه شده در این مقاله، احتمال موفقیت تهدیدات خرابکارانه و عامدانه‌ای که سعی در آسیب بصورت مخفیانه و بدون اعلان قبلی دارند را مورد بررسی قرار می‌دهد و سنجش احتمال موفقیت تهدیدات مسلحانه که بصورت علنی و آشکار انجام می‌شوند را در بر نمی‌گیرند.

٥- معرفی چک لیست و نحوه تکمیل

در بخش‌های قبل مشاهده شد که به غیر از پارامتر (P_{Suc}) کلیه پارامترهای موثر در ارزیابی ریسک‌های امنیتی پل به کمک ابزارهای ارایه شده در تحقیقات پیشین قابل محاسبه هستند. اما برای محاسبه احتمال موفقیت در اجرای عملیات (P_{Suc}) تاکنون ابزاری مناسبی ارایه نشده است. به همین منظور در مقاله حاضر یک چک لیست بازدید میدانی ارایه شده تا با استفاده از آن بتوان این پارامتر را بصورت کمی محاسبه نمود.

چک لیست ارایه شده در این مقاله در سه بخش سوالات و جدول امتیاز دهی و راهنمای تصویری تدوین شده است. بخش سوالات دارای ۳۳ سوال شامل، ٦ سوال جهت ارزیابی سطح بازدارندگی، ۱۲ سوال جهت ارزیابی سطح توانمندی تشخیص، ۸ سوال جهت ارزیابی سطح محدودسازی و در نهایت ۷ سوال جهت ارزیابی توانمندی ایجاد تاخیر در اجرای عملیات می‌باشد. بخش‌های سوالات و معیارهای ارزیابی، جدول امتیازدهی و راهنمای تصویری در پیوست مقاله ارایه شده است. بخش‌های مختلف این چک لیست به لحاظ شکلی از الگوی چک لیست ارایه شده در FEMA 455 (Agency, 2009) تبعیت می‌کنند، اما به لحاظ محتوای سوالات و معیارهای ارزیابی کاملاً با آن متفاوت است. زیرا چک لیست FEMA 455 بر ارزیابی ریسک ساختمان‌ها تمرکز داشته در حالی که چک لیست این مقاله به موضوع پل‌ها می‌پردازد. در طراحی سوالات این چک لیست سعی شده تا با مرور و جمع بندی تحقیقات مرتبط بر مهمترین شاخص‌های افزایش دهنده‌ی احتمال موفقیت تمرکز شود و از تدوین یک چک لیست طولانی پرهیز شود. در سمت راست جدول امتیازدهی زیر سطوح مختلف تعریف شده برای سنجش میزان پیاده‌سازی اقدام امنیتی مورد توجه در هر سوال، ٦ مقدار عددی (α) نوشته شده است. هریک از این مقادیر به ترتیب از بالا به پایین متعلق به شش سناریو تهدید مورد بررسی در این مقاله (T_1 الی T_6) می‌باشند. رابطه (۳) نحوه محاسبه هر یک از مقادیر را نشان می‌دهد.

$$\alpha\{T_j, L_{q_i}(b)\} = w_{T_j} \times w_{q_i} \times w_E(T_j, q_i) \times L_{q_i}(b)$$

$$\sum_{j=1}^{6} w_{T_j} = 1 \quad , \quad \sum_{i=1}^{33} w_{q_i} = 100 \qquad (۳)$$

$$\sum_{T_j=1}^{6} w_E(T_j, q_i) = 6 \, , 0.001 < L_{q_i}(b) < 0.999$$

در این رابطه، w_{T_j} : وزن نسبی اختصاص داده به هر یک از ٦ شیوه‌های تهاجم مورد بررسی بر مبنای سابقه تواتر بکارگیری آن‌ها، w_{q_i} : وزن نسبی اختصاص داده شده به هریک از ۳۳ سوال تعریف شده در چک لیست بر مبنای میزان اهمیت نسبی اصول امنیتی چهارگانه (بازدارنگی، تشخیص، محدودیت و تاخیر) در سطح اول و میزان اثر بخشی اقدام امنیتی مورد توجه در هر سوال بر بهبود اصول امنیتی چهارگانه در سطح دوم، $w_E(T_j, q_i)$: ماتریس مقادیر مربوط به میزان تناسب کارکردی بین اقدام امنیتی مورد توجه در هر سوال و ٦ شیوه تهاجم، $L_{q_i}(b)$: مقادیر اختصاص داده شده جهت سنجش سطح پیاده سازی اقدام امنیتی مورد توجه در هر سوال

در پل مورد بررسی بر اساس سطوح مختلف تعریف شده در آن سوال می‌باشند. اوزان نسبی اختصاص داده شده به تهدیدات، سوالات و مقادیر در نظرگرفته شده برای ماتریس تناسب کارکردی در این چک لیست به نحوی است که اگر کلیه اقدامات امنیتی مورد توجه در تمامی سوالات در بالاترین سطح ممکن در پل مورد بررسی پیاده سازی شده باشند، آن گاه مقدار احتمال موفقیت در آن پل تقریباً برابر با صفر درصد و مقابل در صورتی که هیچ یک از تدابیر امنیتی مورد بازرسی در پل محقق نشده باشد، احتمال موفقیت در اجرای عملیات در آن پل تقریباً ۱۰۰ درصد می‌شود. اگرچه اوزان نسبی اختصاص داده شده به تهدیدات، سوالات و مقادیر در نظرگرفته شده برای ماتریس تناسب کارکردی در این مقاله بر پایه دیدگاه نویسندگان مقاله در نظر گرفته است، اما سعی شده با مطالعه توصیه‌های تجویزی اشاره شده در سایر تحقیقات و استفاده از ارجحیت‌های نسبی پیشنهاد شده در آن‌ها به صورت مستقیم یا ضمنی، اوزان نسبی و مقادیر مناسب و منطقی برای تهدیدات، سوالات و ماتریس تناسب کارکردی در نظر گرفته شود. بدیهی است این اوزان و مقادیر می‌توانند در صورت تمایل توسط سایر بهره برداران چک لیست شخصی‌سازی شده و دیدگاه‌ها و ترجیحات مد نظر متولیان در آن لحاظ نمود.

نحوه تکمیل چک لیست بدین صورت است که مقادیر سمت راست جدول امتیازدهی بعد از بازرسی و تعیین سطح امنیت پل از دیدگاه هر یک از معیارها در مقابل آن، در سمت چپ جدول نوشته می‌شود(جدول ۹). بعد از تکمیل کلیه امتیازات در سمت چپ جدول در قسمت پایین مجموع امتیاز حاصل برای هر سناریو تهدید به صورت جمع ستونی نوشته می‌شود. سپس مجموع امتیازات تمامی سناریوها به عنوان امتیاز تجمعی احتمال موفقیت محاسبه و در نهایت با تقسیم به عدد ۱۰۰، احتمال موفقیت در اجرای عملیات بصورت درصد بیان می‌شود. بازرسان باید تلاش کنند تا حد امکان با انجام بازرسی‌های میدانی اطلاعات لازم برای تکمیل چک لیست را تهیه نمایند، اما اگر برای برخی معیارها موثر در سنجش احتمال موفقیت، اطلاعات لازم برای یک یا چند پل در اختیار نبود، باید حداکثر مقدار ممکن برای آن در نظر گرفته شود اما باید این شیوه امتیازدهی به حداقل ممکن برسد، چرا که موجب می‌شود برخی از پل‌ها به عنوان پل‌های آسیب پذیرتری شناخته شوند.

۶- مثال عددی

در این بخش از مقاله جهت ارایه مثال عددی از کاربرد چک لیست در سنجش امنیت پل‌ها، ٤ پل در استان خوزستان، شامل ۲ پل درون شهری و ۲ پل برون شهری با استفاده از چک لیست طراحی شده مورد بررسی قرار گرفتند (جدول۱۰). انتخاب پل‌ها مورد بررسی در این بخش با هدف وجود تنوع در بین شرایط پل‌های مورد بررسی بوده است. جداول (۱۱) و (۱۲) و شکل (۳) نتایج حاصل از کاربرد چک لیست در ارزیابی امنیت در پل‌های را نمایش می‌دهد.

جدول۱۰. مشخصات پل‌های مورد بررسی

نام پل	شهدا	غدیر	کارون۳	فولاد
کد	B_1	B_2	B_3	B_4
مکان	لالی	اهواز	ایذه	اهواز
نوع سازه	کابلی	کابلی	زیر قوسی	تیر–دال
طول(*)	٤٦٠	۱۰۱٤	۲۱۳+۳۳٦	۷٤۰
عرض(*)	۷	۲۱/۷	۱۱/۸۰	۳۰
دهانه اصلی(*)	۲٥٦	۲۱۲	۲٥۲ و ۱٦۰	۷٥
موقعیت(**)	ب	د	ب	د

(*) کلیه اندازه‌ها به متر می‌باشد. (**) د: درون شهری، ب: برون شهری

جدول ۹. نمونه‌ای از نحوه امتیازدهی و تکمیل چک لیست : سوال (D_{103})در حالت انتخاب گزینه (b)

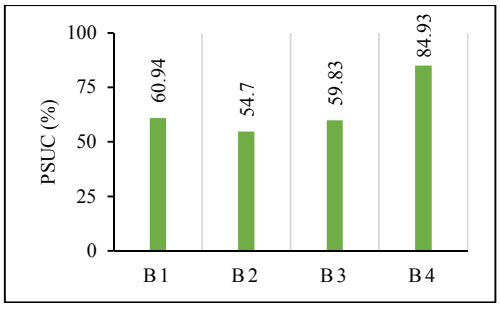
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	d	c	b	a	
					0.5390	1.5400	1.0010	0.5390	0.0015	D_{103}
				0.1470		0.4200	0.2730	0.1470	0.0004	
			0.0490			0.1400	0.0910	0.0490	0.0001	
		0.1960				0.5600	0.3640	0.1960	0.0006	
	0.1470					0.4200	0.2730	0.1470	0.0004	
0.1470						0.4200	0.2730	0.1470	0.0004	

جدول ۱۱. نتایج استفاده از چک لیست در پل‌های مورد بررسی

کد	امتیازات معیارهای ارزیابی امنیت و احتمال موفقیت				
	D_1	D_2	D_3	D_4	P_{suc} (%)
B_1	۱۷/۳۱	۲۱/۵۰	۱۰/۶۸	۱۱/۴۴	۶۰/۹۴
B_2	۷/۵۴	۱۷/۴۴	۱۵/۲۰	۱۴/۵۲	۵۴/۷۰
B_3	۲۰/۶۱	۲۱/۵۰	۷/۵۳	۹/۷۴	۵۹/۸۳
B_4	۲۰/۲۳	۲۴/۷۰	۱۷/۳۹	۲۲/۶۱	۸۴/۹۳

جدول ۱۲. احتمال نسبی موفقیت سناریوهای مختلف در پل‌ها

کد	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
B_1	۱۹/۶۲	۵/۱۶	۱۴/۲۷	۹/۲۵	۶/۷۰	۵/۹۳
B_2	۱۶/۵۰	۴/۲۶	۱۴/۶۸	۷/۷۶	۵/۵۱	۵/۹۸
B_3	۱۹/۷۱	۵/۴۴	۱۱/۹۰	۹/۲۹	۷/۰۷	۵/۹۶
B_4	۲۵/۴۶	۶/۵۲	۲۳/۲۹	۱۱/۹۷	۸/۴۴	۹/۲۶



شکل ۳. احتمال موفقیت تهدیدات در پل‌های مختلف

۷- نتیجه‌گیری

روش‌های ارزیابی ریسک‌های امنیتی علیرغم تعدد و تنوع در جزییات اما به طور کلی از فرم مفهوم امید ریاضی یا ارزش مورد انتظار (حاصلضرب احتمال یکی از حالات ممکن در مقدار آن حالت) پیروی می‌کنند. احتمال وقوع (O)، آسیب پذیری (V) و اهمیت (I)، سه فاکتور مهم در ارزیابی ریسک‌های امنیتی پل‌ها محسوب می‌شوند و نمره ریسک بر اساس حاصلضرب این سه فاکتور محاسبه می‌شود.

متولیان و بهره برداران شبکه قدرت مداخله بیشتری بر فاکتور آسیب پذیری نسبت به دو فاکتور دیگر داشته و با پیاده سازی اقدامات کاهنده ریسک می‌توانند باعث کاهش آسیب پذیری پل‌ها شده و از این طریق باعث کاهش نمره ریسک پل شوند. در ارزیابی آسیب پذیری پل‌ها در برابر تهدیدات انسان ساز علاوه بر تخمین احتمال شکست پل در برابر یک سناریو تهدید خاص، احتمال موفقیت اجرای آن سناریو تهدید (P_{suc}) در پل مورد بررسی نیز می‌بایست سنجیده شود.

در منابع تحقیقاتی موجود تاکنون ابزاری مشخص برای محاسبه احتمال موفقیت ارایه نشده است. در مقاله حاضر یک چک لیست بازرسی چشمی برای ارزیابی سریع امنیت پل‌ها ارایه شده است تا به کمک آن بتوان پارامتر احتمال موفقیت در اجرای عملیات (P_{suc}) را بصورت کمی محاسبه نمود.

۴ پل در استان خوزستان، شامل ۲ پل درون شهری و ۲ پل برون شهری به عنوان نمونه موردی با استفاده از چک لیست طراحی شده مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج حاصل در تمامی پل‌های مورد بررسی در این مقاله احتمال موفقیت آمیز بودن اجرای تهدیدات خرابکارانه بسیار بالاست. علت این موضوع بصورت کلی، عدم پیش بینی و عدم پیاده سازی تدابیر امنیتی در طراحی، اجرا و یا نگهداری در اکثر پل‌ها در ایران می‌باشد. در برخی پل‌ها مانند (B_4) نیز به عواملی مضاعف نظیر، نبود روشنایی، پایین بودن ارتفاع عرشه و دسترسی آسان به اجزا کلیدی و قرارگیری در حاشیه شهر و نواحی خلوت باعث شده تا احتمال موفقیت سناریوهای مورد بررسی در این پل نسبت به سایر پل‌ها بیشتر شود.

لازم به ذکر است، نتایج حاصل در این بخش به تنهایی نمی‌تواند بیانگر ریسک امنیتی پل‌ها باشد، زیرا علاوه بر تخمین احتمال موفقیت که موضوع مورد بررسی در این مقاله می‌باشد، می‌بایست سایر فاکتورها مانند، احتمال شکست سازه‌ای در برابر سناریوهای مورد بررسی، احتمال انتخاب شدن به عنوان هدف در شرایط سناریوهای مختلف و همچنین پیامدهای اجتماعی-اقتصادی-سیاسی شکست پل نیز بر اساس ابزارهای مربوطه که برخی از آن‌ها در این مقاله ارایه گردید، محاسبه شوند. بنابراین این امکان وجود دارد سطح ریسک در برخی پل‌ها حتی اگر احتمال موفقیت در اجرای عملیات در آن‌ها نسبت با سایر پل‌ها کمتر باشد، به دلایلی دیگر مانند بالا بودن اهمیت و یا آسیب پذیری سازه‌ای، در نهایت بیشتر شود وبالعکس. با توجه به این که در چک لیست ارایه شده در این مقاله بصورت عمومی و کلی فقط ۶ سناریو تهدید بر مبنای ۶ شیوه‌های تهاجم مختلف به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفتند و با رویکرد تحلیل بدترین حالت ممکن فرض شده بود که هر یک از این شیوه‌های تهاجم در شدیدترین حالت ممکن و برروی کلیدی‌ترین اجزا پل و در بدترین زمان ممکن برای

اجرای عملیات انجام می‌شوند و مهاجمان نیز از بالاترین سطح مهارت برای اجرای عملیات برخوردار هستند. در حالی در تحقیقات آتی می‌توان با اضافه نمودن سایر شیوه‌های تهاجم مثلاً تهدیدات سایبری و یا زیرآب (غواصی) و ... و با در نظر گرفتن سایر سطوح مختلف شدت برای هر شیوه تهاجم، موقعیت‌های مختلف در بین اجزا پل برای اجرا عملیات (در یک اتصال مشخص یا یک ستون از بین سایر ستون‌ها)، سطوح مختلف مهارت مهاجمان، ساعات مختلف اجرای عملیات و ... طیف گسترده‌تری از سناریوهای تهدید و با جزییات بیشتری را مورد بررسی قرار داد تا مقدار احتمال موفقیت در اجرای عملیات را با دقت بیشتری در پل‌های مورد نظر تخمین نمود. همچنین جهت سهولت کاربرد این چک لیست در بازدید میدانی و انجام محاسبات می‌توان یک نسخه نرم افزاری تحت ویندوز و یا اندروید از این چک لیست که قابلیت اتصال به یک پایگاه داده را داشته باشد، تهیه نمود و بروی تبلت یا لپ‌تاپ در بازدید میدانی مورد استفاده قرار گیرد.

۸- پی‌نوشت‌ها

1.The Blue Ribbon Panel on Bridge and Tunnel Security
2.SeRoN – Security of Road Transport Networks
3.. Probability of success
4.New Jersey Department of Transportation (NJDOT) - Bureau of Research
5.US Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA)
6.Rutgers, The State University of New Jersey
7.The Federal Emergency Management Agency (FEMA)
8.Occurrence Factor (O)
9.Vulnerability Factor (V)
10.Importance Factor (I)
11.Intensity Measure (IM)
12.Scaled Distance (SD)
13.Worst-case Scenario

۹- مراجع

-جغتایی، ع.ر.، (۱۳۹۱)، " نگهداری پل‌ها بر اساس آشتو و سایر منابع "، دانشگاه صنعتی شریف.
-هوائی، غ.ر.، (۱۳۹۸)، " دستورالعمل طراحی ایمن پل‌ها: انجمن بزرگراه‌ها و حمل و نقل آمریکا (AASHTO)"، جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر.
-سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۳)، " مشخصات فنی عمومی راهداری، (نشریه شماره ۲۸۰) "، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مرکز اسناد، مدارک و انتشارات.
-سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۹۰)، "راهنمای بهسازی لرزه‌ای پل‌ها (نشریه شماره ۵۱۱)"، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مرکز اسناد، مدارک و انتشارات.
-شهرداری تهران، (۱۳۸۹)،"دستورالعمل بازرسی سطح ۱ پل‌ها (ویرایش اول)"، شورای فنی شهرداری تهران، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران.
-شهرداری تهران، (۱۳۸۹)،"دستورالعمل بازرسی سطح ۲ (چشمی) پلهای شهری (ویرایش دوم)"، شورای فنی شهرداری تهران، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران.
-شهرداری تهران، (۱۳۸۹)،"دستورالعمل بازدید پل‌ها"، شورای فنی شهرداری تهران، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران.

-Agency, U. S. F. E. M., (2009), “Handbook for Rapid Visual Screening of Buildings to Evaluate Terrorism Risks”, Federal Emergency Management Agency.
-Al Kazimi, A., & MacKenzie, C. A., (2016), “The economic costs of natural disasters, terrorist attacks, and other calamities: An analysis of economic models that quantify the losses caused by disruptions”, (Ed.), (Eds.). 2016 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS).
-Bridge, B. R. P. o., Security, T., & America, U. S. o. (2003), “Recommendations for Bridge and Tunnel Security”.
-Brown, G. G., & Cox, J., Louis Anthony, (2011), “How probabilistic risk assessment can mislead terrorism risk analysts”, Risk Analysis: An International Journal, 31(2), pp.196-204.
-Cooper, J. D., Smith, M. C., & Ernst ,S. L. blue ribbon panel recommendations for bridge and tunnel security.
-Council, N. R., (2010), “Review of the Department of Homeland Security's approach to risk analysis”, National Academies Press.
-Cox, J., Louis Anthony. (2008), “Some limitations of “Risk= Threat× Vulnerability× Consequence ” for risk analysis of terrorist attacks. Risk Analysis: An International Journal, 28(6), pp.1749-1761.
-Davis, C., Sammarco, E., & Williamson, E., (2017), “Bridge Security Design Manual.

from 1977 to 2017", Structure and Infrastructure Engineering, pp.1-18.
-Greenberg, M., Haas, C., Cox Jr, A., Lowrie, K., McComas, K., & North, W., (2012), "Ten most important accomplishments in risk analysis", 1980‐2010. Risk analysis, 32(5), pp.771.
-Guo, A., Liu, Z., Li, S., & Li, H., (2017), "Seismic performance assessment of highway bridge networks considering post-disaster traffic demand of a transportation system in emergency conditions", Structure and Infrastructure Engineering, 13(12), pp.1523-1537.
-Hinman, E., Arnold, C., Ettouney, M., Kennett, M., King, S., & Ryan, T., (2009), "Handbook for Rapid Visual Screening of Buildings to Evaluate Terrorism Risks", The Federal Emergency Management Agency (FEMA), USA.
-Issa, L., (2008), "Development of an inspection checklist for risk assessment of bridges in New Jersey", Rutgers University-Graduate School-New Brunswick.
-Jaeger, C. D., Duggan, R. A., & Paulus, W. K., (1998), "Risk analysis tools for force protection and infrastructure/asset protection".
-Kaundinya, I., Krieger, J., Mayer, G., & Rothenpieler, S., (2014), "Security of road transport networks-Identifying and assessing critical road infrastructure".
-Kbar, G., (2009), "Security risk analysis based on probability of system failure", attacks and vulnerabilities. (Ed.),^(Eds.). 2009 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications.
-Leung, M., Lambert, J. H., & Mosenthal, A., (2004),
"A risk based approach to setting priorities in protecting bridges against terrorist attacks", Risk Analysis: An International Journal, 24(4), pp.963-984.
-Li, Y., Wang, T., Song, X., & Li, G., (2016), "Optimal resource allocation for anti-terrorism in protecting overpass bridge based on AHP risk assessment model", KSCE Journal of Civil Engineering, 20(1), pp.309-322.
-Mackie, K. R., Kucukvar, M., Tatari, O., & Elgamal, A. (2016), "Sustainability metrics for performance-based seismic bridge response", Journal of Structural Engineering, 142(8), C4015001.
-Merschman, E., Doustmohammadi, M., Salman, A. M., & Anderson, M., (2020), "Postdisaster Decision Framework for Bridge
-Decò, A., Bocchini, P., & Frangopol, D. M., (2013), "A probabilistic approach for the prediction of seismic resilience of bridges", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 42(10), pp.1469-1487.
-Deng, L., Wang, W., & Yu, Y., (2016), "State-of-the-art review on the causes and mechanisms of bridge collapse", Journal of Performance of Constructed Facilities, 30(2), 04015005.
-Diaz, E. E. M., Moreno, F. N., & Mohammadi, J., (2009), "Investigation of common causes of bridge collapse in Colombia", Practice Periodical on Structural Design and Construction, 14(4), pp.194-200.
-Dong, Y., & Frangopol, D. M., (2015), "Risk and resilience assessment of bridges under mainshock and aftershocks incorporating uncertainties", Engineering Structures, 83, pp.198-208.
-Dong, Y., & Frangopol, D. M., (2016), "Probabilistic time-dependent multihazard life-cycle assessment and resilience of bridges considering climate change. Journal of Performance of Constructed Facilities, 30(5), 04016034.
-Duchaczek, A., & Skorupka, D., (2013), "Evaluation of probability of bridge damage as a result of terrorist attack. Archives of Civil Engineering", 59(2), pp.215-227.
-Duchaczek, A., & Skorupka, D., (2016), "A Risk Assessment Method of Bridge Facilities Damage in the Aspect of Potential Terrorist Attacks", Periodica Polytechnica Civil Engineering, 60(2), pp.189-198.
-Duwadi, S. R., & Chase, S. B., (2006), "Multiyear plan for bridge and tunnel security research", development, and deployment.
-Feng, Q., Cai, H., Chen, Z., Zhao, X., & Chen, Y., (2016), "Using game theory to optimize allocation of defensive resources to protect multiple chemical facilities in a city against terrorist attacks", Journal of loss prevention in the process industries, 43, pp.614-628.
-Frangopol, D. M., Sause, R., & Kusko, C. S., (2010),
"Bridge maintenance, safety, management and life-cycle optimization.", (Ed.),^(Eds.), Proceedings of the Fifth International IABMAS Conference, Philadelphia, USA.
-Garg, R. K., Chandra, S., & Kumar, A., (2020), "Analysis of bridge failures in India

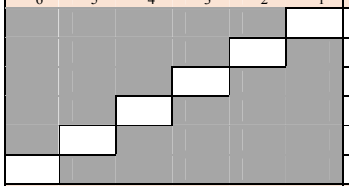
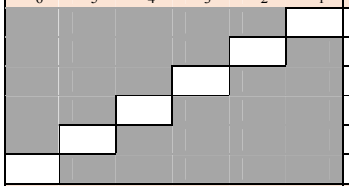
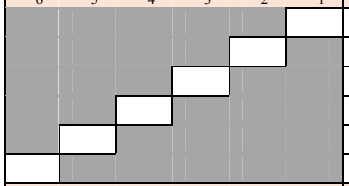
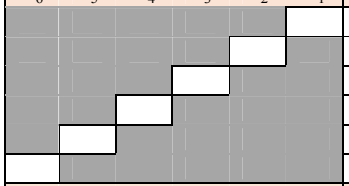
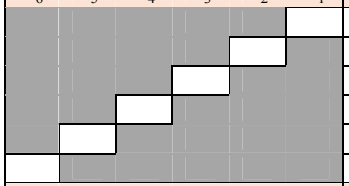
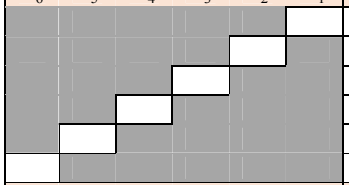
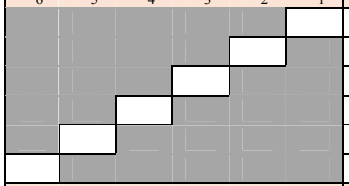
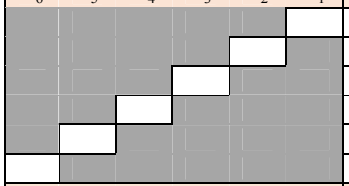
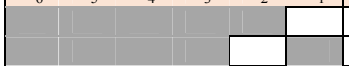
Repair Prioritization to Improve Road Network Resilience", Transportation Research Record, 0361198120908870.
-Nassif, H., Issa, L., Najm, H., & Davis, J., (2006), "Simple bridge security inspection: final report", September.
-Qeshta, I., (2019), "Fragility and resilience of bridges subjected to extreme wave-induced forces", Doctor, RMIT University, Melbourne.
-Ray, J. C., (2007), "Risk-based prioritization of terrorist threat mitigation measures on bridges", Journal of Bridge Engineering, 12(2), pp.140-146.
-Richardson, H .W., Park, J., Moore II, J. E., & Pan, Q., (2014), "National economic impact analysis of terrorist attacks and natural disasters", Edward Elgar Publishing.
-Rothenpieler, J. H. S., (2013), "Europeanising Transport Security: Policy and research recommendations for improving transport infrastructure security in Europe", Infrastructure Risk and Resilience.
-Rowshan, S., & Simonetta, R. J., (2003), "Intrusion Detection for Public Transportation Facilities Handbook".
-Rummel, T., Hyzak, M. D., & Ralls, M. L., (2002), "Transportation security activities in Texas", (Ed.),^(Eds.), Vital Links in Securing Our Mobility. International Bridge Conference. 19th Annual IBCEngineers' Society of Western Pennsylvania.
-Smith, M., Rowshan, S., Krill Jr, S., Seplow, J., & Sauntry, W., (2002), "A Guide to Highway Vulnerability Assessment for Critical Asset Identification and Protection".
-Valeo, M., Nassif, H., Issa, L., Capers Jr, H., & Ozbay, K., (2012), "Analytic hierarchy process to improve simple bridge security checklist", Transportation Research Record, 2313(1), pp.201-207.
-Valeo, M. M., (2010), "Using the Analytic Hierarchy Process to improve the Rutgers simple bridge security checklist", Rutgers University-Graduate School-New Brunswick].
-Venna, H. R., & Fricker, J. D., (2009), "Synthesis of best practices in transportation security", Vol. I: Vulnerability assessment.
-Williamson, E. B., & Winget, D. G., (2005), "Risk management and design of critical bridges for terrorist attacks", Journal of Bridge Engineering, 10(1), pp.96-106.
-Winget, D. G., Marchand, K. A., & Williamson, E. B., (2005), "Analysis and design of critical bridges subjected to blast loads", Journal of Structural Engineering, 131(8), pp.1243-1255.

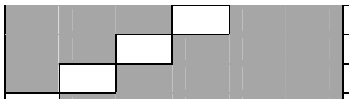
جدول مشخصات کلی پل‌های مورد بازرسی		
نام پل :		**تاریخ بازرسی :**
نوع سازه پل :	**محل احداث:**	**جنس مصالح اصلی:**
نام محور اتصالی :	**نوع کاربری :**	**کد اختصاصی به پل :**
طول پل :	**عرض پل :**	**تعداد باند رفت و برگشت :**
تعداد و اندازه دهانه‌ها:		**طول دهانه اصلی :**
نتایج حاصل از استفاده از چک لیست برای احتمال موفقیت در اجرای عملیات ($P_{suc}(\%)$) :		

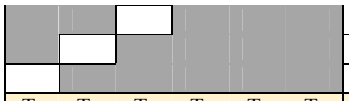
چک لیست بازرسی چشمی سریع پل‌ها برای ارزیابی ریسک‌های امنیتی –بخش اول : سوالات و معیارهای ارزیابی		
ارزیابی سطح بازدارندگی (Deter)	D_{101}	**۱. نحوه و میزان دسترسی به اطلاعات پل مانند نقشه‌ها، مشخصات فنی، داده‌های ترافیکی و...** □ (a) طبقه بندی شده و فقط در اختیار افراد محدود. □ (b) اجازه دسترسی به پرسنل فقط در محیط بایگانی سازمان. □ (c) در اختیار عموم از طریق درخواست رسمی و پس از تایید سازمان. □ (d) در دسترس عموم از طریق اینترنت.
	D_{102}	**۲. میزان دسترسی به اطلاعات تجهیزات امنیتی نصب شده در پل (مشخصات فنی، تعداد و موقعیت نصب)** □ (a) تجهیزات دارای مشخصات فنی ویژه ای بوده و تعداد و موقعیت نصب دقیق آن‌ها قابل مشاهده نیست. □ (b) تجهیزات از نوع متداول بوده اما تعداد و موقعیت نصب دقیق آن‌ها قابل مشاهده نیست. □ (c) تجهیزات دارای مشخصات فنی ویژه ای بوده، اما تعداد و موقعیت نصب دقیق آن‌ها مشخص است. □ (d) تجهیزات از نوع متداول بوده و تعداد و موقعیت نصب دقیق آن‌ها مشخص است.
	D_{103}	**۳. وضعیت شلوغی /خلوتی محل قرارگیری پل** □ (a) محیط‌های شلوغ و پرتراکم مرکزی شهر. □ (b) حاشیه شهر و یا دور از مراکز شلوغ شهری. □ (c) خارج از شهر، اما محیط پیرامون خلوت نیست .□ (d) خارج شهر و محیط پیرامون کاملاً خلوت قرار دارد.
	D_{104}	**٤. فاصله پل تا نزدیک ترین مراکز امنیتی (مثل پلیس یا ایست و بازرسی)** □ (a) کمتر از ۱ کیلومتر. □ (b) بین ۱ تا ۵ کیلومتر. □ (c) بین ۵ تا ۱۵ کیلومتر. □ (d) بیش از ۱۵ کیلومتر.
	D_{105}	**۵. دوره تناوب انجام گشت‌های بازرسی محسوس و عیان توسط پلیس** □ (a) روزانه و مداوم. □ (b) مطابق برنامه زمانی خاص (هفتگی/ ماهانه). □ (c) فقط در مواقع حساس و گزارش موارد مشکوک .□ (d) عدم انجام.
	D_{106}	**٦. قابلیت رویت (تعداد، ابعاد، جانمایی و خوانایی) علایم و تابلوهای هشدار دهنده نصب شده در محوطه اطراف پل** □ (a) تعداد کافی، ابعاد، جانمایی و خوانایی مناسب. □ (b) تعداد کافی اما ابعاد، جانمایی یا خوانایی نا مناسب . □ (c) تعداد محدود، ابعاد، جانمایی یا خوانایی نا مناسب □ (d) تابلو و علایم هشدار نصب نشده.
معیارهای ارزیابی سطح توانمندی تشخیص (Detect)	D_{201}	**۷. روشنایی پل** □ (a) روشنایی کامل (تمامی معیارها محقق شده) □ (b) روشنایی قابل قبول(بیش از ۷۰٪ معیارها محقق شده) □ (c) روشنایی ناقص (کمتر از ۷۰٪ معیارها محقق شده) □ (d) فاقد روشنایی
	D_{202}	**۸. وجود برج دیدبانی در محوطه اطراف پل** □ (a) وجود دارد و با توجه به شرایط محیطی و فاصله تا پل اشراف کامل در هر دوسمت وجود دارد. □ (b) وجود دارد ولی با توجه به شرایط محیطی در یک سمت اشراف کامل و در سمت دیگر اشراف کمی وجود دارد. □ (c) وجود دارد ولی با توجه به موقعیت نسبت به پل هر دو سمت اشراف ناکافی وجو دارد. □ (d) برج وجود ندارد.
	D_{203}	**۹. دوره تناوب حرس و نگهداری فضای سبز و درختان مزاحم دید اطراف پل** □ (a) روزانه و مداوم. □ (b) دوره ای مطابق برنامه زمابندی □ (c) موردی و فقط در زمان بروز مشکل □ (d) بطور کلی رها شده.
	D_{204}	**۱۰. نصب سنسورهای تشخیص حرکت غیر مجاز در فضای‌ها حجمی غیر قابل رویت (مثل داخل تیرهای باکسی..)** □ (a) تامین کامل (در کلیه فضاهای مورد نیاز). □ (b) قابل قبول(بیش از ۵۰٪ فضاهای مورد نیاز). □ (c) تامین ناقص (کمتر از ۵۰٪ فضاهای مورد نیاز). □ (d) در این خصوص اقدامی نشده است.
	D_{205}	**۱۱. نصب سنسور تشخیص حرکت غیر مجاز در اتصالات مهم** □ (a) تامین کامل (در کلیه اتصالات مهم). □ (b) تامین قابل قبول(بیش از ۵۰٪ اتصالات مهم). □ (c) تامین ناقص (کمتر از ۵۰٪ اتصالات مهم). □ (d) در این خصوص اقدامی نشده است.
	D_{206}	**۱۲. میزان پوشش دوربین‌هایی امنیتی نصب شده در روی پل** □ (a) پوشش کامل (کلیه نواحی روی پل). □ (b) پوشش قابل قبول(بیش از ۵۰٪ نواحی روی پل). □ (c) پوشش ناقص (کمتر از ۵۰٪ نواحی روی پل □ (d) در روی دوربین پل نصب نشده است.

	D_{207}	**۱۳. میزان پوشش دوربین‌هایی امنیتی نصب شده در زیر پل** □ (a) پوشش کامل (کلیه نواحی زیر پل). □ (b) پوشش قابل قبول(بیش از ۵۰٪ نواحی زیر پل). □ (c) پوشش ناقص (کمتر از ۵۰٪ نواحی زیر پل). □ (d) در زیر پل دوربین نصب نشده است.
	D_{208}	**۱۴. پوشش هر دو محدوده خشکی و آبی توسط دوربین‌های نصب شده در رو یا زیر پل :** □ (Y) بله □ (N) خیر
	D_{209}	**۱۵. وجود قابلیت دید در شب در دوربین‌های نصب شده در رو یا زیر پل :** □ (Y) بله □ (N) خیر
	D_{210}	**۱۶. توانایی تشخیص چهره در دوربین‌های نصب شده در رو یا زیر پل :** □ (Y) بله □ (N) خیر
	D_{211}	**۱۷. عملکرد خودکار آژیر اعلام خطر با اتصال و دریافت سیگنال از دوربین‌ها و سنسورها :** □ (Y) بله □ (N) خیر
	D_{212}	**۱۸. امکان مشاهده و کنترل از راه دور تجهیزات امنیتی در مراکز و ایستگاه خارج از محدوده پل** : □ (Y) بله □ (N) خیر
معیارهای ارزیابی سطح محدودسازی و ایجاد اجتناب (Deny)	D_{301}	**۱۹. استفاده از فنس و حصار کشی در محوطه پیرامون پل برای اجتناب از ورود آسان مهاجمان به محوطه اطراف پل** □ (a) حصار کشی کامل (تحقق تمامی معیارها) □ (b) حصار کشی قابل قبول(تحقق بیش از ۷۰٪ معیارها) □ (c) حصار کشی ناقص (تحقق کمتر از ۷۰٪ معیارها) □ (d) فاقد حصار
	D_{302}	**۲۰. میزان تدابیر امنیتی در مورد کنترل ورود و خروج پرسنل به محوطه محصور پل** □ (a) کنترل کامل (تحقق تمامی معیارها) □ (b) کنترل قابل قبول(تحقق بیش از ۷۰٪ معیارها) □ (c) کنترل ناقص (تحقق کمتر از ۷۰٪ معیارها) □ (d) فاقد کنترل
	D_{303}	**۲۱. میزان تدابیر امنیتی در مورد کنترل خودروها به محوطه محصور پل** □ (a) کنترل کامل (تحقق تمامی معیارها) □ (b) کنترل قابل قبول (تحقق بیش از ۷۰٪ معیارها) □ (c) کنترل ناقص (تحقق کمتر از ۷۰٪ معیارها) □ (d) فاقد کنترل
	D_{304}	**۲۲. آیا گردشگران در صورت تمایل مجاز به بازدید و گردش در محوطه اطراف و زیر پل هستند؟** □ (Y) بله □ (N) خیر
	D_{305}	**۲۳. آیا از فضای زیر پل به عنوان محل سکونت افراد بی سرپناه استفاده می‌شود؟** □ (N) خیر □ (Y) بله
	D_{306}	**۲۴. شرایط پارک نمودن وسایل نقلیه در زیر پل (آبی و زمینی)** □ (a) به دلیل عوارض طبیعی امکان پذیر نیست . □ (b) به دلیل عوارض طبیعی با سختی و صعوبت امکان پذیر است. □ (c) به راحتی امکان پذیر است اما قانونی نیست و در صورت پارک کردن پلیس محلی مشکوک شده و بررسی می‌کند. □ (d) به راحتی امکان پذیر است اما قانونی نیست ولی در آن منطقه امری عادی و رایج محسوب می‌شود. □ (e) امکان پارک آزادانه و بدون محدودیت (استفاده از فضای زیر پل بصورت قانونی به عنوان پارکینگ (آبی و زمینی).
	D_{307}	**۲۵. وجود شانه آسفالتی و مسیر عبور پیاده در طرفین سواره رو** □ (a) نبود پیاده رو و شانه در طرفین. □ (b) نبود پیاده رو در طرفین- شانه فقط دریک سمت. □ (c) نبود پیاده رو در طرفین- شانه در هر دوسمت. □ (d) پیاده رو فقط دریک سمت- نبود شانه در طرفین. □ (e) پیاده رو و شانه فقط دریک سمت □ (f) پیاده رو فقط دریک سمت پل شانه در طرفین. □ (g) پیاده رو در طرفین- نبود شانه در طرفین. □ (h) پیاده رو در طرفین- شانه فقط دریک سمت پل وجود دارد. □ (i) پیاده و شانه در طرفین
	D_{308}	**۲۶. تهیه استعلامات امنیتی از پرسنل پیمانکاران بکارگیری شده برای تعمیر و نگهداری و یا نصب تجهیزات امنیتی :** □ (a) ضروری برای تمام پرسنل □ (b) ضروری فقط برای پرسنل اصلی(مدیرعامل و ...) □ (c) اختیاری (در صورت عدم ارایه ممانعت نمی‌شود) □ (d) هیچگونه استعلام امنیتی انجام نمی‌شود.
معیارهای ارزیابی سطح ایجاد صعوبت و وقفه (Delay)	D_{401}	**۲۷. پیش بینی موانع فیزیکی موقت و متحرک در مبادی ورودی- خروجی و مسیرهای خاکی در محوطه پل** □ (a) پوشش کامل (نصب در کلیه مبادی) □ (b) پوشش قابل قبول (نصب در بیش از ۵۰٪ مبادی) □ (c) پوشش ناقص (نصب در کمتر از ۵۰٪ مبادی) □ (d) فاقد موانع در مبادی
	D_{402}	**۲۸. پیش بینی استفاده از موانع فیزیکی موقت و شناور در طرفین پل جهت پوشش عرضی مسیر آبی** □ (a) پوشش عرضی کامل در دو سمت □ (b) پوشش عرضی در یک سمت کامل و در یک سمت ناقص □ (c) پوشش عرضی ناقص در دو سمت. □ (d) پوشش عرضی کامل فقط در یک سمت □ (e) پوشش عرضی ناقص و فقط در یک سمت □ (f) عدم پیش بینی
	D_{403}	**۲۹. استفاده از رویکردهای خلاقانه در محوطه‌سازی پل برای ایجاد محدودیت** □ (Y) بله □ (N) خیر
	D_{404}	**۳۰. وجود اقلام متروکه مثل خودرو، قایق، سطل زباله و... در اطراف و زیر پل** □ (N) خیر □ (Y) بله
	D_{405}	**۳۱. امکان دسترسی آسان به دال و تیرهای اصلی از زیر پل** □ (N) خیر (ارتفاع زیرین بیش از ۵/۵ متر می‌باشد) □ (Y) بله (ارتفاع زیرین کمتر از ۵/۵ متر می‌باشد)
	D_{406}	**۳۲. میزان محدودیت دسترسی به اتصالات در کوله‌ها** □ (a) دسترسی به هر دو کوله بطور کامل محدود شده □ (b) دسترسی به هر دو کوله فقط در ناحیه اتصالات محدود شده □ (c) فقط دسترسی به یکی از کوله محدود شده □ (d) فاقد محدودیت
	D_{407}	**۳۳. وجود فضای خالی به اندازه کیف دستی یا کوله پشتی روی سرستون‌ها و بین نئوپرن‌ها** □ (N) خیر □ (Y) بله

چک لیست بازرسی چشمی سریع پل‌ها برای ارزیابی ریسک‌های امنیتی – بخش دوم : جدول امتیاز دهی											
ارزیابی سطح بازدارندگی (Deter)											
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**	
						0.5400	0.3510	0.1890	0.0005	
						0.1500	0.0975	0.0525	0.0002	
						0.2250	0.1463	0.0788	0.0002	**D_{101}**
						0.2550	0.1658	0.0893	0.0003	
						0.1950	0.1268	0.0683	0.0002	
						0.1350	0.0878	0.0473	0.0001	
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**	
						0.7200	0.4680	0.2520	0.0007	
						0.2000	0.1300	0.0700	0.0002	
						0.3000	0.1950	0.1050	0.0003	**D_{102}**
						0.3400	0.2210	0.1190	0.0003	
						0.2600	0.1690	0.0910	0.0003	
						0.1800	0.1170	0.0630	0.0002	
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**	
						1.2600	0.8190	0.4410	0.0013	
						0.3500	0.2275	0.1225	0.0004	
						0.5250	0.3413	0.1838	0.0005	**D_{103}**
						0.5950	0.3868	0.2083	0.0006	
						0.4550	0.2958	0.1593	0.0005	
						0.3150	0.2048	0.1103	0.0003	
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**	
						1.0800	0.7020	0.3780	0.0011	
						0.3000	0.1950	0.1050	0.0003	
						0.4500	0.2925	0.1575	0.0005	**D_{104}**
						0.5100	0.3315	0.1785	0.0005	
						0.3900	0.2535	0.1365	0.0004	
						0.2700	0.1755	0.0945	0.0003	
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**	
						2.8800	1.8720	1.0080	0.0029	
						0.8000	0.5200	0.2800	0.0008	
						1.2000	0.7800	0.4200	0.0012	**D_{105}**
						1.3600	0.8840	0.4760	0.0014	
						1.0400	0.6760	0.3640	0.0010	
						0.7200	0.4680	0.2520	0.0007	
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**	
						2.5200	1.6380	0.8820	0.0025	
						0.7000	0.4550	0.2450	0.0007	
						1.0500	0.6825	0.3675	0.0011	**D_{106}**
						1.1900	0.7735	0.4165	0.0012	
						0.9100	0.5915	0.3185	0.0009	
						0.6300	0.4095	0.2205	0.0006	
معیارهای ارزیابی سطح توانمندی تشخیص و شناسایی (Detect)											
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**	
						1.3320	0.8658	0.4662	0.0013	
						0.3700	0.2405	0.1295	0.0004	
						0.5550	0.3608	0.1943	0.0006	**D_{201}**
						0.6290	0.4089	0.2202	0.0006	
						0.4810	0.3127	0.1684	0.0005	
						0.3330	0.2165	0.1166	0.0003	
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**	
						0.5760	0.3744	0.2016	0.0006	
						0.1600	0.1040	0.0560	0.0002	
						0.2400	0.1560	0.0840	0.0002	**D_{202}**
						0.2720	0.1768	0.0952	0.0003	
						0.2080	0.1352	0.0728	0.0002	
						0.1440	0.0936	0.0504	0.0001	

T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	d	c	b	a	
	0.7326	0.4762	0.2564	0.0007	D_{203}
	0.1480	0.0962	0.0518	0.0001	
	0.3053	0.1984	0.1068	0.0003	
	0.3460	0.2249	0.1211	0.0003	
	0.1924	0.1251	0.0673	0.0002	
	0.1832	0.1190	0.0641	0.0002	
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	d	c	b	a	
	0.1440	0.0936	0.0504	0.0001	D_{204}
	0.0400	0.0260	0.0140	0.0000	
	1.5000	0.9750	0.5250	0.0015	
	0.0680	0.0442	0.0238	0.0001	
	0.0520	0.0338	0.0182	0.0001	
	0.0360	0.0234	0.0126	0.0000	
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	d	c	b	a	
	0.1584	0.1030	0.0554	0.0002	D_{205}
	0.0440	0.0286	0.0154	0.0000	
	1.6500	1.0725	0.5775	0.0017	
	0.0748	0.0486	0.0262	0.0001	
	0.0572	0.0372	0.0200	0.0001	
	0.0396	0.0257	0.0139	0.0000	
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	d	c	b	a	
	1.2960	0.8424	0.4536	0.0013	D_{206}
	0.3600	0.2340	0.1260	0.0004	
	0.5400	0.3510	0.1890	0.0005	
	0.6120	0.3978	0.2142	0.0006	
	0.4680	0.3042	0.1638	0.0005	
	0.3240	0.2106	0.1134	0.0003	
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	d	c	b	a	
	1.4760	0.9594	0.5166	0.0015	D_{207}
	0.4100	0.2665	0.1435	0.0004	
	0.6150	0.3998	0.2153	0.0006	
	0.6970	0.4531	0.2440	0.0007	
	0.5330	0.3465	0.1866	0.0005	
	0.3690	0.2399	0.1292	0.0004	
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	N		Y		
	0.5400		0.0005		D_{208}
	0.1500		0.0002		
	0.2250		0.0002		
	0.2550		0.0003		
	0.1950		0.0002		
	0.1350		0.0001		
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	N		Y		
	0.3600		0.0004		D_{209}
	0.1000		0.0001		
	0.1500		0.0002		
	0.1700		0.0002		
	0.1300		0.0001		
	0.0900		0.0001		
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	N		Y		
	0.3240		0.0003		D_{210}
	0.0900		0.0001		
	0.1350		0.0001		
	0.1530		0.0002		
	0.1170		0.0001		
	0.0810		0.0001		
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	N		Y		
	0.4500		0.0005		D_{211}
	0.1250		0.0001		

						0.1875		0.0002			
						0.2125		0.0002			
						0.1625		0.0002			
						0.1125		0.0001			
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**N**		**Y**			D_{212}
						0.4680		0.0005			
						0.1300		0.0001			
						0.1950		0.0002			
						0.2210		0.0002			
						0.1690		0.0002			
						0.1170		0.0001			
معیارهای ارزیابی سطح محدودسازی و ایجاد اجتناب (Deny)											
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**		D_{301}
						0.6660	0.4329	0.2331	0.0007		
						0.1850	0.1203	0.0648	0.0002		
						1.1100	0.7215	0.3885	0.0011		
						0.3145	0.2044	0.1101	0.0003		
						0.2405	0.1563	0.0842	0.0002		
						0.6660	0.4329	0.2331	0.0007		
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**		D_{302}
						0.5670	0.3686	0.1985	0.0006		
						0.1575	0.1024	0.0551	0.0002		
						0.9450	0.6143	0.3308	0.0009		
						0.2678	0.1740	0.0937	0.0003		
						0.2048	0.1331	0.0717	0.0002		
						0.5670	0.3686	0.1985	0.0006		
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**d**	**c**	**b**	**a**		D_{303}
						1.2780	0.8307	0.4473	0.0013		
						0.3550	0.2308	0.1243	0.0004		
						0.5325	0.3461	0.1864	0.0005		
						0.6035	0.3923	0.2112	0.0006		
						0.4615	0.3000	0.1615	0.0005		
						0.3195	0.2077	0.1118	0.0003		
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**N**		**Y**			D_{304}
						1.1520		0.0012			
						0.3200		0.0003			
						0.4800		0.0005			
						0.5440		0.0005			
						0.4160		0.0004			
						0.2880		0.0003			
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**Y**		**N**			D_{305}
						0.2016		0.0002			
						0.0560		0.0001			
						1.2600		0.0013			
						0.0952		0.0001			
						0.0728		0.0001			
						0.5544		0.0006			
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**e**	**d**	**c**	**b**	**a**	D_{306}
						1.6416	1.2312	0.8208	0.4104	0.0016	
						0.4560	0.3420	0.2280	0.1140	0.0005	
						0.1140	0.0855	0.0570	0.0285	0.0001	
						0.7106	0.5330	0.3553	0.1777	0.0007	
						0.5434	0.4076	0.2717	0.1359	0.0005	
						0.4104	0.3078	0.2052	0.1026	0.0004	
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**e**	**d**	**c**	**b**	**a**	D_{307}
						0.8892	0.4446	0.8892	0.4446	0.0018	
						0.0130	0.0065	0.0130	0.0065	0.0000	
						0.0195	0.0098	0.0195	0.0098	0.0000	

	0.4199	0.2100	0.4199	0.2100	0.0008	
	0.0169	0.0085	0.0169	0.0085	0.0000	
	0.2223	0.1112	0.2223	0.1112	0.0004	
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	**i**	**h**	**g**	**f**		
	1.7784	1.3338	0.8892	1.3338		
	0.0260	0.0195	0.0130	0.0195		
	0.0390	0.0293	0.0195	0.0293		
	0.8398	0.6299	0.4199	0.6299		
	0.0338	0.0254	0.0169	0.0254		
	0.4446	0.3335	0.2223	0.3335		
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	**d**	**c**	**b**	**a**		
	0.3960	0.2574	0.1386	0.0004		
	0.1100	0.0715	0.0385	0.0001		
	0.6600	0.4290	0.2310	0.0007		**D_{308}**
	0.1870	0.1216	0.0655	0.0002		
	0.1430	0.0930	0.0501	0.0001		
	0.3960	0.2574	0.1386	0.0004		
ارزیابی سطح توانمندی ایجاد صعوبت و وقفه (Delay)						
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	**d**	**c**	**b**	**a**		
	2.3256	1.5116	0.8140	0.0023		
	0.0380	0.0247	0.0133	0.0000		
	0.3990	0.2594	0.1397	0.0004		**D_{401}**
	1.0982	0.7138	0.3844	0.0011		
	0.0494	0.0321	0.0173	0.0000		
	0.5814	0.3779	0.2035	0.0006		
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	**f**	**e**	**d**	**c**	**b**	**a**	
	0.1260	0.1071	0.0756	0.0567	0.0252	0.0001	
	0.9800	0.8330	0.5880	0.4410	0.1960	0.0010	
	0.0525	0.0446	0.0315	0.0236	0.0105	0.0001	**D_{402}**
	0.0595	0.0506	0.0357	0.0268	0.0119	0.0001	
	1.2740	1.0829	0.7644	0.5733	0.2548	0.0013	
	0.0315	0.0268	0.0189	0.0142	0.0063	0.0000	
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	N		Y			
	1.4076		0.0014			
	0.0230		0.0000			
	0.2415		0.0002			**D_{403}**
	0.6647		0.0007			
	0.0299		0.0000			
	0.3519		0.0004			
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	Y		N			
	0.1440		0.0001			
	0.0400		0.0000			
	1.9200		0.0019			**D_{404}**
	0.0680		0.0001			
	0.0520		0.0001			
	0.8640		0.0009			
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	**Y**		**N**			
	0.1476		0.0001			
	0.0410		0.0000			
	1.9680		0.0019			**D_{405}**
	0.0697		0.0001			
	0.0533		0.0001			
	0.8856		0.0009			
T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1	**d**	**c**	**b**	**a**		
	0.1296	0.0842	0.0454	0.0001		
	0.0360	0.0234	0.0126	0.0000		
	2.9700	1.9305	1.0395	0.0030		**D_{406}**
	0.0612	0.0398	0.0214	0.0001		
	0.0468	0.0304	0.0164	0.0000		

						0.0324	0.0211	0.0113	0.0000		
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	**Y**		**N**			
						0.1332		0.0001			
						0.0370		0.0000			
						3.0525		0.0031		**D_{407}**	
						0.0629		0.0001			
						0.0481		0.0000			
						0.0333		0.0000			

S_6	S_5	S_4	S_3	S_2	S_1	
						جمع کل امتیازات نسبی هریک از تهدیدات مختلف ($S_j = \sum_{D_i=1}^{33} T_j(D_i)$)
						جمع کل امتیازات احتمال موفقیت مهاجمان در اجرای عملیات ($ST = \sum_{j=1}^{6} S_j$)
						احتمال موفقیت در اجرای عملیات ($P_{suc}(\%) = \frac{ST}{100}$)

Developing a Checklist for Rapid Visual Screening of Bridges to Evaluate Security Risks

Mehdi Dezfuli nezhad, Ph.D., Student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Reza Raoufi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Ahmad Dalvand, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

E_mail: r_raoufi@iauahvaz.ac.ir

Received: August 2021-Accepted: February 2022

ABSTRACT

So far, several studies have been conducted to provide various bridge inspection checklists for different applications. However, many of these checklists focus on seismic vulnerability assessment or the identification of various types of bridge defects and cannot be used to assess security risks. The purpose of this paper is to try to develop a checklist for rapid visual screening of bridges to evaluate security risks. In preparing this checklist, we have tried to express the questions in a simple and clear way so that the inspectors with general information about the bridges and without performing destructive or non-destructive tests can easily calculate the probability of successful attack (Psuc) that is used to assess the vulnerability of the bridges. The checklist of this article is prepared in three sections: (1) questions, (2) scoring table, and (3) visual guide. The questions section examines the level of security of bridges from the perspective of criteria related to (D1: Deter), (D2: Detect), (D3: Deny), and (D4: Delay) countermeasures. This checklist examines 6 common security threat scenarios on bridges, including (1,2) Vehicleborne improvised explosive device (VBIED), land borne and waterborne, (3) Hand-emplaced IED (HEIED), (4,5) Vehicular impact (VI), land borne and waterborne, and (6) Fire. The checklist provided can be used to assess the security of common types of bridges with the use of road transport both inside and outside urban environments crossing a valley or river.

Keywords: Bridge Security, Checklist, Man-Made Threats, Risk Assessment, Visual Screening