Archive

مروری بر روش های تعمیر و نگهداری پل ها

بابک طلوع آذر[۱] ، نرگس مقدسی[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی راه-ترابری ، دانشگاه پیام نور مرکز بین المللی عسلویه ، ایران

[۲] استادیار ،گروه مهندسی عمران ، دانشگاه پیام نور ، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ ، تهران ، ایران

چکیده

در این مقاله مروری بر روش های تعمیر و نگهداری پل‌ها و تحقیقات انجام شده در این زمینه ارایه شده است. وجود پل‌ها یکی از مهم‌ترین دستاوردهای بشر به منظور کاهش هزینه‌های گزاف در عبور از موانع طبیعی مانند دره‌ها، رودخانه‌ها، دریاها و ... بوده است. نکته قابل توجه در این زمینه توجه کافی به فرآیند تعمیرات و نگهداری این سازه‌ها به دلیل استفاده مکرر و شرایط خاص ایجاد شده آن‌ها می‌باشد. بررسی بنیادی پژوهش‌ها حاکی از آن است که امروزه با توجه به نوع آسیب به وجود آمده، محیط ساخت، شرایط بهره‌برداری، بارهای وارده و ... فرآیند ساخت به نوعی صورت می‌گیرد که حداقل میزان لازم جهت هزینه‌های تعمیرات صرف شده و همچنین در صورت بروز مشکل، رویکرد اصلاحی با استفاده از روش‌های نوین و تجهیزات قابل اعتماد صورت می‌گیرد. بدین‌ترتیب علاوه بر افزایش عمر سازه، امکان برخورداری از شرایط مساعد در طی سال‌های آتی نیز فراهم می‌گردد.

کلمات کلیدی: پل، تعمیرات و نگهداری، خرابی و ازکارافتادگی، بهره برداری، الگوریتم

۱-مقدمه

ایجاد گذرگاه‌ها و پل‌ها به منظور عبور از دره‌ها و رودخانه‌ها از قدیمی‌ترین فعالیت‌های بشر است. پل‌های قدیمی معمولا از مصالح موجود در طبیعت مثل چوب، سنگ و الیفا گیاهی به صورت معلق یا با تیرهای حمال ساخته شده‌اند. پل‌ها از مهم‌ترین سازه‌های آبی هستند که به دلیل قرار داشتن در یک شبکه ارتباطی، همواره مورد توجه خاص مهندسین بوده‌اند. پل‌ها به دلیل واقع شدن در یک محیط آبی دینامیک و در زیر یک محیط ترافیکی دینامیک از آسیب‌پذیری زیادی برخوردار می‌باشند [۱] . مدیریت پل راهکاری برای بهینه‌سازی استفاده از منابع موجود جهت بازرسی، نگهداری و تعمیر پل‌ها است. به عبارت دیگر، مدیریت پل ابزاری است که به وسیله آن از لحظه تصمیم گیری تا انتهای عمر مفید آن مراقبت می‌گردد. متاسفانه بسیاری از

www.SID.ir

Archive

برنامه‌ریزان و مجریان پل در سرتاسر جهان در حالی که نیاز به بررسی و نگهداری منظم پل‌ها در طول عمر مفیدشان را تصدیق می‌کنند، ولی متاسفانه در بسیاری از موارد سیاست نگهداری عکس‌العملی را در پیش می‌گیرند که تنها وقوع یک حادثه اجتناب‌ناپذیر را به تعویق می‌اندازد [۲]. در پل‌های شهری با توجه به اینکه ترافیک شهری عامل بسیار مهم و حیاتی برای پل‌های شهری می‌باشد، سیکل‌های متناوب بارگذاری زنده، شدت بالای بارهای مرده و تاثیر آن‌ها در درازمدت و میزان بارگذاری در ساعات مختلف شبانه‌روز از جمله عواملی هستند که بحث ترافیک را به موضوعی تعیین‌کننده تبدیل نموده است. امروزه در کشورهای مختلف دنیا بخش عظیمی از بودجه صرف تعمیر و نگهداری پل‌های سواره رو می‌گردد [۳].

۲-تاریخچه

از قرن یازدهم به بعد روش‌های ساختن پل‌ها پیشرفت قابل توجهی نمود و به تدریج استفاده از دستگاه‌های فشاری (پل‌های طاقی و ...) از مصالح سنگی و آجر با ملات‌های مختلف و دستگاه‌های خمشی از چوب متداول گردیده و تا اوایل قرن بیستم نیز ادامه یافت. شروع قرن بیستم همراه با استفاده وسیع از پل‌های فلزی و سپس پل‌های بتن مسلح می‌باشد. در سال ۱۷۷۹ (قرن هجدهم) اولین پل فلزی با دهانه ۳۰٫۵ متر از چدن و به شکل قوسی ساخته شد. با توجه به شکنندگی و مقاومت کششی ضعیف چدن از اوایل قرن نوزدهم ساخت پل‌های معلق، قوسی یا با تیر حمال آغاز شد. اولین پل معلق از آهن در سال ۱۷۹۶ با دهانه ۲۱ متر در آمریکا ساخته شد. همچنین در سال ۱۸۵۰ یکی از مهم‌ترین پل‌های با تیر حمال از جنس آهن متشکل از دو دهانه ۱۴۰ متری و دو دهانه ۷۰ متری در انگلستان ساخته شد. در سال ۱۸۶۸ با تهیه فولاد، اولین پل ساخته شده از این مصالح با دهانه ۱۵۹ متر به صورت قوسی بر روی رودخانه می‌سی‌سی‌پی ساخته شد. همچنین نخستین پل معلق فولادی به نام بروکلین و با دهانه ۴۸۷ متر در آمریکا ساخته شده است (۴). شناخت و استفاده از سیمان طبیعی در اجرای ساختمان‌ها و ابنیه فنی از اواخر قرن نوزدهم و با توجه به مطالعات ویکا پیشرفت نمود. همچنین ساخت سیمان پرتلند مصنوعی از سال ۱۸۵۰ شروع و تا اواخر قرن نوزدهم نیز پیشرفت زیادی نمود. در سال ۱۸۴۹ برای اولین بار قطعاتی از ملات سیمان که در ان میله‌های آهنی قرار گرفته اولین پل بتن‌مسلح با دهانه ساخته و سپس در سال متر در انگلستان ساخته شد. از سال ۱۹۰۶ ساخت پل‌های بتن‌مسلح قوسی، صفحه‌ای، با تیرهای حمال، جعبه‌ای و قابی‌شکل گسترش یافته است (۵). نظر به اینکه استفاده از بتن‌مسلح برای دهانه‌های بزرگ (بیش از ۳۰ متر) با توجه به نیروهای مهم کششی ایجاد شده و در

www.SID.ir

Archive

نتیجه ترک خوردن مقاطع و ایجاد وزن مرده زیاد غیرممکن به نظر می‌رسد در اوایل قرن بیستم مطالعات زیادی برای حذف ترک‌خوردگی بتن آغاز شد. در ابتدا ایده ایجاد یک فشار مصنوعی قبلی در مقاطع بتن مسلح، با استفاده از فولادهای معمولی عرضه شد که با توجه به عدم امکان اعمال نیروهای کششی مهم به فولادهای معمولی و تغییرشکل‌های ناشی از انقباض و خزش بتن (که منجر به از بین رفتن کشش فولادها می‌گردید) مفید واقع نگردید. تا اینکه در سال ۱۹۳۰ مهندس فرانسوی به نام فریسینه بعد از مطالعات و بررسی‌های وسیع ایده استفاده از بتن پیش‌تنیده ساخته شده از مصالح با کیفیت مرغوب را عرضه نمود. اولین پل مهم از جنس پیش‌تنیده در سال ۱۹۴۶ و با دهانه ۵۵ متر با مقطع متشکل از تیرهای حمال در فرانسه ساخته شد که با گسترش استفاده از این تکنیک، هم‌اکنون حدود ۸۵ درصد از پل‌های بزرگ و متوسط در اروپا از بتن پیش-تنیده ساخته می‌شوند (۱).

۳-طبقه‌بندی پل‌ها

قسمت فوقانی پل تابلیه، کفه یا عرشه نامیده می‌شود که مصالح روسازی، پیاده‌رو، نرده‌ها روی آن قرار می‌گیرند. تابلیه با واسطه صفحات تکیه‌گاهی روی پایه‌ها قرار می‌گیرد که پایه‌ها نیز به نوبه خود به وسیله سیستم شالوده (پی‌های سطحی و عمیق) روی زمین تکیه می‌نمایند. پل‌ها را می توان از دیدگاه‌های مختلف مانند مصالح تشکیل‌دهنده، سیستم مقاومت مصالح، نوع مقاطع باربر، کاربرد آینده و فرم تقاطع با معبر تقسیم می‌شوند که در جدول ۱ به صورت خلاصه ارائه شده‌اند.

www.SID.ir

Archive

جدول ۱ طبقه‌بندی انواع مختلف پل‌ها

ردیف	مبنای طبقه‌بندی	حالات مختلف	شرح
۱	مصالح تشکیل-دهنده	چوبی	در موارد موقتی و به صورت قوسی، مشبک، تیرهای حمال و ... ساخته می‌شوند
		سنگی	به دلیل مقاومت فشاری سنگ‌ها عموما به صورت طاقی بوده و امروزه کمتر ساخته می‌شوند
		بتنی	به دلیل مقاومت فشاری مطلوب جایگزین سنگ در پل‌های طاقی‌شکل گردیده است
		بتن‌مسلح	به دلیل روش اجرا، قابلیت استفاده در انواع مقاطع و اشکال دلخواه را دارا می‌باشد
		پیش‌تنیده	به دلیل صرف هزینه کمتر امروزه جایگزین پل‌های فلزی و بتن‌مسلح شده‌اند
		فلزی	به صورت تیرهای حمال معمولی، تیرهای مشبک و ... با ورق و المان-های اتصالی ساخته می‌شوند.
۲	سیستم مقاومت مصالح	دهانه ساده	به صورت ایزواستاتیک (روی دو تکیه‌گاه ساده) و در دهانه‌های ۳۰ تا ۸۰ متری حسب جنس مصالح ساخته می‌شوند
		یکسره (سراسری)	به صورت هیپراستاتیک (روی تکیه‌گاه‌های متعدد) و در معابر طولانی بکار می‌روند
		طره‌ای (کانتیلور)	با ایجاد مفاصل متعدد در طول دهانه‌ها به صورت سیستم ایزواستاتیک تبدیل می‌شوند
		قوسی	به دلیل برانش افقی ایجاد شده در خاک، در مکان‌های با زمین مناسب ساخته می‌شوند
		قابی‌شکل	مشابه پل‌های قوسی بوده و با توسعه پیش‌تنیدگی توسعه بیشتری یافته‌اند
		ترکه‌ای و معلق	دارای تابلیه فلزی، پیش‌تنیده و .. بوده و بار وارده توسط کابل‌های اصلی و فرعی به زمین منتقل می‌شوند
۳	نوع کاربرد	راه‌آهن	دارای عرض متناسب با تعداد خطوط راه‌آهن ساخته می‌شوند
		متحرک	بر روی رودخانه‌هایی که امکان عبور کشتی‌های بلند را دارند ساخته می‌شوند
		جاده‌ای	در معابر جاده‌ای در نواحی تقاطع جاده با رودخانه ایجاد می‌شوند
		پیاده‌رو	در نواحی شهری و بین‌شهری به منظور عبور عابر پیاده از عرض معابر احداث می‌شود
۴	نوع تیرهای حمال	مقاطع جعبه‌ای	از جنس بتن‌مسلح، فلزی و ... بوده و شامل یک یا چند جعبه می‌باشند
		مقاطع مشبک	به منظور کاهش وزن مصالح مورد استفاده از این نوع تیرها استفاده

www.SID.ir

Archive

ردیف	مبنای طبقه‌بندی	حالات مختلف	شرح
			می‌شود
		مقاطع با تیرهای حمال I و T شکل	در انواع مختلف پل‌ها استفاده می‌شود
		مقاطع صفحه‌ای توپر یا توخالی	در انواع مختلف پل‌ها استفاده می‌شود
		مقاطع با ارتفاع ثابت یا متغیر	در انواع مختلف پل‌ها استفاده می‌شود
۵	دوره استفاده	موقتی	پل‌های چوبی یا الیافی یا پل‌های با کاربرد خاص (نظامی و ...) در دوره‌ای کوتاه احداث می‌شوند
		دائمی	با توجه به دوره طرح برای یک دوره طولانی (صدساله) ساخته می‌شوند

۴-تعمیر و نگهداری پل‌ها

در بین زیرساخت‌های مختلف احداث شده در معابر، پل‌ها نقش مهمی در برقراری ارتباطات داشته و یکی از مهم‌ترین شاهرگ‌های ترافیکی به ویژه در کلانشهرها می‌باشند. به سهولت می‌توان دریافت که خرابی شدید سازه‌ای و یا تخریب یک پل به خصوص پل‌های بزرگراهی، چه آثار زیان‌باری برای مدیریت کلان شهری در پی خواهد داشت. همچنین با توجه به ترافیک در معابر شهری، در صورت بروز چنین مشکلاتی امکان انجام عملیات مناسب تعمیراتی، بسیار سخت و محدود می‌گردد. از سوی دیگر، سرمایه‌گذاری اولیه برای ساختن آن‌ها بسیار زیاد است، اما در صورتی که ظرفیت تحمل بار آن‌ها کاهش یافته و یا این پل‌ها فرو بریزند، هزینه لازم برای بازسازی آن‌ها به مراتب بیش از هزینه ساخت خواهد بود (۷). پتروسکی اعلام می‌دارد که پل‌ها نیز مانند انسان‌ها وقتی به ضرورت سلامتی آن‌ها پی برده می‌شود که از دست رفته باشند (۸). بنابراین اتخاذ رویکرد مناسب جهت ارائه شرایط مناسب به منظور اتخاذ تدابیر تعمیر و نگهداری پل‌ها قابل توجه خواهد بود.

به طور کلی انواع روش‌های نگهداری و تعمیر پل‌ها در قالب چهار دسته طبقه بندی می‌شوند:

- بر اساس خرابی یا ازکارافتادگی
- برنامه‌ریزی شده یا پیش‌گیرانه
- برنامه‌ریزی پیش‌گویانه
- برنامه‌ریزی پیش از نیاز

www.SID.ir

همچنین سه رویکرد کلی به منظور تعمیر و نگهداری یک پل در نظر گرفته می‌شود که شامل ۱) نگهداری بر اساس شرایط ۲) نگهداری بر اساس قابلیت اعتماد متوسط ۳) نگهداری فنی یا بهره‌وری کامل می‌باشند(۹).

نگهداری بر اساس خرابی یا ازکارافتادگی را نمی‌توان به عنوان روش نگهداری قلمداد نمود زیرا در این حالت سیستم تا زمان از کارافتادگی کامل به فعالیت پرداخته و زمانی فعالیت آن متوقف می‌شود که مسئله‌ای در سیستم یا سازه موجب انهدام و خرابی مجموعه شد. این نوع از شیوه‌های نگهداری دارای مزایا و معایبی به شرح زیر می‌باشد:

- انهدام وخرابی سیستم به صورت ناگهانی رخ می‌دهد که در نتیجه آن نمی‌توان اشخاص، تجهیزات، امکانات و ابزار مناسب برای تعمیر مجموعه را در زمان مناسب و در محل مناسب و مورد نیاز در اختیار داشت.
- هزینه تعمیرات در این شرایط نسبت به حالتی که مشکلات زودتر شناخته شده و به موقع برطرف می‌شوند، بیشتر است. برخی از خرابی‌ها ممکن است عواقب فاجعه‌آمیزی در بر داشته باشند. به طوری که متصدی نگهداری مجبور به تعویض و یا جابجایی کل سیستم و یا سازه شود. تخمین زده می‌شود که به طور میانگین، هزینه تعمیرات پس از تخریب تقریبا سه برابر هزینه تعمیرات پیش از وقوع خرابی می‌باشد.

لازم به ذکر است که در اثر وقوع خرابی‌های فاجعه‌آمیز، ممکن است نیروهای انسانی جان خود را از دست داده و همچنین هزینه‌های ناشی از توقف فعالیت سیستم و یا سازه نیز بر خسارات محاسبه شده اضافه می شود.

در مقایسه با نگهداری پس از وقوع خرابی، نگهداری برنامه‌ریزی شده یا پیشگیرانه امکان بازرسی و ترمیم اجزای آسیب‌دیده را فراهم می‌آورد. علاوه بر مزیت‌هایی که پیشتر بیان گردید، از مهم‌ترین مزایای این نوع نگهداری و تعمیر از کارافتادگی برنامه-ریزی شده برای سیستم و یا سازه است، به نحوی که می‌توان زمان مشخصی را برای از کار افتادن سیستم مشخص نمود. از معایب این روش می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تعویض اجزای بحرانی سیستم می‌تواند زمان‌بر و پرهزینه باشد
- تعیین زمان و فاصله‌های زمانی بین تعمیرات کار مشکلی است، بنحوی که اگر این نوع نگهداری موفقیت‌آمیز باشد بیان‌گر آن است که فاصله زمانی بین تعویضات و تعمیرات بسیار کم بوده ، پس هزینه بالایی به همراه داشته است و اگر این فاصله زمانی زیاد باشد، مجددا خرابی‌های پرهزینه به وقوع خواهد پیوست.

www.SID.ir

Archive

برنامه ریزی مربوط به نگهداری پیشگیرانه وابسته به نوع سازه و یا سیستم عمرانی متفاوت بوده و می‌تواند مشخصات خاص خود را داشته باشد. به عنوان مثال، در سیستم خطوط راه‌آهن می‌توان به تعویض زمان‌بندی شده پابندها و تراورس‌ها اشاره نمود.

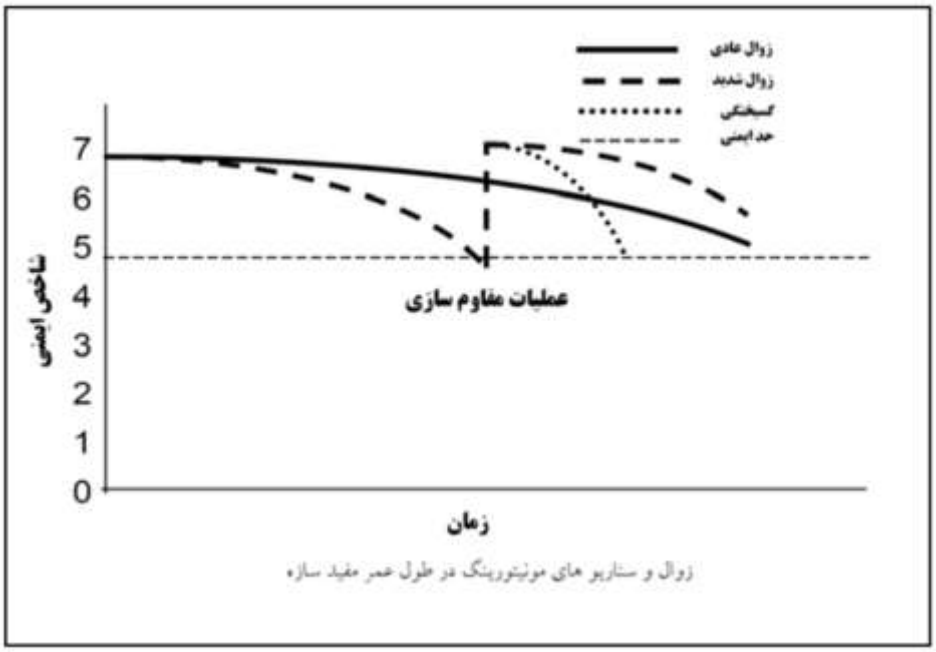
نگهداری پیش‌گویانه شامل انالیز و تجزیه و تحلیل رفتار سیستم و اجزای آن است، بر این اساس تعیین و تشخیص امکان خرابی قبل از ظهور و بروز آن انجام می‌گیرد. چنانچه شناسایی نقص و عیب، به موقع و در حالتی که عیب‌ها بسیار محدود باشند، انجام می‌شود و اگر نوع نقص طوری باشند که بتوان هم‌زمان با فعالیت سازه یا سیستم آن را شناخت. از جمله مزایای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- توقف کار سیستم برای رفع عیب و تعمیر آن می‌تواند برای زمان مناسبی برنامه‌ریزی شود.
- برنامه کاری برای پرسنل نگهداری، ابزار و تجهیزات مورد نیاز را می‌توان قبل از توقف کار سیستم تهیه و تدوین نمود.
- می‌توان از بروز خطرات شدید ناشی از خرابی‌های پرفشار و ناگهانی جلوگیری نمود.
- می‌توان زمان تعمیرات را کاهش داده و در نتیجه‌ی آن، زمان توقف بهره‌برداری از سیستم به حداقل ممکن می‌رسد
- از روش‌های آزمون و خطای پرهزینه به منظور حل مشکلات می‌توان با تحلیل ماهیت مسائل و عیوب جلوگیری به عمل آورد. سیستم می تواند در شرایط بهره‌برداری مناسب و بدون بروز مشکلات شدید به فعالیت خود ادامه دهد.

به طور کلی روند زوال و تخریب پل‌ها در طی دوره طرح آن به صورت شکل ۱ در نظر گرفته می‌شود. همچنین انواع نقایصی که در پل‌ها رخ داده و ضرورت اعمال روش‌های مختلف تعمیرات و نگهداری در آن‌ها ضروری می‌باشد مشخص شده است.

www.SID.ir

Archive



شکل ۱ روند زوال و رفتار سازه‌های پل در طی دوره طرح بهره‌برداری {۱۱}

جدول ۲ انواع روش‌های تعمیرات و نگهداری برحسب نوع نقایص {۱۱}

نوع نقص	حالات روش تعمیر و نکهداری	شرح
پوسته‌شدگی	۱	از یک لایه نازک ملات وصله‌ی اپوکسی برای آب‌بندی ناحیه و جلوگیری از نفوذ آب به فولاد تقویتی می‌توان استفاده کرد
	۲	از سیمان‌های خاص زودگیر و بتن پرسیمان با اسلامپ کم استفاده می‌شود.
قلوه‌کن شدن	۱	از هر دو ماده‌ی سیمان پرتلند با گیرش کنترل شده و بتن با ضریب سیمان بالا، تحت شرایط کنترل شده‌ی اختلاط و استانداردهای بتن‌ریزی استفاده نمود.
	۲	روش روکش کردن از دو راه بکار برده می‌شود ۱) چسباندن ملات یا بتن صلب سیمان پرتلند با نسبت پایین آب به سیمان و حداکثر ۲,۵ سانتی‌متر اسلامپ ۲) چسباندن ملات با بتن سیمان پرتلند که لاتکس مایع هم به آن افزوده شده است

www.SID.ir

Archive

	۳	روش تعویض راه دیگر تصحیح، برداشتن و تعویض تمام روکش خواهد بود.
ترک‌خوردگی	۱	تزریق اپوکسی
	۲	تزریق پلیمر
	۳	می‌توان بتن را به اندازه‌ی کافی برداشت تا عمق آزاد بیشتری فراهم شود و وصله-ای با عمق بیشتر با استفاده از بتن اصلاح شده با لاتکس که دارای مقاومت اولیه بالا، مقاومت خستگی و دوام زیاد می‌باشد، اجرا نمود.
فرسودگی سطح	۱	تمیزکردن ترک‌ها و پرکردن آن‌ها با امولسیون دوغاب یا مخلوطی از آسفالت مایع و ماسه
	۲	برداشتن سطوح ناسالم به صورت مقطع مربعی یا مستطیلی از رویه تا عرضه و پرکردن آن با آسفالت داغ
	۳	برداشتن تمامی سطوح از رویه تا عرضه و ریختن آسفالت و فشردن آن با غلتک
خرابی سیستم زهکشی	۱	تمیزکردن سیستم تخلیه آب عرشه با استفاده از فشار آب یا میله‌ی گمانه‌زنی
	۲	تعویض سیستم‌های زهکشی که آسیب‌دیده‌اند و یا کوتاه هستند
آسیب نرده	۱	تعمیر نرده‌های فولادی با صافکاری، جوش قطعات و سپس رنگ آمیزی و گالوانیزه کردن آن
	۲	تعویض نرده‌های آسیب‌دیده با نرده‌های جدید
خرابی درز انبساط	۱	شستشوی درز و تمیز کردن آن از آشغال و نخاله
	۲	پیچ و پرچ‌های شل درز با دوباره تنظیم شده و بتن خراب شده عرشه در محل درز با مخلوط بتن کم انقباض تعویض می‌گردد
	۳	درز دوباره ساخته شود (یعنی بتن کهنه برداشته شده و تسمه‌های اضافی و یا جدید در محل جوش شوند)
فرسایش پی	۱	در صورتی که پی در آب قرار داشته باشد بایستی به وسیله‌ی کانال انحراف یا فرازبند موقت آب را از محل کار دور کرد، سپس بتن ناسالم تا رسیدن به بتن

www.SID.ir

Archive

		سالم برداشته شود و اگر نصب مهارها و میله‌های تقویتی لازم است، آن‌ها نصب شوند و سپس قالب بر اساس اندازه‌های طرح اصلی پی تهیه شود، در نهایت بتن جدید دارای طرح اختلاط خوب قوی با اسلامپ کم در قالب ریخته شود.
	۲	می‌توان تعمیرات فوق‌الذکر را با استفاده از روش شاتکریت انجام داد
جابجایی یا آسیب تکیه‌گاه	۱	تعویض مصالح تجزیه شده در نزدیکی تکیه‌گاه
	۲	علاوه بر تعویض مصالح خراب، تکیه‌گاه تنظیم و قسمتی از تیز و تکیه‌گاه تقویت شود
	۳	تعویض تکیه‌گاه که این امر نیز نیاز به تکیه‌گاه موقتی مناسب دارد
	۴	تعویض تکیه‌گاه و تقویت قسمتی از تیر

در شکل ۲ نمونه ای از شمایی از وقوع آبشستگی در اطراف پایه پل نشان داده شده است. یکی از معضلات و خرابی پل ها تخریب در اثر وقوع پدیده ی آبشستگی است که سالانه هزینه های زیادی برای رفع مشکلات ناشی از اثر جریان بر پایه های پل صرف می شود. برای کاهش اثر جریان و کنترل میزان آبشستگی پایه ها از روش های مختلفی می توان استفاده نمود. روش های مختلف حفاظتی دائمی و فیزیکی و یا ساخت سازه حفاظت ساحلی و یا احداث طوق در اطراف پایه ها و ... که بعضا روش هایی پر هزینه بوده و با توجه به موقعیت قرارگیری پایه ها و پل و شدت آبشستگی و هزینه های اقتصادی انتخاب می شوند. علاوه بر روش های دائمی میتوان از روش های موقت و کاربردی نیز استفاده نمود. همانطور که مشاهده می شود در این پل با توجه به عرض رودخانه و شدت جریان میزان آبشستگی در پایه شماره ۱ بیشتر از پایه شماره ۲ خواهد بود. بعنوان یک روش اجرایی و کاربردی می توان در این پروژه حاشیه پایین دست رودخانه را لایروبی نموده و با تغییر مسیر جریان و عرض رودخانه شدت جریان بر پایه بالادست شماره ۱ کاهش یابد.

www.SID.ir

Archive

شکل ۲ نمونه ای از اثر جریان و وقوع آبشستگی در اطراف پایه پل

۵-مروری بر تحقیقات

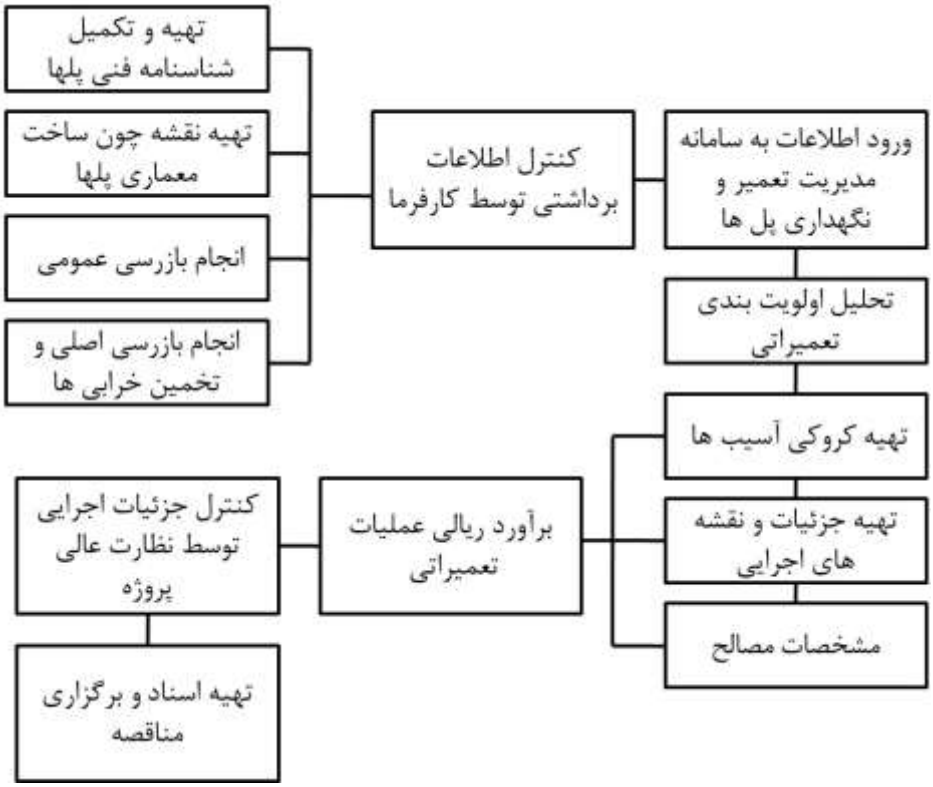
قدمت فرآیند تعمیر و نگهداری پل‌ها به صورت سنتی را می‌توان به قدمت ساخت و بهره‌برداری از پل‌ها دانست. ماهیت این نوع تعمیرو نگهداری غالبا به واسطه تخریب بخشی از سازه پل انجام پذیرفته است. در سال ۱۹۶۷ برنامه ملی بازرسی فنی پل‌ها در اداره فدرال راه ایالات متحده بعد از فروریزش پل سیلور پایه‌ریزی شد. همچنین با اختلالات ترافیکی در شمال شرق آمریکا ناشی از تخریب پل میانوس در سال ۱۹۸۳ بر اهمیت موضوع افزوده شد و به واسطه آن نیاز به برنامه‌ریزی و ایجاد سیستم جامع مدیریتی برای نگهداری و تعمیر پل‌ها بیش از پیش احساس شد. در سال ۱۹۸۵ برنامه تحقیقات بزرگراهی پروژه‌ای در راستای راه‌اندازی یک سیستم مدیریت پل‌ها تعریف و پیاده‌سازی نمود. در سال ۱۹۹۱ قانون جامع بهره‌برداری حمل و نقل چندسطحی کلیه ایالت‌ها را ملزم نمود تا به توسعه، پیاده‌سازی و اجرای سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری پل‌ها تا اکتبر ۱۹۹۸ اقدام نمایند. در همین راستا، آشتو در سال ۱۹۹۴ نرم‌افزار PONTIS و برنامه ملی حمل و نقل در سال ۱۹۹۲ نرم‌افزار BRIDGIT را توسعه و مورد استفاده بهره‌برداران در زمینه مدیریت تعمیر و نگهداری پل‌ها قرار دادند. سایر پژوهش‌ها

www.SID.ir

Archive

در این راستا به منظور توسعه و بهبود وضعیت اقدامات انجام شده صورت گرفته است که در ادامه به مهم‌ترین آنها پرداخته می‌شود.

بشیری راد و فرجزاده (۱۳۹۳) به ارزیابی تاثیر عملیات تعمیر و نگهداری پل‌ها بر روی افزایش چرخه عمر بهره برداری سازه‌ها در روی پل‌های سواره‌رو شهر شیراز به عنوان مطالعه موردی پرداختند. این موضوع در یک پل به صورت موضعی و در سطح شبکه پل‌ها به صورت جامع مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از ارزیابی و برداشت اطلاعات آسیب‌شناسی ۲۳ پل از مجموعه پل‌های مورد نظر، الگوی رفتار وابسته به زمان بررسی شد. هرچند همه خرابی‌های مشاهده شده در اثر عدم نگهداری رخ نداده است، لیکن برآورد هزینه‌های اجرایی برای کل تعمیرات پل به منظور تخمین عملکرد وابسته به زمان پل به عنوان اولین گام در این مطالعات صورت گرفته است. فرآیند مطالعات و ارزیابی هزینه‌ها در این پروژه به صورت شکل ۲ می‌باشد. {۴}



شکل ۲ چارچوب مطالعات تعمیر و مرمت پل‌های سواره‌رو شیراز {۶}

www.SID.ir

Archive

نتایج این پژوهش مشخص نمود که برای پل بتنی چمران به ازای افزایش صعودی هزینه تعمیرات با افزایش شدت و گستردگی خرابی همراه بوده است. همچنین مشاهده گردید که با افزایش عمر بهره‌برداری پل و با توجه به عدم نگهداری برنامه‌ریزی شده پل تاکنون، هم میزان نمره وضعیت خرابی پل بحرانی‌تر شده و هم میزان هزینه تعمیرات افزایش می‌یابد. در برخی موارد کیفیت بالای ساخت پل، سرعت زوال پل کاهش خواهد یافت.

بریتو و همکاران (۱۹۹۷) یک نمونه آزمایشی از یک سیستم هوشمند برای مدیریت پل‌های بتنی پیشنهاد شده است. این سیستم شامل دو سطح است، سطح اول شامل بازرسی پل و کسب اطلاعات میدانی و سطح دوم شامل بهینه‌سازی استراتژی-های مدیریت و اولویت‌های تعمیر و نگهداری بر اساس سه معیار تصمیم‌گیری فوریت بازسازی، اهمیت سازه و حجم ترافیک است. این برنامه به نقص مربوط به خوردگی بتن محدود می‌شود.{۱۳}

انریخ و فرانک‌پل (۱۹۹۹) یک روش برای تعیین برنامه بازرسی و تعمیر پل‌های جدید و موجود بر اساس حداقل هزینه مورد انتظار در حالی که قابلیت اطمینان در سطح قابل قبولی حفظ شود پیشنهاد نمودند. چارچوبی برای برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری پل در سطح شبکه ارائه شده است که بیشتر هدف این است که هزینه مورد انتظار برای تعمیر و نگهداری پل موجود را کمینه کند، در حالی که قابلیت اطمینان طول عمر هر پل، بالاتر از سطح قابل قبول (هدف) نگهداشته شود. {۱۴}

لی و کیم (۲۰۰۷) در پژوهش خود یک الگوریتم برای سیستم مدیریت پل جهت اولویت‌بندی فعالیت‌های تعمیر و نگهداری در سطح شبکه ارائه نمودند. در این پژوهش مجموعه‌ای از فعالیت‌های تعمیر و نگهداری به عنوان مساله بهینه-سازی چند هدفه مدل شده است و از الگوریتم ژنتیک برای حل آن‌ها استفاده گردیده است. آن‌ها در این مطالعه با بررسی چند نمونه موردی، امکان‌پذیر بودن روش پیشنهادی خود را مورد بررسی قرار دادند. {۱۱}

عبدالله‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری بهینه پل‌ها بر مبنای الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل برنامه‌ریزی در پل‌های استان مازندران پرداختند. هدف از این تحقیق انتخاب روش‌های تعمیر و نگهداری بهینه برای مجموعه‌ای از پل‌ها با توجه به شاخص اولویت هر پل، محدودیت بودجه، هزینه و اثربخشی روش‌های درمانی است. در این راستا عوامل موثر در ایمنی کاربران، عملکرد و سرعت خرابی پل‌ها به منظور اولویت‌بندی پل‌ها بر اساس نیازشان به تعمیر و نگهداری، با استفاده از اطلاعات و مدارک موجود شناسایی شده‌اند. نتایج نشان دادند که با

www.SID.ir

Archive

توجه به بررسی‌های به عمل آمده و نظر کارشناسان به منظور گزینش عوامل تاثیرگذار بر ایمنی کاربران، عملکرد و سرعت خرابی پل‌ها معیار نقایص موجود و بار ترافیکی به ترتیب با وزن‌های ۰,۳۶۶ و ۰,۲۱۵ قبل از معیارهایی همچون شرایط محیطی، خصوصیات بستر رودخانه و سن پل با اوزان ۰,۱۸۵، ۰,۱۶۴ و ۰,۰۷ جهت تعیین شاخص اولویت پل‌ها در نظر گرفته شد. همچنین پس از تلفیق دیدگاه کارشناسان نسبت به عوامل تاثیرگذار بر ایمنی کارکنان، عملکرد و سرعت خرابی پل‌ها با ارزیابی پل‌های مورد نظر نسبت به هر یک از عوامل و استفاده از روش مقیاس ترتیبی پل‌هایی مانند گروزمال، وانا، طالع و ... قرار دارند. {۵}

رهایی و همکاران (۱۳۸۱) به بررسی انواع روش‌های بازرسی و نگهداری پل‌های بتنی پرداختند. در این پژوهش پس از دسته‌بندی پل‌های بتنی، روش‌های مختلف بازرسی چشمی، ابزاری و ارزیابی خرابی‌های اجزا پل با رویکردی علت‌جویانه مورد مطالعه قرار گرفته و روش درجه‌بندی وضعیت اعضا پل با توجه به خرابی‌ها و نارسایی‌های مشاهده شده در طی بازرسی پیشنهاد شده است. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی جهت درجه‌بندی وضعیت بر اساس خرابی‌های مشاهداتی در سطح شبکه و پروژه می‌تواند استفاده شود. در تخصیص درجه وضعیت مناسب و در موفقیت روش پیشنهادی قضاوت مهندسی نقش تعیین‌کننده‌ای داشته لذا بازرسی باید توسط مهندسین، متخصصین باتجربه پل انجام پذیرد. همچنین اطلاعات جمع‌آوری شده در چندین دوره برای پل‌های مختلف که پایگاه داده موجودی را تشکیل می‌دهند، زیربنای ایجاد مدل‌های خرابی و هزینه مناسب و توسعه روش‌های سیستماتیک مدیریت پل می‌باشند. {۱و۶}

رمضانپور و همکاران (۱۳۸۵) به بررسی یک سیستم خبره به منظور ارزیابی خرابی دال‌های بتنی در منطقه خلیج‌فارس پرداختند. هدف از این پژوهش ارائه یک سیستم دانش‌محور جهت ارزیابی وضعیت دال‌های بتنی است. این امر جهت پیش‌بینی عمر مفید عرشه پل‌های بتنی مسلح تحت تاثیر خرابی ناشی از پدیده خوردگی می‌باشد. سیستم خبره قادر است عملکرد عرشه پل را در طول زمان تعیین نماید. نتایج نشان داد که سیستم جهت ارزیابی صحیح در حوزه دانش فرد خبره طراحی شده ولی این امکان را برای فرد خبره فراهم نموده که به طور ساخت‌یافته و سریع حرکت می‌کند. همچنین مشخص شد که دال‌های بتنی به دلیل قرارگیری مستقیم در معرض عبور و مرو وسایل نقلیه و بارهای وارده از شدت خرابی بیشتری نسبت به دیگر المان‌های سازه پل برخوردار هستند. به علت پیچیدگی بین تاثیر توام عوامل محیطی و سازه‌ای و ناشناخته بودن ترکیب آن‌ها و نبود تاریخچه‌ای دقیق از نحوه بارگذاری سازه در حین بازرسی، نارسایی‌های سازه‌ای مستقل از دیگر نارسایی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس برای در نظر گرفتن تاثیر مشترک نارسایی‌های سازه-

www.SID.ir

ای بر دیگر نارسایی‌ها، نشانه خرابی مشترک انتخاب شده و نارسایی سازه‌ای به عنوان ضریبی افزایش دهنده در نارسایی حاصل از عامل‌های محیطی تاثیر می‌گذارد. علاوه بر این مشخص گردید که این سیستم با استفاده از بازرسی چشمی نمای بتن به عنوان نخستین گام در آزمایشات درجا، آزمایشات تکمیلی را جهت تعیین درستی ارزیابی معرفی می‌کند که موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌شود. این سیستم با ایجاد روند ارزیابی که اجازه خواهد داد تا وضعیت موجود سازه به صورت عددی بیان شود، سیستم مدیریت ارزیابی را جهت انتخاب بهترین روش تعمیر و نگهداری اداره می‌کند. {۷}

عبدالکادر و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی یک الگوریتم تکامل دیفرانسیل آشفته نمایی برای بهینه سازی برنامه های تعمیر و نگهداری پل پرداختند. نتایج توابع آزمون معیار نشان داد که الگوریتم سینوسی مبتنی بر ECDE به ترتیب ۱۱۴,۲٪ و ۷۹,۵٪ بهتر از الگوریتم‌های تکامل ژنتیکی و تکاملی متفاوت عمل می‌کند. انتظار می رود مدل یکپارچه توسعه یافته به مدیران زیرساخت در اجرای برنامه های بودجه نگهداری بهینه و پایدار در سناریوهای برنامه ریزی مختلف کمک کند. {۱۵}

بیلاهی و همکاران (۲۰۲۲) روش ارزیابی شرایط پل با استفاده از الگوهای حالت ارتعاشی را ارزیابی نمودند. این تحقیق برای به دست آوردن پایگاه داده حالت ارتعاشی که به عنوان مبنایی برای تدوین الگوهای شکست سازه پل مورد استفاده قرار می گیرد، انجام شد. اندازه گیری حالت ارتعاش بر روی نمونه اولیه و مدل پل با استفاده از حسگر شتاب سنج نصب شده بر روی ساختار پل انجام می شود. شتاب سنج در چندین نقطه نصب شده است تا تغییرات حالت ارتعاش را دریافت کند. تغییرات فرکانس بار دینامیکی برای بدست آوردن تغییرات حالت ارتعاشی داده شده است. نتایج تحلیل اندازه‌گیری حالت ارتعاش شباهت بین نمونه اولیه و مدل را نشان می‌دهد، به طوری که می‌توان از مدل پل برای مطالعه الگوهای خرابی سازه استفاده کرد. {۱۶}

پنگ و همکاران (۲۰۲۲) روش کاربرد BIM در بهره برداری و نگهداری پل را بررسی نمودند. این مقاله روش کاربرد فناوری BIM را در بهره برداری و نگهداری پل مورد بررسی قرار می دهد، روش مدل سازی و تعریف نرم افزار BIM را در بهره برداری و نگهداری ارائه می دهد و با کمی سازی ساخت پل، اتوماسیون محاسبه نقشه کشی عملیات و نگهداری BIMرا محقق می کند. در این مقاله، فناوری BIM با سیستم اندازه‌گیری عملیات و نگهداری ترکیب شده است تا به دقت مدل‌سازی پل سه‌بعدی دست یابد. در این مقاله، سیستم اندازه‌گیری عملیات و تعمیر و نگهداری پل از ریزپردازنده

www.SID.ir

Archive

STM32به عنوان بدنه اصلی استفاده می‌کند، طراحی مدولار را حفظ می‌کند، از تضاد ارتباط نگرش چند کاناله جلوگیری می‌کند. پردازنده از معماری cortex-m4 استفاده می کند، مشکلات حساس به هزینه و انرژی را بهینه می کند و پردازنده ۳۲ بیتی آن می تواند از عملیات ممیز شناور پشتیبانی کند. عملکرد کنترل بالا اساس عملکرد عادی سیستم است. این تحقیق نشان می دهد که نتایج عملیات و تعمیر و نگهداری طراحی فوروارد BIM بیش از ۴۵٪ بهتر از فرآیند طراحی CAD است و هزینه عملیات و نگهداری را می توان ۲۵-۵۵٪ کاهش داد. علاوه بر نقاشی‌ها به معنای سنتی، مدل‌های BIM از تخصص‌های مختلف و همچنین مجموعه‌ای از نتایج حاصل از مدل‌های BIM مانند انیمیشن رومینگ، پانوراما، صحنه‌هایVR/AR ، جداول آماری مختلف، تحلیل‌های بصری مختلف، ادغام شده‌اند. و غیره. طراحی مدل BIM خود را می توان در مرحله بهره برداری و نگهداری به کار برد تا ارزش افزوده بیشتری ایجاد کند.{۱۷}

۶-نتیجه‌گیری

پل‌ها نقش قابل توجهی در حمل و نقل انسان و وسایل نقلیه به ویژه در مسیرهای صعب‌العبور دارند. بهره‌برداری مستمر از این سازه‌ها به همراه اعمال نیروهای مستمر به آن‌ها منجر شده است تا بحث تعمیرات و نگهداری این سازه‌ها همواره مورد توجه پژوهشگران و دست‌اندرکاران قرار بگیرد. فرآیند پایش و کنترل پل با توجه به نوع تخریب به وجود آمده و شیوه روش اصلاحی آن صورت گرفته و لازمه برخورداری از شرایط بهره‌برداری، تایید ایمنی کافی جهت استفاده می‌باشد. نتایج پژوهش‌های مختلفی که در این زمینه صورت گرفته است بیانگر آن است که امروزه با توجه به نوع آسیب به وجود آمده، محیط ساخت، شرایط بهره‌برداری، بارهای وارده و ... فرآیند ساخت به نوعی صورت می‌گیرد که حداقل میزان لازم جهت هزینه‌های تعمیرات صرف شده و همچنین در صورت بروز مشکل، رویکرد اصلاحی با استفاده از روش‌های نوین و تجهیزات قابل اعتماد صورت می‌گیرد. بدین‌ترتیب علاوه بر افزایش عمر سازه، امکان برخورداری از شرایط مساعد در طی سال‌های آتی نیز فراهم می‌گردد. در این راستا، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی متناسب با رویکردهای اعمال شده توسط الگوریتم‌ها نقش قابل توجهی داشته و توانسته است خصوصیات بارزی از جمله کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری را ایفا نماید.

www.SID.ir

Archive

منابع

۱. رهائی، علیرضا، ۱۳۶۳، طرح پل، تهران: انتشارات کتابخانه دهخدا

۲. یلداشخان، ماهان، ۱۳۸۴، مدیریت پل، تهران: انتشارات پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه وشهرسازی

۳. گلابچی، محمود، ۱۳۹۴، ساختمان‌های فولادی برای دانشجویان عمران و معماری، تهران، انتشارات دانشگاه تهران

۴. طاحونی، شاپور، ۱۳۹۳، طراحی ساختمان‌های بتن‌مسلح، تهران، انتشارات دانشگاه تهران

۵. عبداله‌زاده، غلامرضا، نوروزی، حمید، طاهری امیری، محمدجواد، حقیقی، فرشیدرضا، ۱۳۹۴، انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری بهینه پل‌ها بر مبنای الگوریم تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مطالعه موردی پل‌های استان مازندران، مهندسی حمل و نقل، سال ششم، شماره سوم، ۴۷۷-۴۶۳

۶. رهایی، علیرضا، فیروزی، افشین، ۱۳۸۱، روش‌های بازرسی وتعمیر و نگهداری پل‌های بتنی، اولین کنفرانس ایمن-سازی و بهینه‌سازی پل‌ها، تهران، دانشگاه امیرکبیر

۷. رمضان‌پور، علی‌اکبر، شاه‌حسینی، وحید، مودی، فرامرز، ۱۳۸۵، سیستم خبره برای ارزیابی خرابی دال‌های بتنی در منطقه خلیج‌فارس، فناوری و آموزش، سال اول، جلد اول، شماره ۱، ۱۵-۱

8. American Association Of State Highway And Transportation Officials, Manual For Condition Evaluation Of Bridges, 2000
9. Lee, J. H., Sanmugarasa, K., Loo, Y. C. and Blmenstein,M. (2008) “Improving the reliability of a bridge management system using an ANNbased Backward Prediction Model ”, Journal of Automation in Construction, Vol. 17, No. 6, pp.758-772.
10. Okasha, N. M. and Frangopol, D. M. (2009) “Lifetime-oriented multi-objective optimization of structural maintenance considering system reliability, redundancy and life-cycle cost using GA”, Structural Safety, Nov, Vol. 31, No. 6, pp. 460–474.
11. Lee, C. K. and Kim, S. K. (2007) “GA-based algorithm for selecting optimal repair and rehabilitation methods for reinforced concrete (RC) bridge decks”, Automation in Construction, Mar, Vol. 16, No. 2, pp. 153–164.
12. AASHTO, 2001, Design Manual No.2 , Guidelines For Structural Health Monitoring. Newyork
13. Brito, J., Branco, F. A., Thoft-Christensen, P. and Sorensen, J. D. (1997) “An expert system for concrete bridge management”, Engineering Structures, Vol. 19, No. 7, pp. 519–526.
14. Enright, M. P. and Frangopol, D. M. (1999) “Maintenance planning for deteriorating concrete bridges”, Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 12, pp. 1407–1414.

www.SID.ir

15. Abdelkader, E. M., Moselhi, O., Marzouk, M., & Zayed, T. (2022). An exponential chaotic differential evolution algorithm for optimizing bridge maintenance plans. Automation in Construction, 134, 104107.
16. Billahi, B. A., Widyanto, S. A., & Lie, H. A. (2022). Method Assessment of Bridge Conditions Using Vibration Mode Patterns. In Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials (pp. 787-801). Springer, Singapore.
17. Peng, Y., Li, Z., Hu, T., Xiao, Y., Wen, J., & Liu, Y. (2022). Application Method of BIM in Bridge Operation and Maintenance. In *2021 International Conference on Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City* (pp. 509-517). Springer, Singapore.

www.SID.ir