ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان پذیرش نهایی:۹۹/۱۱/۲۵

# بازرسی و ارزیابی پلهای بتنی در دوره بهره برداری

**هومن شکروی**[۱]

۱- کارشناس ارشد سازه ، گروه عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

*آدرس پست الکترونیک* hooman.shokravi@yahoo.com

## چکیده

جاده ها و اتوبانها مهمترین مسیرهای ارتباطی بین تجمع گاههای انسانی و اقتصادی می باشند و پلها مهمترین بخش سازه ای این مسیرهای مواصاتی را تشکیل می دهند. با در نظر گرفتن اینکه هدف از اجرای پل، عبور از یک مانع طبیعی و غیر طبیعی می باشد، بدیهی است که موقعیت محیطی و مکانی این موانع، شرایط محیطی سخت و دشوار ذاتی خود را علاوه بر بارهای عبوری متغیر و دینامیک به این سازه وارد خواهد نمود. در این دوران با رشد فن آوری، پلها از نظر ابعاد، دهانه و سیستم، توسعه فراوانی یافته و به نوعی نشانگر رشد علمی، اقتصادی و سیاسی منطقه احداث خود می باشند. این حجم بالای سرمایه گذاری در این سازه ها علاوه بر وظیفه ارتباطی، به آنها ارزش استراتژیک و سمبلیک نیز داده است، که وقفه در بهره برداری از آنها را به امری غیرقابل تصور بدل کرده است. این تحقیق بر آن است تا با ارائه رویه ای بر اساس آیین نامه های معتبر جهت بازرسی و رصد وضعیت آنها، گامی هرچند کوچک در راستای کاهش هزینه های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی ناشی از اختلال در استفاده و بهره برداری از این سازه ها بردارد.

**کلمات کلیدی:** پلهای بتنی، ارزیابی پل ، سرویس و نگهداری ، بازرسی پل

**۱- مقدمه**

شبکه جاده ای در هر کشوری شریانهای اساسی برای فعالیت های اقتصادی، اجتماعی، مانند تدارکات، مسافرت ها و ارتباطات محسوب می شود و برای حفظ این جریان به صورت سالم و مستمر در درون این شریانها، پایش، رصد و نگهداری مستمر باید در سر لوحه امور قرار گیرد[۱].

پل ها اجزای مهمی از این زیرساخت های جاده ای بوده و دلیل این اهمیت، امکان دادن جهت عبور از عوارض طبیعی یا ابنیه ساخت بشر، جهت توسعه هرچه بیشتر شبکه جاده ای می باشد، که به پیشرفت ملی و زندگی روزمره مردم کمک زیادی می کند. هرگونه تخریب، خرابی یا فروریختن در بدنه پل ها می تواند جان ، سرمایه و اعتبار بسیاری از ذینفعان از این ابنیه را به مخاطره اندازد. از سوی دیگر توسعه خرابی های خفیف موجود در طول زمان، باعث افزایش قابل ملاحظه هزینه بازسازی خواهد گردید[۱].

۱-۱- طول عمر سازه

طول عمر سازه، بازه زمانی است که می بایست سطح عملکردی مطلوب در آن حفظ گردد. عمدتاً طول عمر به طراحی، کیفیت ساخت، با یا بدون اجرای تعمیر و تقویت بستگی دارد. اگرچه در حال ایده آل، طول عمر طراحی شده بدون احتساب تعمیر و نگهداری است ، اما طول عمر با نگهداری بشدت افزایش می یابد. سطح سلامت سازه با افزایش سن کاهش می یابد، اما طول عمر با نگهداری مناسب افزایش می یابد. از این رو ، نگهداری با شیوه صحیح و مناسب تأثیر قابل توجهی بر سطح عملکرد و طول عمر سازه خواهد گذاشت.

برای افزایش ایمنی و طول عمر ، انجام بازرسی منظم با توجه به نوع سازه ، عملکرد طراحی شده و سطح عملکرد مورد نیاز و همچنین تشخیص آسیب در مراحل اولیه، تشخیص علت، پیش بینی و تخمین روند پیشرفت در آینده و ترمیم آن مهم است. برای اقدامات پیشگیرانه جمع آوری اطلاعات، داده ها و اقدامات انجام یافته در طول دوره نگهداری بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

آسیب را می توان در مراحل اولیه کنترل و شناسایی کرد، ترمیم را می توان با اقدامات جزئی انجام داد. با این حال، اگر از فرسودگی چشم پوشی شود، برای مرمت کلی به کارهای اساسی ترمیم نیاز است. در نتیجه به منظور کاهش هزینه های آتی و به حداقل رساندن هزینه در چرخه عمر سازه، بازرسی و تعمیر مداوم و به موقع ضروری است[۲].

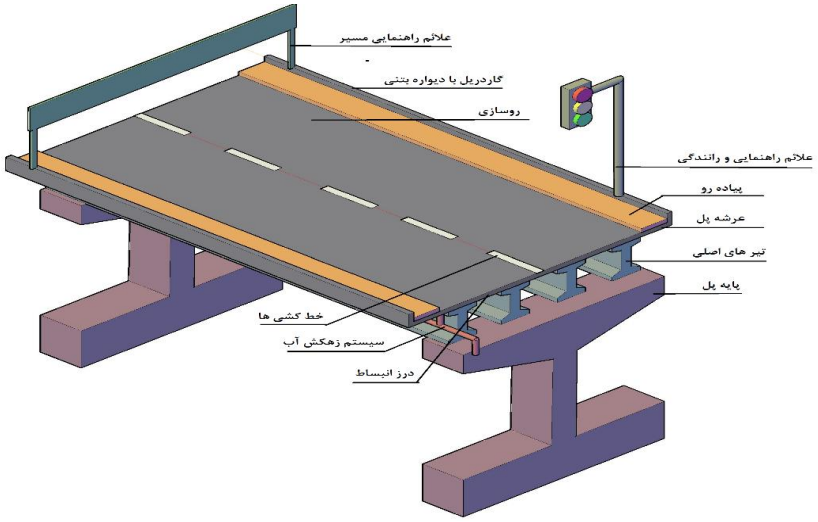
۱-۲- تعاریف اساسی استفاده شده در تحقیق

- **نگهداری** : انجام یکسری فعالیتها و عملیات بر روی سازه و یا متعلقات پل جهت امکان عملکرد و کارایی بهینه، مطلوب و مستمر.

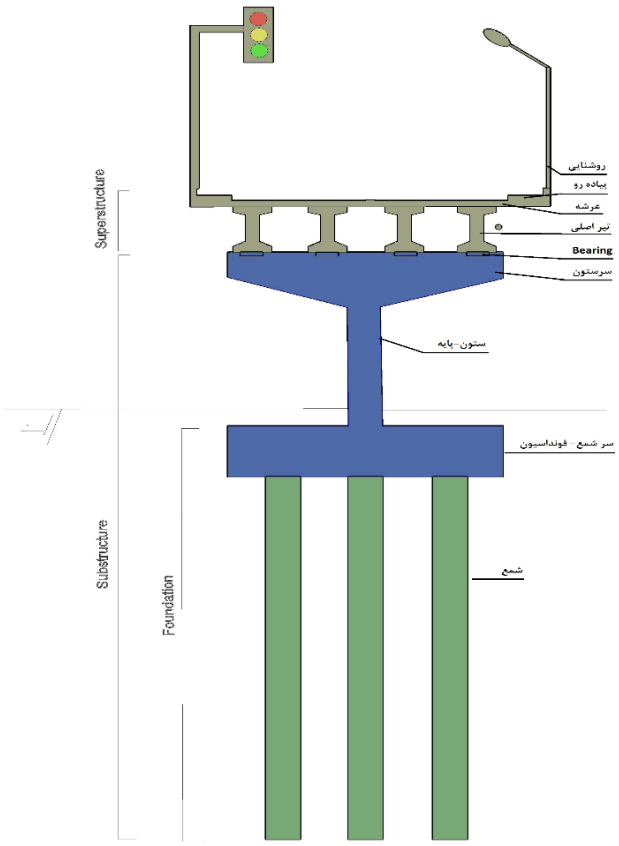
- **تعمیر** : مجموعه اقدامات انجام یافته بر روی قسمتهای آسیب دیده یا تخریب شده سازه و یا متعلقات یک پل جهت احیا و برگرداندن عملکرد مطلوب آن عضو در حیطه باربری، ایمنی و. . .
- **مقاوم سازی** : شامل مجموعه اقدامات طراحی و اجرایی می باشد که باعث بالا رفتن عملکرد، دوام یا باربری سازه پل انجام می پذیرد تا عملکردی بهتر از زمان شروع بهره برداری (یا طراحی) در برابر بارهای وارده یا عوامل محیطی داشته باشد.(لزوماً نیاز نیست آسیب دیدگی در سازه وجود داشته باشد)[۲].

### ۱-۳- قسمتهای مختلف تشکیل دهنده یک پل بتنی متعارف

در اشکال ۱و۲ قسمتهای مختلف تشکیل دهنده یک پل بتنی متعارف نشان داده شده است[۲].




**شکل شماره (۱) : اجزای مختلف تشکیل دهنده یک پل بتنی متعارف (نمای سه بعدی)**




**شکل شماره (۲) : اجزای مختلف تشکیل دهنده یک پل بتنی متعارف(مقطع)**

## ۲- علل شایع آسیب به پل

شایع ترین دلیل آسیب دیدن سازه یک پل و یا متعلقات آن، می تواند یک یا مجموعه ای از علل زیر باشد:

ناشی از جریانهای دائمی یا موقت آبی یا تغییرات تراز آب(جزر و مد، سیلاب، آب شستگی ، نشست یا. . . )

ناشی از محدوده قرارگیری یا مشخصات خاک بستر قرار گیری پل(زمین لرزه، روانگرایی، نشست یا. . . )

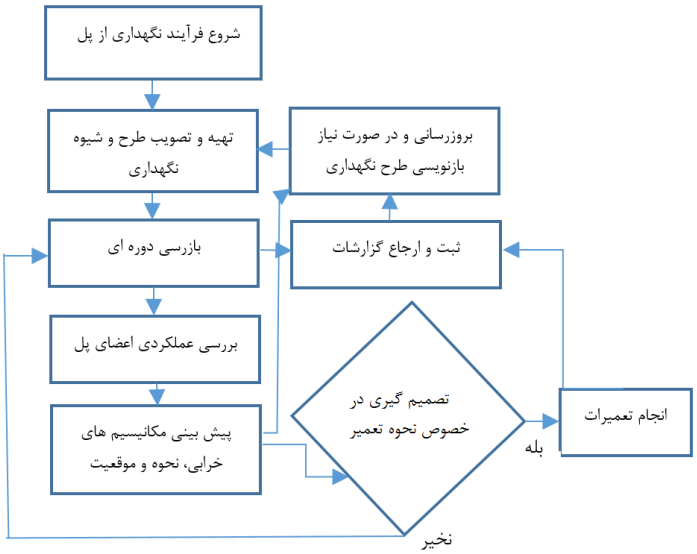
ناشی از اعمال بارهای خارجی پیش بینی نشده از قبیل باد، طوفان، حرارت، ضربات ناشی از وسایط نقلیه عبوری از زیر یا روی سازه و. . .

ناشی از شرایط محیطی و اثرات شیمیایی ، فیزیکی مواد موجود در محیط مانند اثر نمکها یا یخ زدگی و ذوب یخ بصورت مکرر[۳].

### ۳- سازماندهی و تعریف یک سیستم جهت نگهداری از پلها

انجام تعمیر و نگهداری معمول از ســـازه پلها امری با درجه اهمیت بالا و مهم در مدیریت کلان منطقه ای محســـوب می گردد، فلذا می بایســت یک روند و اصــول ثابت و متغیر بنا به شــرایط با چرخه مدیریت عملی، در نهادهای مدیریتی مرتبط برای آن تعریف گردد.

تعمیر و نگهداری ســازه ای مجموعه اقداماتی است که شامل بازرسی ، ارزیابی عملکرد (تشخیص علت نقص ، پیش بینی خرابی) ، تعیین ضــرورت ترمیم ، اجرای کار و ثبت داده ها می باشــد. همه آنها باید ســریعاً بر اســاس برنامه نگهداری انجام شوند تا اطمینان حاصل شود که ساختار عملکرد در طول عمر مفید پل مستمر خواهد بود[۴].



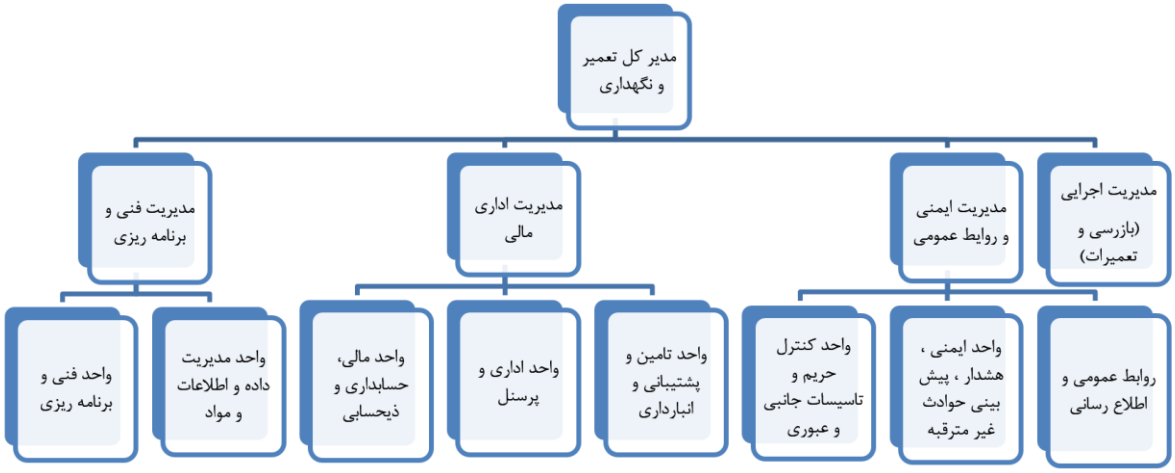

**شکل شماره (۳) : نمونه ای از فلوچارت فرآیند نگهداری از پل**

#### ۳-۱- تشکیل سازمان و چارت سازمانی

جهت پیاده ســازی یک چرخه پایدار و منســجم می بایســت، در اولین گام، واحد های مختلف با شرح وظایف و مسئولیت های مشـــخص شـــده جهت هر واحد و همچنین نحوه تعاملات بین واحدها و ارتباط درون و برون ســـازمانی تعریف نمود. همچنین تعیین و تبیین برنامه های زمانبندی کوتاه مدت و بلندمدت الزامی اســت. که همه این موارد تهیه، تصــویب و ابلاغ یک سند با پیوست های مورد نیاز را در خصوص دیسیپلین های مختلف الزامی می کند.

لازم به ذکر اســت که هر واحد تعریف شده در این سازمان، مستقل از سایر واحدها نیست و همکاری متقابل، کلید جریان روان این چرخه بازرســی و اجرایی اســت. هر واحد باید مطابق رویه تعریف شــده و صــادقانه پاســخگو باشــد. علاوه بر این، به

منظور تبادل و به اشـتراک گذاری اطلاعات، موضـوعات چالش برانگیز و اقدامات لازم، توصیه می شود به طور منظم جلسات مشترک برگزار شده و اطلاعات مربوط به اشتراک گذاشته شود[۴].




**شکل شماره (۴) : نمونه ای از چارت سازمانی جهت مدیریت نگهداری از پل**

### ۳-۲- رئوس اقدامات و اطلاعات مورد نیاز

هر عملیات و فعالیتی مسـتلزم برنامه ریزی و تعریف سیستم می باشد و این امر مستلزم داشتن حداقل اطلاعات می باشد که می توان رئوس آن را بشرح ذیل دسته بندی نمود:

- برنامه اجرایی دوره ای و سـالیانه : شـامل مشـخص نمودن محلهای نگهداری و ترمیم پل، حجم، روش و برنامه، همراه با برآورد بودجه تعمیر و نگهداری، که این طرح برای درخواست بودجه استفاده می شود.
- برآورد هزینه : مرجع اصلی مذاکره با نهادهای مدیریتی و سازمان های بالادستی خواهد بود.
- مدیریت بودجه : مدیریت مناسب بودجه، از کمبود پرداخت در فرآیند نگهداری و تعمیرات و در نتیجه تبعات سوء آن جلوگیری می نماید. می بایست بطور مستمر مسیر و روند بودجه ریزی رصد و پایش گردد تا از تغییر جهت یا سو استفاده از بودجه برای اهداف غیرمرتبط جلوگیری به عمل آید.
- اجرا : در فرآیند اجرا می بایسـت در نظر داشـت که تعمیر هر پل توسـط کارکنان تعمیرات تعیین شـده متعلق به همان جاده و پل انجام شـود، لیسـت نفرات تعمیراتی ثبت شـده و نتایج بازرسی و تعمیر را در سیستم پایگاه داده های بازرسـی پل وارد گردد، سـپس برای مدیریت بودجه تعمیرات ، هر واحد جاده و پل باید هزینه تعمیر واقعی

ثبت و به دفتر حسابداری و همچنین برنامه ریزی ارسال گردد و اگر هزینه صرف شده بیش از حد در نظر گرفته شده باشد ، باید به دفتر واحد مربوطه گزارش گردد[۵].

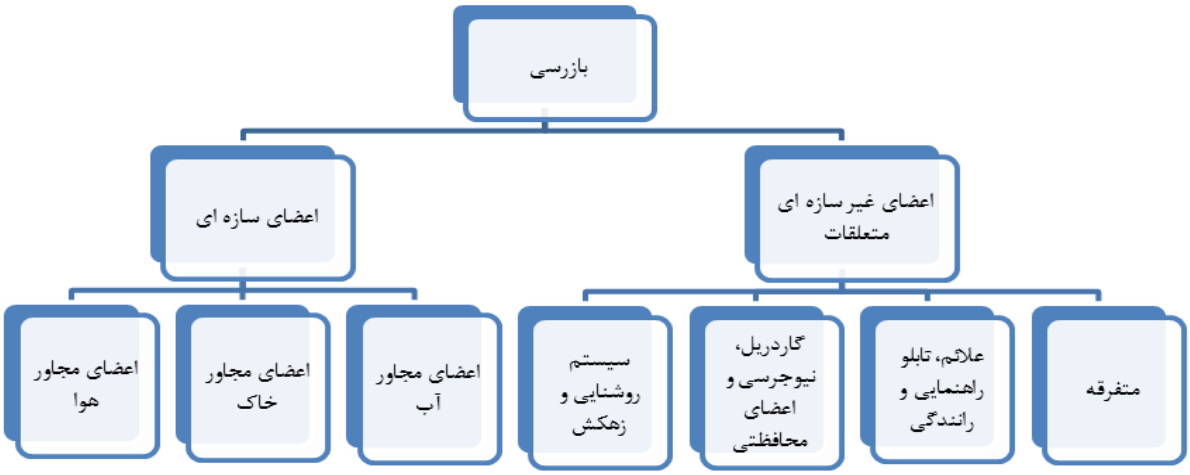
- مشاوره فنی : هنگام مواجه با مورد جدید یا غیر متعارف یا روش جدید یا ماده ترمیمی جدید که در یک پل خاص، کارکنان تعمیرات به راهنمایی فنی در مورد پیاده سازی روش تعمیر نیاز دارند، باید گردش کار و رویه مناسب جهت تماس با واحد مرتبط فراهم گردد، که عموما واحد فنی و برنامه ریزی می باشد. پس از اتمام عملیات باید کلیه اطلاعات اجرایی و کاربردی جهت مراجعه بعدی در دفترچه راهنمای تعمیر آن پل بطور کامل ثبت گردد[۵].

### ۴- بازرسی

بر اساس آیین نامه های معتبر موجود، اهداف اصلی از بازرسی برای یک پل:

- اطمینان از ایمنی کلی و عمومی پل می باشد.
- حفاظت از سرمایه گذاری کلان انجام یافته جهت احداث پل، با کمترین هزینه می باشد.

برنامه بازرسی منظم دربردارنده، برنامه اقتصادی با لحاظ پارامتر زمان و برنامه ریزی اجرایی جهت رعایت اصول پیشگیرانه و اصلاحی یا در صورت لزوم جایگزینی پل جهت کمترین اثرات ترافیکی، ارزیابی های تخصصی از داده ها و اطلاعات و برنامه ریزی مدیریتی می باشد[۶].




**شکل شماره (۴) : نوع و شیوه بازرسی بر اساس تیپ اعضای پل**

#### ۴-۱- انواع بازرسی از نظر رده

در اکثر قریب به اتفاق کشورها پلها در بازه های زمانی مشخص توسط بازرسین مجرب مورد بازدید قرار می گیرند. با توجه به نحوه و شیوه بازرسی می توان آنها را به شکل زیر دسته بندی نمود:

- بازرسی عمومی (General Inspection) : در این بازدیدها، بازرسین منتخب به محل پل اعزام شده و شرایط پل را از نظر شکستگی یا تخریب اعضاء یا ضربه احجام خارجی بصورت چشمی مورد بازرسی قرار می دهند.
- بازرسی اصلی (Principal Inspection) : این بازرسی شامل بازرسی چشمی تفصیلی همراه با تعدادی آزمایش محدود و نمونه گیری می باشد. بطور مشخص در این نوع بازرسی ها نیاز به معاینه تمامی اعضاء می باشد و آزمایشهای انجام یافته و نمونه گیری، بستگی به نوع عضو، جنس مواد تشکیل دهنده و شرایط و نحوه ساخت آن دارد.
- بازرسی ویژه (Special Inspection) : این نوع بازرسی ها در هنگام شرایط خاص از قبیل بروز حوادث غیر مترقبه مانند سیل،زلزله ، تصادف یا مشاهده رفتار غیر متعارف در اعضای پل یا ایجاد مفاصل جدید یا در پلهایی با محدودیت بار عبوری از آنها یا در پلهایی که فاقد جزئیات یا دتایل هستند، انجام می پذیرید[۷].

### ۴-۲- برنامه ریزی بازرسی از پل

- تیم بازرسی قبل بازرسی از پلها باید هماهنگی و مجوزهای لازم را از نهادهای مسئول منطقه ای کسب نمایند. علاوه بر بعد امنیتی، آنها می توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد تاریخچه مشکلات واقدامات نگهداری در حال انجام، تاریخچه وقوع سیلاب و سیل ، پروژه های قبلی تعمیراتی و پروژه های آینده برنامه ریزی شده ارائه دهند .
- هنگام برنامه ریزی برای بازرسی از پل ، باید از مبادی ذیربط اطلاعات مربوط به محدودیت ها، شرایط و برنامه های کنترل ترافیکی را جمع آوری نمایند .
- بازرسان پل باید هرگونه اسناد پل موجود در نهادهای مختلف ویا از دست رفته مانند نقشه های چون ساخت سازه های موجود و جدید را تهیه یا جمع آوری کرده و تعیین کنند که آیا سازه بازسازی یا جایگزین شده است یا نه، و وضعیت موجود و گذشته پروژه را در پرونده پل بگنجانند و بروز بنمایند .
- قبل از بازرسی از پلهایی که از مسیرهای ریلی عبور می کنند یا عبور می دهند، ممکن است لازم باشد از شرکت راه آهن مجوز گرفته شود .
- پرسنل بازرسی باید تلاش کنند تا برنامه بازرسی از پلهای عبوری برروی مجاری آب را در دوره های خشک انجام دهند.
- کد گذاری پلها با توجه به نوع کاربری، کارفرمای مسئول نگهداری، ابعاد و . . . ،کمک زیادی در رصد و ایجاد پایگاه داده ای می نماید.

بازرسی های اولیه پل باید قبل از باز شدن مسیر جاده به سمت ترافیک انجام شود. این امر ارزیابی وضعیت همه عناصر پل را تسهیل می کند و اندازه گیری دقیق را در شرایط ایمن امکان پذیر می کند[۷].

### ۴-۳- اسناد بازرسی از پل

اسناد بازرسی از پل باید با استفاده از اصطلاحات فنی مناسب و استاندارد و بصورت صریح نوشته شوند. اسناد بازرسی از پل که به طور معمول در نتیجه بازرسی تولید می شود و در پرونده پل می بایست موجود باشند عبارتند از:

- گزارش وضعیت موجود و ارزیابی انجام شده از ساختار
- گزارش تعمیرات (در صورت وجود)
- لیست موارد انجام یافته در خصوص نگهداری (در صورت وجود)
- گزارش بازرسی های انجام پذیرفته
- گزارش آزمایشات و نمونه برداری عای انجام یافته (در صورت وجود)
- اطلاعات و مشخصات معبری که پل از روی آن عبور نموده به عنوان مثال رودخانه یا کانال (در صورت وجود)
- طرح و وضعیت کلی مسیر و منطقه (در صورت وجود)
- عکس های بازرسی
- نمودار موقعیت مکانی دوربین ترافیکی یا کنترلی موجود (در صورت وجود)[۷].

### ۴-۴- گزارش توصیه و موارد تعمیرات / لیست موارد نگهداری

توصیه های تعمیرات فقط باید برای موارد معتبر و کاربردی که باید تعمیر شوند، صادر شود. سایر موارد مربوط به تعمیر و نگهداری که مشاهده می شوند، باید در زمینه های مختلف یادداشت های بازرسی ذکر شده و در قسمت های گزارش، بخش گزارش بازرسی ذکر شود. به همین ترتیب ، توصیه تعمیر در مورد زیبایی نباید ارائه شود. این نمونه ها باید به عنوان مشاهدات در بخش های مربوط به یادداشت های بازرسی در گزارش بازرسی ذکر شوند.

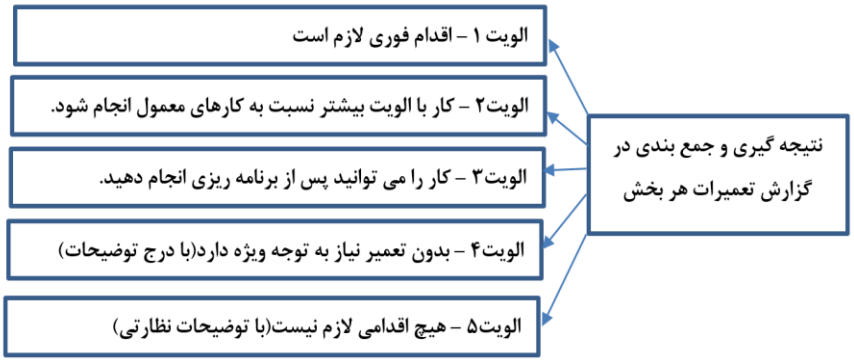
موارد نگهداری مانند موارد ذکر شده در قسمت ذیل، باید در فرم لیست موارد نگهداری خلاصه شود و نباید در توصیه تعمیر ذکر شود:

شبکه فاضلاب، گرفتگی فاضلاب، آسیب به لوازم زهکشی راه ، منهول و جعبه اتصال -شاخه های درخت یا سایر انسداد هایی که از روی عرشه پل ها بیرون زده اند - سیمها ، کابلها و غیره در معرض دید – نشست در پیش دال- چاله های روی عرشه پل ها - اتصالات بین پیش دال و دال پل- از بین رفتن آببندی مفاصل - آسیب رسیدن به گاردریل راه و آسیب جزئی به نرده های پل- تمیز کردن بقایای اطراف - bearing وسایل روشنایی ، خطوط تاسیساتی - آسیب فضولات پرنده- تمیز کردن بقایای کانال ، حذف علف های هرز ، رسوبات و پاکسازی زباله و رسوب از آبریزها- فرسایش جزئی و آسیب جزئی به عناصر محافظتی مانند سنگچین ، گابیون ها و غیره...

این لیست خلاصه ای از موارد نگهداری را به پرسنل نگهداری ارائه می دهد تا نیازی به خواندن دقیق گزارش بازرسی نباشد. این موارد نگهداری نیز باید در زیر بخش سایر یادداشت های بازرسی (متفرقه) گزارش بازرسی ذکر شود[۶].

### ۴-۵- الویت بندی و تعیین تکلیف در گزارش تعمیراتی

در بخش جمع بندی گزارش بازرسی بخش تعمیرات، می بایست به صراحت به نحوه عملکرد تیم اجرایی به یکی از پنج الویت زیر اشاره شود:




**شکل شماره (۶) : نحوه الویت بندی و دستورالعمل در گزارشات تعمیرات**

### ۵- مقایسه تکنیک های ارزیابی وضعیت پل ها

در جدول زیر در خصوص نحوه، مزایا و معایب پنج روش متداول ارزیابی وضعیت پلها به صورت مبسوط توضیح داده شده است[۳].

**جدول شماره (۱)- شرح و مقایسه تکنیک های مختلف ارزیابی وضعیت پلها**

| ردیف | روش ارزیابی | شرح روش | مزایای روش | محدودیتهای روش |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | **بازرسی بصری (VI)** | مهندسان آموزش دیده بصورت فیزیکی موارد را ، ثبت و ارزیابی می کنند و وضعیت عناصر مختلف پل، با استفاده از کتابچه های بازرسی و کدها تعریف شده است. فاصله زمانی برای بازرسی ها براساس دستورالعمل های ابلاغی کارفرما است. | مهمترین روش برای ارزیابی وضعیت پل و رتبه بندی شرایط اجزا تشکیل دهنده پل ، که به صورت کمی اندازه گیری شده و از طریق یک روش رتبه بندی استاندارد اولویت بندی می شود. | ارزیابی ها بصورت ذهنی انجام شده و نتایج بسیار بستگی به صلاحیت ها دارد . کسانی که بازرسی انجام می دهند ممکن است یافته های متفاوتی داشته باشند. بازرسان در این روش سلامت جسمی پل را مشاهده کرده و نمی تواند نقص پنهان را تشخیص دهند. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ۲ | **پاسخ آزمایش بار (LTR)** | تعیین ظرفیت حمل بار زنده یک پل موجود توسط اندازه گیری بار واقعی که پل می تواند بدون دردسر تحمل کند. رتبه بندی شرایط را می توان با با تنش مجاز ، ضریب بار یا فاکتور بار و مقاومت می توان تعیین کرد | روش های تجزیه و تحلیل محافظه کارانه ایمن. رتبه بندی کمتر از ظرفیت نهایی برشی اجزا می باشد. | هزینه بر و زمان بر است. سه روش رتبه بندی ممکن است به ظرفیت های متفاوت و محدودیت های خاصی برای همان پل منجر شود. هیچ راهنمایی در مورد اینکه کدام روش برای شرایط خاص باید استفاده شود وجود ندارد. |
| ۳ | **نظارت بر ساختار (SHM)** | شامل طیف وسیعی از روشها و روشهای طراحی شده برای گرفتن پاسخ ساختاری ، تشخیص رفتارهای غیرعادی و ارزیابی وضعیت پل بر اساس ترکیبی از اندازه گیری ، مدل سازی و تجزیه و تحلیل است. | ارزیابی انجام یافته از پل قابل اعتماد و نزدیک به واقعیت.نتایج بدست آمده معنی دارتر از استفاده از داده های پاسخ بار است. می تواند برای ارزیابی کوتاه مدت و بلند مدت مستقر و استفاده شود. برای پل های متحرک از هر روش دیگری مناسب است. | حسگرهای بی سیم به توان باتری هستند. اندازه و پیچیدگی پل تحت نظارت می تواند باعث ایجاد سیستم های پیچیده شود. در صورت طولانی شدن مدت ارزیابی به تعمیر و نگهداری بلند مدت تجهیزات در محل نیاز دارید. |
| ۴ | **ارزیابی غیرمخرب (NDE)** | با استفاده از تعدادی از تکنیک های مختلف بهره گیری شده از پدیده های مختلف فیزیکی (صوتی ، لرزه ای ، الکتریکی ، الکترومغناطیسی و حرارتی و غیره) برای شناسایی و توصیف فرایندهای خرابی بدون آسیب رساندن به عناصر، بهره برداری می کنند. | ارزیابی موثرتر و دقیق تری با توجه به شرایط ارائه می دهد. روند بازرسی را عینی سازی کرده و سریعتر و قابل اعتمادتر می گردد. ادغام تکنیک های مختلف بهترین روش برای شناسایی حالات مختلف آسیب می باشد. | استفاده از تنها یک فناوری، اطلاعات محدودی راجع به وضعیت پل فراهم می کند. هیچ فناوری واحدی قادر به شناسایی همه پدیده های مختلفی که باعث زوال می گردد نیست. همچنین برای جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها به پرسنل آموزش دیده نیاز دارید. |
| ۵ | **مدل سازی المان محدود (FEM)** | عبارت است از تجزیه و تحلیل عددی برای بررسی رفتار و پاسخ سیستم سازه ای پل می باشد. معمولاً با استفاده از نتایج بازرسی پایکار با پشتیبانی از فن آوری های | تجسم دقیق را امکان پذیر می کند ، می توان با استفاده از داده های حاصل از بازرسی چشمی کار را شروع نموده و سپس با استفاده از اطلاعات | مدل های FE معمولاً نیاز به کالیبراسیون دارند. ارزیابی طولانی مدت به دلیل پیشرفت در مصالح مصرفی در ساختار ابنیه و روش های |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | NDE یا آزمایش های استاتیک یا دینامیکی روی ساختار ، کالیبره می شود. | حاصل از نتایج NDE و SHM پارامتر شده و کالیبره شود. | ساخت ، یک چالش محسوب می شود. |

۶- آزمایشهای متداول ارزیابی پلهای بتنی

همانگونه که در بسیاری از مراجع اشاره شده است، خوردگی آرماتورهای بتن مسلح متداولترین نوع آسیب در اعضای بتنی می باشد. بنابراین اندازه گیری و تعیین عملکرد یون کلراید و اندازه گیری عمق کربناسیون رویه متداولی در بازرسی های کلی محسوب می گردد. آسیب عمده دیگری که در اعضای بتنی مشاهده می گردد، ترک خوردگی می باشد. ساده ترین و معمول ترین روش کنترل و بررسی عرض و انتشار ترک استفاده از نشانگرهای حرکتی می باشد که به سازه متصل می گردند. جهت اندازه گیری عمق ترک از آزمایشهای فراصوت استفاده می گردد. در جدول زیر برخی آزمایشات مورد استفاده جهت ارزیابی پلهای بتنی آورده شده است[۶].

**جدول شماره (۲)- انواع آزمایشات مورد استفاده جهت ارزیابی و بازرسی پلهای بتنی**

| ردیف | تکنیک آزمایش | Testing Technique | طبیعت آزمایش | |
|---|---|---|---|---|
| | | | غیر مخرب | مخرب |
| ۱ | اندازه گیری سرعت صوتی / اولتراسونیک موج صوتی | Acoustic wave sonic/ultrasonic velocity measurement | √ | |
| ۲ | کربناسیون | Carbonation | | √ |
| ۳ | نفوذ پذیری بتن | Concrete permeability | | √ |
| ۴ | مقاومت بتن | Concrete strength | | √ |
| ۵ | ماشین آلات تشخیص لایه | Delamination detection machinery | √ | |
| ۶ | روشهای الکتریکی | Electrical methods | √ | |
| ۷ | آندوسکوپ | Endoscopes | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ۸ | تست جک تخت | Flat jack testing | √ | |
| ۹ | رادار نافذ زمینی | Ground penetrating radar | √ | |
| ۱۰ | تست ضربه-اکو | Impact - echo testing | √ | |
| ۱۱ | ترموگرافی مادون قرمز | Infrared Thermography | √ | |
| ۱۲ | تست التراسونیک با لیزر | Laser ultrasonic testing | √ | |
| ۱۳ | اختلال در میدان مغناطیسی | Magnetic field disturbance | √ | |
| ۱۴ | میزان رطوبت | Moisture content | | √ |
| ۱۵ | پروب نوترون برای تشخیص کلریدها | Neutron probe for detection of chlorides | √ | |
| ۱۶ | روش هسته ای | Nuclear method | √ | |
| ۱۷ | دور سنج | Pachometer | √ | |
| ۱۸ | روشهای برگشت و نفوذ | Rebound and penetration methods | √ | |
| ۱۹ | مقاومت میلگرد | Reinforced steel strength | | √ |
| ۲۰ | آزمایش اولتراسونیک | Ultrasonic testing | √ | |

### ۷- دلایل عمده آسیب دیدن سازه های بتنی

عمده ترین دلایل تخریب سازه های بتنی از جمله پل ها در خوردگی، ترکها و عوامل دیگری از جمله تناوب یخ زدگی و ذوب و . . . می باشد در جداول زیر به ترتیب عواملی که در خوردگی بتن نقش داشته و شناسایی انواع ترکها به صورت مختصر اشاره گردیده است[۸].

**جدول شماره (۳)- جدول دسته بندی انواع خوردگی در سازه های بتنی**

| عنوان | نوع خوردگی | دلیل ایجاد خوردگی | مصادیق عینی | توضیحات |
|---|---|---|---|---|
| انواع خوردگی ها | **خوردگی فیزیکی** | ناشی از عوامل فیزیکی نظیر تغییر حرارت و رطوبت | ترک و خورد شدن بتن | |
| | **خوردگی شیمیایی** | در نتیجه یک فرآیند شیمیایی می باشد | کربناتاسیوت | ناشی ترکیب سیمان با آب و هیدروکسید کلسیم |
| | | | حمله کلرایدی | به دو صورت زنگ زدن میلگرد و واکنش با سیمان و تولید نمک |
| | **خوردگی الکتروشیمیایی** | در نتیجه واکنش شیمیایی با اکسیداسیون و احیاء و انتقال اکترون | واکنش سولفاتی | سیمان و آب با سولفات ها ترکیب شده و اتریگانت و گچ تولید کرده با افزایش حجم ، شاهد تخریب بتن |
| | | | واکنش قلیایی سنگدانه های بتن | ترکیب سیمان با سیلیس فعال، تولید ژل با تغییر حجم بالا و تخریب بتن |
| | **خوردگی بیولوژیکی** | در اثر مواد آلی تولیدی موجودات زنده | تولید جلبک وگیاهان دریایی و ادامه روند | |
| | **خوردگی مکانیکی** | در اثر عوامل مکانیکی | سایش، فرسایش و کاواتاسیون | |

**جدول شماره (۴)- جدول دسته بندی انواع ترکها در سازه های بتنی**

| عنوان | نام ترک در سازه بتنی | نام در انگلیسی | موقعیت و محل محتمل در سازه |
|---|---|---|---|
| انواع ترک در سازه های بتنی | نشست خمیری | Plastic Settlement | روی خاموتها و میلگردها در مقاطع عمیق |
| | | | در قسمت فوقانی ستونها و دیوارها و در مقابل خاموتها |
| | | | در محل تغییر ضخامت دالها |
| | جمع شدگی خمیری | Plastic Shrinkage | در گوشه دالها و به شکل موازی و زاویه ۴۵ درجه |
| | | | در وسط دالها و سطح های مشابه |
| | | | در اتصال دال و تیرها در قسمت فوقانی تیرها |
| | تنش های حرارتی درون بتن | Hydration Stress | در سازه های حجیم بتنی بدلیل دمای هیدراتاسیون |
| | جمع شدن بعلت خشک شدن | Drying shrinkage | در پوسته های نازک و دالها و دیوارها |
| | ترکهای زیر سطحی | Surface Fine Cracks | مجاور سطح قالب بندی (سطوح نما) |
| | | | بتن ها با سطح تخته ماله ای شده |
| | خوردگی آرماتورها | Rebar's Corrosion | اجزاء مختلف از بتن مسلح بویژه پی ها و ستونها |
| | واکنش قلیایی سنگدانه ها | Alkali-Aggregate Reaction | در سازه هایی که در معرض رطوبت هستند |
| | ترکهای ناشی از خمشی | Bending Cracks | در ناحیه کششی اعضای بتنی (تیر ، ستون و دال) |
| | ترکهای ناشی از کشش | Tension Cracks | در ناحیه تکیه گاههای تحت کشش و آویزها |
| | ترکهای ناشی از پیچش | Torsion Cracks | اعضا با بارگذاری خروج از مرکز عرضی و تکیه گاه صنعتی |
| | ترکهای برشی | Shearing Cracks | تیرهای با دهانه کوچک و بار گسترده و متمرکز بالا |
| | چسبندگی بتن و آرماتور | Bar-Concrete bonding stress | استفاده از میلگردهای سایز بالا در سازه |
| | ترکهای ناشی از بار متمرکز | Central Load | بیشتر در قطعات پیش یا پس کشیده بتنی یا ستونها |
| | ترک ناشی از درزهای اجرایی | Construction joint | در قطعات گسترده بتنی مانند دالها و . . . |

## ۸- توصیف خصوصیات بتن تخریب شده

هنگام توصیف عرض ترک ، پوسته پوسته شدن یا اسپال ایجاد شده درعناصر بتونی ، می توانید از اصطلاحات زیر استفاده کنید، که در راهنمای مرجع FHWA Bridge Inspector وجود دارد:

### ۸-۱- مقیاس گذاری عرض ترک

توصیف ترک ها باید شامل طول ، عرض ، مکان و شدت آن باشد (تعداد کم ، زیاد و غیره) برای حفظ رویه ثابت ، ثبت عرض ترک در یادداشت های بازرسی با استفاده از معیارهای زیر است[۶]:

**جدول شماره (۵)- جدول توصیف ترک با توجه به عرض آن**

| ردیف | نام ترک | واحد | عرض ترک | |
|---|---|---|---|---|
| | | | از | تا |
| ۱ | ترک مویی | میلیمتر | کمتر از ۱,۵۹ | ۱,۵۹ |
| ۲ | ترک باریک | میلیمتر | ۱,۵۹ | ۳,۱۷ |
| ۳ | ترک با عرض متوسط | میلیمتر | ۳,۱۷ | ۴,۷۶ |
| ۴ | ترک عریض | میلیمتر | ۴,۷۶ | بیشتر از ۴,۷۶ |

۸-۲- مقیاس گذاری پوسته پوسته شدن بتن

پوسته پوسته شدن وضعیت بتن با از بین رفتن تدریجی و مداوم ملات و سنگدانه در یک منطقه به دلیل تجزیه شیمیایی پیوند سیمانی است. مقیاس بندی در چهار دسته زیر طبقه بندی می شود[۶]:

**جدول شماره (۶)- جدول توصیف پوسته پوسته شدن بتن با توجه به عمق**

| ردیف | نام | واحد | عمق پوسته پوسته شدن | | توصیف |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | از | تا | |
| ۱ | پوسته پوسته شدن جزئی | میلیمتر | کمتر از ۶,۳۵ | ۶,۳۵ | دانه های درشت در معرض دید قرار می گیرند |
| ۲ | پوسته پوسته شدن متوسط | میلیمتر | ۶,۳۵ | ۱۲,۷ | ملات بین دانه های درشت از بین می رود |
| ۳ | پوسته پوسته شدن عمیق | میلیمتر | ۱۲,۷ | ۲۵,۴ | سنگدانه های درشت به وضوح و آشکارا دیده می شوند |
| ۴ | پوسته پوسته شدن شدید | میلیمتر | ۲۵,۴ | بیش از ۲۵,۴ | ملات سطحی، ملات بین سنگدانه، سنگدانه درشت از بین رفته و میلگردها در معرض دید قرار می گیرند |

۸-۳- اسپال بتن

اسـپال یک فرورفتگی دایره ای یا بیضـی شـکل در بتن است که در اثر جدا شدن بخشی از سطح بتن ایجاد می شود و به شرح زیر طبقه بندی می شود[6]:

- اسپال کوچک - عمق کمتر از ۲,۵۴ سانتیمتر و قطر تقریباً ۱۵,۴ سانتیمتر.
- اسپال بزرگ - عمق بیش از ۲,۵۴ سانتیمتر و قطر بیشتر از ۱۵,۴ سانتیمتر.

## ۹- نتیجه‌گیری

خروجی فرآیند بازرسـی از پلها، نتایج بسـیار با ارزشی از جمله نیازهای تعمیراتی و اصلاحی به تیم نگهداری و تعمیر و در سـطوح بالاتر به مهندسـین طراح تامین می نماید. همچنین بازرسـی مجدد از تعمیراتی که در ادوار گذشته صورت پذیرفته امکان بازنگری در رویه های گذشته و اتخاذ استراتژی جدید را فراهم می نماید. علی الخصوص در دوران کنونی که ما شاهد ظهور و استفاده از مواد و مصالح جدید، در حیطه تعمیرات و مقاوم سازی می باشیم.

در روند بازرسی می بایست با لحاظ الویت بندی، آسیب های مختلف ایجاد شده و در شرف ایجاد در پل مورد ارزیابی قرار گرفته، سـپس هزینه مسـتقیم و غیر مسـتقیم از قبیل تاخیر در ترافیک نیزدر برآورد ها لحاظ گردیده و در گزارشـات ذکر گردد. این روند به مجموعه جهت ارزیابی استراتژی های گوناگون جهت تعمیر آسیب ها و انتخاب مناسب ترین آنها از لحاظ صرفه اقتصادی کمک شایانی خواهد کرد.

## مراجع


1. Ryall, M.J., et al., *The manual of bridge engineering*. 2000: Thomas Telford.
2. Parke, G.A. and N. Hewson, *ICE manual of bridge engineering*. 2008.
3. Weyers, R.E., et al., *Concrete bridge protection, repair, and rehabilitation relative to reinforcement corrosion: A methods application manual*. Contract, 1993. **100**: p. 103.
4. Sohanghpurwala, A.A., *Manual on service life of corrosion-damaged reinforced concrete bridge superstructure elements*. Vol. 558. 2006: Transportation Research Board.
5. Purvis, R.L., *Bridge Saftey Inspection Quality Assurance*. Transportation Research Record, 1991. **1**.
6. Rossow, M., *FHWA Bridge Inspector's Manual*. Sections.
7. تعمیر و مقاوم سازی زیرسازه پلها. تابستان ۱۳۸۵: پژوهشکده حمل ونقل.
8. مشخصات فنی و عمومی راهداری نشریه شماره ۲۸۰ .۱۳۸۳ :سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک و انتشارات.