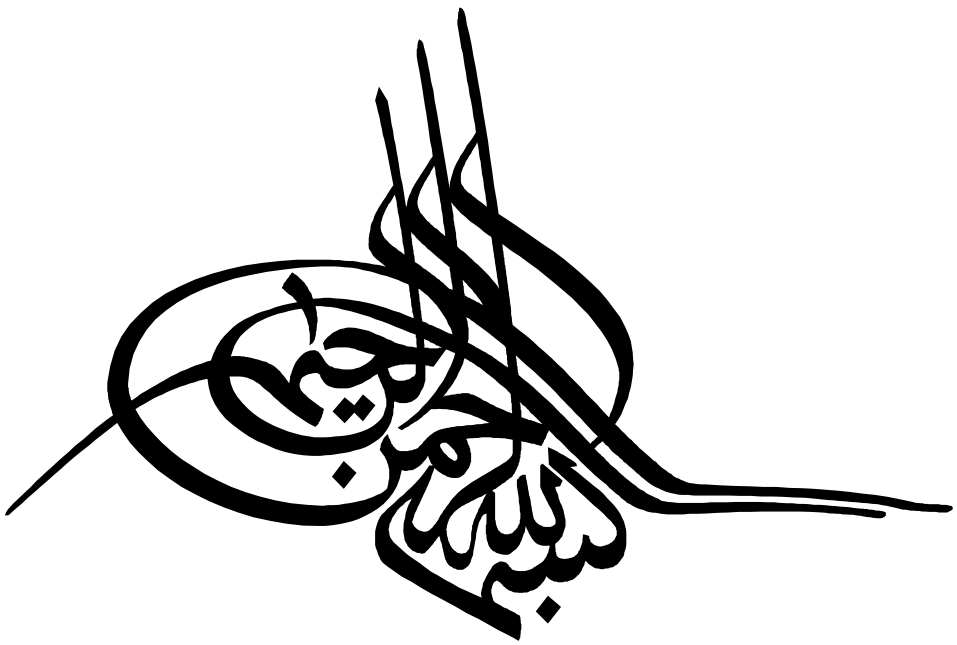

بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری
دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

تعمیر و مقاوم سازی زیرسازه پلها

این مجموعه ترجمه‌ای است از گزارشی تحت عنوان:

Repairing Bridge Substructures

توجه: هدف از تهیه این‌گونه مجموعه‌ها، طرح موضوعات تخصصی در قالب انتقال فناوری از طریق نشر منابع تخصصی معتبر می‌باشد. لذا به کلیه بهره‌برداران توصیه می‌گردد جهت کاربرد اعداد و استانداردهای مورد اشاره به اصل منابع مراجعه نمایند. بدیهی است ناشر هیچ گونه مسؤولیتی در خصوص پیامدهای سوء ناشی از عدم توجه به توصیه فوق را متقبل نخواهد شد.

دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

دفتر مطالعات فناوری و ایمنی- گروه مطالعات تطبیقی

عنوان گزارش	: **تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه پلها**
تهیه و تألیف	: **سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه (OECD)**
مترجم	: **ریموند صوفرزاده**
ویرایش	: **محسن رحیمی**
طرح جلد	: **لیلا سلوکی**
ناشر	: **پژوهشکده حمل‌ونقل**
نوبت چاپ	: **اول**
تاریخ انتشار	: **تابستان ۱۳۸۵**
کد انتشار	: **85/RRRI/203**
شابک	: **۷-۶۸- ۶۲۹۹-۹۶۴**
تیراژ	: **۱۵۰۰**
قیمت	:**۱۲۰۰ تومان**
لیتوگرافی	: **باران**
چاپ و صحافی	: **پژمان**
نشانی	: **میدان آرژانتین- ابتدای بزرگراه آفریقا- اراضی عباس‌آباد- ساختمان شهید دادمان- وزارت راه و ترابری- طبقه سیزدهم شمالی- واحد اطلاع‌رسانی و نشر پژوهش‌ها**
	تلفکس: ۸۲۲۴۴۱۶۴ web:www.rahiran.ir
	وب سایت فروش نشریات http://shop.rahiran.ir
	دفتر مرکزی فروش(انتشارات رنگین قلم) ۸۸۹۶۹۴۵۱

*** کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است***

این گزارش با حمایت مالی پژوهشکده حمل‌ونقل منتشر می‌گردد

بسمه تعالی

وزارت راه و ترابری به عنوان متولی اصلی صنعت حمل‌ونقل کشور، نیازمند استفاده از بخش وسیعی از خدمات مهندسی در زمینهٔ طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از اجزاء سیستم حمل‌ونقل می‌باشد. از این‌رو ضروری است که دانش فنی مورد نیاز بطور مستمر در اختیار مدیران و کارشناسان مربوطه قرار گرفته تا نیازهای مطالعاتی و تحقیقاتی آنها مرتفع گردد. معاونت آموزش،تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری درصدد است ضمن شناسایی نیازهای اساسی بخشهای مختلف وزارت متبوع و انجام تحقیقات علمی ـ کاربردی در زمینهٔ مسائل فنی حمل‌ونقل و همچنین استفاده از آخرین دستاوردها و انجام مبادلات علمی با مجامع و سازمانهای علمی و تخصصی ذیربط، به رفع این نیازها بپردازد. در همین راستا این معاونت برآن است تا با تهیه و تدوین مجموعه گزارش‌های تخصصی، دانش فنی مورد نیاز را به شکلی مناسب در اختیار بخشهای مختلف وزارت متبوع و سایر متخصصان قرار دهد.

گزارش حاضر بخشی از برنامه‌های گسترده OECD، مربوط به بازرسی فنی، نگهداری و بازسازی پل می‌باشد که توسط کارشناسان پل در کشورهای عضو این سازمان انجام شده است و تمرکز اصلی آن بر روی زیرسازه پلها می‌باشد. سازمان OECD اطلاعات خوبی در مورد آسیب‌ها و عیوب زیرسازه پلها، روشهای بازرسی و تکنیک‌های تشخیص خرابی‌ها و روندهای تعمیر و نگهداری زیرسازه پلها جمع آوری نموده است که مدیران را در بهبود طراحی و تعمیر و نگهداری پلها تواناتر می‌سازد.

امید است که با تلاشهای صورت گرفته در دفترمطالعات فناوری و ایمنی و همکاری افرادی که در تهیهٔ این گزارش ما را یاری رساندند، گامی مؤثر در جهت ایجاد تحول، نوآوری و ارتقاء عملکردها برداشته شود. **در پایان از پژوهشکده حمل‌ونقل، به جهت حمایت از انتشار این مجموعه تشکر و قدردانی می‌گردد.**

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

دفتر مطالعات فناوری و ایمنی

سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه- OECD[1]

هسته اولیه OECD، سازمان همکاری‌های اقتصادی اروپا بوده است که بعد از جنگ جهانی دوم به منظور کمک به بازسازی اروپا تشکیل گردید. بعد از سال ۱۹۶۰ و تبدیل آن به OECD، هدف اصلی این سازمان، ایجاد اقتصاد قوی در کشورهای عضو، بهبود کارایی، ترویج تجارت آزاد و مشارکت در توسعه اقتصادی کشورهای صنعتی و همچنین کشورهای در حال توسعه بوده است.

مطابق بند اول کنوانسیون امضاء شده در دسامبر ۱۹۶۰ در پاریس، سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه باید در ترویج سیاست‌های ذیل فعالیت نماید:

۱- رسیدن به بالاترین سطح از رشد پایدار اقتصادی و اشتغال و بالابردن سطح کیفی زندگی در کشورهای عضو و در عین حال تضمین پایداری مالی و اعتباری. به عبارت دیگر، مشارکت در توسعه اقتصادی جهان،

۲- مشارکت درترویج اقتصاد سالم در کشورهای عضو و همچنین سایر کشورها در فرآیند توسعه اقتصادی،

۳- مشارکت در توسعه تجارت چند وجهی، رقابت‌پذیر و بدون تبعیض در جهان در چارچوب الزامات و قوانین بین‌المللی.

کشورهای عضوOECD عبارتند از:

ایسلند	**انگلستان**	**ترکیه**	**سوئد**	**لهستان**
آلمان	**ایالات متحده آمریکا**	**جمهوری چک**	**سوئیس**	**لوکزامبورگ**
استرالیا	**ایتالیا**	**هلند**	**فرانسه**	**مجارستان**
اتریش	**ایرلند**	**دانمارک**	**فنلاند**	**مکزیک**
اسلواکی	**بلژیک**	**نیوزیلند**	**کانادا**	**نروژ**
اسپانیا	**پرتقال**	**ژاپن**	**کره**	**یونان**

1- Organization for Economic Cooperation and Development

تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه پلها

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

خلاصه مدیریتی ۱

۱- پیشینه و محدوده فعالیت..... ۳

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- اصطلاحات ۳

۱-۲-۱- تعریف مسأله ۳

۱-۲-۲- تعاریف ۴

۱-۲-۳- وظایف و اقدامات..... ۶

۱-۳- اهداف کلی ۷

۱-۴- ساختار مطالعه ۸

۲- عیوب رایج و علل آن..... ۱۰

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- عوامل مرتبط با زمین ۱۰

۲-۲-۱- فعالیت‌های لرزه‌ای..... ۱۰

۲-۲-۲- حرکات زمین..... ۱۵

۲-۲-۳- نشست ۱۶

۲-۳- عوامل مرتبط با آب ۱۷

۲-۳-۱- تأثیرات سیلاب یا سیلاب‌دشت رودخانه ۱۷

۲-۳-۲- جزرومد ۲۰

۲-۴- بارهای خارجی ۲۰

۲-۴-۱- ضربه کشتی ۲۰

۲-۴-۲- باد..... ۲۱

۲-۴-۳- ترافیک ۲۱

۲-۴-۴- درجه حرارت ۲۱

عنوان **صفحه**

۲-۴-۵- آشغال و مواد زاید ۲۱
۲-۴-۶- یخ‌زدگی ۲۲
۲-۵- اضمحلال در اثر شرایط محیطی ۲۲
۲-۵-۱- زیرسازه‌های بتنی..... ۲۲
۲-۵-۲- زیرسازه‌های فولادی ۲۴
۲-۵-۳- زیرسازه‌های چوبی ۲۴
۲-۵-۴- زیرسازه با مصالح بنایی ۲۴
۲-۶- سازه‌های خاک مسلح ۲۴
۲-۷- مراجع ۲۶
۳- روش‌های بازرسی..... ۲۷
۳-۱- مقدمه ۲۷
۳-۲- اجزای در هوا ۲۷
۳-۲-۱- سطوح بازرسی ۲۷
۳-۲-۲- روش‌های بازرسی ۳۰
۳-۳- اجزای داخل خاک ۳۲
۳-۴- اجزای داخل آب ۳۳
۳-۵- مراجع ۳۵
۴- روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی..... ۳۶
۴-۱- مقدمه ۳۶
۴-۲- چشم‌اندازی از روش‌های مورد استفاده در کشورهای عضو ۳۶
۴-۳- روش‌هایی در مورد آسیب‌های مربوط به زمین ۴۱
۴-۳-۱- زمین‌لغزه‌ها ۴۱
۴-۳-۲- نشست در اثر ظرفیت باربری ناکافی فونداسیون..... ۴۴
۴-۳-۳- نشست زمین در اثر تحکیم ۴۵
۴-۳-۴- روانگرایی در حین زلزله..... ۴۷
۴-۳-۵- حرکت جانبی کوله‌های ساخته‌شده روی زمین نرم ۴۹
۴-۳-۶- تغییر شکل زمین در اثر ساخت‌وسازهای مجاور..... ۵۲

عنوان **صفحه**

۴-۴- روشهایی برای پیشگیری از آسیب‌های ناشی از آب..... ۵۴
۴-۴-۱- ناپایداری جریان آب ۵۴
۴-۴-۲- اثرات سیلاب..... ۶۱
۴-۴-۳- اثرات جزرومد ۶۲
۴-۵- روش‌هایی برای مقابله با آسیب‌های ناشی از بارهای خارجی ۶۲
۴-۵-۱- بارهای تکراری ترافیک ۶۲
۴-۵-۲- برخورد کشتی یا وسایل نقلیه ۶۳
۴-۵-۳- باد ۶۴
۴-۵-۴- تنش حرارتی ۶۴
۴-۵-۵- زلزله ۶۴
۴-۵-۶- یخ ۶۸
۴-۶- روش‌هایی برای مقابله با آسیب‌های ناشی از اضمحلال مصالح ۶۹
۴-۶-۱- بتن ۶۹
۴-۶-۲- فولاد ۷۵
۴-۶-۳- چوب ۷۷
۴-۶-۴- ملات ۷۸
۵- خط‌مشی تعمیر و مقاوم‌سازی- پیشنهادات..... ۷۹
۵-۱- خط‌مشی کلی و اهداف ۷۹
۵-۲- ساختار خط‌مشی‌ها و استراتژی‌ها ۷۹
۵-۲-۱- تحولات و فناوری‌ها ۷۹
۵-۲-۲- پیامدهای عملیات نگهداری ۸۰
۵-۲-۳- استراتژی‌های تعمیر ۸۰
۵-۳- عوامل مؤثر در خط‌مشی ۸۱
۵-۳-۱- محدوده عوامل مؤثر ۸۱
۵-۳-۲- ایمنی و اورژانس ۸۲
۵-۳-۳- ظرفیت باربری..... ۸۲
۵-۳-۴- عوامل بحرانی در طراحی، بازرسی و نگهداری ۸۲

عنوان **صفحه**

۵-۴- مسایل اقتصادی و فنی ۸۳
۵-۴-۱- نگهداری..... ..... ۸۳
۵-۴-۲- طرح‌ریزی تعمیر و مقاوم‌سازی ۸۴
۵-۵- چالش‌های آینده ۸۶
۵-۵-۱- نیاز به پیش‌بینی ۸۶
۵-۵-۲- تقاضاهای ترافیکی آینده ۸۶
۵-۵-۳- ملاحظات شرایط محیطی ۸۷
۵-۵-۴- محدودیت‌های فنی ۸۷
۵-۵-۵- جنبه‌های اجتماعی- اقتصادی..... ..... ۸۸
۵-۶- پیشنهادات ۸۸
۵-۷- مراجع ۸۹
۶- فعالیت‌های تحقیقاتی و نیازها..... ۹۰
۶-۱- دیدگاه ۹۰
۶-۲- فرایندهای ایجاد آسیب..... ..... ۹۱
۶-۲-۱- آب‌شستگی و ناپایداری جریان آب ۹۱
۶-۲-۲- زلزله..... ..... ۹۱
۶-۲-۳- نشست و تغییر شکل تدریجی خاک زیر فونداسیون ۹۲
۶-۲-۴- خوردگی ۹۲
۶-۳- ارزیابی شرایط موجود ۹۲
۶-۳-۱-NDE/NDT (تجهیزات غیر مخرب / آزمایش‌های غیر مخرب) ۹۲
۶-۳-۲- روش‌های مستقیم ۹۳
۶-۳-۳- شرایط محیطی ۹۳
۶-۴- تعمیر ۹۴
۶-۴-۱- روش‌های دسترسی و ساخت ۹۴
۶-۴-۲- بهسازی مواد و مصالح..... ..... ۹۵
۶-۴-۳- تکنیک‌های پیشگیری و تعمیر ۹۵
۶-۴-۴- مقاومت در برابر تغییر روش‌ها ۹۷

عنوان **صفحه**

۶-۵- تحلیل و تصمیم‌گیری برای تعمیر ۹۷
۶-۶- جمع‌بندی ۹۷
۷- نتایج کلیدی تحقیقات..... ۹۸
۷-۱- خلاصه ۹۸
۷-۱-۱- آسیب‌های معمول و عوامل به وجودآورنده آنها ۹۸
۷-۱-۲- روش‌های بازرسی فنی..... ۹۹
۷-۱-۳- روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی ۹۹
۷-۱-۴- پیشنهادات و خط‌مشی‌های تعمیر و مقاوم‌سازی ۱۰۰
۷-۱-۵- نیازها و فعالیت‌های تحقیقاتی ۱۰۰
۷-۲- نتیجه‌گیری..... ۱۰۰
۷-۳- پیشنهادات ۱۰۱

خلاصه مدیریتی

نیاز به هماهنگی در خط‌مشی درازمدت

این گزارش بخشی است از برنامه‌های گسترده OECD مربوط به بازرسی فنی، نگهداری و بازسازی پل که توسط کارشناسان پل در کشورهای عضو OECD انجام شده است و تمرکز اصلی آن برروی زیرسازه پلها می‌باشد.

عوامل زیادی از جمله شرایط محیطی نامناسب، بلایای طبیعی، بارهای زنده سنگین، برخورد با کشتی و آب‌شستگی، بر روی یکپارچگی زیرسازه پلها تأثیرگذار است. ادارات راه و پل در کشورهای عضو OECD، برنامه‌های بازرسی منظمی را برای اطمینان از کارکرد بهینه اجزاء زیرسازه پلها انجام داده‌اند که نتایج حاصل از این مطالعات مدیران را در بهبود طراحی و تعمیر پلها تواناتر می‌سازد.

نوآوری در طراحی، مصالح بهبودیافته و استفاده از تکنیک‌های بهتر ساخت‌وساز، کارآیی زیرسازه‌ها را بالاتر برده است. علی‌رغم وجود مشکلاتی در تعمیر سازه‌ها در طول ۲۰ سال گذشته، کارآیی درازمدت زیرسازه پلهای مدرن رضایت‌بخش بوده است. تجربه و دانش در زمینه عملیات مناسب نگهداری، کارآیی زیرسازه‌ها را افزایش داده است.

سازمان OECD اطلاعات خوبی را در مورد آسیب‌ها و عیوب زیرسازه پلها، روش‌های بازرسی و تکنیک‌های تشخیص خرابی‌ها و روندهای کنونی مورد استفاده در تعمیر و نگهداری زیرسازه پلها جمع‌آوری نموده است.

نکات اولیه درباره تحقیق و بازرسی در مورد خرابی‌ها

همواره باید چندین نکته درباره تعیین مراحل ارزیابی و تخمین خرابی‌ها و همچنین تعمیر و نگهداری زیرسازه پلها مورد توجه قرار گیرد. پلها، اجزای بسیار مهمی از شبکه راهها می باشند زیرا خرابی و فروریزش آنها تأثیر وحشتناکی بر عملکرد شبکه خواهد گذاشت. در بسیاری از موارد، ارزیابی و تخمین خرابی‌ها، نگهداری و تعمیرات، بسیار مشکل می‌باشند زیرا برای انجام آنها نیاز به مهندسین پرتجربه و محدوده وسیعی از تکنیک‌های ابتکاری می‌باشد. این گزارش عیوب متداول در پلها و علل به وجودآورنده آنها را معرفی می‌کند. عوامل مذکور عبارتند از:

۱- عوامل مربوط به زمین
۲- عوامل مربوط به آب
۳- بارهای خارجی
۴- اضمحلال اجزای پل

در کشورهای عضو OECD عوامل زمینی مانند زمین‌لرزه‌ها، روانگرایی و زمین‌لغزه‌ها به ندرت اتفاق می‌افتد. هرچند وقتی این گونه حوادث اتفاق بیفتند بسیار مخرب هستند. نشست پی از جمله مواردی است که بسیار پیش می‌آید. آب‌شستگی عامل مخرب مشترکی است که در تمامی کشورها وجود دارد. در مورد بارهای خارجی می‌توان به برخورد کشتی و در مورد اضمحلال مصالح به اثر شرایط محیطی اشاره کرد. دفعات و نحوه بازرسی از زیرسازه‌ها در بین کشورهای عضو تقریباً مشابه می‌باشد. در اکثر موارد بازرسان از یک روش استاندارد برای جمع‌آوری داده‌ها و انتقال

اطلاعات به سیستم مدیریت پل استفاده می‌کنند. بازرسی‌های ویژه در صورت بروز حوادثی مانند زمین‌لرزه‌ها، سیلابها و تصادف انجام می‌شود.

پیشرفت‌های فناوری و راهبردهای سیستماتیک تعمیرات

توضیحات، عکسها و تصاویر تعدادی از روش‌های تعمیر مورد استفاده در کشورهای عضو OECD در گزارش ارایه شده است. خط‌مشی تعمیر و مقاوم‌سازی پیشنهادی بر روی ایمنی، ظرفیت باربری، عوامل طراحی، تعمیر و نگهداری و عوامل اقتصادی تأکید می‌کند.

پیشرفت‌های آتی

با توجه به نتایج مخرب زمین‌لرزه کوبه در سال ۱۹۹۵، هنوز تلاشهای مستمری برای دستیابی به روش‌های بهتر برای بازرسی، تعمیر و نگهداری مورد نیاز است. در این گزارش نیز نیاز به تحقیق در زمینه پیش‌بینی نقص و خرابی ناشی از آب‌شستگی، زمین‌لرزه‌ها، نشست و فرسایش زیرسازه پلها مشهود می‌باشد.

توصیه می‌شود:

۱- استفاده از تجهیزات جمع‌آوری خودکار داده‌ها باید در برنامه‌های بازرسی فنی پل بیشتر متداول گردد تا از این طریق دقت اطلاعات جمع‌آوری شده توسط بازرسی پل افزایش یابد. بنابراین به جای صرف وقت برای وارد کردن دستی اطلاعات، زمان بیشتری صرف بازرسی عملی خواهد گردید.

۲- تلاشهایی در زمینه توسعه تجهیزات تشخیص و تعیین خرابی زیرسازه‌ها، چه در بخش خارج از آب و چه در بخش داخل آب صورت گیرد.

۳- کشورهای عضو باید روش‌های کنونی تعمیر و مقاوم‌سازی را آزمایش کنند و مناسب‌ترین و بهترین آنها را انتخاب نمایند. همچنین اطلاعات مربوط به امکان‌سنجی، هزینه‌ها و عملکرد روش‌ها نیز باید برای اعضا فراهم شود.

۴- تحقیقات و مطالعات برای بهبود و توسعه روش‌های ارزیابی زیرسازه‌ها در شرایط محیطی سخت و دشوار، مورد نیاز می‌باشد. همچنین تحقیقات و مطالعات برای دستیابی به روش‌های بهتر برای حفاظت زیرسازه‌ها از نیروهای زمینی، آبی و محیطی ضروری است.

۵- سازمان و تشکیلاتی جهانی در جهت برقراری ارتباط به منظور تبادل تجارب، روش‌ها و محصولات مربوط به تعمیر و نگهداری زیرسازه پلها شکل گیرد.

۱- پیشینه و محدوده فعالیت

۱-۱- مقدمه

زیرسازه پلها با تأمین تکیه‌گاه مناسب برای روسازه پل جهت عبور بارهای ترافیکی، عناصری حیاتی در پلهای راه محسوب می‌شوند. بنابراین اطمینان از کارآیی مطلوب و دایمی زیرسازه، مستلزم به کارگیری روش‌های مطلوب بازرسی، تعمیر و نگهداری از آنها می‌باشد.

نتایج تحقیقات و مطالعات چندین ساله کارشناسان حمل‌ونقل OECD در زمینه روش‌های بازرسی فنی، نگهداری و تکنیک‌های بهسازی بکارگرفته شده در کشورهای عضو، در قالب گزارش‌هایی از جمله "بازرسی پـل" در سـال ۱۹۷۶، "نگهداری پل" در سال ۱۹۸۱ و "بهسازی و مقاوم‌سازی پل" در سال ۱۹۸۳ انتشار یافته‌اند[۱].

کارشناسانی از ۱۷ کشور عضو OECD این نتایج را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند که تمرکز این تحقیقـات بـر روی روش‌ها و تکنیک‌های تعمیر و نگهداری اجزاء پلهای راه قرار داشت.

این گزارش بر روی المانهای زیرسازه مانند کوله‌ها، پایه‌ها و فونداسیون‌ها تمرکـز دارد و گروهـی از متخصصـان، اطلاعاتی را در مورد آسیب‌ها و عیوب فونداسیون‌ها، روش‌های بازرسی جهت شناسـایی عیـوب زیرسـازه و روش‌هـای تعمیر و نگهداری متناسب با آسیب‌های زیرسازه، ثبت کرده‌اند.

۱-۲- اصطلاحات

مجموعه لغات و اصطلاحاتی که از این به بعد استفاده می‌شود سازگار با مطالعات قبلیOECD در مورد بازرسـی، نگهداری و بهسازی پلها می‌باشد.

۱-۲-۱- تعریف مساله

پلهای راه دارای نقش کلیدی در شبکه راهها می‌باشند و معمولاً طوری طراحی می‌شوند کـه حتـی الامکـان تـا ۱۰۰ سال به طور ایمن قابل استفاده باشند. یک پل قبل از اینکه از لحاظ سازه‌ای ناکارآمد شود، باید از لحاظ عملکـردی از کارافتاده شود. عواملی از جمله بلایای طبیعی، اثرات محیطی، بارهای زنده سنگین، برخورد بـا کشـتی و آب‌شسـتگی عمر مفید پل را کوتاه‌تر می‌کنند و همچنین علاوه بر آن مشکلات دیگری نیز برای پل به وجود می‌آورند از جمله:

- بالابردن ریسک آسیب و حتی مرگ برای کسانی که به نوعی از روی آن پل عبور می‌کنند.
- کاهش ظرفیت باربری سازه که به تبع آن میزان مجاز حمل بار از پل پایین می‌آید و گاهی نیـز مسـدود نمـودن پل الزامی می‌گردد که این امر ضربه اقتصادی مهلکی به کسانی که راه ارتباطی و تردد آنها از آن پـل مـی‌باشـد، وارد می‌نماید.
- نیاز به میزان قابل‌توجهی پول برای تعمیر پل و به حالت اول در آوردن آن.

۱- دیگر گزارشهای OECD عبارتند از "آب‌بندی عرشه پلهای بتنی (۱۹۷۲)، "ارزیابی ظرفیت باربری پلها" (۱۹۷۹)، "دوام پلهـای بتنـی جـاده‌ای" (۱۹۸۹) و "مدیریت پلها" (۱۹۹۲).

برنامه‌هایی که برای بازرسی، نگهداری و تعمیرات در بسیاری از کشورها آغاز شده است بسیاری از مشکلات زیرسازه پلها را آشکار نموده است. هدف نهایی از این برنامه‌ها اینست که المانهای زیرسازه در حالت بهره‌برداری باقی بمانند تا برای عبور و مرور عمومی مشکلی پیش نیاید و نیز سرمایه‌گذاری روی منابع بهینه شود. این برنامه‌ها باید اعضای باربر سازه را تحت پوشش قرار دهند اما المانهای ثانویه‌ای که در عملکرد پل نقش دارند نیز نباید نادیده گرفته شوند.

۱-۲-۲- تعاریف

اصطلاحات زیر با معانی تعریف شده در گزارش به کار برده شده‌اند:

نگهداری: مجموعه اقداماتی که برای حفظ و نگهداری وضعیت طراحی‌شده یا پیکربندی قابل قبول سازه انجام می‌شود.

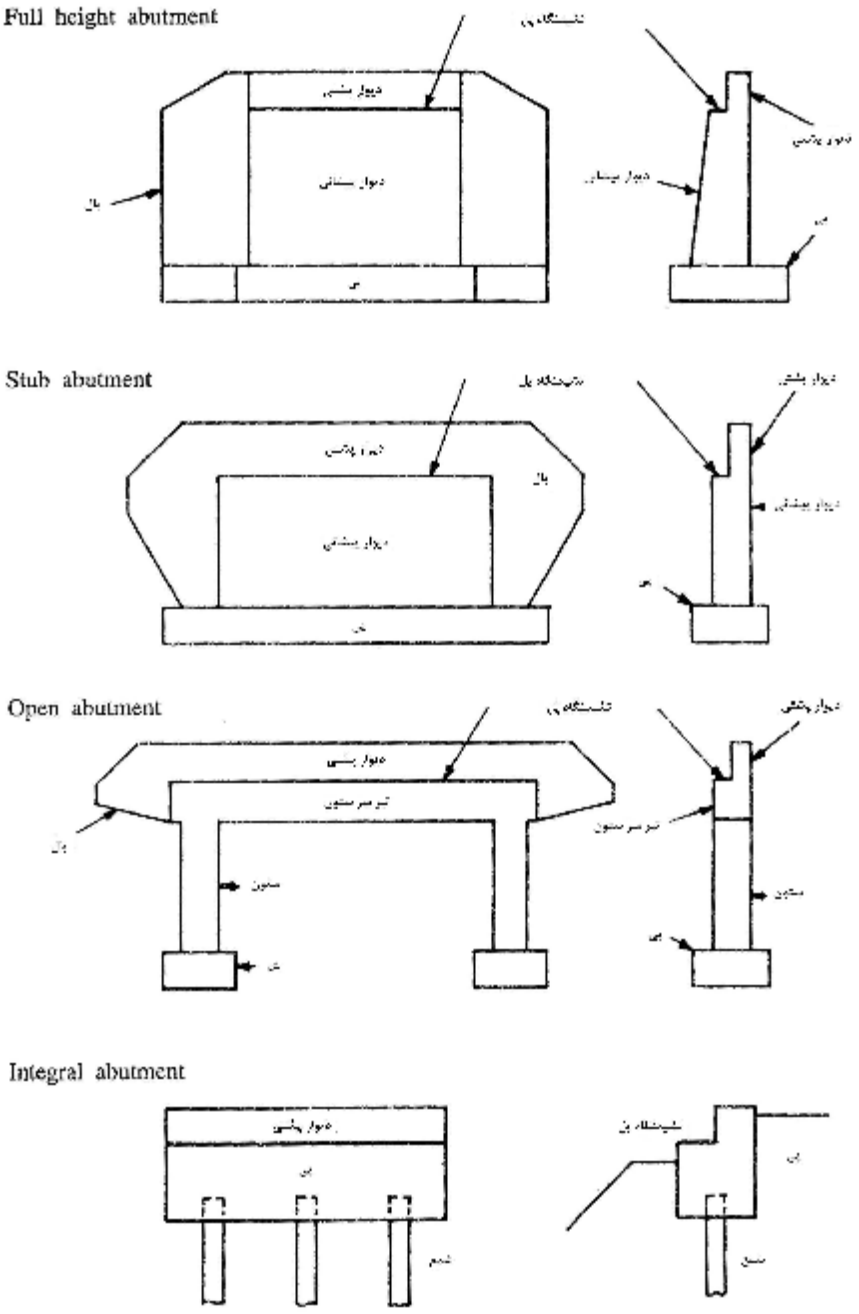
تعمیر: مجموعه اقداماتی که در مورد اعضای اضمحلال یافته یا آسیب‌دیده یک پل انجام می‌شود تا عملکرد کلی یا بخشی از عملکرد آن احیا شود. عملیات تعمیراتی شامل احیای دوام، ظرفیت باربری، ایمنی جاده و غیره می‌باشد و در محدوده تعمیرات ساده تا جایگزینی‌های پیچیده بخشهای اصلی باربر پل قرار دارد.

مقاوم‌سازی: مجموعه اقداماتی که در مورد یک سازه (لزوماً نباید آسیب‌دیده باشد) جهت بهبود عملکرد آن انجام می‌شود مانند افزایش ظرفیت باربری پل نسبت به سطوح قبلی. عملیات مقاوم‌سازی شامل آندسته از سازه‌هایی که باید در مقابل بارهایی که از ابتدا برای تحمل آنها طراحی نشده بودند قرار گیرند نیز می‌شود. تفاوت بین تعمیر و مقاوم‌سازی اساساً در هدف از انجام آنها می‌باشد، چه بسا که تکنیک‌ها و روش‌های مربوطه برای هر دو مشابه باشند.

زیرسازه: قسمتی از پل که بار را از قسمت روسازه به پی منتقل می‌کند و به عبارتی نقش پشتیبان روسازه را دارد. اجزای اصلی زیرسازه‌ها عبارتند از کوله‌ها، پایه‌ها و شمع‌ها. نمایی از این اجزا در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.

خط‌مشی: روش‌ها و دستورالعمل‌هایی که توسط سازمان‌های مربوطه در تشریح اهداف، راهکارها و روش‌های تعمیر، نگهداری و مقاوم‌سازی زیرسازه پلها ارایه می‌گردد.

استراتژی: مجموعه اقدامات، طرحها و روش‌هایی که برای رسیدن به یک راه‌حل مناسب برای رفع مشکل یک زیرسازه خاص و یا برآوردن اهداف وسیع تشریح شده در اداره راه در مورد خط‌مشی مربوط به زیرسازه‌ها انجام می‌شود.



شکل (۱-۱) انواع پیکربندی کوله‌ها

۱-۲-۳- وظایف و اقدامات

وظایف و اقداماتی که باید در مورد زیرسازه پلها روی آنها تمرکز شود به شرح زیر می‌باشند:

۱- شناسایی عیوب و آسیب‌های واقعی پی‌ها و پایه‌ها.

۲- روش‌های بازرسی فنی جهت شناسایی خرابی‌ها و عیوب زیرسازه پلها و ارایه توصیه‌هایی جهت بهبود این روش‌ها

۳- روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی خرابی‌ها و و توصیه‌هایی جهت بهبود و ارتقا

۴- ساماندهی خط‌مشی تعمیر و مقاوم‌سازی

۵- شناسایی نیازها و فعالیت‌های تحقیقاتی

سؤالاتی که از کشورهای عضو OECD پرسیده شده بود شامل مباحث زیر بود:

۱- ارزیابی و تخمین کلی آسیب‌ها و خرابی‌ها

- آسیب‌های ناشی از عوامل زمینی
- آسیب‌های ناشی از عوامل آبی
- آسیب در اثر بارهای خارجی
- اضمحلال

کشورهای عضو اطلاعات لازم را در حوزه مسایل فوق همراه با اسناد و مدارک، نقشه‌ها و دیگر موارد لازم تهیه و ارایه نمودند.

۲- بازبینی و مطالعه روش‌های بازرسی و مشکلات مربوطه:

- روش‌های بازرسی
- روش‌های ارزیابی یکپارچگی
- تکنیک‌ها و روش‌های مدیریت

۳- ارزیابی روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی و مشکلات مربوطه

اگرچه عملیات تعمیر و مقاوم‌سازی در مورد آسیب‌های عمده شناسایی‌شده یا بخشهای آسیب‌دیده زیرسازه انجام می‌شود اما در عمل مشکلات بسیاری بروز می‌کند. برای بهبود این وضعیت، ارزیابی کارهای تعمیراتی یا مقاوم‌سازی و مسایل و مشکلات مربوطه (مانند مطالعات موردی براساس اطلاعاتی که از کارهای مشابه به دست آمده است) مفید خواهد بود.

۴- خط‌مشی تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه‌ها

در این ارتباط نیز اطلاعاتی که گویای خط‌مشی و روندهای اجرایی فعالیت‌های تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه‌ها می‌باشد، توسط کشورهای عضو تهیه گردید.

۵- نیاز به فعالیت‌های تحقیقاتی

از هر یک از کشورهای عضو خواسته شد که بحثی را در مورد حوزه‌های تحقیقاتی مورد نیاز مربوط به فعالیت‌های نگهداری، تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه‌ها ترتیب دهند. مطالعات گروه بر روی تمامی موارد فوق متمرکز شد و در جاهای مناسب از مطالعات قبلی OECD در مورد نگهداری، بهسازی و مقاوم‌سازی پلها نیز استفاده شد.

مطالعات و تحقیقات مذکور، شامل همه انواع زیرسازه پلها می‌باشد. در واقع تفاوت زیرسازه‌ها از جنبه نوع، سن و تکنیک ساخت باید در روش‌ها و راهکارهای بازرسی نگهداری و استراتژی تعمیر مورد توجه قرار گیرد. اکثر پلهای قدیمی پاسخگوی نیازهای باربری امروز، استانداردهای هندسی و حجم ترافیک نمی‌باشند و یا در برابر عوامل محیطی، برخورد کشتی، آب‌شستگی یا بلایای طبیعی محافظت نشده‌اند.

۱-۳- اهداف کلی

برآورد و ارزیابی خسارت، تعمیر و نگهداری زیرسازه پلها، از مباحث کلیدی برای دستیابی به یک ایمنی پایدار در کل شبکه راه می‌باشد. هر چند دستیابی به این امر کار دشواری است و نیاز به تجارب عمیق مهندسی و محدوده وسیعی از تکنیک‌های نوآورانه می‌باشد.

اهداف کلی این مطالعه منعکس‌کننده بسیاری از مفاهیمی می‌باشد که در مطالعات قبلی OECD ارایه شده بود، به ویژه مطالعاتی که مربوط به نگهداری پلها بود و در آن، هدف از برنامه نگهداری پل به شرح زیر عنوان شده است:

- حفظ کاربری و ظرفیت باربری پل تا زمان ممکن
- صرفه‌جویی اقتصادی برای حال و آینده
- دستیابی به بهره‌برداری مستمر با توجه به محدودیت‌های مالی موجود
- اطمینان از ایمنی مسافران
- حداقل‌سازی تداخل با ترافیک عبوری
- ایجاد اطمینان کافی برای سفر راحت

با صرف هزینه بیشتر روی جنبه‌های مختل‌کننده ایمنی جاده‌ها نسبت به جنبه‌های ناکارآمدی سازه‌ای آنها، می‌توان ایمنی همه‌جانبه مسافران را به نحو مناسب‌تری تأمین نمود (به عنوان مثال پلهای باریک با جانمایی نامناسب می‌توانند باعث تلفات جانی و تصادفات بسیار بیشتری نسبت به تلفاتی که در اثر فروریزش یک پل به علت عیوب سازه‌ای آن رخ می‌دهد، شوند). با توجه به اینکه انتظار می‌رود که پلها و پل‌دره‌ها از لحاظ سازه‌ای همواره در وضعیت ایمنی باشند لذا مهندسان علاوه بر الزامات قانونی و کاری، از لحاظ اخلاقی نیز باید بدانند که تأمین ایمنی پل هدف اصلی نگهداری پل می‌باشد.

صرفه‌جویی اقتصادی در نگهداری پل یکی از موضوعات بسیار حایز اهمیت است. همچنین نگهداری درازمدت و حفظ ظرفیت باربری سازه از اهداف و برنامه‌ها می‌باشد. اگرچه در بسیاری از موارد، پلها قبل از اینکه از لحاظ سازه‌ای ناکارآمد شوند از لحاظ عملکردی از کارافتاده می‌شوند. نرخ بسیار کم جایگزینی پلها در اکثر کشورها نشان

می‌دهد که نگهداری بلندمدت پل باید به طور کلی به عنوان یک قانون مطرح گـردد. در غیـر ایـن صـورت هزینـه‌هـای صرف شده برای نگهداری جهت جلوگیری از نرخ بیش از حد اضمحلال در برخی کشورها، کافی نخواهد بود.

۱-۴- ساختار مطالعه

در تخمین و ارزیابی خرابی و خسارت وارده به اجزاء زیرسازه‌ها و پی‌های زیر سطح آب، مشکلات و معضـلات بی‌شماری وجود دارد. یافتن راهکار و روش بهینه اقتصادی تعمیر و نگهداری نیز خـالی از مشـکل نیسـت. ایـن تحقیـق شامل اطلاعات فنی روش‌های استفاده شده برای ارزیابی آسیب‌ها و خرابی‌های به وجود آمده در کوله پلهـا و پایـه‌هـای زیر سطح آب در کشورهای عضو می‌باشد. همچنین به روند شناسایی مشکلات و خسارات مربـوط بـه فونداسـیون‌هـا، شمع‌ها و کیسون‌ها نیز اشاره گردیده است.

در این گزارش مباحثی در مورد علل آسیب‌ها و عیوب زیرسـازه‌هـا و روش‌هـای مـوفقی کـه بـرای تعمیـر ایـن آسیب‌ها بکار گرفته شده همراه با تجهیزات و مصالح مورد نیـاز، ارایـه شـده اسـت. بـه عـلاوه، مبـاحثی نیـز در مـورد روش‌های طراحی و اجرای هر یک از فعالیت‌های تعمیراتی شرح داده شده است.

فصول این گزارش شامل موارد زیر می‌باشد:

فصل ۲: «عیوب رایج و علل آنها»

این فصل براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از کشورهای عضو OECD تهیه و تدوین شده است. در ایـن فصـل درباره خرابی‌های مربوط به بخشهای زیرسازه و پی پلها بحث شده است.

فصل ۳: «روش‌های بازرسی فنی»

در این فصل بر روی روندهای بکار گرفته شده در کشورهای عضو، برای ارزیابی آسیب‌های بـه وجـود آمـده در اعضای زیرسازه و المانهای فونداسیون، تمرکز شده است. همچنین در مورد هدف اصلی و اهمیت ارزیـابی آسـیب‌هـا و تعریف روش‌های استفاده شده در ارزیابی آسیب‌های وارد به اعضای زیرسـازه و فونداسـیون‌هـا بحـث شـده اسـت. بـه علاوه، در این فصل در مورد روش‌های ارزیابی در جهت بهبود تخمین آسیب‌ها نیز توضیح داده شده است.

فصل ۴: «روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی»

این فصل درباره روش‌ها و تکنیک‌های کنونی تعمیـر پـی و زیرسـازه پلهـا (مـورد اسـتفاده در کشـورهای عضـو OECD) بحث می‌کند. ضمناً به تکنیک‌های بهبودیافته روش‌های تعمیر و نگهداری نیز اشاراتی شده است.

فصل ۵: « خط‌مشی‌های تعمیر و مقاوم‌سازی- پیشنهادات»

این فصل به مسایلی که باید در برنامه‌ریزی و اجرایی کردن سیاست‌های مربـوط بـه تعمیـر در نظـر گرفتـه شـود ارتباط دارد، شامل:

- مسایل سازمانی و مدیریتی
- جنبه‌های اصلی و مهم شامل، ایمنی، اقتصاد، ترافیک و مسایل فنی

فصل ۶: «نیازها و فعالیت‌های تحقیقاتی»

علاوه بر تعیین زمینه‌های اصلی تحقیقاتی، درباره روش‌های اجرایی نمودن تعمیر زیرسازه پلها نیز در این فصل بحث می‌شود.

فصل ۷: «نتایج کلیدی تحقیقات»

در این فصل نتایج دستاوردها و تحقیقات خلاصه شده است تا در قالب پیشنهاد به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان مربوطه در سطوح سیاستگذاری یا فنی کمک نماید.

۲- عیوب رایج و علل آن

۲-۱- مقدمه

این فصل به طور خلاصه رایج‌ترین آسیب‌هایی که در زیرسازه پل ممکن است رخ دهد را در کشورهای عضو ارایه می‌کند و مکانیسم و عواملی که باعث تشدید این آسیب‌ها می‌شوند را بیان می‌نماید. این اطلاعات تحت چهار عنوان اصلی زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- عوامل مرتبط با زمین
- عوامل مرتبط با آب
- بارهای خارجی
- خرابی و اضمحلال

در هر یک از گروههای اصلی فوق، زیر عنوانهای مختلفی وجود دارد که هر یک از آنها بررسی یک علت کلی خاص و آسیب و یا آسیب‌های حاصل از آن را امکان‌پذیر می‌سازد.

در این فصل تلاش می‌شود درصدی از پلهای آسیب‌دیده در کشورهای مختلف به عنوان مثال آورده شود و میزان خرابی‌های به وجود آمده در آنها به تصویر کشیده شود. این میزان با اعداد زیر گزارش می‌شود:

۰: آسیب‌دیدگی جزئی

۱: آسیب‌دیدگی عمده، لزوم تغییر

۲: آسیب‌دیدگی شدید، لزوم جایگزینی المان

۳: آسیب‌دیدگی بسیار شدید، لزوم جایگزینی المان و زیرسازه

از زمان انتشار گزارش OECD با عنوان "مدیریت پل" در سال ۱۹۹۲، تعداد پلهایی که تحت نظارت مراجع مسؤول بوده‌اند تغییر چندانی نکرده است، البته به استثنای کشور آلمان که آمار هم اکنون نشان‌دهنده پلهای جدیدی می‌باشد. تعداد کل پلها در آلمان به ۳۳۹۲۶ دستگاه افزایش یافته است که هزینه جایگزینی آنها در حدود ۳۹ میلیارد دلار برآورد می‌شود.

۲-۲- عوامل مرتبط با زمین

سه زیر عنوان اصلی در این گروه تعریف می‌شود: فعالیت‌های لرزه‌ای، زمین‌لغزه‌ها و نشست.

۲-۲-۱- فعالیت‌های لرزه‌ای

تعداد کمی از اعضاء فعالیت‌های لرزه‌ای را به عنوان یک مسأله بزرگ گزارش کرده‌اند، اما در مناطقی مانند ژاپن که فعالیت‌های شدید لرزه‌ای رخ می‌دهد تأثیرات آن بسیار جدی و شدید بوده است. در ایالات متحده آمریکا وقوع زلزله معمول می‌باشد ولی آثار ناشی از آن از آسیب‌های جزیی تا نیاز به جایگزینی کامل، متفاوت است. زلزله‌های بزرگ

کمتر اتفاق می‌افتند ولی معمولاً آسیب‌های قابل ملاحظه‌ای را به بار می‌آورند. ایالت کالیفرنیا بیشتر از ایالات دیگر در معرض خطر احتمالی وقوع زلزله می‌باشد لذا در آنجا از سال ۱۹۷۰ یک برنامه بهسازی لرزه‌ای پیاده شده است. سیاست ایالات‌متحده یک برنامه ۶ ساله ارزیابی پلهای واقع در مناطق دارای پتانسیل بالای لرزه‌خیزی و گسترش و اجرای روش‌های بهینه اقتصادی (Cost effective) برای بهسازی ومقاوم‌سازی پلها بوده است.

از بین کشورهایی که پاسخ داده‌اند، فنلاند، فرانسه، سوئد، نروژ و انگلستان نیازی به طراحی در برابر زلزله نداشته‌اند. آلمان نیاز بسیار کم، سوییس و کانادا کم و ژاپن و ایالات‌متحده آمریکا و ایتالیا نیاز به طراحی جامع در برابر زلزله داشته‌اند.

فعالیت لرزه‌ای را می‌توان به دو نوع تقسیم‌بندی نمود:

- نیروهای دینامیکی
- روانگرایی

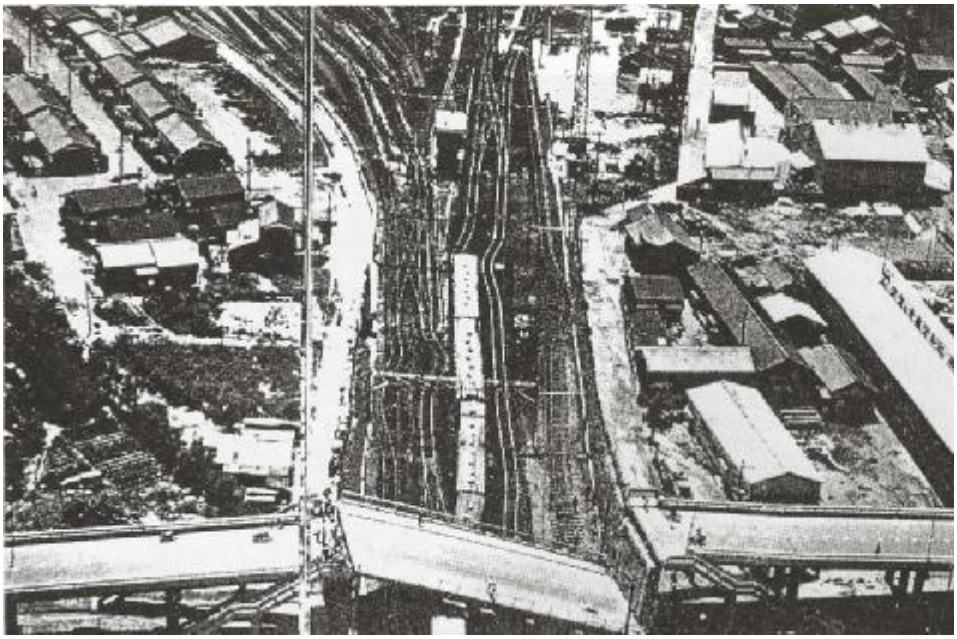
- **نیروهای دینامیکی**

نیروهای دینامیکی در اثر حرکات افقی و قائم زمین به طور همزمان در هنگام زلزله به وجود می‌آیند که باعث ایجاد نیروهای داخلی شدید در اثر شتاب در اعضای سازه می‌شوند.

رایج‌ترین حرکاتی که باعث به وجود آمدن آسیب می‌شود، تکانهای افقی، کج‌شدگی، لغزش و یا واژگونی زیرسازه در زلزله‌های شدید می‌باشد. گزارش شده است که این نوع حرکات زمانی که پی سازه و ظرفیت باربری خاک کافی نیست، بیشترین اثرات را دارند. حرکات زیرسازه ناشی از اثرات فوق، منجر به جابجایی زیرسازه از محل تکیه‌گاه‌ها و در نتیجه فرو افتادن دهانه‌های پل می‌شود.

نیروهای قائم نیز می‌توانند آسیب‌های قابل ملاحظه‌ای را به زیرسازه‌ها وارد کنند. ستونهای کوتاه بیشتر از ستونهای بلند در معرض چنین آسیب‌هایی قرار دارند. ترکیب اثرات نیروهای افقی و قائم که در اثر یک زلزله قوی ایجاد می‌شوند روی یک سازه با دهانه‌های ساده، ستونهای کوتاه و قیود ناکافی ممکن است بسیار ویرانگر باشد.

همچنین بزرگ‌نمایی اثرات قائم در ترکیبات خاصی از خاکهای نرم و ضخامت‌هایی از لایه‌های خاک ممکن است روی دهد. بعضی از آیین‌نامه‌های طراحی، توصیه‌های خاصی را جهت کمینه کردن این اثرات ارایه کرده‌اند.



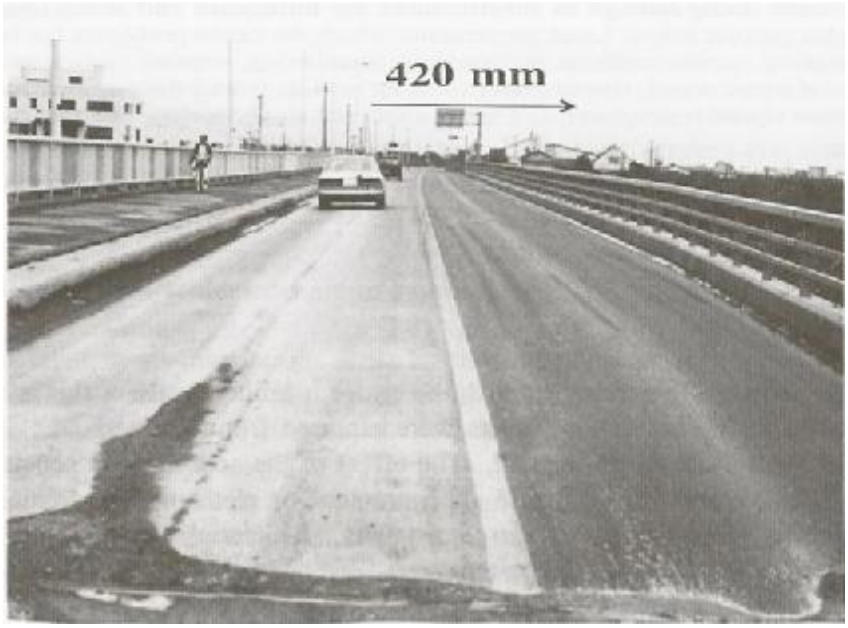
شکل (۲-۱) آسیب‌های وارد بر پل هیگاشی‌کوسن در اثر زلزله نیگاتا،۱۹۶۴

شکل (۲-۲) آسیب‌های وارد بر پایه‌های بتن‌آرمه پل شینرونامی در اثر زلزله اوراگاوا ـ اوکی،۱۹۸۲

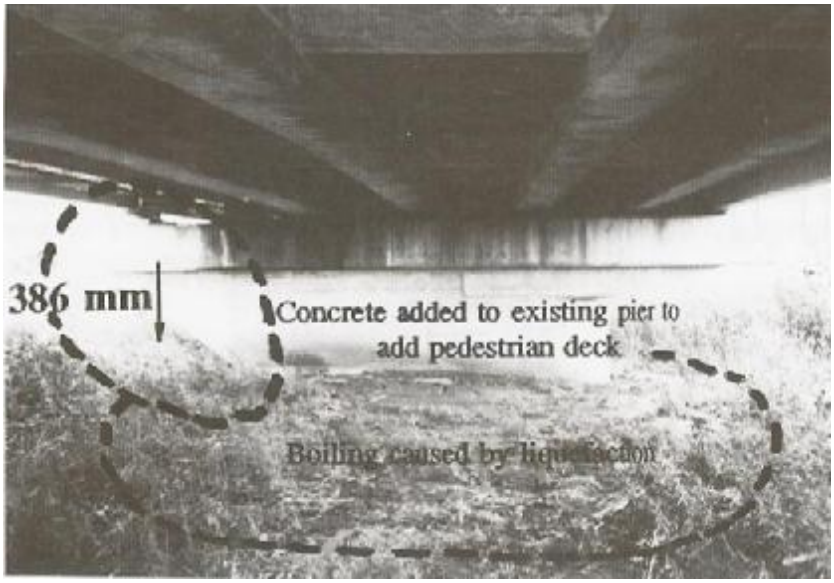
شکل (۲-۳) آسیب‌های وارد به بزرگراه سانتامونیکا در کالیفرنیا در اثر زلزله نرثریج،۱۹۹۴

- **روانگرایی**

روانگرایی خاک در حین یک فعالیت لرزه‌ای پدیده‌ای است که به ندرت اتفاق می‌افتد اما همان طور که توسط ایالات‌متحده گزارش شده است، هنگامی که این پدیده روی می‌دهد آثار ویرانگری را به دنبال دارد. فعالیت لرزه‌ای باعث ایجاد روانگرایی در خاکهای ریزدانه غیر چسبنده‌ای که زیر سطح آب زیرزمینی قرار دارند و زیرسازه روی آنها بنا شده است، می‌شود. در این حالت ظرفیت باربری خاک به شدت کاهش‌یافته و نشست رخ می‌دهد. هم کشور ژاپن و هم ایالات‌متحده آمریکا، آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌هایی را تهیه کرده‌اند که طراحان را قادر می‌سازد اثرات این عامل را به حساب آورند.



شکل (۲-۴) تغییر مکان پسماند (باقی‌مانده) در پل اوشامانبه در اثر ایجاد روانگرایی در جریان زلزله کوشیرو- اوکی،۱۹۹۳



شکل (۲-۵) انحراف پایه‌های پل اوشامانبه در اثر ایجاد روانگرایی در جریان زلزله کوشیرو- اوکی،۱۹۹۳

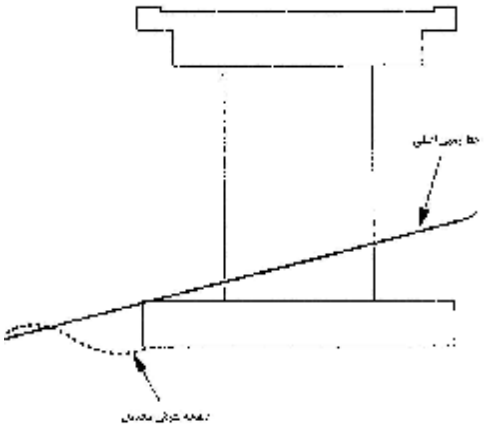
۲-۲-۲- حرکات زمین[1]

وارد آمدن آسیب به زیرسازه در اثر حرکات زمین کمتر اتفاق می‌افتد و بعضی کشورها هیچ‌گونه مسأله‌ای ناشی از این فعالیت خاص را گزارش نکرده‌اند. حرکات زمین که باعث ایجاد مشکل در پلها می‌شود، می‌تواند ناشی از فرآیندهای طبیعی مانند زلزله، هوازدگی، خوردگی، حساس بودن خاک نسبت به روانگرایی (با منشاء غیر لرزه‌ای)، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در اثر دخالت‌هایی همچون سهل‌انگاری در خاکبرداری در جوار سازه و یا اجرای شیب‌ها به طور نامناسب باشد. دو بخش اصلی زمین‌لغزه عبارتند از:

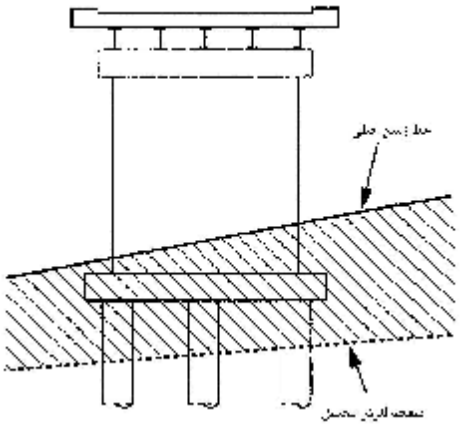
- نیروهای پیشران افزایش‌یابنده[2]
- مقاومت کاهش‌یافته

- **نیروهای پیشران افزایش‌یابنده**

هرچه شیب زمینی که پل روی آن ساخته می‌شود بیشتر باشد خطر وقوع این مسأله افزایش می‌یابد. اغلب اثرات شدید از این دست از سوییس گزارش شده است. ایالات متحده نیز تعداد کمی از این نوع رخداد را ثبت کرده است. اثرات این فعالیت‌ها به قدری می‌تواند شدید باشد که تغییر و یا جایگزینی کامل روسازه و یا المانی از پل ضروری باشد. حرکات آرام و تدریجی و طبیعی توده بزرگی از مصالح که در زمینهای شیب‌دار روی می‌دهد، شرایط بسیار سختی را به وجود می‌آورد. اقداماتی که در شکل (۵-۲) از فصل ۵ نشان شده، در چنین شرایطی ممکن است کارآمد نباشد.



شکل (۲-۶) نیروهای پیشران افزایش‌یابنده



شکل (۲-۷) مقاومت کاهش‌یافته

1- Land movement
2- Increased driving forces

- **مقاومت کاهش‌یافته**

فرانسه، سوییس و ایالات‌متحده این مسأله را بیشتر از مسأله نیروهای پیشران افزایش‌یابنده گزارش کرده‌اند. در بدترین حالت این مسأله روی ۱۰٪ از پلهای مجموعه کشورهای عضو تأثیر گذاشته است.

۲-۲-۳- نشست

- **تحکیم**

فونداسیون‌های پل که در محدوده ایمنی از ظرفیت باربری خاک قابل فشرده شدن در زیر سطح آنها طراحی می‌شوند با گذشت زمان مقداری نشست را تحمل خواهند کرد. در اکثریت موارد این حرکت کاملاً قابل قبول است. این مسأله متفاوت از گسیختگی زمین می‌باشد و در حین آن سازه با پارامترهای شناخته شده‌ای عمل می‌کند. اما مسأله هنگامی حاد می‌شود که مقدار نشست از مقادیر طراحی برای پلهای مدرن‌تر تجاوز کند و یا باعث ایجاد مشکلات قابل دید در سازه‌های قدیمی‌تر شود.

نشست‌های کلی و نشست‌های غیر یکنواخت باید مدنظر قرار گیرد:

نشست کلی: چنانچه تمام فونداسیون‌ها به یک اندازه و با یک نسبت یکسان در حین تحکیم یکنواخت لایه‌های زیرین نشست کنند، مشکلی برای خود سازه به وجود نخواهد آمد، گرچه اشکالات بهره‌برداری مانند دسترسی به پل پابرجا خواهد بود.

نشست غیریکنواخت که معمولاً بیشتر رخ می‌دهد، میزان اختلاف بین فونداسیون‌های مجاور می‌باشد در حالی که شکست خاصی (مفصل) هنوز به وجود نیامده باشد. ایجاد مفصل در روسازه یا زیرسازه، گستردگی و شدت مسأله را نشان خواهد داد.

نشست نامتقارن در عرض یک پی منفرد می‌تواند باعث چرخش پایه و یا کوله شود که مسأله‌ای بسیار جدی است. شدیدترین مسایل از این دست در مناطقی رخ می‌دهد که خاک آنها دارای پتانسیل روانگرایی هنگام زلزله می‌باشد و یا در آنجا استخراج معدنی در زیر زمین صورت گرفته باشد.

سرانجام، حرکات جانبی کوله‌هایی که روی زمین نرم ساخته شده‌اند محتمل می‌باشد. در این حالت وزن خاکریز پشت کوله باعث حرکت جانبی خاک شده که آن نیز چرخش و تغییر مکان کوله را به دنبال خواهد داشت. بخش ۵-۳-۵ توصیه‌هایی را برای اقدامات چاره‌ساز ارایه می‌کند. تمام کشورها نشست را به عنوان مسأله‌ای مطرح نمودند که شدت آسیب‌های ناشی از آن در محدوده ۲-۰ می‌باشد.

- **ظرفیت باربری**

اغلب کشورها مشکلات بسیاری از لحاظ ظرفیت باربری خاک زیر پی‌ها دارند. این موضوع بسیار تعجب‌برانگیز است که پلهای مدرن که در طراحی آنها، ظرفیت باربری خاک موجود در نظر گرفته می‌شود، عملکرد ضعیف‌تری نسبت به پلهای قدیمی که سالها از بهره‌برداری آنها می‌گذرد نشان می‌دهند.

دو پیامد مشخص در اثر ظرفیت باربری ناکافی عبارتند از:

- مشکلات سازه‌ای
- گسیختگی خاک

گسیختگی خاک یک منشاء نامعمول برای آسیب‌دیدگی می‌باشد به استثنای جایی که زمین‌لرزه رخ بدهد (بخش ۲-۲-۱). میزان آسیب‌هایی که در اثر ظرفیت بابری ناکافی خاک به روسازه وارد می‌شود در کشورهای عضو متفاوت می‌باشد. بیشترین اختلاف از "خیلی کم" تا "کمتر از ۱۰ درصد مجموعه پلها می‌باشد. اقدامات چاره جویانه برای افزایش ظرفیت باربری در بخش ۵-۳-۲ ارایه شده است.

۲-۳- عوامل مرتبط با آب

دو اثر القایی عمده آب عبارتند از: تأثیرات سیلاب یا سیلاب‌دشت رودخانه و جزرومد.

۲-۳-۱- تأثیرات سیلاب یا سیلاب‌دشت رودخانه

به نظر می‌رسد که کمتر از ۱۰ درصد مجموعه پلها در کشورهای عضو تحت تأثیر این مسأله قرار دارند اما ۸۰٪ این تعداد در اثر این مسأله دچار خرابی در سطوح بین صفر و یک شده‌اند. در نروژ و سوئد نیز تعداد اندکی از اثرات ضربه یا فشار قطعات یخی جداشده در اثر ذوب‌شدگی در فصل بهار گزارش شده است که باعث ایجاد آسیب‌های شدید در زیرسازه شده است و شدت خرابی آنها در سطح ۳ عنوان شده است. مشکلات مشابهی نیز از این لحاظ در ایالات‌متحده وجود دارد (۶).

- **پایداری جریان (مهاجرت جانبی و قائم)**

در موارد اندکی، ناپایداری جریان و مهاجرت افقی آن در صفحات سیلابی باعث وارد شدن آسیب به زیرسازه شده است. مثال قابل توجه و یا شاید شدیدترین آن مربوط به سویس و ایتالیا می‌باشد که در آنجا اگرچه ناپایداری جریان به ندرت اتفاق می‌افتد، اما هنگامیکه این موضوع در دره‌های آلپی روی می‌دهد به حدی شدید است که منجر به آب‌شستگی شدید و سریع در سطح ۳ می‌گردد. مشکلات مشابهی نیز از این لحاظ در ایالات‌متحده وجود دارد (۶).

- **آب‌شستگی در پلها**

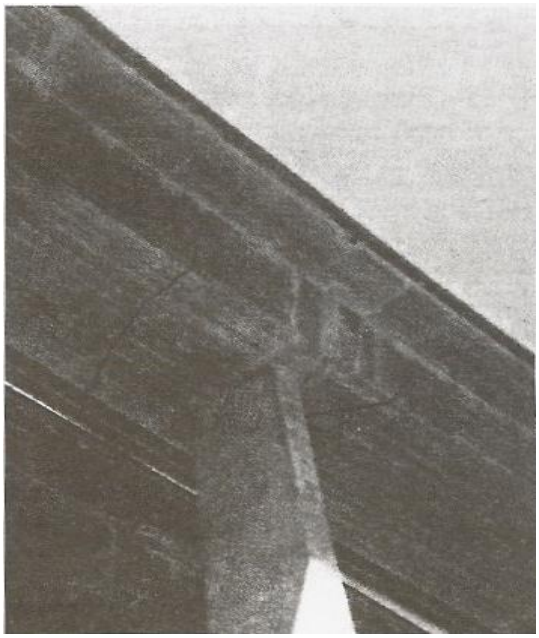
اکثر اعضاء، آب‌شستگی را به عنوان یک دلیل عمده در ایجاد آسیب در زیرسازه‌ها گزارش کرده‌اند (۸ و ۷). در واقع اثرات آب‌شستگی به عنوان رایج‌ترین و بزرگترین آسیب‌هایی تعریف شده است که در پلهای واقع بر جریان آب روی می‌دهد. به طور کلی، پلهای قدیمی‌تر (که تعداد زیادی از آنها بر روی پی‌های گسترده سطحی بنا شده‌اند) بیشتر در معرض آسیب قرار دارند. سطح خرابی مربوطه در محدوده ۳-۰ می‌باشد. آب‌شستگی فعالیتی است که ممکن است در طول تمام دوران جریان آب ادامه یابد، اما اغلب اوقات تحت شرایط سیلابی، گسیختگی و شکست اتفاق افتاده است. در سپتامبر سال ۱۹۹۲ در بخش جنوب شرقی فرانسه، در اثر جریان سیلی غیر عادی از مجموع ۸۰۰ پل در آن بخش، ۳۰ دستگاه پل تخریب شد و ۱۴۵ دستگاه به طور جدی آسیب دیدند.

اکثر کشورها دارای اسنادی می‌باشند که در آنها ملاحظات مربوطه برای مقابله با اثرات آب‌شستگی در طراحی پلهای جدید ذکر شده است.

شکل (۲-۸) فرو نشست پل Reuss در منطقه Wassen در کشور سوییس،۱۹۸۷

شکل (۲-۹) نمایان شدن فونداسیون پل Reuss

شکل (۲-۱۰) نمایی از زیر فونداسیون پل Reuss



شکل (۲-۱۱) ترک در عرشه پل Reuss در اثر نشست فونداسیون

شکل (۲-۱۲) پل Schoharie Creek (۱۵ دقیقه بعد از شکست اولیه)

۲-۳-۲- جزر و مد

موارد اندکی از اثرات حاصل از جزرومد گزارش شده است. در ایالات‌متحده آمریکا کمتر از ۱۰ درصد پلهای واقع در مناطق ساحلی به این مسأله دچار شده‌اند. اگرچه آب‌شستگی در اثر جزرومد مشکلی می‌باشد که اثرات آن بر خلاف آب‌شستگی رودخانه‌ای به صورت تدریجی ایجاد می‌شود اما شدت آن ممکن است به همان اندازه آب‌شستگی رودخانه‌ای باشد.

۲-۴- بارهای خارجی

بارهای خارجی به وجودآورنده بزرگترین مشکلات برای آندسته از زیرسازه‌هایی هستند که در برابر این بارها محافظت نشده‌اند و یا برای مقاومت در برابر آنها طراحی نشده‌اند. از زمانی که طراحی‌های مدرن، ملاحظات مقابله با بارهای مختلف از جمله بارهای خاصی که همراه با گذشت زمان افزایش می‌یابند را شامل می‌شوند، ادامه استفاده از پلهای قدیمی بسیار خطرناک می‌باشد.

اما جای خوشبختی است که بدون توجه به سن پلها، موارد بسیار کمی روی داده که بارهای خارجی باعث وارد آمدن آسیب‌های شدید شده باشند.

۲-۴-۱- ضربه کشتی

این خطر برای پل‌هایی وجود دارد که در معرض برخورد با کشتی قرار دارند. بعضی از اعضاء اظهار داشتند چنین ضرباتی در حوادث به ندرت روی داده است اما به جهت آنکه این حوادث را ثبت نکرده بودند، قادر به ارایه جزییات بیشتر نبوده‌اند. نروژ و سوئد به ترتیب دو و پنج تصادف را در بیست سال گذشته گزارش کرده‌اند که در هر

یک آنها شدت آسیب‌های وارده به قدری بوده است که تعمیرات عمده و یا جایگزینی پل ضروری بوده است. در طی دهه ۱۹۸۰ دو پل بزرگ در ایالات متحده آمریکا در اثر تصادف کشتی با آنها از حالت بهره‌برداری خارج و جایگزین گردیدند. یکی از آنها نیز تلفات جانی در بر داشت.

۲-۴-۲- باد

زیرسازه‌های اکثر پلهای راه به بار باد حساس نیستند. این موضوع از عدم گزارش آسیب بر اثر این مورد در گزارش‌هایی که از اعضا ارایه شده قابل برداشت است. سایر سازه‌های مربوط به راه مانند داربست‌های سرگیر[1] به بار باد حساس می‌باشند و مواردی بوده است که به علت زیرسازه ناکافی، در شرایط طوفان شدید فرو افتاده‌اند.

۲-۴-۳- ترافیک

هیچ‌گونه مشکلی حاصل از اثرات نیروهای کشنده و گریز از مرکز وسایل نقلیه روی عرشه پلها گزارش نشده است. مسأله‌ای که خوشبختانه به تعداد قابل ملاحظه‌ای رخ نمی‌دهد، مسأله برخورد خودروها و یا قطار با پایه پلها می‌باشد. این موضوع می‌تواند باعث تشدید آسیب‌های قبلی شده و مانند اتفاقی که در انگلستان روی داد منجر به فروریزی پل گردد. طرحهای حاضر پایه‌های دو ستونی که در بسیاری از محلهای تغییر سطح راهها در بسیاری از کشورها دیده شده، باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند. استانداردهای طراحی در این رابطه در حال حاضر در بعضی کشورها وجود دارد.

۲-۴-۴- درجه حرارت

موارد اندکی از آسیب‌های ناشی از اثرات حرارتی به زیرسازه‌هایی که دارای اتصالات گیردار و یا دستگاههای تکیه‌گاهی ثابت می‌باشند وارد شده، گزارش شده است. در موارد معدودی نیز برخورد وسایل نقلیه همراه با آتش‌سوزی، منجر به وارد آمدن آسیب‌های شدید به زیرسازه شده است.

۲-۴-۵- آشغال و مواد زاید

در برخی کشورها آشغالهای موجود در رودخانه باعث به وجود آمدن مشکلات اساسی در تعداد زیادی از پلها می‌شود، بدین ترتیب که این موضوع روی ۱۰ درصد پلها اثر می‌گذارد اما اغلب آسیب‌های وارده جزیی و یا آسیب‌های غیر مستقیم می‌باشند. مسیر آبروها از زیر پل توسط آشغال مسدود شده و این موضوع با افزایش فعالیت آب‌شستگی در دوره پرآبی، پل را در خطر آسیب‌های بزرگی قرار می‌دهد.

1- Overhead Sign Gantries

۲-۴-۶- یخ‌زدگی

شرایط آب‌وهوایی مشخص می‌کند که وجود یخ در منطقه به عنوان یک معضل برای پلها مطرح می‌باشد یا خیر. همان‌گونه که در بخش "تأثیرات سیلاب یا سیلاب‌دشت رودخانه" ذکر گردید، این اثر می‌تواند در فصل بهار که رودخانه‌ها جریان دارند قابل ملاحظه باشد.

۲-۵- اضمحلال در اثر شرایط محیطی

در این بخش به تشریح اثرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی که کارایی زیرسازه را به عنوان عضو باربر کاهش می‌دهد پرداخته می‌شود. دسته‌بندی این بخش براساس انواع مصالح ساخت‌وساز می‌باشد:

- بتن
- فولاد
- چوب
- مصالح بنایی

یک عامل مهم در اضمحلال هر نوع زیرسازه در اثر شرایط محیطی، طراحی و جزییات اجرایی زیرسازه می‌باشد. در زیرسازه‌های با طراحی ضعیف و جزییات نامناسب، مسیرهای عبور آب به طرف زیرسازه ایجاد می‌شود و آب چه به حالت عادی خود و چه همراه با مواد شیمیایی محلول، باعث ایجاد آسیب‌های فیزیکی فراوانی به زیرسازه خواهد شد. در کشور انگلستان، آژانس راهها در حال انتشار اسنادی می‌باشد که بعضی از نیازهای اساسی که طراحان باید درباره روسازه‌ها و زیرسازه‌ها مورد توجه قرار دهند در آن ذکر شده است.

۲-۵-۱- زیرسازه‌های بتنی

گزارش OECD با عنوان "دوام پلهای بتنی جاده‌ای" (۱۹۸۹) به طور کامل در مورد اضمحلال بتن بحث می‌نماید. بحث ذیل براساس اطلاعات حاصل از تحقیقات گروه می‌باشد.

- **فیزیکی**

عاملی که در عملکرد فیزیکی زیرسازه‌های بتنی بسیار مهم و مورد تأکید است، کیفیت ساخت در حین عملیات اجرایی می‌باشد. به عنوان مثال «کمبود پوشش روی آرماتور» ایرادی است که در ۳۰ درصد پلهای کشورهای عضو گزارش شده است. چنانچه اقدامات لازم انجام نگیرد این موضوع باعث اضمحلال زودرس خواهد شد. متاسفانه این آسیب‌ها بعد از گذشت سالهای زیادی از ساخت پل خود را نشان می‌دهند. در کشور انگلستان (۱۲)، بخشی از اداره راه و ترابری مربوط به امور راهها، قبل از تایید سازه جدید، مهندسین را ملزم به تحقیق در مورد پوشش بتنی لازم روی آرماتور نموده است. این الزام، شمار آسیب‌های گزارش‌شده در این منطقه را کاهش داده است.

بتن‌ریزی زیر آب به وسیله ترمی[1] (قیف و لوله) در تعداد قابل ملاحظه‌ای از پلهای سوئد، منجر به کیفیت نامناسب بتن گشته است که خود نیز تعمیرات عمده و یا جایگزینی کامل المانها را به دنبال داشته است.

یخ زدن و آب شدن مکرر نیز می‌تواند باعث پوسته شدن سطح بتن شده و به تدریج باعث اضمحلال کل بتن گردد. عمل یخ زدن و آب شدن با حضور کلریدهای حاصل از نمکهای یخزدا[2] تشدید می‌شود و این خود باعث افت دمای سطح بتن در اثر مصرف انرژی لازم برای ذوب کردن یخ می‌شود. در نتیجه اختلاف درجه حرارتی بین سطح و داخل بتن پیش می‌آید که باعث افزایش تنشهای داخلی شده و میزان نزول کیفیت بتن را افزایش می‌دهد. طرحهای اختلاط مدون که به دقت برای مقابله با یخزدگی و آب‌شدگی تعریف شده‌اند معمولاً دچار چنین معضلی نمی‌شوند.

در جایی که رودخانه جریان دارد و یا فعالیت جزرومدی باعث می‌شود که آشغالها و نخاله‌ها و یا شن کف آب به سطح بتن ضربه وارد کنند، ساییدگی سطح بتن روی می‌دهد. در نتیجه به تدریج پوشش بتنی روی آرماتورها کاهش‌یافته و سرانجام آرماتورها نمایان می‌شوند. اگرچه ساییدگی برای تمام بتن‌ها روی خواهد داد اما بتن‌های مدرن با مشخصات ویژه، مقاوم‌تر به نظر می‌رسند.

- **شیمیایی**

در کشورهایی که در طی ماههای زمستان یخزدگی اتفاق می‌افتد و برای یخزدایی راهها از کلریدسدیم استفاده می‌شود، خوردگی آرماتورها در اثر کلرید مسأله مهمی در مورد سازه‌های بتنی می‌باشد. در ایالات متحده آمریکا بیش از ۶۰ درصد مجموعه پلها با این مشکل روبرو می‌باشند، اگرچه شدت مسأله به حدی است که تنها منجر به تعمیر المانها می‌شود. هزینه تعمیرات بستگی به گستردگی خرابی حاصله دارد. در محیط‌های دریایی، کلرید موجود در آب مسأله‌ای است که در زونهایی که جزرومد و پاشیده شدن آب روی می‌دهد، باعث ایجاد شدیدترین خوردگی‌ها در آرماتور می‌شود. در نروژ و سوئد شواهدی از خوردگی آرماتورهای داخل بتن در زیر سطح دریا وجود دارد. اگرچه مکانیسم آن به طور مشخص شناخته نشده است اما مطالعات در این زمینه ادامه دارد.

حمله سولفات‌ها به بتن نیز در برخی کشورها که حدود ۱۰ درصد پلهایشان دچار این مشکل می‌باشند، اهمیت دارد. در بسیاری از ساخت‌وسازها که به سالیان دور بر می‌گردد، تهاجم آبهای زیرزمینی لحاظ شده است. به عنوان مثال بتن به طور ساده توسط دو لایه از ترکیبات اندودهای قیری محافظت شده است. کربناسیون معمولاً یک فرآیند تدریجی می‌باشد و در کشورهایی که بتن مدت زیادی در شرایط خشک و یا مرطوب قرار دارد مشکل خاصی به وجود نمی‌آید. میزان کربناسیون در رطوبت نسبی ۵۰٪، دارای حداکثر مقدار می‌باشد.

در موارد کمی فعالیت‌های قلیایی سنگدانه‌ها گزارش می‌شود اما معمولاً جدی هستند. این فعالیت نیز آرام و تدریجی صورت می‌گیرد و اغلب ۱۰ تا ۱۵ سال طول می‌کشد تا خود را نشان دهد. با توجه به اینکه بسیاری از کشورهای عضو در پلهای قدیمی خود با این معضل مواجه شده‌اند، در سالهای اخیر مشخصات و استانداردهای خاصی را جهت ساخت پلهای جدید ارایه کرده‌اند، به نحوی که بتوان فعالیت مذکور را کنترل نمود.

1- Tremie
2- Deicing Salt

۲-۵-۲- زیرسازه‌های فولادی

اکثر کشورها دارای تعداد کمی زیرسازه‌های فولادی و یا بدون زیرسازه‌های فولادی می‌باشند. مسأله مهم در مورد زیرسازه‌های فولادی تأمین حفاظت کافی آنها در برابر اثرات خوردگی محیطی به ویژه در محیط‌های حاوی کلرید می‌باشد. در انگلستان [۱۳] در مورد زیرسازه‌های فولادی از نظر حفاظت و اعمال مشخصات رنگ‌آمیزی جهت محافظت از "اعضای فولادی در معرض"[1]، به مانند روسازه‌های فلزی برخورد می‌شود.

۲-۵-۳- زیرسازه‌های چوبی

در بسیاری از کشورها پلهای با زیرسازه چوبی موجود نمی‌باشد. گزارش‌های ارایه‌شده توسط اعضا نشان می‌دهد که اگرچه نمونه‌های زیادی وجود ندارد اما آسیب‌های وارده به پایه‌ها توسط چوب سوراخ‌کنهای زیر آبی[2] می‌تواند شدید باشد. سوئد یک مورد فروریزی را در اثر فعالیت کرم‌های آبی[3] گزارش کرده است.

۲-۵-۴- زیرسازه با مصالح بنایی

پلهای ساخته شده با مصالح بنایی از قدیمی‌ترین انواع پلهای کشورهای عضو می‌باشند. بسیاری از این پلها تا به امروز در برابر اثرات محیطی، پایداری بسیار خوبی داشته‌اند و این شاهدی است بر کیفیت مناسب و مهارت‌های اجرایی مناسب که در حدود ۲۰۰۰ سال پیش با انتخاب چنین مصالحی، پلهایی ساخته شده است و از دوام ذاتی این مصالح به خوبی استفاده شده است. بعضی از خرابی‌های ناشی از اثرات جوی، فرسایش، اثرات یخ‌زدگی و آب‌شدگی به خصوص در اتصالات و عدم وجود زهکشی مناسب، اجتناب‌ناپذیر می‌باشند. این اثرات به طور عادی و ساده قابل ترمیم بوده و در سطح خرابی ۱-۰ طبقه‌بندی می‌شوند.

۲-۶- سازه‌های خاک مسلح

منظور از سازه‌های خاک مسلح در این کتاب، سازه‌هایی هستند که متشکل از خاکهای دستی و یا موجود در محل، یا دیگر مصالح، می‌باشند که در آنها با استفاده از آرماتورهای کششی و اصطکاک جدار با خاک، باربری و یا پایداری جانبی خاک بهبود یافته است. سازه‌های خاک مسلح به عنوان زیرسازه پل و سازه حایل در برابر خاک، دارای یک سطح جانبی دایمی از مصالحی همچون بتن، فولاد و یا پانلهای از جنس الیاف شیشه‌ای می‌باشند که به آرماتورهای کششی متصل می‌باشند. سازه‌های خاک مسلح به عنوان زیرسازه در معرض بسیاری از مسایل مطرح شده در این فصل قرار دارند و همچنین دارای مشکلات خاص منحصر به خود نیز می‌باشد.

مسأله خاص در مورد این سازه‌ها خوردگی عناصر تسلیح‌کننده فلزی می‌باشد و مسأله‌ای که گستردگی کمتری دارد مسأله خزش خاک/ عناصر تسلیح در مواردی است که از عناصر تسلیح‌کننده غیر فلزی استفاده شده باشد. مسأله

1- Exposed steel works
2- Marine wood borers
3- Shipworms

دیگری که از اهمیت کمتری برخوردار می‌باشد، بیرون‌زدگی کامل درزگیرهای سطح پانلهای بتنی پیش‌ساخته بـرای عـدم اجازه تماس بتن با بتن و جلوگیری از ترک‌خوردگی و کنده شدن بتن می‌باشد.

هدف از سازه‌های خاک مسلح به طور مفصل در بسیاری از مقالات موجود و در دسترس شرح داده شـده اسـت، لذا در اینجا از این موضوع صرف‌نظر می‌شود. همچنین بسیاری از کشورها قوانین مخصوص خود را برای طراحی، اجرا و نگهداری چنین سازه‌هایی منتشر کرده‌اند. گزارشی که توسط آزمایشگاه تحقیقات حمل‌ونقل انگلستان [۱۵] تهیه شـده است، نقدی است بر کاربرد خاک مسلح در کشورهای توسعه‌یافته و حاوی فهرستی از مراجع سودمند در مـورد اسـتفاده از خاکهای مسلح در سراسر دنیا می‌باشد.

۲-۷- مراجع

1. SWISS SOCIETY OF ENGINEERS AND ARCHITECTS (1989), Actions sur les structures porteuses, Swiss Standard SN 160, Zurich .
2. JAPAN ROAD ASSOCIATION (1990), Specifications for Highway Bridges, Part V Seismic Design, Tokyo .
3. AASHTO (1992), Standard Specifications for Highway Bridges, Division 1A _ Seismic Design, 15th Edition, Washington, D.C .
4. ITALIAN MINISTRY OF PUBLIC WORKS (1986), Measures and Regulations concerning construction with special rules for seismic zones, Ministerial Decree 24:01:1986, Rome .
5. SWISS SOCIETY OF ENGINEERS AND ARCHITECTS (1991), Pont sur la Reuss à Wassen Reconstruction 1987/88, Ingénieurs et Architectes Suisses No 25/91, 27 November 1991, Lausanne .
6. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1991), Stream Stability at Highway Structures, Hydraulic Engineering Circular No 20, FHWA _ IP _ 90 _ 014, PB 91 _ 198788, Washington D.C .
7. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1991), Evaluation Scour at Bridges, Hydraulic Engineering Circular No 18, FHWA _ IP _ 90 _ 017, Edition 2, PB 93 _ 186138, Washington D.C.
8. UK HIGHWAYS AGENCY (1994), The Design of Highway Bridges for Hydraulic Action, BA 59/94, HMSO, May 1994, London .
9. AASHTO (1991), Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges, Volume 1, Final Report, February 1991, Washington, D.C.
10. UK HIGHWAYS AGENCY (1994), The Design of Highway Bridges for Vehicle Collision Loads, BD 60/94, HMSO, April 1994, London.
11. UK HIGHWAYS AGENCY (1994), Design for Durability, BA 57/94 and BD 57/94, London .
12. UK DEPARTMENT OF TRANSPORT (1991), Notes for Guidance on the Specification for Highway Works, Manual of Contract Documents, Volume 2, December 1991, London.
13. UK DEPARTMENT OF TRANSPORT (1991), Protection of Steelwork against Corrosion, Manual of Contract Documents, Volumes 1 and 2, December 1991, London.
14. US FOREST SERVICE (1990), Timber Bridges, Design, Construction, Inspection and Maintenance, EM 7700, 8 June 1990, Washington D.C .
15. UK TRANSPORT RESEARCH LABORATORY (1991), Review of reinforced soil application in developed countries, Contractor Report 263, Crowthorne, England .
16. MINISTERE DES TRANSPORTS- DIRECTION DES ROUTES (1980), Fondations des ponts en site aquatique en état précaire, Paris .
17. S.E.T.R.A (1995), Répertoire des textes et documents techniques essentiels, Ouvrages d’art ,édition n°9, janvier 1995, Bagneux, France.

۳- روش‌های بازرسی

۳-۱- مقدمه

بررسی روش‌های مورد استفاده در بازرسی زیرسازه پلها در کشورهای عضو، به میزان زیادی براساس پاسخهای پرسشنامه‌های مربوطه می‌باشد. این پرسشنامه‌ها برای انواع مختلف اعضای زیرسازه‌ها، منطبق با وضعیت‌های محلی زیر خلاصه شده‌اند:

- در هوا
- در خاک
- در آب

برای هر یک از گروههای مذکور، اطلاعات مربوط به تکنیک‌های بازرسی که در بازرسی‌های عادی و بازرسی‌های ویژه مورد نیاز است ارایه می‌شود و کاربرد هر یک با توجه به مصالح ساخت مانند بتن، فولاد، چوب یا مصالح بنایی تشریح می‌شود. بازرسی پل موضوع یکی از گزارش‌های OECD بود که در سال ۱۹۷۶ منتشر شد[۱]. این گزارش در مورد سازماندهی، مدیریت، جمع‌آوری اسناد و مدارک، جنبه‌های آموزشی، تکنیک‌های بازرسی، تجهیزات و وسایل دسترسی بحث می‌کند. موضوع بازرسی پل در گزارش دیگری از OECD در مورد مدیریت پل مطرح شده است. این گزارش در سال ۱۹۹۲ منتشر گردید[۲]. این فصل بر روی انجام بازرسی پل مخصوصاً بازرسی اعضای زیرسازه پل با تأکید بر تغییراتی که از زمان نوشتن گزارش روی داده تأکید دارد.

همان طور که در گزارش OECD عنوان شده است[۱]، توجیه اساسی برای بازرسی پل، اطمینان از ایمنی عمومی آن است. دومین هدف اصلی محافظت از سرمایه‌های کلان بکار گرفته شده در پلها با کمترین هزینه اجرایی می‌باشد. برنامه‌ریزی اقتصادی منطبق با زمان و برنامه‌ریزی برای نگهداری پیش‌گیرانه و اصلاحی یا حتی جایگزینی پل با کمترین اثرات برای ترافیک، وابسته به بازرسی‌های سیستماتیک پلها، ارزیابی تخصصی از اطلاعات و برنامه‌های مؤثر مدیریت پل می‌باشد. به علاوه مسؤولیت‌های قانونی نیز می‌تواند عامل مؤثری در پیشبرد و انجام منظم برنامه‌های بازرسی باشد.

۳-۲- اجزای در هوا

عبارت «اجزای در هوا» برای المانهایی از زیرسازه بکار برده می‌شود که بین نشیمنگاههای تکیه‌گاه و زمین و یا سطح آب قرار دارند. برای اکثر پلها، این اجزا ستونها، پایه‌ها و کوله‌ها می‌باشند. همچنین سطوح نمایان سازه‌های مدفون مانند تونلها، متروها، کالورتها نیز در این طبقه‌بندی قرار می‌گیرند زیرا تکنیک‌های مشابه برای بازرسی آنها بکار برده می‌شود.

۳-۲-۱- سطوح بازرسی

پاسخهای دریافتی نشان می‌دهد که تناوب و محتویات بازرسی‌ها در بین کشورهای عضو بسیار سازگار می‌باشند. کمترین زمان تناوب بازرسی‌ها در جدول (۳-۱) خلاصه شده است. اطلاعات موجود در جدول (۳-۱) مربوط

به اکثریت پلهای یک کشور می‌باشد اما ممکن است استثنا نیز وجود داشته باشد. مثلاً در ایالات متحده آمریکا یک سری پلهای مشخص که در وضعیت خوبی قرار دارند تحت یک بازرسی منظم چهار ساله قرار دارند در حالی که پلهای قدیمی‌تر که آسیب‌هایی را نیز متحمل شده‌اند ممکن است بیش از سالی دوبار بازرسی شوند. تقریباً در همه کشورها، پلها به صورت سالانه و یا دوسالانه توسط بازرسین مجرب مورد مشاهدات عینی عمده قرار می‌گیرند. به این بازرسی‌ها اغلب بازرسی روتین اطلاق می‌شود و هدف اولیه از آن حصول اطمینان از ایمنی سازه می‌باشد. بعضی از سازمان‌های دولتی نیز بازرسی‌های «سطحی» را به رسمیت می‌شناسند. در این نوع بازدیدها پرسنل یک سازمان بر حسب وظیفه در هنگام هرگونه تغییرات قابل ملاحظه در شرایط سازه، مانند اثرات حاصل از ضربه خودروها و یا شکست ناگهانی یکی از اعضای پل، به محل پل اعزام می‌شوند و پل را مورد بازرسی قرار می‌دهند. به طور عادی نتایج حاصل از بازرسی‌های سطحی گزارش نمی‌شوند مگر اینکه این عمل درخواست شده باشد.

جدول (۳-۱) حداقل دوره تناوب بازرسی در کشورهای عضو (به سال)

	بازرسی روتین (عینی)	بازرسی کلی	بازرسی اصلی
بلژیک	۳		
کانادا	۲		
فنلاند	۱	۵	
فرانسه	۱		۵
آلمان	۱	۳	۶
ایتالیا	۱		
ژاپن	۱		۱۰
نیوزلند	۲		۶
نروژ	۱[۱]-۲[۲]		۵[۱]-۱۰[۲]
سوئد	۱	۳	۶
سوییس		۵	
انگلیستان	۲		
آمریکا	۲		۶

۱- دهانه > ۱۰ متر ۲- دهانه < ۱۰ متر

در بیشتر کشورها، محتویات و مستندسازی بازرسی‌های روتین تابع روش‌های سیستماتیک و از پیش تعیین‌شده می‌باشد که ممکن است در قانون نیز به آنها اشاره شده باشد. این روش‌ها معمولاً در یک کتاب راهنما تشریح شده‌اند که از آن جمله می‌توان به کشورهای آلمان و فلاند و نروژ اشاره کرد [۳ و ۴]. این راهنما در فنلاند علاوه بر آنکه محتوی اطلاعاتی در مورد انواع سازه و آسیب‌های متداول آنهاست، فهرست مفصلی از اعضایی که باید در یک سیستم رتبه‌بندی جهت توصیف وضعیت آنها بازرسی شوند را نیز شامل می‌شود.

درجه‌بندی وضعیت موجود[1] به طور کلی در یک فرم استاندارد ثبت می‌شود و اطلاعات حاصل به مدول بازرسی یا وضعیت سیستم مدیریت پل انتقال می‌یابد. این رکوردها اغلب شامل عکسها و یا فیلم‌های مربوطه نیز می‌شوند. بعضی از کشورها در حال توسعه روش‌هایی هستند که اجازه می‌دهد که اطلاعات به طور مستقیم در محل، روی کامپیوتر ثبت شود به نحوی که این اطلاعات بتوانند با یک فرمت الکترونیکی به پایگاه اطلاعاتی انتقال یابند.

به علاوه برای حصول اطمینان از ایمنی سازه، می‌توان از بازرسی‌های روتین برای تولید یک شاخص وضعیت برای هر عضو پل استفاده شود. این کار منجر به تهیه مقیاس از نرخ اضمحلال اعضا متناسب با زمان خواهد شد. این اطلاعات در برنامه‌ریزی امور نگهداری و بهسازی مورد استفاده قرار می گیرد و بسته به شرایط، نیاز به بازرسی مفصل‌تر و با جزییات بیشتر از برخی قسمتهای سازه را مشخص می‌کند.

برخی از کشورهای اروپایی، بازرسی کلی[2] تمام سازه‌ها را در یک چرخه سه یا پنج‌ساله انجام می‌دهند، اگرچه این روش در سایر کشورهای عضو انجام نمی‌شود. به طور عادی یک بازرسی کلی شامل بازرسی عینی مفصل همراه با انجام تعداد محدودی آزمایش و نمونه‌گیری می‌باشد. این اطلاعات ثبت می‌شوند و همانند روش ذکر شده در مورد بازرسی‌های روتین، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از کشورهای اروپایی بازرسی‌های اصلی[3] را نیز در چرخه‌های پنج تا ده‌ساله انجام می‌دهند. کارهایی که در بازرسی‌های اصلی انجام می‌شود از یک سیستم دولتی به یک سیستم دولتی دیگر متفاوت است اما به طور مشخص نیاز به معاینه تمامی اعضا می‌باشد، از جمله اعضایی که برای بازرسی آنها نیاز به امکانات دسترسی تخصصی باشد. در نتیجه به این نوع بازرسی واژه‌هایی چون "مجاورتی"[4] و یا "لامسه‌ای"[5] نیز اطلاق می‌شود. آزمایشهای تخصصی اغلب بستگی به عضو مورد نظر و مصالح و روش ساخت آن دارد. در بعضی حالات ممکن است گروهی از پلها که در مقابل اضمحلال آسیب‌پذیر تشخیص داده شده‌اند با تناوب بیشتری نسبت به پلهای دیگر، مورد بازرسی اصلی قرار گیرند. یک نمونه عملی، بازرسی پلهای قابل حرکت در کشور فنلاند در چرخه‌های سه ساله (پلهای دیگر هر پنج سال بازرسی می‌شوند) می‌باشد.

آخرین دسته از انواع بازرسی، بازرسی ویژه[6] نام دارد (همان گونه که از نامش برمی‌آید یک بازرسی غیر روتین می‌باشد) که در پاسخ به شرایط خاص انجام می‌شود.

شرایطی که بازرسی ویژه را لازم می‌سازند بسیار متفاوتند و ممکن است شامل موارد زیر باشند:

- آسیب‌های غیر مترقبه در اثر برخورد خودروها، آتش‌سوزی، زلزله یا سیل
- مشاهده اضمحلال سریع و یا غیر معمول در اعضا
- بررسی‌های مفصل از شرایط موجود قبل از عملیات بهسازی
- سازه‌هایی که محدودیت بارگذاری دارند

1- Condition Ratings
2- General Iinspection
3- Principle Inspection
4- Proximity
5- Tactile
6- Special Inspection

- ارزیابی تمام پلهایی که طراحی جزییات ناقص بوده است (در ژاپن به یک چنین بازرسی‌هایی، "بازرسی‌های جلوگیری‌کننده از فاجعه"[1] اطلاق می‌شود) یا ارزیابی گروهی از پلها با یک سری جزییات خاص به عنوان اقدامات پیش‌گیرانه (مثلاً پلهای پیش‌تنیده تزریقی در انگلستان).

۳-۲-۲- روش‌های بازرسی

تجهیزات و روش‌هایی که برای اعضای زیرسازه غیر مدفون بکار برده می‌شوند به طور عمده مشابه موارد مربوط به اعضای روسازه می‌باشد اما هزینه‌های بازرسی و آزمایشات ممکن است به علت دشواری در دسترسی بسیار بیشتر باشد. همچنین تعداد کمی از تکنیک‌های تخصصی مانند رادار و ترموگرافی که در مورد عرشه پلها استفاده می‌شود، در مورد اعضای زیرسازه کاربرد کمتری دارد.

روش‌های آزمایشات مورد نظر که هر یک در یک سری شرایط خاص استفاده می‌شوند باید براساس اطلاعات موجود، مصالح ساخت، طبیعت و چگونگی خرابی و بودجه موجود انتخاب شوند. شرح مفصل تعداد زیادی از تکنیک‌هایی که می‌تواند در بازرسی استفاده شود همراه با بحث در مورد اینکه هر یک در چه شرایطی کاربرد دارد، به صورت گزارش موجود است [۵ و ۶]. خلاصه‌ای از این تکنیک‌ها برای سازه‌های بتنی در فصل پنجم گزارش OECD تحت عنوان «دوام پلهای بتنی جاده‌ای» آورده شده است [۷]. در بعضی موقعیت‌ها ممکن است آنالیز مفصل از سازه و یا آزمایش بارگذاری با مقیاس کامل برای تکمیل نتایج حاصل از بازرسی و آزمایشات انجام شده، لازم باشد.

فهرستی از اکثر تجهیزات و تکنیک‌های در دسترس، مطابق با «راهنمای آموزش بازرسان پل ایالات متحده» در جدول (۳-۲) ارایه شده است که برای اهداف برنامه‌ریزی تحقیقات مفید می‌باشد[۸]. بخش ضروری فعالیت برنامه‌ریزی شامل انتخاب مناسب‌ترین تجهیزات و تکنیک‌ها برای تحقیقات مورد نظر می‌باشد. اکثر کشورها لازم می‌دانند که بازرسی‌ها توسط و یا تحت سرپرستی یک مهندس حرفه‌ای انجام گیرد.

بازتاب بررسی‌های انجام شده که نتایج به دست آمده در فصل ۲ را تایید می‌کند نشان می‌دهد که متداولترین نوع آسیب در اعضای بتنی، خوردگی آرماتورهای درون بتن می‌باشد. بنابراین برداشت پتانسیل و اندازه‌گیری پروفیل یون کلراید و اندازه‌گیری عمق کربناسیون، رایج‌ترین رویه‌ها در بازرسی‌های مفصل (به ویژه در اروپا) می‌باشند. دومین و رایج‌ترین آسیب در اعضای بتنی ترک‌خوردگی می‌باشد. معمول‌ترین روش برای بررسی و کنترل عرض ترک، استفاده از نشانگرهای حرکت ترک می‌باشد که به طور دایمی به سازه متصل هستند. عمق ترک نیز می‌تواند با استفاده از روش‌های فراصوتی (اولتراسونیک) بررسی شود. بتن پیش‌تنیده به ندرت برای اعضا زیرسازه بکار می‌رود اما در صورت استفاده باید تکنیک‌های خاص بازرسی مدنظر باشد. یک مجموعه مفید در مورد روش‌هایی که می‌تواند در بازرسی اعضای بتنی پیش‌تنیده مورد استفاده قرار گیرد توسط وزارت حمل‌ونقل انگلستان در سال ۱۹۹۳ منتشر شد [۹].

خوردگی و ترک‌خوردگی از رایج‌ترین آسیب‌ها در سازه‌های فولادی می‌باشند. آسیب‌های فولاد معمولاً با استفاده از رنگهای نفوذکننده و یا ذرات مغناطیسی مطالعه و بررسی می‌شود در حالی که روش‌های اولتراسونیک هم

1- Disaster Prevention

برای آسیب‌های سطحی و هم آسیب‌های پنهان (داخلی) بکار می‌روند. هم چنین گزارش‌های رسیده نشان می‌دهد که در برخی کشورها از اشعه ایکس برای تشخیص وجود ناخالصی و یا تخلخل در جوش استفاده شده است. ترکها نیز زمـانی قابل تشخیص با استفاده از اشعه ایکس هستند که تقریباً در جهت پرتو اشعه ایکس قرار داشته باشند.

جدول (۳-۲) انواع مختلف آزمایش جهت بازرسی پل

نوع آزمایش	طبیعت		کاربرد اولیه		
	مخرب	شبه‌مخرب	چوب	بتن	فولاد
Acoustic emission	•				•
Sonic/ultrasonic velocity	•			•	
Boring or drilling		•	•		
Carbonation		•		•	
Chemical analysis		•			•
Corrosion sensors	•				•
Delamination detection	•			•	
Dye penetrant	•				•
Electrical methods	•			•	
Endoscopes		•		•	
Flat jack testing	•			•	
Ground-penetrating radar	•			•	
Hardness test		•			•
Impact test		•			•
Impact-echo test	•			•	
Infrared thermography	•			•	
Magnetic flux leakage	•				•
Moisture content		•	•	•	
Nuclear methods	•			•	
Permeability		•		•	
Reinforcement cover	•			•	
Probing		•	•		
Radiographic testing	•				•
Rebound and penetration methods	•			•	
Spectral analysis	•		•		
Strength - compressive				•	
Strength - flexural			•		
Strength - tensile					•
Ultrasonic testing	•		•	•	•

به نسبت، اطلاعات کمتری در مورد بازرسی اعضای چوبی و از جـنس مصـالح بنـایی تهیـه شـده اسـت. ایـن موضوع نشان‌دهنده این واقعیت است که به نسبت تعداد اعضای چوبی کمتر بوده و مقاطع چوبی بکار رفته در شـمع‌هـا

در هوا نسبت به زیر سطح زمین و یا درون آب کمتر در معرض خطر پوسیدگی قرار دارند. اعضای ساخته شده از مصالح بنایی نیز به مشکل بودن بازرسی شهرت دارند، اما چنانکه در فصل ۲ بیان شد بنا بر خاصیت سنی خود تمایل به پایداری بیشتر در آنها زیاد می‌شود. خرابی‌های به وجود آمده نیز اکثراً در اثر فرسایش و زهکشی نامناسب می‌باشد.

۳-۳- اجزای داخل خاک

تحقیقات نشان می‌دهد که هیچ یک از کشورهای عضو اجزای داخل زمین را در هیچ یک از سطوح بازرسی کنترل نمی‌کنند مگر اینکه در زمان ساخت پل تجهیزات خاصی در نظر گرفته شده باشد که این مطلب عدم وجود رویه‌های عملی در این زمینه را نشان می‌دهد. اکثر نقایص موجود در فونداسیون‌ها در جابجایی‌های پیش‌بینی‌نشده خود را نشان می‌دهند. در مواقعی که خاکبرداری و مشاهده وضعیت اجزای داخل زمین به طور مستقیم ممکن باشد این کار به ندرت صورت می‌گیرد و تصمیماتی نیز که در مورد تقویت زیر پی و مقاوم‌سازی اتخاذ می‌شود با توجه به مشاهداتی همچون نشست روسازه (که می‌تواند نشان‌دهنده وجود نقص در اعضای زیرسازه باشد) انجام می‌گیرد. مشاهدات لازم می‌تواند با تعبیه تجهیزات لازم جهت کنترل دوره‌ای سطح و یا نصب شیب‌سنج‌هایی[1] جهت اندازه‌گیری جابجایی ناشی از تغییر شرایط زیر سطح، انجام گیرد.

علاوه بر اینکه بازرسی اجزای داخل خاک بسیار مشکل می‌باشد، برخی مواقع نیز نوع فونداسیون ناشناخته و یا ابعاد و مشخصات آن نامشخص می‌باشند. این مورد برای پلهای قدیمی‌تر و هنگامی اتفاق می‌افتد که نقشه‌ها گم شده و یا از بین رفته‌اند. یک سری مطالعات در زمینه ارزیابی، توسعه، تجهیزات آزمایش و روندهایی که می‌تواند جهت تعیین مشخصات فونداسیون پلها استفاده شود، از سال ۱۹۹۱ در ایالات متحده آغاز شد و سه سال به طول انجامید. اطلاع از ضخامت فونداسیون به ویژه در مورد پلهایی که در معرض جریان رودخانه قرار دارند، برای تعیین خطر آب‌شستگی مهم می‌باشد.

روش‌های شناسایی و بررسی فونداسیون را می توان به دو دسته مستقیم و قیاسی تقسیم نمود. روش مستقیم به عنوان مثال شامل مشاهدات عینی، حفاری و یا استفاده از چاههای شناسایی می‌شود. روش قیاسی شامل اندازه‌گیری اطلاعات تحت‌الارضی می‌شود که از روی آنها مشخصات فونداسیون استنباط می‌شود. روش‌های قیاسی می‌تواند بر پایه بسیاری از تکنیک‌های غیر مخرب شامل امواج تنشی[2]، محدوده فرکانس لرزه‌ای یا صوتی، روش‌های الکتریکی، روش‌های مغناطیسی و روش‌های ثقلی انجام گیرد.

سه تکنیک تست غیر مخرب از دهه ۱۹۶۰ تاکنون در حال توسعه می‌باشد. روش‌های اکوی لرزه‌ای و پاسخ ضربه‌ای[3]، هم در آزمایشات روتین و هم در بررسی‌های کالبدپژوهی[4] استفاده می‌شوند. سومین روش آزمایش اولتراسونیک "Crosshole Sonic Logging" کمتر متداول می‌باشد اما استفاده از آن در شرایط تحت‌الارضی نامناسب

1- Inclinometere
2- Stress Waves
3- Impulse Response
4- Forensic Investigation

مفید است[۱۰]. روشی که در زمینه تعیین طول شعمهای چوبی با موفقیت استفاده شده است تکنیکی است که بنام "Vertical Seismic Profiling" شناخته می‌شود. یک گیرنده لرزه‌ای در یک استوانه پر از آب که حدود ۱ تا ۱/۵ متر از شمع فاصله دارد و عمق آن هم در حدود ۵ متر بیشتر از شمع مورد بررسی می‌باشد، پایین آورده می‌شود. با رسم منحنی عمق قائم در برابر سرعت لرزه‌ای، یک تغییر ناگهانی در شیب آن مشاهده می‌شود که منطبق با انتهای شمع می‌باشد زیرا سرعت موج فشاری طولی در چوب بیشتر از خاک می‌باشد.

سازه‌های خاکی- فولادی همان طور که از نامشان بر می‌آید، به علت اینکه از پانلهای فولادی موجدار کنگره‌ای و مصالح خاکریز کنترل‌شده ساخته می‌شوند، مستعد خوردگی و تغییر شکل بیش از حد می‌باشند. در اکثر مواقع، خوردگی در سطح تماس پانلهای فولادی و خاکریز روی می‌دهد و شناسایی آن بسیار مشکل می‌باشد. با وجود این که اندازه‌گیری مقاومت ویژه[1] و خاصیت مخرب (تهاجمی)[2] مصالح خاکریز نشان‌دهنده پتانسیل خوردگی می‌باشد، اما در حال حاضر هیچ فرآیند خاصی که به طور مستقیم برای سنجش وجود خوردگی بکار رود، وجود ندارد. روشی بر اساس فتوگرامتری برای اندازه‌گیری دوره‌ای خواص هندسی سازه‌های خاکی- فولادی در کانادا استفاده شده است. این روش نشان می‌دهد که آیا تغییری در پروفیل یک کالورت در حال وقوع است یا خیر ولی دلیل جابجایی را نشان نمی‌دهد.

خاکهای پیش‌تنیده[3] و یا مهارهای سنگی[4] در بعضی مواقع برای مهار دیوارهای حایل، شیب‌های خاکی و یا سنگی ایمن و خنثی کردن نیروهای بالابرنده[5] بکار برده می‌شوند. پاسخهای رسیده از انگلستان و سوییس نشان می‌دهد که این نوع ساخت‌وسازها نیاز به تکنیک‌های خاص بازرسی دارد.

مهارهای سنگی در سال ۸۱-۱۹۸۰ برای ایمن ساختن پایه‌های پل‌دره مونته در سوییس نصب شدند. در طی بازرسی که در سال ۱۹۹۲ از آنها به عمل آمد، دیده شد که سر مهارها دچار خوردگی شده است. در بسیاری از موارد مهارهای پنهان طوری نصب می‌شوند که بتوان نیروهای موجود در آنها را توسط جکهای فشاری و یا بارسنج اندازه‌گیری نمود. بارسنجهای الکتریکی در دسترس هستند که برای اندازه‌گیری نیروها تا ۱۰ سال مناسب می‌باشند. بارسنجهای هیدرولیکی دقیق می‌توانند تا ۵۰ سال نیز استفاده شوند.

۳-۴- اجزای داخل آب

همانند مطالبی که در مورد اجزای داخل خاک بیان شد، تحقیقات نشان می‌دهد که به علت مشکلات فنی و هزینه‌های زیاد، بازرسی‌های روتین کمتری از اجزای زیر آب صورت می‌گیرد.

مسایل عمده گزارش شده عبارت بودند از: آب‌شستگی (برای انواع سازه‌ها) و حمله سوراخ‌کنهای زیرآبی به شمع‌های چوبی. تکنیک‌های اولتراسونیک برای کاربرد در اعضای چوبی شامل تکیه‌گاههای شمعی زیر آب گسترش یافته‌اند و به طور موفقیت‌آمیزی در ایالات متحده و سوئد بکار برده شده‌اند[۱۱].

1- Resistivity
2- Aggressivity
3- Post Tensioned Ground
4- Rock Anchors
5- Uplift Forces

آب‌شستگی برای مراجع مسؤول پلها مسأله بسیار مهمی است زیرا می‌تواند منجر به بروز خسارات فاجعه‌باری در سازه شود. به ویژه سازه‌هایی که روی پی‌های گسترده قرار دارند نسبت به آب‌شستگی آسیب‌پذیرتر می‌باشند. شناسایی آب‌شستگی نیز مشکل می‌باشد زیرا ممکن است که این مسأله فقط برای غواصانی که در زمان وجود سیل به زیر آب می‌روند قابل رویت باشد که در این هنگام نیز شرایط برای زیر آب رفتن ایمن نیست. هنگامی که سیل فروکش می‌کند. حفره‌های آب‌شسته شده معمولاً با رسوب پر می‌شوند و قابل شناسایی نیستند.

به دنبال شکست یک پل در ایالات متحده در اثر آب‌شستگی، تحقیقاتی در سال ۱۹۸۹ برای توسعه وسیله‌ای که بتواند به طور دایم روی پل نصب شود و در مورد وضعیت آب‌شستگی هشدار دهد، آغاز شد. اولین فاز این تحقیقات در سال ۱۹۹۲ تکمیل شد که شامل معرفی و ارزیابی آزمایشگاهی دستگاههای با قابلیت مناسب بود. ارزیابی نشان داد که هیچ روش واحدی برای اندازه‌گیری آب‌شستگی در کوله و پایه پلها نمی‌تواند برای تمام وضعیت‌هایی که پل در محل با آن مواجه خواهد شد، بکاربرده شود. راهنمای استفاده از وسایل اندازه‌گیری آب‌شستگی برای پلهای موجود ارایه گردیده است [۱۲]. فازهای بعدی تحقیقات مذکور مربوط به ارزیابی تجهیزات، تحت شرایط موجود در محل و توسعه این ابزار می‌باشد به نحوی که این وسایل را بتوان از یک پایگاه اصلی کنترل و نظارت نمود.

تعدادی از کشورها ملاحظاتی را در مورد بازرسی‌های مرتب توسط غواصان گزارش کرده‌اند. در آمریکا بر این مسأله تأکید می‌شود که بازرسی‌ها نباید کمتر از هر ۵ سال یکبار انجام گیرد. این چرخه برای کشور سوئد ۶ سال است. در نروژ این زمان برای آبهای روان ۵ سال و برای آبهای ساکن ۱۰ سال می‌باشد. جزییات نحوه انجام بازرسی‌ها و آموزش و ایمنی بازرسی‌های زیر آب در مراجع ارایه گردیده است [۱۳ و ۱۴]. اخیراً وسایل نقلیه کنترلی در زیر آب برای بعضی از پلهای ایالات متحده و کشورهای اسکاندیناوی استفاده شده است. این وسایل نقلیه در ابتدا برای بازرسی سازه‌های ساحلی در صنعت نفت توسعه یافته‌اند و به یک سری دوربین‌ها و وسایل بازرسی غیر مخرب مجهز می‌باشند.

۳-۵- مراجع

1. OECD. ROAD RESEARCH (1976). Bridge Inspection. OECD. Paris .
2. OECD. ROAD TRANSPORT RESEARCH (1992). Bridge Management. OECD. Paris .
3. FINNISH NATIONAL ROAD ADMINISTRATION (1992). Sillantarkastuskäsikirja, (Manual for Bridge Inspectors). Helsinki .
4. DIN 1076 (1983). Ingenieurbauwerke im Zuge von Strassen und Wegen, (Engineering Highway Structures, Observation and Inspection). and Ri _ EBW _ Prüf 88 (1988). Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, (Guideline for the uniform recording, assessment and evaluation of results of bridge inspections according to DIN 1076). Berlin .
5. MANNING, D.G (1985). Detecting Defects and Deterioration in Highway Structures. NCHRP, Synthesis of Highway Practice No 118, Transportation Research Board. Washington D.C .
6. WOODWARD, R.J. (1989). Non _ Destructive Testing Methods for Concrete Bridges. TRRL Research report No 250. Transportation Research Laboratory. U.K
7. OECD. ROAD TRANSPORT RESEARCH (1989). Durability of Concrete Road Bridges. OECD. Paris .
8. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1990). Bridge Inspector's Training Manual 90. Washington D.C .
9. UK DEPARTMENT OF TRANSPORT (1993). Post Tensioned Concrete Bridges: Planning, Organization and Methods for Carrying Out Special inspections. London .
10. OLSON, L.D .and C.C. WRIGHT (1990). Nondestructive Testing for Repair and Rehabilitation. Concrete International, Vol 12, No 3. American Concrete Institute. Michigan.
11. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1989). Inspection of Bridge Timber Piling. Washington D.C .
12. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1993). Instrumentation for Measuring Scour on Bridge Piers and Abutments. Research Results Digest No. 189. Washington D.C .
13. LAMBERTON H.C.Jr ., A.J.SAINZ, R.A.CRAWFORD, W.B. OGLETREE and J.E. GUNN (1981). Underwater Inspection and Repairs of Bridge Substructures. NCHRP, Synthesis of Highway Practice No 88. Transportation Research Board. Washington D.C .
14. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1989). Underwater Inspection of Bridges. Washington D.C .
15. MINISTERE DES TRANSPORTS _ DIRECTION DES ROUTES (1980). Fondations des ponts en site aquatique en état précaire. Paris .
16. S.E.T.R.A (1995). Répertoire des textes et documents techniques essentiels. Ouvrages d'art, édition n°9. Bagneux.

۴- روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی

۴-۱- مقدمه

هنگامی که آسیب‌های موجود در بازرسی‌های انجام یافته مشخص می‌شوند لازم است کـه از روش‌هـای مناسـبی برای تعمیر و مقاوم‌سازی پل استفاده شود به نحوی که پس از آن پل به صورت ایمن به کار خود ادامه دهد. همان طـور که در فصل دوم بحث شد، انواع مختلفی از آسیب‌های مربوط بـه زیرسـازه وجـود دارد و لـذا بـرای هـر نـوع آسـیب، روش‌های مختلف تعمیر و مقاوم‌سازی گسترش یافته است. اگرچه اطلاعات مربوط به به مطالعات موردی و مشخصات روش‌های مختلف تعمیر و مقاوم‌سازی در کشورهای عضو در دسترس می‌باشد اما انتخاب و طراحی روش‌های مناسـب بستگی زیادی به قضاوت مهندسی دارد.

در این فصل موضوعات زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- چشم‌اندازی از روش‌های مورد استفاده در کشورهای عضو (۴-۲)
- روش‌هایی در مورد آسیب‌های مربوط به زمین (۴-۳)
- روش‌هایی در مورد آسیب‌های مربوط به آب (۴-۴)
- روش‌هایی در مورد آسیب‌های حاصل از بارهای خارجی (۴-۵)
- روش‌هایی در مورد آسیب‌های حاصله از اضمحلال مصالح (۴-۶)

در بخش ۴-۲ روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی در کشورهای عضو براساس نتـایج تحقیقـات گـروه بـا اسـتفاده از فرم‌های پرسشنامه خلاصه شده است. در بخشهای ۴-۳ و ۴-۶ روش‌های تعمیـر و مقـاوم‌سـازی براسـاس نـوع آسـیب دسته‌بندی شده‌اند و در هر مورد توضیحاتی همراه با مثالهای مربوط ارایه شده است.

۴-۲- چشم‌اندازی از روش‌های مورد استفاده در کشورهای عضو

روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی درکشورهای عضوOECD از نتایج پرسشنامه‌ها استخراج شد و مشخص گردید که:

- روش‌هایی همچون بهبود وضعیت خاک، افزایش سطح تکیه‌گاهها یا افزایش تعداد شمع‌ها در جاهایی کـه فونداسیون آسیب‌دیده باشد بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- روش‌هایی مانند جایگزینی مصالح، اضـافه نمـودن ژاکـت‌هـای فـولادی و بتنـی بیشـتر در مـورد مصـالح اضمحلال یافته مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول (۴-۱) روش‌هایی را که در بخشهای ۴-۳ تا ۴-۶ بیشتر معرفی خواهند شد را ارایه می‌کند. همان طور کـه در این جدول نشان داده شده است اغلب یک روش خاص برای چند نوع آسـیب بکـار مـی‌رود (علامـت * در جـدول ۴-۱ نشانگر روش تعمیر و مقاوم‌سازی است که در متن مثال واقعی آن داده شده است و مواردی که با علامت i نشـان داده شده در بخش ۴-۳ تا ۴-۶ توضیح داده شده‌اند.)

جدول (۴-۱) روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی

نوع آسیب	مربوط به خاک						مربوط به آب			در اثر بارهای خارجی						اضحلال مصالح				
	۱,۳,۴	۲,۳,۴	۳,۳,۴	۴,۳,۴	۵,۳,۴	۶,۳,۴	۱,۴,۴	۲,۴,۴	۳,۴,۴	۱,۵,۴	۲,۵,۴	۳,۵,۴	۴,۵,۴	۵,۵,۴	۶,۵,۴	۱,۶,۴	۲,۶,۴	۳,۶,۴	۴,۶,۴	
روش تعمیر و مقاوم‌سازی	زمین‌لغزه	ظرفیت باربری ناکافی فونداسیون	تحکیم	روانگرایی	حرکت جانبی کوله روی زمین نرم	ساخت و سازه‌های مجاور	ناپایداری جریان، آبشستگی موضعی	اثرات سیلاب	اثرات جزر و مد	بارهای ترافیکی	برخورد وسایل نقلیه با کشتی	باد	تنشهای حرارتی	زلزله	یخ	بتن	فولاد	چوب	مصالح بنایی	استانداردها و دستورالعملها
زهکشی سطحی	•																			
زهکشی آب زیرزمینی	•			• «	•															
برداشتن خاک	• «																			
خاکریز متعادل‌کننده	•				•															
خاکریز سبک			• «		• «															N5J4
بهسازی زمین		•	•	•	• «	•														
مهاری با شمع	•				•	•														CH2
افزایش سطح باربر		•	•			•	•							•						
افزایش تعداد شمعها		• «	• «		•	•	•							•						
تنظیم تکیه‌گاه	• «		•										•	•						
تزریق			•				•													
زیربندی						•														
پوشش							• «													
آبشکن							• «													
گراندسل							• «		• «											
سپرکوبی							• «													
گروه دیوار بتنی								• «			•			• «						
محافظت در برابر ضربه											• «				• «					
جایگزینی مصالح																•	• «	• «	•	
ژاکت فولادی			• «							• «				• «		•				
ژاکت بتنی											•			• «		• «				CND1-4
تزریق ملات																• «			• «	UK1
تزریق اپوکسی																• «				D(W)2
سوراخ جلوگیر ترک										•							•			
حفاظت کاتدیک																• «	• «			CND1-4 CH4
مصالح پوششی محافظ																•	• «	•		
استانداردها و دستورالعملها	US10	US9	US9	US11 J2	US12 J6	US9 J5	N4,F1, US5,6, 13,14	US16	US13		N3			US3 J2		CND1-5 D(W)1 S1				

استانداردها و آیین‌نامه‌های اصلی کشورهای عضو در رابطه با تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه‌های پل در جدول (۴-۲) فهرست شده‌اند. این جدول نشان می‌دهد که استانداردهای کمی در مورد مسایل گوناگون و پیچیده تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه‌های پل وجود دارد اما تحقیقات بر روی انواع مختلف آسیب‌ها و روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی آنها همچنان در جریان است. نتایج به دست آمده از چنین تحقیقاتی در تهیه کتابهای راهنما و گزارش‌هایی با موضوعاتی مانند روش‌های ارزیابی زیرسازه‌های موجود، آب‌شستگی و حرکت جانبی کوله‌ها روی زمینهای نرم و غیره مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

همچنین در جدول(۴-۱) نیز به این دستورالعمل‌ها و کتابهای راهنما در رابطه با روش تعمیر و مقاوم‌سازی و علت آسیب ارجاع داده شده است.

جدول (۴-۲) استانداردها و دستورالعمل‌های انتخابی در مورد روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی

Country	N°	Specifications and guidelines
Canada	1	OPSS 928-DRAFT, Construction Specification for Structure Rehabilitation Concrete Removal, Ministry of Transportation, Ontario, 1993
	2	OPSS 929-DRAFT, Construction Specification for Abrasive Blast Cleaning Concrete Construction, Ministry of Transportation, Ontario, 1993
	3	OPSS 930-DRAFT, Construction Specification for Structure Rehabilitation Concrete Patches and Overlays, Ministry of Transportation, Ontario, 1993
	4	OPSS 931-DRAFT, Construction Specification for Structure Rehabilitation Shotcrete, Ministry of Transportation, Ontario, 1993
	5	OPSS 935-DRAFT, Construction Specification for Cathodic Protection, Ministry of Transportation, Ontario, 1993
Denmark	1	Tendering and Construction Rules and Guidelines for Bridge Repairs, Danish Road Directorate, 1987
Finland	1	SILKO Bridge Repair Guidelines, Finnish National Administration, 1993
France	1	Fondations de ponts en site aquatique en état précaire, Guide pour la surveillance et le confortement, Ministère des Transports, 1980
	2	Répertoire des textes et documents techniques essentiels - Ouvrages d'Art - (Edition n°9 - Janvier 1995), Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

Country	N°	Specifications and guidelines
Germany	1	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien fur Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (ZTV-SIB 90) [Additional technical contractual terms and guidelines for protection and repair of concrete structures] Bundesministerium fur Verkehr [Federal Ministry of Transport], 1990
	2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien fur das Füllen von Rissen in Betonbauteilen(ZTV-RISS 93) [Additional technical contractual terms and guidelines for the injection of cracks in concrete structures] Bundesministerium fur Verkehr [Federal Ministry of Transport], 1993
Japon	1	Handbook for Highway Bridge Repair Work, Japan Road Association, 1979
	2	Guide Specifications for Earthquake Hazard Mitigation for Transportation Facilities, Japan Road Association, 1987
	3	Collection of Case Studies on Repair and Strengthening Work for Highway Bridge Substructures, Technical Memorandum of PWRI, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, 1992
	4	Manual for the Design and Execution of Lightweight Embankment using Foaming Polystyrol, Technical Memorandum of PWRI, No. 3089, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, 1992
	5	Guidelines for the Design and Execution of adjacent Foundations (A Draft), Technical Memorandum of PWRI, No. 2009, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, 1983
	6	A Study on the Lateral Movement of Abutment, Technical Memorandum of PWRI, No.1804, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, 1981
	7	Collection of Case Studies on Repair Works for Structures on the Hanshin Expressway, Hanshin Expressway Public Corporation, 1982
New Zealand	1	Bridge Inspection and Maintenance Manual, Transit New Zealand, 1991
Norway	1	Bridge Foundation below Water Inspection and Repair Public Roads Administration Directorate of Public Roads, 1984
	2	Guidelines for Bridge Maintenance, Public Roads Administration Directorate of Public Roads, 1976
	3	Report-Bridges exposed to Ship Impact, Public Roads Administration Directorate of Public Roads, 1982
	4	Compendium-Bridge Inspection and Bridge Maintenance, Public Roads Administration Directorate of Public Roads, 1990
	5	Plastic Foam in Road Embankments, Norwegian Road Research Laboratory, 1987
Sweden	1	Bridge code 88, 7 Maintenance, Repair and Strengthening, Swedish National Road Administration, 1988
	2	Durable Concrete Structures, Concrete Report No.1(E) Swedish Concrete Association, 1991

Country	N°	Specifications and guidelines
Switzerland	1	SIA 462, Evaluation of Existing Structures, SIA, 1994
	2	Specifications SFHO on Ground-Anchors, SFHO, 1993
	3	SIA 2006, Potential Mapping Execution and Interpretation, SIA, 1993
	4	Directive for Utilization of Cathodic Protection for Reinforced Concrete, Swiss Society for Protection against Corrosion, 1991
U.K.	1	Bridge Standard BD 27/86, Dept. of Transport, 1986
U.S.A.	1	Manual For Bridge Maintenance Planning and Repair Methods, Florida Department of Transportation, 1993(Draft)
	2	Collection of Attempted Maintenance Force Remedial Bridge Work, Pennsylvania Department of Transportation, 1983
	3	Seismic Retrofitting Guidelines for Highway Bridges, Federal Highway Administration, 1983
	4	Bridge Maintenance Training Manual, Federal Highway Administration, 1985 (Revision Underway)
	5	Stream Stability at Highway Structures, Federal Highway Administration, 1991
	6	Underwater Inspection and Repair of Bridge Substructures, National Cooperative Highway Research, Program, 1981
	7	Underwater Inspection of Bridges, Federal Highway Administration, 1989
	8	Proceedings of Bridge Scour Symposium, Federal Highway Administration, 1989
	9	Evaluation and Improvement of Existing Bridge Foundations, Federal Highway Administration, 1984
	10	Landslides: Analysis and Control, Special Report 176, Transportation Research Board, 1978 (To be Revised, 1994)
	11	Liquefaction of Soils during Earthquakes, National Research Council, 1985
	12	Treatment of Problem Foundations for Highway Embankments, Report 147, Transportation Research Board, 1989
	13	Evaluating Scour at Bridges, Federal Highway Administration, 1993
	14	Highways in the River Environment, Federal Highway Administration, 1990
	15	Design of Riprap Revetment, Federal Highway Administration, 1989
	16	Second Bridge Engineering Conference, TRB 950 Volume 2, Transportation Research Board, 1984
	17	AASHTO Manual For Bridge Maintenance, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1987

۴-۳- روش‌هایی در مورد آسیب‌های مربوط به زمین

۴-۳-۱- زمین‌لغزه‌ها

به طور کلی، در این مورد اقدامات پیش‌گیرانه مد نظر قرار می‌گیرد. اقداماتی همچون تغییر محل پل یا ساختن سازه‌های خاص برای جلوگیری از اثرات پیش رونده زمین‌لغزه نیز در موارد خاص اعمال شده است.

روش‌های مربوطه را می‌توان به دو دسته کلی اقدامات پیش‌گیرانه و اقدامات کنترل‌کننده تقسیم‌بندی نمود. در اقدامات پیش‌گیرانه سعی می‌شود با تغییر شرایط طبیعی مانند توپوگرافی زمین‌لغزه و یا وضعیت آب زیرزمینی، حرکات زمین‌لغزه را متوقف و یا کم نمود. در حالی که در اقدامات کنترل‌کننده سعی می‌شود با ساختن سازه‌هایی همچون شمع‌ها در زمین‌های مستعد به زمین‌لغزه حرکات آنرا متوقف نمود.

انواع اقدامات خنثی‌کننده معمول

موارد زیر نمونه‌هایی از اقداماتی هستند که در ژاپن و نقاط دیگر انجام شده‌اند:

اقدامات پیش‌گیرانه:

- زهکشی سطحی (جلوگیری از نفوذ و یا اعمال ملاحظات زهکشی)
- زهکشی آب زیرزمینی:
  - در لایه‌های کم عمق (زهکشی آبهای زیرزمینی)
  - در لایه‌های عمیق (حفره‌های زهکشی، چاههای آبگیر یا تونلهای تخلیه)
- برداشتن خاک
- خاکریز متعادل‌کننده

اقدامات کنترل‌کننده:

- شمع‌کوبی
- مهاربندی

این تکنیک‌ها در ادامه به طور خلاصه توضیح داده می‌شوند.

الف- زهکشی سطحی

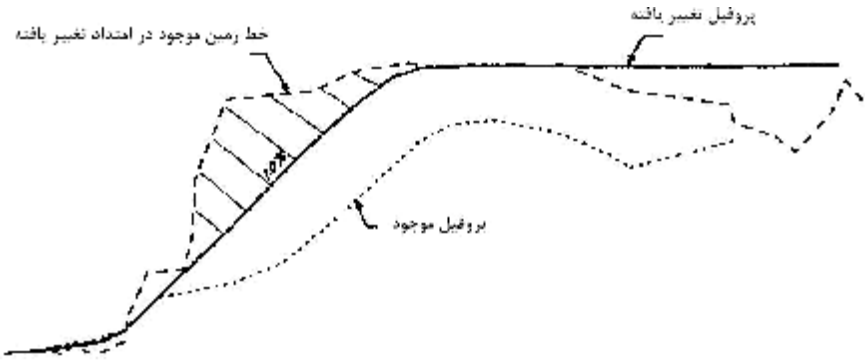
ملاحظات زهکشی سطحی نیازمند اقداماتی است که از نفوذ آب جلوگیری نماید و یا باعث سهولت زهکشی آب شود. مطابق روش‌های پیشین، ترکهای موجود روی شیب، با خاک رس منبسط‌شونده پر خواهند شد و یا با لایه‌های غیرقابل نفوذ برای جلوگیری از نفوذ آب پوشانده می‌شوند. به علاوه، آبهای سطحی در مناطق مستعد به زمین‌لغزه به طور متناوب جمع‌آوری شده و با استفاده از امکانات مناسب زهکشی در سریعترین زمان ممکن تخلیه می‌شود.

ب- زهکشی آب زیرزمینی

در زهکشی آب زیرزمینی سعی می‌شود که آب زیرزمینی مناطق مستعد به زمین‌لغزه، جریان نداشته باشد و فشار آب حفره‌ای کاهش پیدا کند. روش‌های زهکشی آب زیرزمینی را می‌توان برای لایه‌های نسبتاً کم عمق که به طور مستقیم تحت اثر بارش باران قرار دارند و برای لایه‌های عمیق‌تر دسته‌بندی نمود. به عنوان روش‌های اولیه می‌توان از کالورت استفاده کرد در حالی که روش‌هایی چون زهکش‌های ماسه‌ای، حفره‌های زهکشی یا حفره‌های افقی می‌تواند در مراحل بعد بکار برده شود.

پ- برداشتن خاک

قسمتی و یا تمام مصالح مستعد به زمین‌لغزه (به طور عمده مصالحی که در بالای خاک مستعد به زمین‌لغزه قرار دارند) برای پایدار نمودن شیب برداشته می‌شود. مثالی از ایالات‌متحده در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. بعضی مواقع خاک به طور متناوب با خاکریز سبک وزن جایگزین می‌شود.



شکل (۴-۱) برداشتن خاک

ت- خاکریز متعادل‌کننده[1]

خاکریزهای متعادل‌کننده در انتهای ناحیه زمین مستعد به زمین‌لغزه، جهت پایدار نمودن شیب‌ها قرار داده می‌شوند. اگرچه این روش‌ها ممکن است باعث قطع جریان آب زیرزمینی و افزایش فشار آب حفره‌ای رس و در نهایت منجر به ناپایداری زمین گردد.

ث- شمع‌کوبی

شمع‌کوبی در زمین‌های مستعد به زمین‌لغزه برای افزایش مقاومت زمین در برابر زمین‌لغزه با استفاده از مقاومت بازدارنده شمع‌ها انجام می‌شود. در محلی که شمع‌کوبی می‌شود، روش‌های بهبود زمین مانند تراکم لرزه‌ای و یا مسلح نمودن به وسیله ژئوتکستایل‌ها نیز در بعضی مواقع بکار برده می‌شود.

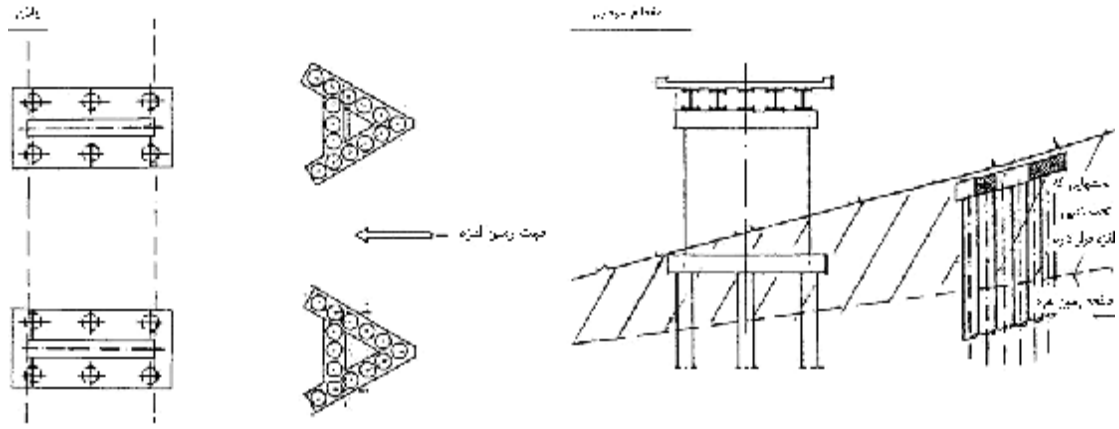
1- Counterweight fill

ج- مهارهای زمین[1]

مهارهای زمین در بعضی مواقع جهت افزایش مقاومت در برابر زمین‌لغزه در زمین‌های مستعد به زمین‌لغزه بکار برده می‌شود.

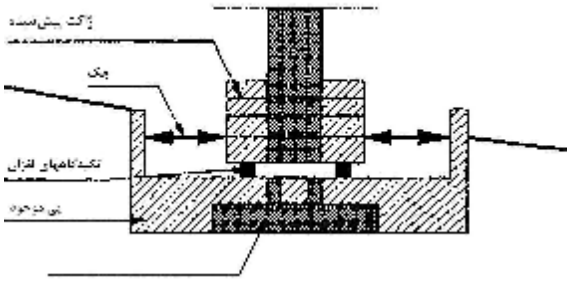
سایر اقدامات

بعضی مواقع شمع‌های محافظ یا شفت‌های درجاریز در بالای شیب پایه‌های پل اجرا می‌شود و نیروهای ناشی از لغزش زمین را دفع و منحرف می‌نماید. یک مثال از چنین حفاظتی که در ایتالیا استفاده شده است در شکل (۴-۲) نشان داده شده است.



شکل (۴-۲) شمع‌های محافظ

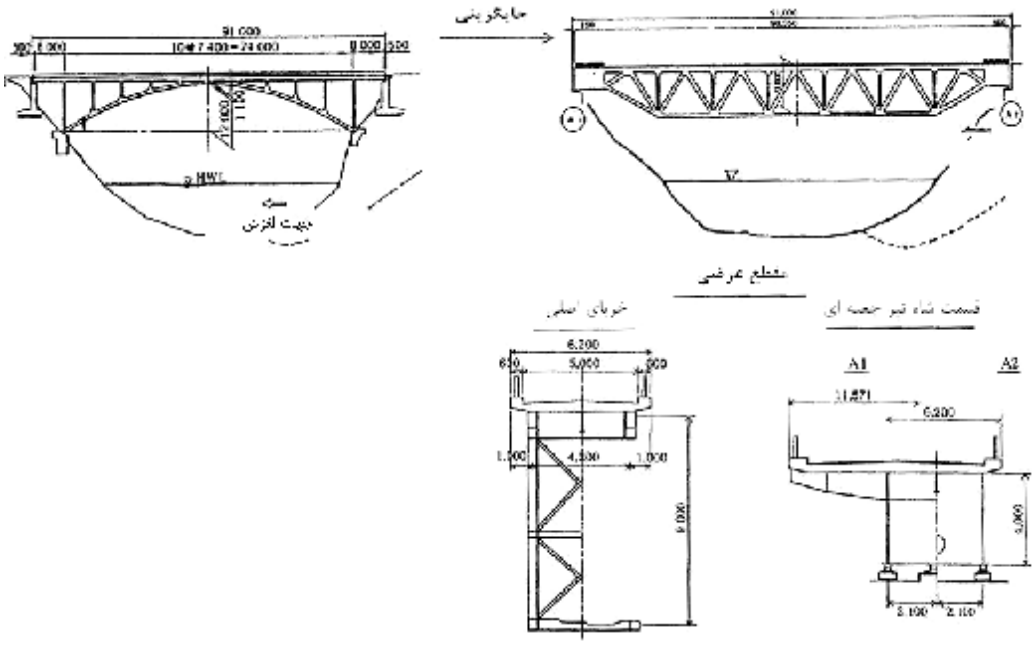
شکل (۴-۳) مثالی را از نصب تکیه‌گاههای لغزان در فرانسه نشان می‌دهد، جایی که پی‌ها در اثر فعالیت زمین‌لغزه، در حدود ۱۰ سانتی‌متر طی هفت سال حرکت کردند. پایه‌ها در قسمت تحتانی خود بریده شدند و روی تکیه‌گاههای لغزان گذاشته شدند.



شکل (۴-۳) تکیه‌گاههای لغزان

1- Ground anchors

در شکل (۴-۴) مثالی از جایگزینی پل در ژاپن نشان داده شده است. پل قوسی اصلی در سمت چپ دارای دهانه‌ای به طول ۷۴ متر می‌باشد که در طی ۱۴ سال و در اثر فعالیت‌های زمین‌لغزه‌ای به میزان ۴۲۴ میلی‌متر کوتاه شده است. پل خرپایی جدید تنها در صورتی قابل استفاده باقی می‌ماند که کوله‌هایش ۴۰۰ میلی‌متر جابجا شوند. پل جدید در دو انتهای خرپای اصلی دارای المانهای شاه‌تیر جعبه‌ای می‌باشد بنابراین می‌توان با بریدن مقاطع جعبه‌ای و تنظیم تکیه‌گاهها طول دهانه را تغییر داد.



شکل(۴-۴) جایگزین نمودن پل

۴-۳-۲- نشست در اثر ظرفیت باربری ناکافی فونداسیون

روش‌های افزایش ظرفیت باربری فونداسیون‌های موجود در ایالات متحده به سه دسته تقسیم می‌شوند:

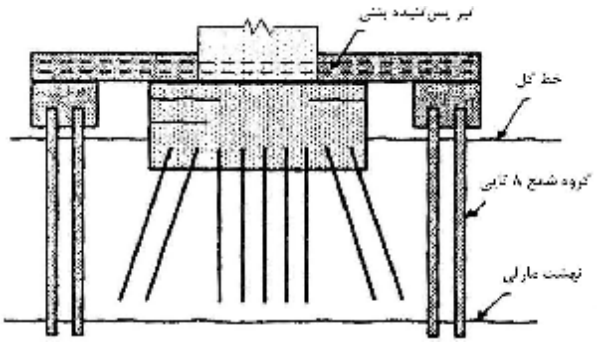
- افزایش سطح باربر و یا تعداد شمع‌ها
- انتقال بار به لایه‌های سخت‌تر
- افزایش ظرفیت باربری خاک زیر فونداسیون

الف- افزایش سطح باربر و یا تعداد شمع‌ها

افزایش سطح باربر فونداسیون هم برای پی‌های گسترده و هم برای فونداسیون‌هایی که به شمع تکیه کرده‌اند قابل کاربرد است. این کار باید در شرایط خشک انجام پذیرد. بنابراین باید سد موقتی دور فونداسیون ساخته شود و سپس چنانچه فونداسیون زیر آب است، آب منطقه تخلیه شود.

ب- انتقال بار به لایه‌های سخت‌تر

اگر خاک یا خاک زیر پی ضعیف باشد و یا شمع‌ها قبلاً به حداکثر تنش مجاز خود رسیده باشند، افزایش ظرفیت فونداسیون از طریق انتقال بار به لایه‌های سخت‌تر زیرین ممکن خواهد بود. این کار با "تقویت پی از زیر یا زیربندی پی"[1] توسط شمع‌ها و یا پایه‌ها انجام می‌گیرد. زیربندی برای افزایش ظرفیت فونداسیون موجود را می‌توان به زیربندی اصلاح‌کننده در برابر زیربندی پیش‌گیرانه که همان عمیق و یا بزرگ نمودن فونداسیون به علت ساخت‌وساز عمیق‌تر در مجاورت پی می‌باشد، تقسیم‌بندی نمود. شکل (۴-۵) مثالی را از کشور ایالات‌متحده نشان می‌دهد که در آنجا شمع‌هایی برای انتقال بار به لایه‌های سخت به زیرسازه اضافه شده است زیرا فونداسیون موجود پل روی شمع‌های اصطکاکی در زمین نرم قرار داشت و ظرفیت باربری ناکافی منجر به نشست شده بود.



شکل (۴-۴) تقویت پی از زیر (زیربندی)

پ- افزایش ظرفیت باربری خاک زیر پی

تقویت خاک با پرکردن خلل و فرج آن توسط مصالح نامحلول، زهکشی و تحکیم، تغییر ساختار شیمیایی خاک یا جامد کردن آب موجود در حفره‌ها انجام می‌شود. روش‌هایی از تقویت خاک برای سازه‌های موجود قابل کاربرد هستند که حجم خاک را تغییر ندهند. این کار با پرکردن خلل و فرج با استفاده از مصالح جدید به جای بازچینی دانه‌های خاک صورت می‌گیرد. عملیات تزریق برای افزایش پایداری و یا ظرفیت باربری خاکهای شل و روان با عنوان تزریق تحکیمی شناخته می‌شود. توده خاک تحت فشار تزریق می‌شود و توسط لوله‌های تزریق که در چاههایی که قبلاً در سنگ حفر شدند نصب شده‌اند و یا به داخل خاک رانده می‌شوند تحکیم می‌شوند.

۴-۳-۳- نشست زمین در اثر تحکیم

این اقدامات شامل فعالیت‌هایی است که با هدف جلوگیری از نشست‌هایی که به مرور زمان رخ می‌دهد یا بهسازی وضعیت لایه‌هایی که تحکیم می‌شوند، مانند کوبیدن شمع‌های اضافی در لایه‌های سخت‌تر انجام می‌شود. به طور کلی روش‌های زیر استفاده می‌شوند:

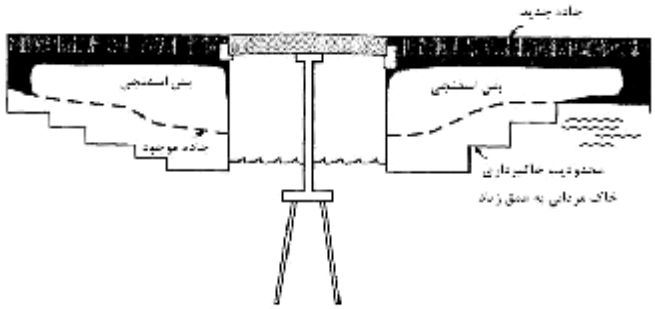
1- Underpinning

الف- بهسازی زمین

در این روش‌ها سعی می‌شود وضعیت لایه‌های تحکیم‌یابنده بهبود یابد و شامل تکنیک‌های جایگزینی، پیش بارگذاری، زهکشی ماسه‌ای، زهکشی کاغذی[1] و روش‌های اختلاط عمیق[2] می‌شود.

ب- کاهش بار لایه‌های تحت تحکیم

در این روش‌ها سعی می‌شود که بار وارد بر لایه‌های تحت تحکیم طوری سبک شود که نشست آنها متوقف گردد. شکل (۴-۶) مثالی را از کشور آمریکا نشان می‌دهد. در این مثال از بتن اسفنجی به عنوان پرکننده برای کاهش بار استفاده شده که در نتیجه این کار می‌توان میزان بار زنده را افزایش داد.



شکل (۴-۶) بتن‌ریزی سبک (اسفنجی)

پ- افزایش سطح باربر یا تعداد شمع‌ها

مساحت پی افزایش داده می‌شود تا بار وارد بر واحد سطح آن کاهش یابد یا به تعداد شمع‌ها اضافه می‌شود تا ظرفیت باربری افزایش یابد. مثالی از کشور فرانسه در شکل (۴-۷) نشان داده شده است. از آنجا که شمع‌های چوبی به لایه باربر نرسیده‌اند و تحکیم باعث نشست فونداسیون می‌شود، شمع‌های فولادی با مقطع لوله با قطر کوچک به زیر فونداسیون اضافه شده تا به لایه باربر برسند.

ت- تزریق زیر پی

بتن و یا بعضی مصالح مشابه برای پرکردن حفره‌های زیر پی بکار می‌رود.

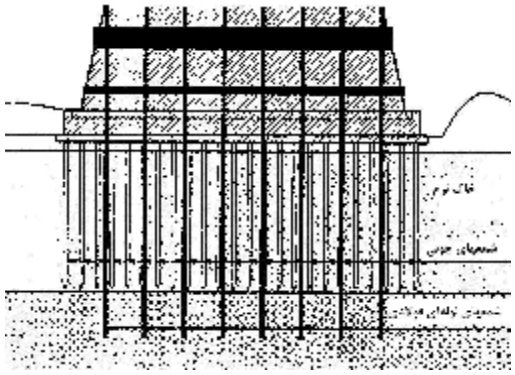
ث- تنظیم تکیه‌گاهها

هنگامیکه زیرسازه در اثر تحکیم خاک نشست کرد، برای آنکه زیرسازه به وضعیت اولیه برگردد تکیه‌گاهها تنظیم می‌شوند.

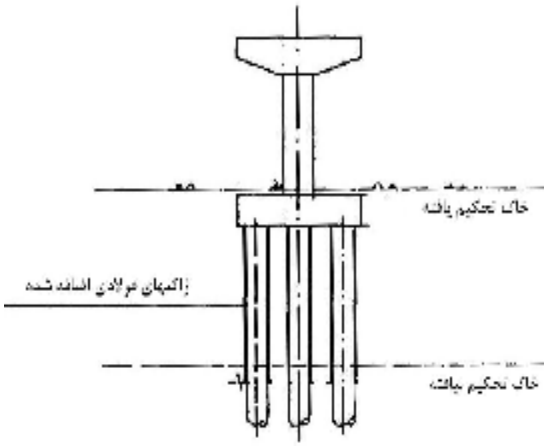
1- Paper drain
2- Deep mixing techniques

ج- کاهش اصطکاک منفی

با کاربرد قیر در سطح شمع به عنوان یک عمل نگهداری پیش‌گیرانه، اصطکاک جدار کاهش می‌یابد. شکل (۴-۸) روش کاهش اصطکاک در ایتالیا را نشان می‌دهد که با قراردادن ژاکت‌های فولادی به دور شمع‌ها حاصل شده است.



شکل (۴-۷) شمع‌های اضافه شده



شکل (۴-۸) ژاکت‌های فولادی

۴-۳-۴- روانگرایی در حین زلزله

هنگامیکه از پتانسیل روانگرایی خاک زیر پی اطمینان حاصل شد، همان طور که در فصل ۲ شرح داده شد، اقدامات مناسبی باید اتخاذ گردد، مانند:

- تلاش در جهت کاهش ظرفیت باربری زمین در مرحله طراحی
- مسلح کردن فونداسیون‌های موجود، به عنوان مثال افزایش و یا مسلح نمودن شمع‌ها
- بهسازی زمین برای جلوگیری از روانگرایی

در اینجا بر روی روش‌های بهسازی زمین با هدف جلوگیری از وقوع روانگرایی به عنوان اقدامی برای محافظت فونداسیون موجود تأکید می‌شود. این روش‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:

- افزایش مقاومت زمین در برابر روانگرایی
- تغییر شرایط زمین از لحاظ تنش و تغییر شکل یا شرایط فشار آب حفره‌ای

روش‌های مختلفی منطبق با مشخصات روانگرایی وجود دارد. هر یک از این روش‌ها در ادامه شرح داده می‌شود.

الف- افزایش تراکم

در این حالت زمین ماسه‌ای در جهت کاهش نسبت تخلخل آن و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر روانگرایی متراکم می‌شود. یک روش عمومی عبارتست از ساختن شمع‌های ماسه‌ای متراکم شده با قطر زیاد با استفاده از تکنیک‌های ویبراسیون.

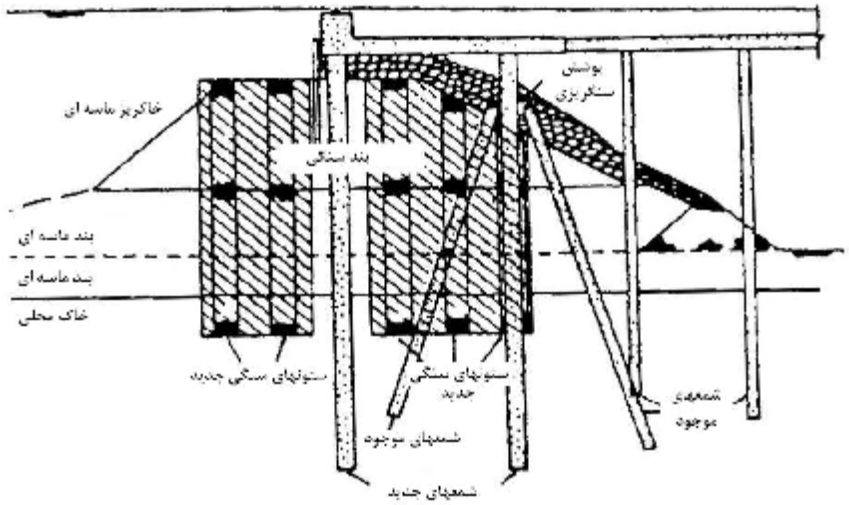
ب- جایگزینی ماسه شل

ماسه شل جهت جلوگیری از وقوع روانگرایی جایگزین می‌شود و علاوه بر آن نیز در بعضی مواقع عملیات تراکم هم به دنبال آن انجام می‌شود. این روش‌ها هنگامی مفید می‌باشند که لایه‌ای که باید بهسازی شود کم عمق بوده و یا ارتعاش[1] ممکن نباشد.

پ- سفت‌سازی خاک[2]

این کار یک فرآیند شیمیایی تثبیت‌کننده می‌باشد که در آن مصالح تثبیت‌کننده به خاک ماسه‌ای اضافه و یا با آن مخلوط می‌شود تا مقاومت خاک در برابر روانگرایی افزایش یابد. این روش‌ها براساس این مفهوم می‌باشند که ساختارهای با ذرات پایدار، هنگام وقوع زلزله می‌توانند از ایجاد فشار آب حفره‌ای بیش از حد جلوگیری کنند و حتی اگر زلزله باعث ایجاد فشار آب حفره‌ای بیش از حد شود، به گونه‌ای که تنش مؤثر خاک از بین برود، چسبندگی اضافی تولیدشده توسط مصالح تثبیت‌کننده باعث مقاومت خاک در برابر زلزله می‌شود.

سفت‌سازی خاک شامل روش‌هایی چون اختلاط عمیق و اجرای شمع‌های ساخته شده از آهک زنده می‌شود. در روش اختلاط عمیق سعی می‌شود با مخلوط کردن و بهم زدن مصالح پایدارکننده در داخل زمین، خاک را سفت نموده و در نتیجه از روانگرایی جلوگیری شود. در روش دوم شمع‌های ساخته شده از آهک زنده به داخل زمین کوبیده می‌شوند و آهک زنده شروع به جذب آب می‌کند در نتیجه منبسط شده و خاک اطراف آن تحکیم می‌یابد و بدین وسیله از وقوع روانگرایی در این منطقه جلوگیری می‌شود. در این روش سعی می‌شود که مقاومت خاک در برابر روانگرایی افزایش یابد و همچنین نیروهایی که در اثر انبساط آهک ایجاد می‌شوند تنشهای مؤثر در خاک را افزایش می‌دهند.



شکل (۴-۹) زهکش‌های شنی و شمع‌های اضافه شده

1- Vibration
2- Soil Solidification

ت- زایل کردن فشار آب حفره‌ای

در این روش سعی می‌شود با فراهم آوردن زهکش‌های شنی و یا با استفاده از مصالح مصنوعی دیگر، نفوذپذیری خاک را افزایش داده و در نتیجه از ایجاد فشار آب حفره‌ای بیش از حد در لایه‌های ماسه‌ای در اثر زلزله جلوگیری نمود. این روش‌ها را می‌توان با ایجاد صدا و یا ارتعاش انجام داد بنابراین اثر بسیار کمی بر روی سازه‌های مجاور خواهند داشت. شکل(۵-۹) مثالی را از کشور ایالات متحده نشان می‌دهد که در آن از زهکش‌های شنی و شمع‌های اضافی برای بهسازی یک فونداسیون که در اثر روانگرایی ناشی از زلزله جابجا شده و یا آسیب‌دیده استفاده شده است.

۴-۳-۵- حرکت جانبی کوله‌های ساخته شده روی زمین نرم

چنانچه حرکت جانبی کوله‌ها اتفاق افتد، همان طور که در فصل ۲ شرح داده شد، دستگاههای تکیه‌گاهی، درزهای انبساط و دست‌اندازها ممکن است در معرض آسیب قرار بگیرند. روش‌های خاص مقاوم‌سازی و تعمیر که باید در مورد چنین آسیب‌هایی بکار برده شود و در اینجا مورد بحث قرار نمی‌گیرد زیرا دارای عوامل مشترکی با آسیب‌های دیگر می‌باشند.

- **معیار**

هنگامی که حرکت جانبی کوله‌ها اتفاق افتاد، معمولاً به کار بردن روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی جهت جلوگیری از پیشرفت آن مشکل می‌باشد. بنابراین تخمین امکان وقوع حرکت جانبی در ضمن ساخت‌وساز اولیه کوله پل بسیار مهم می‌باشد و اقدامات پیشگیرانه باید با فرض امکان وقوع چنین مسأله‌ای انجام شود.

تحقیقات بر روی مکانیسم دینامیکی و پیش‌بینی‌های کمیتی مربوط به حرکت جانبی کوله‌ها، در حال حاضر نیز ادامه دارد. با کمک استاندارد «مشخصات پلهای راهها» (ژاپن)، می‌توان در مورد امکان حرکت جانبی کوله‌ها با استفاده از شاخص I که از روابط زیر به دست می‌آید قضاوت نمود (شکل ۴-۱۰).

$$I = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \frac{rh}{c}$$

که در آن:

I : شاخصه تعریف حرکت جانبی

μ_1 : ضریب اصلاحی مربوط به ضخامت لایه نرم $(=\frac{D}{L})$

μ_2: ضریب اصلاحی مربوط به عرض مقاوم فونداسیون $(=\frac{b}{B})$

μ_3: ضریب اصلاحی مربوط به طول کوله $(=\frac{D}{A})$

r : وزن واحد حجم مصالح خاکریز (t/m^3)

h : ارتفاع خاکریز (m)

c : متوسط مقدار چسبندگی در لایه نرم (t/m^2)

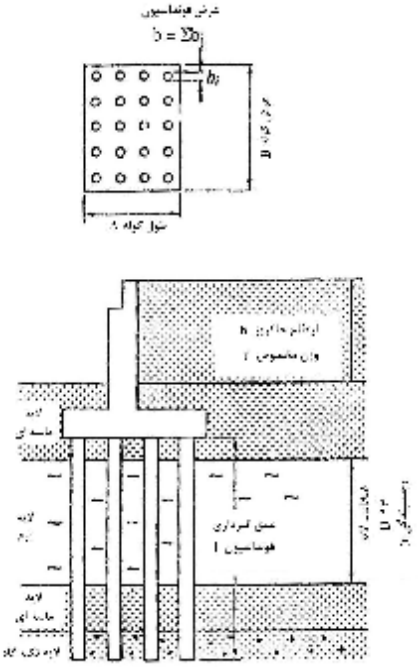
D : ضخامت لایه نرم (m)

A: طول کوله (m)

B : عرض کوله (m)

b : کل عرض فونداسیون [b=](m)

l : عمق گیرداری فونداسیون (m)



شکل (۴-۱۰) پیکربندی کوله روی زمین نرم

چنانچه مقدار به دست آمده برای I از فرمول فوق کمتر از ۱/۲ باشد، حرکت جانبی اتفاق نخواهد افتاد و چنانچه بیشتر از ۱/۲ باشد حرکت جانبی اتفاق خواهد افتاد.

اقدامات لازم

روش‌های متعدد تعمیر و مقاوم‌سازی برای جلوگیری از پیشرفت حرکت جانبی توسعه یافته است. این روش‌ها برای اهداف پیگشیرانه توسعه یافته‌اند بنابراین تعداد کمی از آنها می‌توانند به عنوان اقدامات پس از بروز آسیب بکار برده شوند. در ژاپن این اقدامات به سه دسته تقسیم می‌شوند:

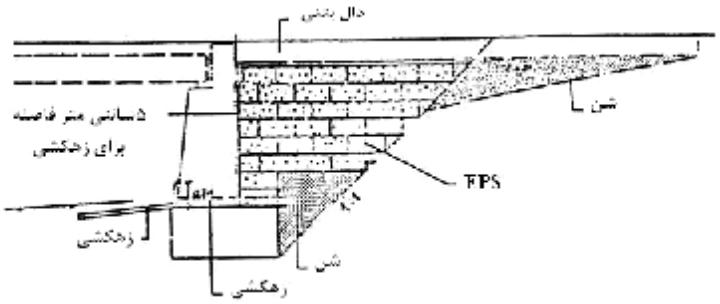
- کاهش بارهای خارج از مرکز
- افزایش مقاومت خاک
- افزایش مقاومت فونداسیون

در ادامه در مورد هر یک توضیحاتی داده شده است.

- **کاهش بارهای خارج از مرکز**

خاکریز متعادل‌کننده ـ این روش جهت کاهش بارهای خارج از مرکز خاکریز پشت کوله طراحی شده است که در آن یک خاکریز متعادل در جلوی کوله ایجاد می‌شود. این روش کم‌خرج‌ترین و آسانترین روش می‌باشد. هنگامی که شرایط محل مناسب باشد، این روش می‌تواند به عنوان یک اقدام اصلاحی بکار برده شود.

پرکردن پشت کوله ـ دو روش برای کاهش بارهای خاکریز پشت کوله وجود دارد. یکی جانمایی لوله‌های کنگره‌ای شکل یا کالورتهای جعبه‌ای و دیگری استفاده از پلی‌استایرن منبسط شده (EPS) یا مصالح با دانه‌های سبک به عنوان خاکریز پشت کوله. اخیراً از روش دوم به میزان زیادی استفاده می‌شود. مثالی از کشور نروژ در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۱) پرکردن پشت کوله با پلی‌استایرن منبسط شده

- **افزایش مقاومت زمین**

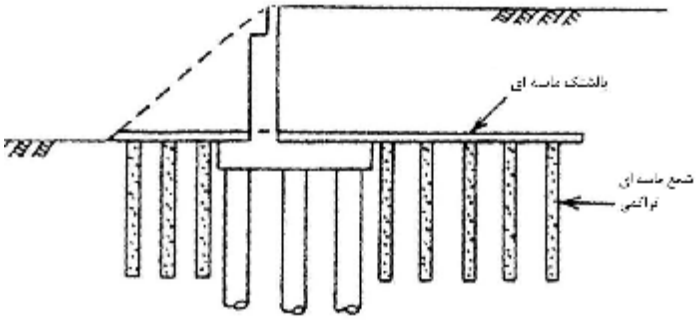
پیش‌بارگذاری ـ در این روش قبل از ساختن کوله و به جهت تحکیم زمین در محل ساخت کوله، بارگذاری صورت می‌گیرد. هنگامی که کوله ساخته شد اثرات بالقوه خاکریز پشت، قبلاً کاهش‌یافته است و مقاومت زمین با تحکیم آن افزوده می‌شود.

این روش اغلب در ترکیب با اجرای شمع‌های ماسه‌ای تراکمی[1] استفاده می‌شود. مشکل این روش طولانی شدن زمان اجرا می‌باشد، اگرچه به نسبت هزینه‌های اجرای آن پایین هستند.

زهکشی قائم ـ در این روش تاسیساتی طراحی می‌شود تا به وسیله شبیه‌سازی زهکشی و نشست تحکیم لایه نرم با استفاده از زهکشی ماسه‌ای یا شنی، مقاومت زمین افزایش یابد.

بهسازی زمین ـ این روش برای افزایش مقاومت زمین با استفاده از شمع‌های ماسه‌ای تراکمی (شکل ۴-۱۲) یا روش‌های بهسازی مختلط طراحی می‌شود. تا جایی که شرایط ساخت‌وساز اجازه بدهد این روش را می‌توان به عنوان اقدام اصلاحی بکار برد، اگرچه هزینه‌های اجرای آن بالا می‌باشد.

1- Sand Compaction Piling



شکل (۴-۱۲) شمع ماسه‌ای تراکمی

- **افزایش مقاومت فونداسیون**

شمع‌های اضافی ـ این شمع‌ها در جلو و یا دو طرف کوله موجود قرار داده می‌شوند تا مقاومت افقی را افزایش دهند. این روش می‌تواند به عنوان یک اقدام اصلاحی و همچنین در جهت جبران ظرفیت باربری فونداسیون و مقاوم‌سازی آن در برابر زلزله بکار رود. به طور کلی تا زمانی که پل به روی ترافیک عبوری باز است اجرای این روش مشکل و با افزایش هزینه‌ها همراه خواهد بود.

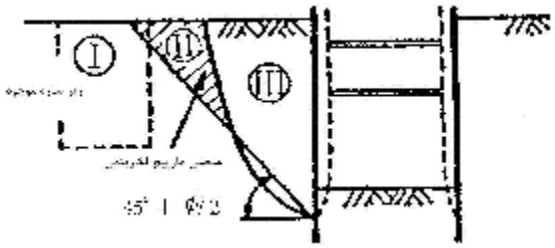
مهار خاک[1] ـ این روش برای افزایش مقاومت جانبی فونداسیون، به وسیله بستن کوله و ثابت کردن آن با استفاده از مهارهایی در خاک بکار برده می‌شود. این روش می‌تواند به عنوان یک اقدام اصلاحی استفاده شود. اجرای این روش آسانتر از اجرای شمع‌های اضافی می‌باشد.

۴-۳-۶- تغییر شکل زمین در اثر ساخت‌وسازهای مجاور

- **محدوده کلی آسیب**

به طور کلی فعالیت‌های تعمیر و مقاوم‌سازی برای تغییر شکل ناشی از ساخت‌وساز مجاور، به اندازه اقدامات خنثی‌کننده حرکت جانبی کوله‌ها روی زمین نرم مشکل می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی امکان تغییر شکل قبل از اینکه ساخت‌وساز جدید آغاز شود و اتخاذ اقدامات پیش‌گیرانه مناسب بسیار مهم می‌باشد. با تعیین محدوده تأثیر سازه موجود یا جدید، پیش‌بینی تغییر شکل ناشی از ساخت‌وساز مجاور ممکن می‌باشد. مثالی از کشور ژاپن در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است.

1- Ground Anchor



I : تاثیری ندارد

II : تاثیر چندانی ندارد

III : تاثیر دارد.

f: زاویه اصطکاک داخلی

شکل (۴-۱۳) محدوده تاثیرات ساخت‌وساز مجاور

- **روش‌ها**

روش‌های زیادی برای تعمیر و مقاوم‌سازی آسیب‌های ناشی از ساخت‌وسازهای مجاور وجود دارد. در کشور ژاپن این روش‌ها به سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند:

- افزایش صلبیت سازه‌های جدید یا موقت، برای جلوگیری از تغییر مکان خاک
- مسلح کردن زیرسازه‌های موجود، برای بهبود مقاومت آنها در برابر تغییر مکان خاک
- بهسازی خاک زمین اطراف زیرسازه، برای جلوگیری از تغییر مکان خاک

این روش‌ها به شرح زیر می‌باشند:

الف- افزایش صلبیت سازه‌های جدید یا موقت برای جلوگیری از تغییر مکان خاک زمین

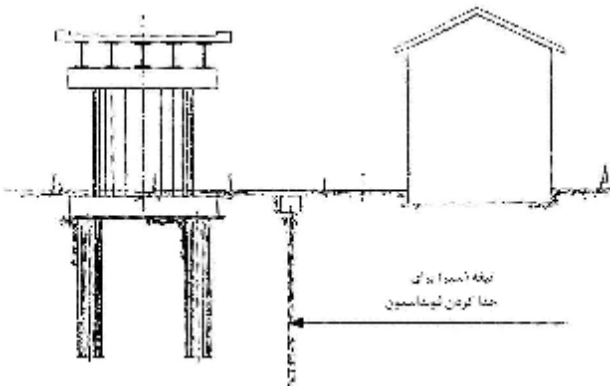
این روش شامل افزایش تعداد شمع‌های پشت‌بند و پیش‌بارگذاری آنها می‌باشد. این روش یک روش کلی می‌باشد که به وسیله آن صلبیت سازه موقت افزایش داده می‌شود تا تغییر شکل سپرهای فلزی کمینه شود. مهارهای داخل خاک نیز برای کمینه کردن تغییر شکل سپرهای فلزی بکار برده می‌شوند. محل و روش اتصال مهارها بسیار مهم می‌باشد. زیرا آنها در اطراف سازه‌های موجود ثابت می‌شوند.

ب- مسلح کردن زیرسازه‌های موجود برای بهبود مقاومت آنها در برابر تغییر مکان خاک

این روش با افزایش شمع‌ها و یا بزرگ کردن فونداسیون انجام می‌شود. در این روش سعی می‌شود با اجرای شمع‌های اضافی در اطراف، زیرسازه‌های موجود بهم اتصال یابند و یا پی سازه گسترش یابد تا مقاومت آن اضافه شود. این روش‌ها همچنین برای افزایش ظرفیت باربری فونداسیون و یا مقاوم‌سازی لرزه‌ای آن استفاده می‌شوند. اگرچه آثار مقاوم‌سازی این روش‌ها قابل اعتماد می‌باشد اما اجرای آن مشکل و پرهزینه می‌باشد چرا که باید در ضمن عبور ترافیک انجام شود. مهارهای داخل خاک نیز می‌تواند در جهت افزایش مقاومت جانبی سازه موجود بکار برده شود. این روش از اجرای شمع‌های اضافی کاربرد آسانتری دارد اگرچه در این روش، تقویت تنها برای تغییر مکان جانبی ایجاد می‌شود نه تغییر مکان قائم.

ج- بهسازی خاک زمین اطراف زیرسازه برای جلوگیری از تغییر مکان خاک

مقاومت خاک را می‌توان با استفاده از روش اختلاط عمیق یا روش‌های مناسب دیگر و یا تقویت از زیر پی در جهت بهسازی خاک افزایش داد. اگرچه هزینه اجرای این روش‌ها بسیار بالا می‌باشد. شکل (۴-۱۴) روش متفاوتی را در ایتالیا نشان می‌دهد که برای جداسازی سازه‌ها استفاده شده است و در نتیجهٔ آن آسیب‌های ناشی از نشست در اثر احداث سازه جدید در مورد سازه موجود کاهش داده می‌شود. روش تقویت از زیر پی در ژاپن هنگامی استفاده شده است که سازه‌ها روی لایه‌های باربر فونداسیون پل ساخته شده باشند و یا هنگامی که قسمتی از فونداسیون مثلاً در اثر تقاطع با سازه‌های مترو بریده شده باشد.



شکل (۴-۱۴) سازه‌های جداکننده برای زونهای تحت‌تأثیر فونداسیون‌ها

۴-۴- روش‌هایی برای پیشگیری از آسیب‌های ناشی از آب

۴-۴-۱- ناپایداری جریان آب

نگهداری و کنترل مسیر رودخانه می‌تواند بسیار مؤثر باشد. طرحهای بهسازی مناسب برای بالادست می‌تواند با پایدار کردن رودخانه، اثرات معکوس را در پایین‌دست کاهش دهد. اگرچه نیاز به ادامه مطالعات روی تمامی مسایل مربوط به رودخانه و نواحی تحت تأثیر آن برای اطمینان از عدم آسیب‌رسانی بیشتر همچنان وجود خواهد داشت.

- **مروری بر روش‌ها**

هنگامی که زیرسازه‌ها تعمیر یا تقویت می‌شوند ضروری است که اقدامات لازم برای جلوگیری از آب‌شستگی موضعی اتخاذ گردد و از پایداری فونداسیون اطمینان حاصل گردد. همچنین علاوه بر این، اطمینان از پایداری کل آبراهه مهم می‌باشد. بنابراین باید اقداماتی را طراحی نمود که خود حوزه و آبراهه را در برگیرد.

همان‌طور که اشاره شد، از آنجا که شرایط بالادست تأثیر زیادی روی پایداری پایین‌دست آبراهه و بستر رودخانه دارد، مدیریت موفق و کنترل ناحیه بالادست، باعث سهولت انجام اقدامات لازم در پایین‌دست خواهد شد. روش‌هایی را که می‌توان در جهت جلوگیری یا کاهش فرسایش و آب‌شستگی موضعی در محل ساحل یا بستر رودخانه‌ها بکار برد، به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند:

- کاهش نیروی هیدرولیکی که بر سواحل یا بسترهای رودخانه عمل می‌کند
- افزایش مقاومت سواحل یا بسترهای رودخانه در مقابل نیروی هیدرولیکی

روش اول شامل اصلاح پیکربندی سازه پل و یا اضافه کردن تجهیزاتی به پل، جهت کنترل جریان آب موضعی می‌باشد. در روش دوم با تأمین محافظ‌هایی مقاومت سواحل و بسترهای رودخانه افزایش داده می‌شود.

- **اقداماتی برای جلوگیری از ناپایداری جریان آب یا آب‌شستگی موضعی**

روش‌های زیر تاکنون بکار برده شده‌اند:

الف- پوشش (سنگ‌چین)[1]

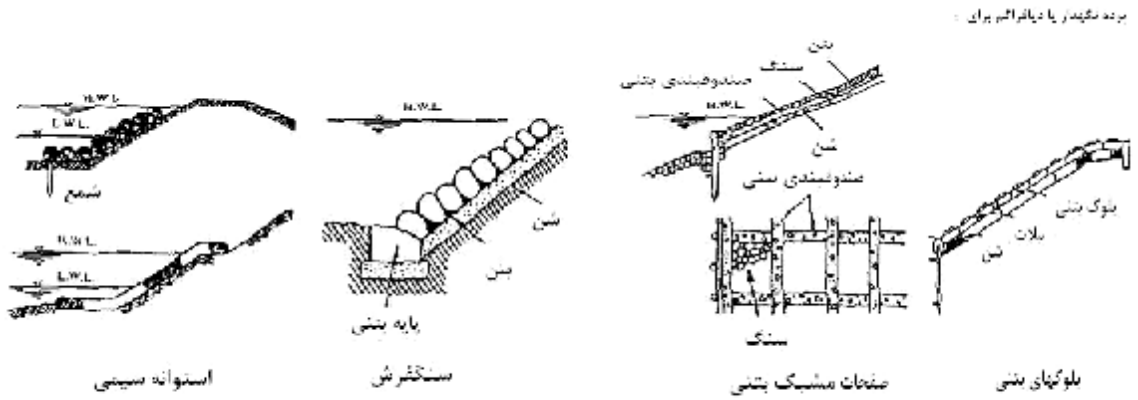
این پوششها برای محافظت سواحل و بسترهای رودخانه و پایداری جریان آبراهه ساخته می‌شوند و شامل کارهای مربوط به حفاظت شیب[2]، پنجه شیب[3] و پای‌شیب[4] می‌شوند که ممکن است نیازی به انجام همه آنها در یک پروژه واحد نباشد. ترکیب پوشش‌ها بسته به شرایط مختلف رودخانه‌ها می‌تواند متفاوت باشد. در جایی که آب‌شستگی بیش از حد مشاهده می‌شود، سازه محافظ پای‌شیب ممکن است به آسانی خراب شود بنابراین سازه محافظ پای‌شیب باید همراه با آب‌شکنهایی ساخته شود که در ادامه راجع به آنها بحث خواهد شد.

حفاظت شیب ـ شکل (۴-۱۵) مثالهایی را از کارهای مربوط به حفاظت شیب نشان می‌دهد که در کشورهای عضو با موفقیت انجام شده است.

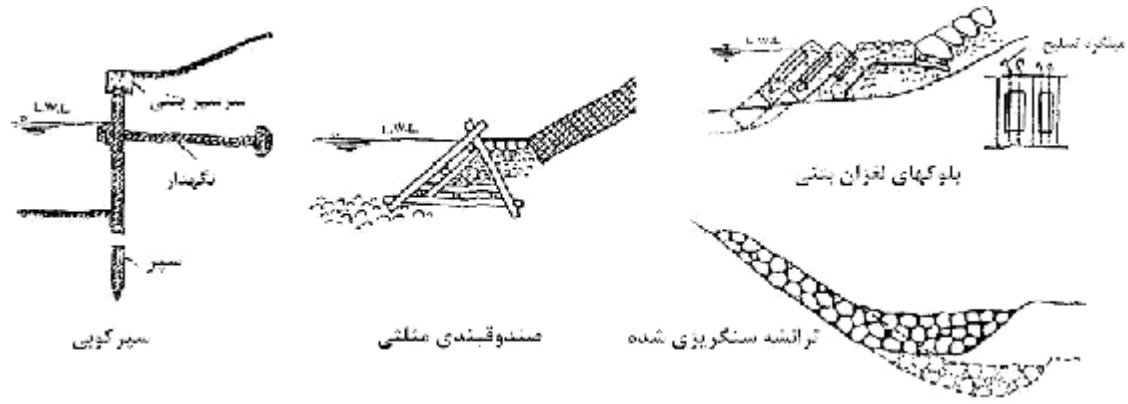
حفاظت پنجه شیب ـ این کار برای پشتیبانی ساخت شیب انجام می‌شود. هنگامی که یک بستر سنگی با عمق مناسب قادر به پشتیبانی از سازه نگهدار شیب موجود می‌باشد، حفاظت پنجه شیب ضروری نیست. از آنجا که آب‌شستگی در محل پنجه شیب، دلیل اصلی تخریب سازه محافظ شیب ساحل رودخانه می‌باشد، سازه محافظ پنجه شیب باید برای مقاومت در برابر آب‌شستگی به اندازه کافی قوی باشد.

انواع مختلفی از روش‌های مختلف محافظت پنجه شیب وجود دارد، مانند: حصارکشی[5]، سپرکوبی[6]، صندوق‌بندی[7] و غیره که در آنها از مصالح مختلفی مانند چوب، بتن، فولاد و دیگر مصالح (شکل ۵-۱۶) استفاده می‌شود. از بلوکهای بتنی، سنگ‌ریزی[8] و تورهای سیمی که با مصالح درشت‌دانه پر شده‌اند نیز در حفاظت از پنجه شیب استفاده می‌شود که آنها به طور همزمان به عنوان محافظ پای‌شیب نیز عمل می‌کنند.

1- Revetment
2- Slope
3- Toe
4- Foot
5- Fencing
6- Sheet piling
7- Crib work
8- Riprap



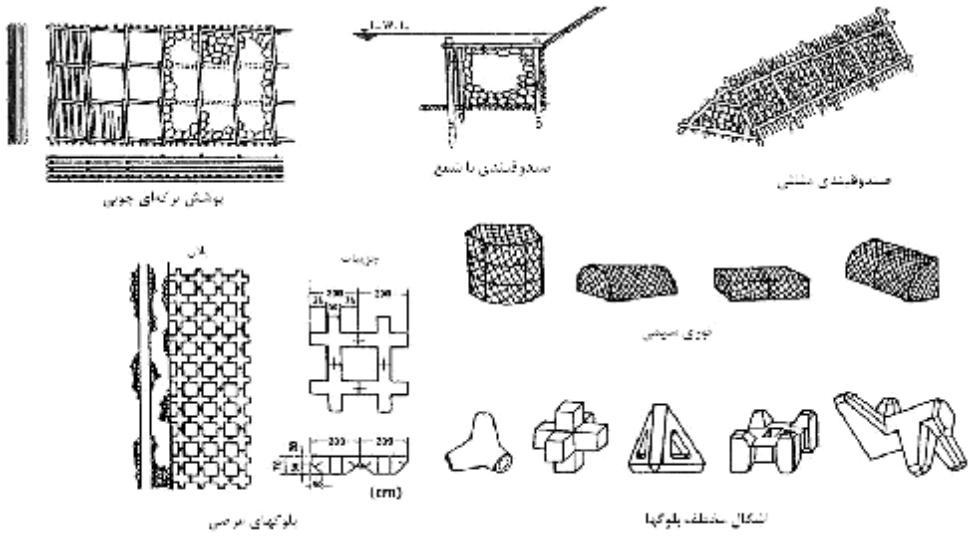
شکل (۴-۱۵) حفاظت شیب



شکل (۴-۱۶) حفاظت پنجه شیب

*حفاظت پای‌شیب*ـ این کار در قسمت جلویی پنجه، برای جلوگیری از شسته شدن سنگ‌چین انجام می‌شود (شکل ۴-۱۷). مصالح مورد استفاده معمولاً عبارتند از سنگ لاشه (متشکل از سنگهایی که برای مقاومت در برابر جریان آب به اندازه کافی بزرگ باشند)، پوشش ترکه‌ای[1] (صفحات مشبک[2] ساخته شده از چوب و بتن که از مصالحی همچون تخته‌سنگ[3] و بلوک سنگی پر شده و غوطه‌ور می‌باشند)، بتن محافظ پنجه (بلوکهای عرضی)، قفسهای سیمی و بلوک‌های تغییر شکل یافته.

1- Mattress
2- Grating
3- Boulders



شکل(۴-۱۷) حفاظت پای‌شیب

ب- بندآب‌شکن[1]

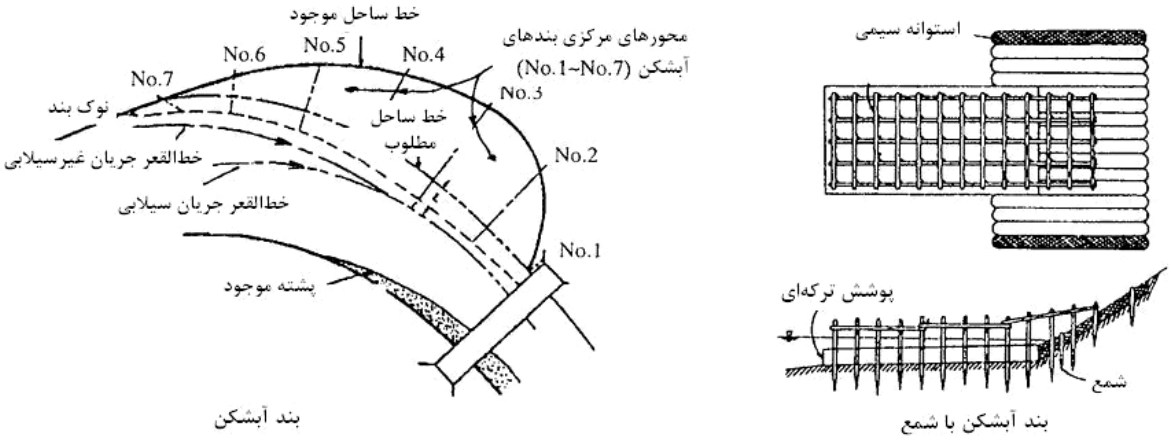
هدف از ایجاد بند آب‌شکن هدایت جریان آب به سمت مرکز جریان می‌باشد تا اثرات فرسایش جانبی در سواحل رودخانه کاهش یابد. همچنین بدین وسیله می‌توان عرض جریان را کنترل نمود تا با ایجاد بستر مناسب و نیروی حمل بار از ته نشینی مصالح جلوگیری کرد و از ثابت بودن عمق آبراهه اطمینان حاصل نمود. همچنین می‌توان با قرار دادن موانعی در جلوی سازه‌هایی که در معرض آب‌شستگی قرار دارند از وقوع آن جلوگیری نمود (شکل۴-۱۸).

دو نوع بندآب‌شکن وجود دارد: نفوذپذیر و غیر قابل نفوذ. بندهای آب‌شکن نفوذپذیر معمولاً عمود بر جهت جریان آب یا کمی به سوی بالا دست ساخته می‌شوند. به عنوان یک قانون، هر چه نفوذپذیری بیشتر باشد، ارتفاع بند آب‌شکن باید پایین‌تر آورده شود تا حداکثر کارایی را داشته باشد. بندهای آب‌شکن غیر قابل نفوذ دارای کارآیی زیادی در برابر فرسایش ناشی از پاشیده شدن آب می‌باشند، اگر چه ممکن است که در اطراف انتهای بند، آب‌شستگی عمیق رخ دهد. بنابراین بندهای آب‌شکن قابل نفوذ بر انواع غیر قابل نفوذ برتری دارند. در ساخت‌وساز بندهای آب‌شکن از بلوکهای بتنی که در مورد حفاظت پنجه شیب بدان اشاره شد، شمع‌کوبی و آبشکن ترکه‌ای[2] استفاده می‌شود.

پ- دیوار/ پشته محافظ

برای محدود کردن جریان در آبراهه می‌توان پشته‌هایی بنا نمود تا سواحل رودخانه محافظت شود. این نوع ساخت‌وساز شامل خاک، مصالح بنایی، سنگ چین پای کار و دیوارهای نرده‌ای محافظ[3] می‌شود. دیوارهای نرده‌ای شامل سپرهای فلزی است که به داخل بستر رودخانه کوبیده شده و پشت آنها با مصالحی همچون قلوه‌سنگ، بتن شکسته و لاستیک پر می‌شود. دیوارهای نرده‌ای نوعی از بندهای آب‌شکن می‌باشند.

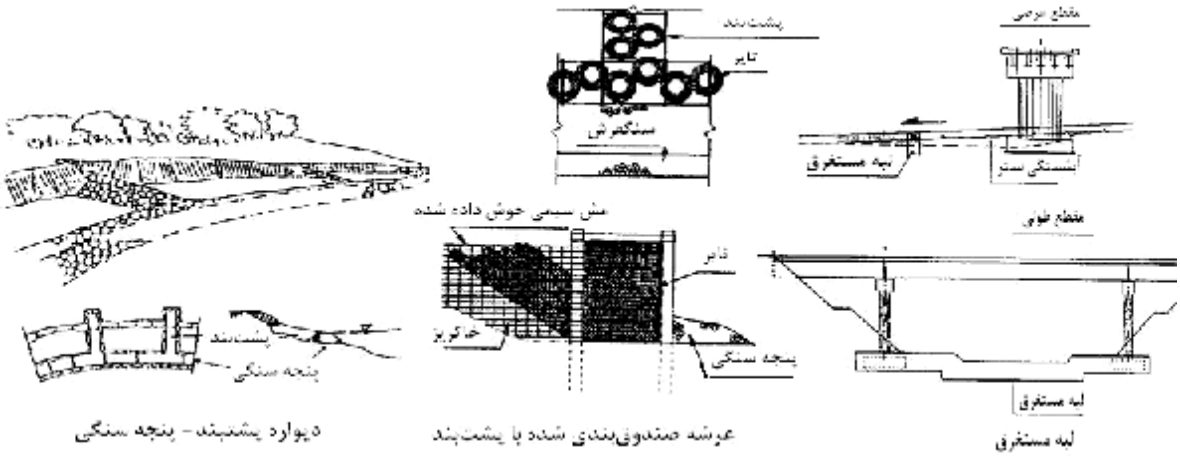
1- Spur dyke
2- Mattress spur dyke
3- Protective fence wall



شکل (۴-۱۸) بند آب‌شکن

ت- گراندسل[1]

گراندسلها سدهای کوتاهی هستند (معمولاً کمتر از ۳ متر) که در عرض آبراهه برای محافظت و نگهداری شکل بستر رودخانه ساخته می‌شوند. این کار شیب بستر رودخانه را کاهش خواهد داد و گرادیان هیدرولیکی را کم خواهد کرد. این کار می‌تواند در حفاظت و نگهداری آبراهه‌های سیلابی بسیار مؤثر باشد. در پایین دست پلها ساخت گراندسل به طور مکرر مشاهده می‌شود. ساخت‌وساز گراندسل شامل شمع‌کوبی، پوشش ترکه‌ای، سپرکوبی، سنگ‌ریزی و کارهای بتنی می‌باشد (شکل ۴-۱۹). از آنجا که آب‌شستگی در بسترهای پایین‌دست گراندسل‌ها رخ می‌دهد، قبل از آن یک پیش‌بند حفاظتی[2] با استفاده از سنگ‌ریزی، تورهای سیمی، بلوک و بتن ساخته می‌شود.



شکل (۴-۱۹) گراندسل

1- Groundsel
2- Front Apron

- **تعمیر سازه‌هایی که تحت نوسان بستر رودخانه یا آبشستگی موضعی قرار دارند**

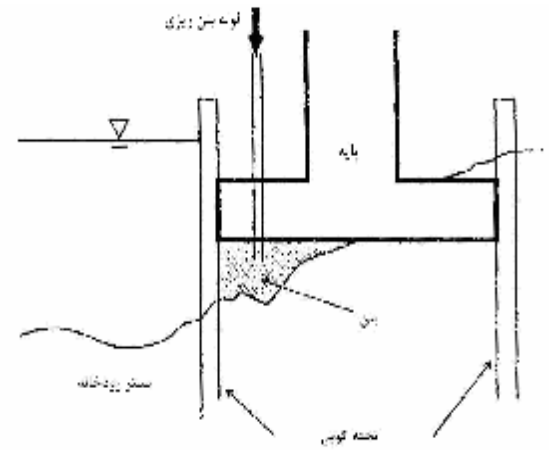
اقدامات لازم شامل موارد زیر می‌شود:

الف- سپرکوبی

سپرها در اطراف فونداسیون‌هایی که دچار آبشستگی شده‌اند کوبیده می‌شوند و بین این سپرها و پایه پل موجود برای پایدار نمودن فونداسیون بتن ریخته می‌شود. به جای سپرکوبی می‌توان از کیسه‌های شن که از سنگدانه‌های درشت پر شده‌اند استفاده نمود. هنگامی که قسمت تحتانی فونداسیون برای به دست آوردن ظرفیت باربری کافی نیاز به تعمیر داشته باشد، بستر رودخانه در زیر پی باید حفاری شود. در چنین حالتی باید با بکاربردن روش‌های تقویت پی از زیر (زیربندی) و یا روش‌های دیگر از پایداری سازه اطمینان حاصل نمود.

ب- تزریق در فضاهای خالی

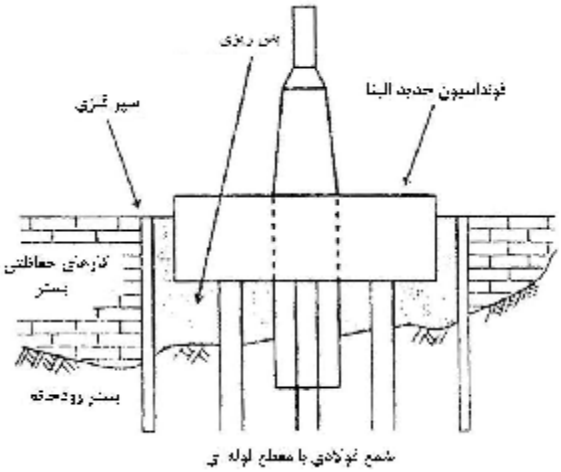
شکل (۴-۲۰) مثالی را از کشور نروژ نشان می‌دهد. حفره بزرگی در زیر پی به علت آبشستگی به وجود آمده بود. سپرها دور پی کوبیده شدند و بتن به داخل ناحیه شسته شده تزریق شد تا حفره را پر کند و فونداسیون پایدار شود.



شکل (۴-۲۰) تزریق در فضاهای خالی

پ- بزرگ کردن فونداسیون یا اضافه نمودن شمع‌ها

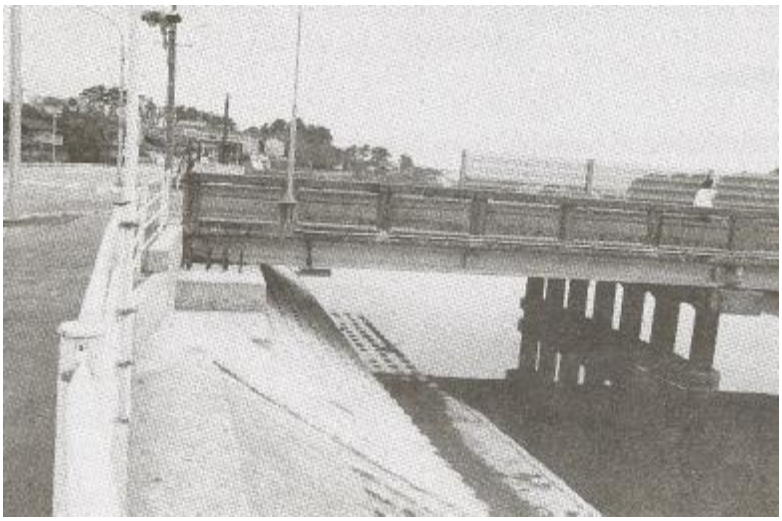
این روش جهت کاهش عکس‌العمل خاک، هنگامی که پایداری آن در اطراف پایه پل در اثر فرسایش بیش از حد بستر رودخانه یا آب‌شستگی موضعی کم شده است، بکار می‌رود. شکل (۴-۲۱) مثالی از بزرگ کردن فونداسیون را در ایالات متحده نشان می‌دهد.



شکل (۴-۲۱) بزرگ کردن فونداسیون

- **ترکیب اقدامات**

در روش‌هایی که در بالا شرح داده شدند، قسمت تعمیرشده نیز بناچار آب‌شستگی جدیدی را تجربه خواهد کرد. بنابراین روش‌هایی که در بالا توضیح داده شد مانند پشته‌سازی، بند آب‌شکن و کارهای حفاظت از پنجه شیب باید برای جلوگیری از آب‌شستگی موضعی به طور مناسب با هم ترکیب شوند. شکل (۴-۲۲) مثالی را از کشور ژاپن در مورد کارهای حفاظتی از ساحل رودخانه برای محافظت از کوله و شکل (۴-۲۳) نیز حفاظت پنجه شیب را نشان می‌دهد که در آن از بلوکهای بتنی برای حفاظت پایه پل استفاده شده است.



شکل (۴-۲۲) حفاظت ساحل رودخانه

شکل (۴-۲۳) حفاظت پنجه برای پایه پل

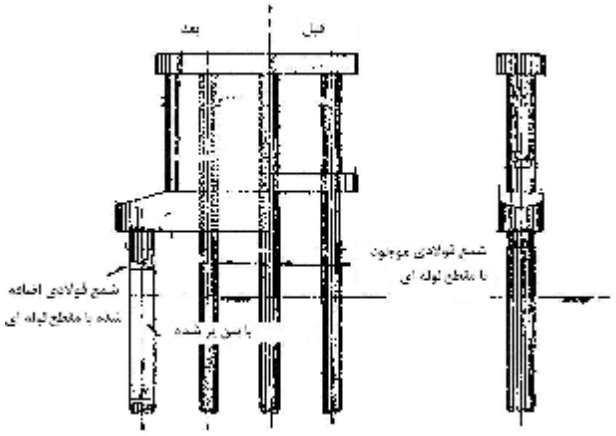
۴-۴-۲- اثرات سیلاب

دو روش بالقوه برای توقف افزایش یا کاهش فشار هیدرولیکی آب جاری وارد بر پایه‌های پل وجود دارد:

الف- تغییر وضع دادن پایه پل

پایه‌های دارای سیستم قاب صلب یا پایه‌های دارای شمع و سر شمع، به سبب شکل سازه‌ای خود تمایل به نگه‌داشتن آشغال و نخاله دارند زیرا جریان از بین ستونهای مجاور عبور می‌کند.

تغییر وضع سازه‌ای این نوع پایه‌ها با پر کردن فضای بین ستونها برای ایجاد یک دیوار صلب، احتمال جمع شدن آشغال را کاهش می‌دهد. در بسیاری از حالات این تغییر وضع مقاوم‌سازی لرزه‌ای را نیز تأمین می‌کند. شکل (۴-۲۴) مثالی را از کشور ژاپن نشان ۱۰۰ -



شکل (۴-۲۴) تغییر وضع سیستم پایه دارای شمع و سر شمع

ب- ساخت وسیله محافظ

این روش شامل نصب یک وسیله محافظتی در بالادست پایه‌ها برای کاهش میزان آشغال و نخاله و جلوگیری از اثر مستقیم فشار هیدرولیکی بر آنها می‌باشد. این دستگاه همچنین برای جلوگیری از ساییدگی و برخورد کشتی با پایه‌ها مؤثر می‌باشد. خرابی‌های ناشی از سایش می‌تواند توسط روش‌هایی که در بخش ۴-۶-۱ بحث گردید، تعمیر شود.

۴-۴-۳- اثرات جزرومد

آسیب‌های وارد بر زیرسازه پلهای ساحلی در اثر عمل امواج، آب‌شستگی و ساییدگی ایجاد می‌شود. اقداماتی که باید در برابر عمل امواج و آب‌شستگی اتخاذ گردند، اساساً مواردی هستند که برای سازه‌های داخل رودخانه به آنها اشاره شد. لذا در این بخش در مورد اقدامات لازم برای محافظت سازه‌های بتنی در برابر ساییدگی بحث می‌شود.

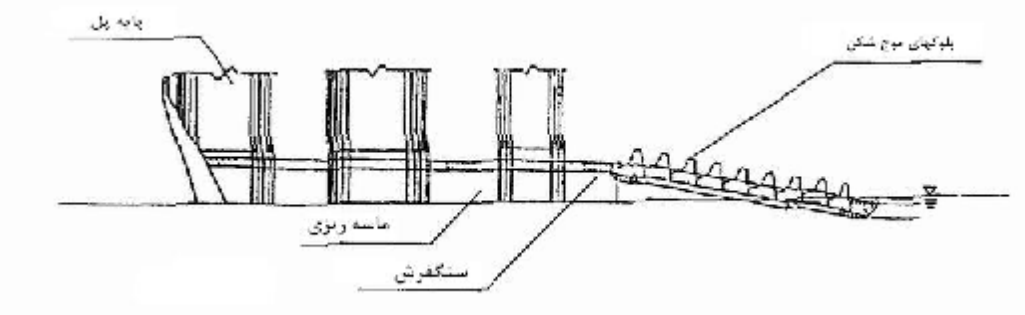
اقدامات لازم در برابر سایش شامل این موارد می‌باشد:

الف) پوشش بتنی اضافی

ب) تعبیه صفحات فولادی یا لاستیکی

ج) اضافه نمودن سنگ به پوشش بالایی سطح فونداسیون

شکل (۴-۲۵) مثالی را از کشور ژاپن در مورد حفاظت از شیب ملایم نشان می‌دهد که برای یک پل ساحلی ساخته شده و شامل بلوکهای موج‌شکن در ساحل و پوششی محافظ روی سطح پایه‌ها می‌شود.

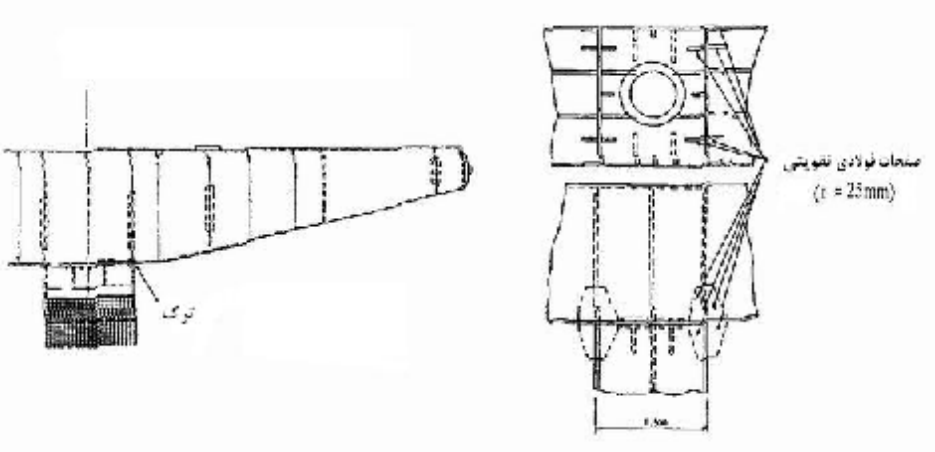


شکل (۴-۲۵) پوشش برای شیب ملایم

۴-۵- روش‌هایی برای مقابله با آسیب‌های ناشی از بارهای خارجی

۴-۵-۱- بارهای تکراری ترافیک

پلهای راه در معرض بارهای تکراری ترافیک عبوری قرار دارند که منجر به وارد آمدن آسیب‌هایی ناشی از خستگی به قسمتهای مختلف پل خواهد شد. به طور کلی چنین آسیب‌هایی به روسازه پل محدود می‌شود اما چنانچه زیرسازه پل دارای طره بزرگی باشد، ممکن است آسیب ببیند. مثالی از کارهای مقاوم‌سازی روی یک پایه فولادی در کشور ژاپن در شکل (۴-۲۶) نشان داده شده است.



شکل (۴-۲۶) تعمیر ترک در پایه

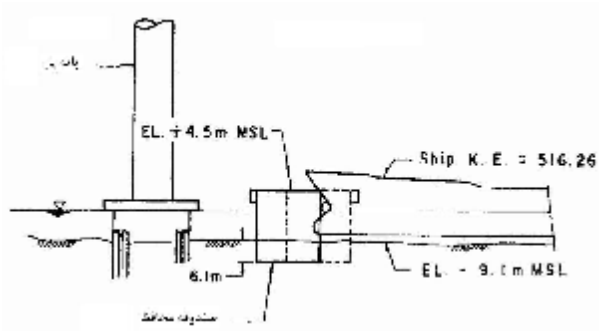
در این مثال، ترکهایی در اتصال جوشی بین ستون و تیر یک پایه T شکل نمایان گردید. به دنبال آن صفحات فولادی تقویتی به دو سطح داخلی و خارجی پایه جوش داده شد تا صلبیت افزایش یابد و تنش کاهش یابد.

هنگامی که یک ترک در قسمتی که جوش شده گسترش می‌یابد و به فلز پایه می‌رسد، سوراخ‌های بازدارنده‌ای بر لبه‌های ترک ایجاد می‌کنند تا از پیشرفت بیشتر آنها جلوگیری شود. استاندارد سوییس [۱] توصیه می‌کند که لبه‌های یک چنین حفره‌ای باید به اندازه ۰/۵ میلی‌متر با زاویه ۴۵ درجه شیب داده شود. سوراخ کردن باید همواره با نصب ورقهای تقویتی و یا جایگزینی اعضای آسیب‌دیده همراه باشد.

۴-۵-۲- برخورد کشتی یا وسایل نقلیه

برخورد کشتی یا وسایل نقلیه با پایه پل ممکن است منجر به آسیب شدیدی گردد که نیازمند تعمیرات اساسی باشد. وسایل حفاظتی مانند نرده‌های محافظ یا حفاظهای بتنی باید برای جلوگیری از برخورد وسایل نقلیه با پایه‌های پل نصب گردند.

همچنین به طور مشابه، پیش‌بینی وسیله محافظ برای پلهایی که در معرض خطر برخورد با کشتی قرار دارند، لازم می‌باشد. شکل (۴-۲۷) مثالی را از ایالات‌متحده در مورد وسایل حفاظتی نشان می‌دهد. در مواردی که مسأله برخورد توده‌های عظیم یخ وجود داشته باشد نیز باید چنین اصولی رعایت شود. دیگر اقدامات پیش‌گیرانه برای مواجهه با مصالح دارای خطر رانش در بخش ۴-۴-۲ بحث شده است.



شکل (۴-۲۷) وسایل حفاظتی در برابر برخورد با کشتی

۴-۵-۳- باد

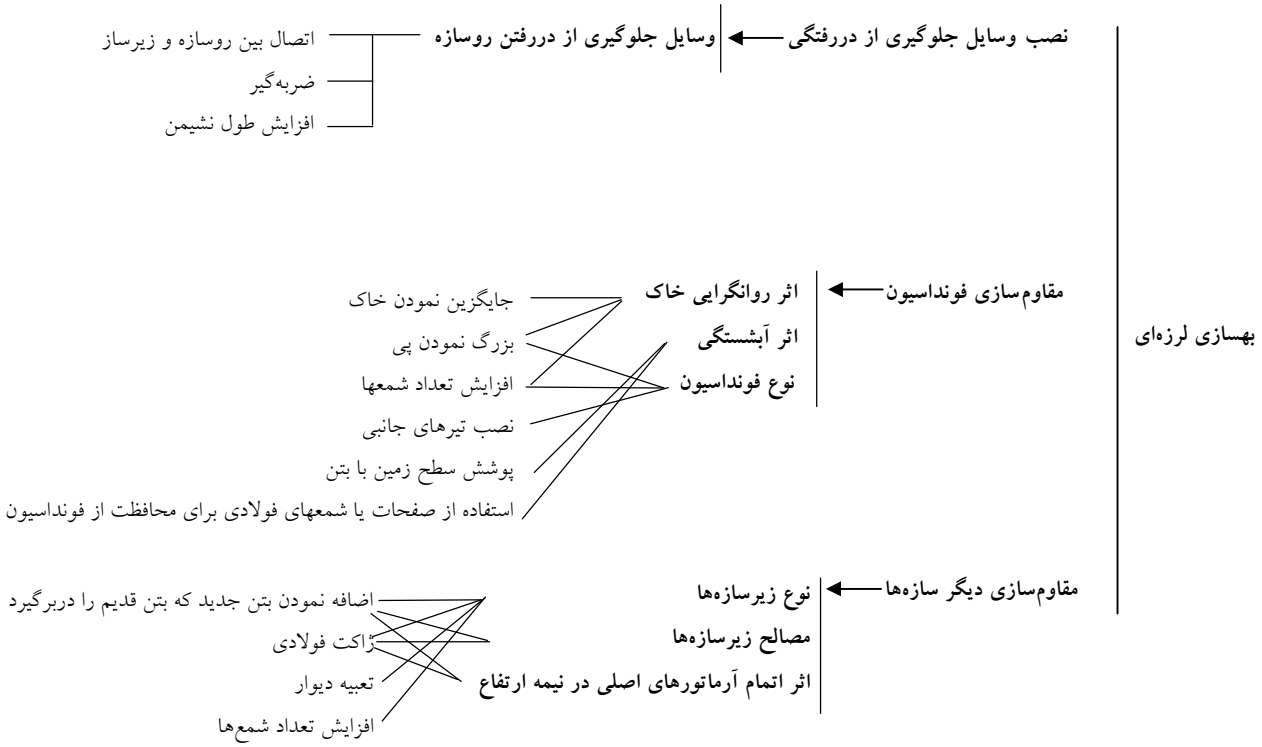
به هیچ آسیبی در اثر بار باد به زیرسازه پلها اشاره نشده است.

۴-۵-۴- تنش حرارتی

ممکن است زیرسازه‌های بتنی در اثر مقید بودن جابجایی ناشی از حرارت، آسیب ببینند. این آسیب به حدی می‌تواند گسترده باشد که حتی نیاز به بازسازی نواحی تکیه‌گاهی تیرها از زیرسازه باشد.

۴-۵-۵- زلزله

شکل (۴-۲۸) طبقه‌بندی کشور ژاپن را در مورد روش‌های مقاوم‌سازی لرزه‌ای پلهای راه که در معرض آسیب زلزله قرار دارند نشان می‌دهد.



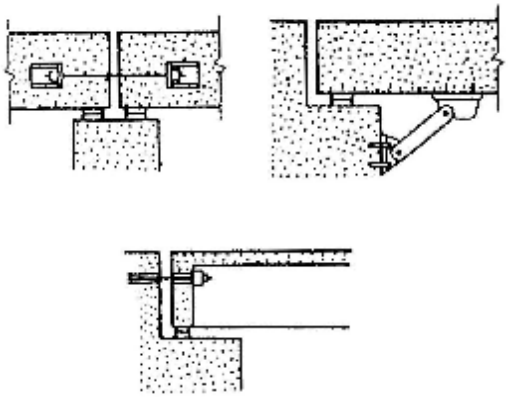
شکل (۴-۲۸) انتخاب اقدامات مقاوم‌سازی برای پلهای راه

اقدامات اصلی مقاوم‌سازی لرزه‌ای عبارتست از نصب وسایلی برای جلوگیری از در رفتن[1] (از جای خود خارج شدن) روسازه، مقاوم‌سازی فونداسیون و مقاوم‌سازی پایه‌ها و کوله‌ها.

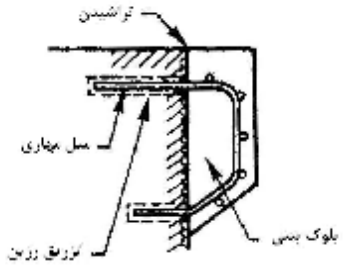
الف- در رفتن (از جای خود خارج شدن) روسازه

برای جلوگیری از خارج شدن اعضای روسازه از جای خود بر روی زیرسازه، نصب وسایل ایجادکننده قیود طولی، بزرگ کردن نشیمنگاه و نصب مهارهایی برای عرشه می‌تواند مفید واقع شود.

این روش‌ها شامل اتصال شاه‌تیرها به زیرسازه با استفاده از مفصل[2]، آرماتور دوخت[3] یا زنجیر، تأمین برآمدگی روی زیرسازه با استفاده از دستک‌های فلزی یا بلوکهای بتنی و بزرگ نمودن سطح بالایی زیرسازه با استفاده از بتن مسلح یا دستک‌های فولادی می‌باشد. شکلهای (۴-۲۹) و (۴-۳۰) مثالهایی را از فرآیندهای متنوع بر اساس کارگذاری موفق وسایل مقیدکننده نشان می‌دهند.



شکل (۴-۲۹) قیود عرشه



شکل (۴-۳۰) افزایش طول نشیمن

ب- مقاوم‌سازی فونداسیون‌ها در برابر نیروهای لرزه‌ای

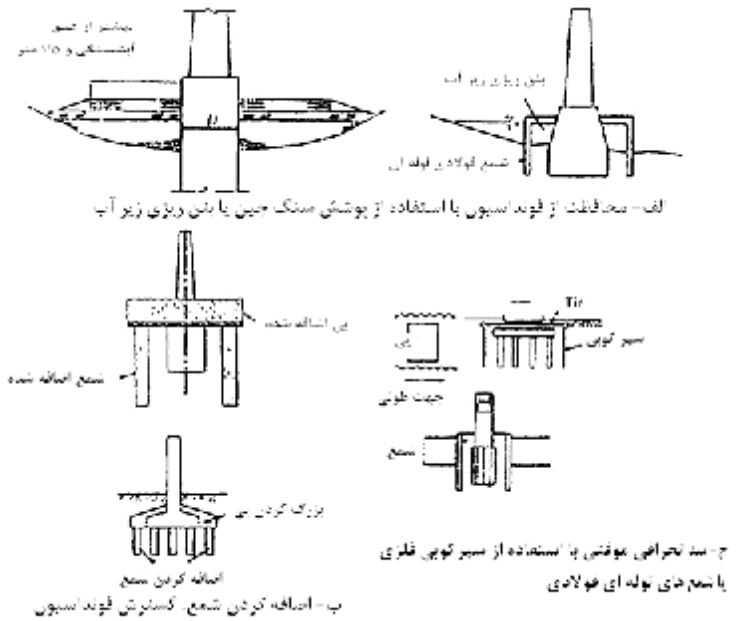
مقاوم‌سازی پایه، کوله و فونداسیون در برابر نیروهای لرزه‌ای با کمک شکلهای (۴-۳۱) و (۴-۳۲) به ترتیب زیر تشریح می‌شود. اقدامات بهسازی می‌تواند در گروه‌های زیر طبقه‌بندی شود:

الف- روش‌های مقاوم‌سازی خاک تکیه‌گاه

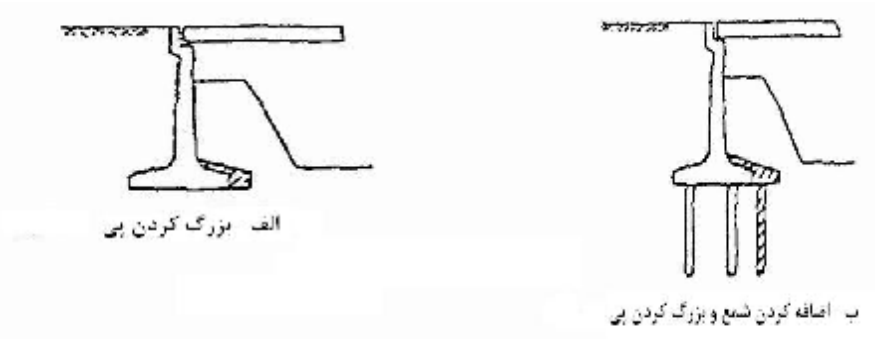
ب- روش‌های مقاوم‌سازی فونداسیون برای پایداری بهتر

گروه اول شامل بهسازی زمین، استفاده از تزریق، حفاظت فونداسیون به کمک پوشش سنگ‌چین یا بلوکهای بتنی و ایجاد سدهای انحرافی موقت با استفاده از سپرکوبی فلزی یا شمع فولادی می‌باشد. گروه دوم شامل بزرگ کردن پی یا اضافه نمودن شمع یا دیواره دیافراگمی در زیر پی می‌باشد.

1- Dislodgement
2- Pin
3- Link



شکل (۴-۳۱) مقاوم‌سازی لرزه‌ای فونداسیون پایه‌ها

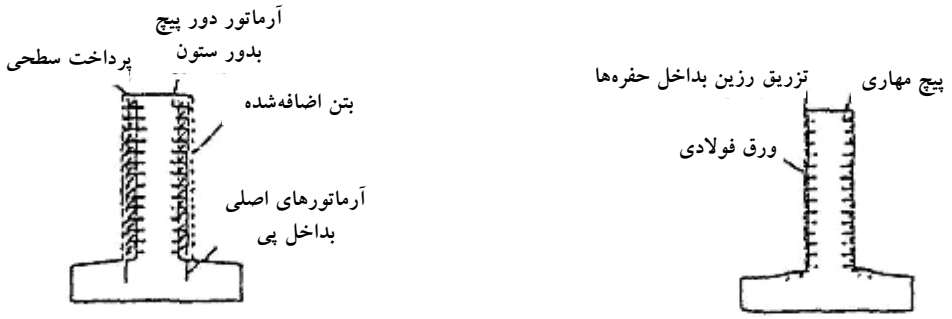


شکل (۴-۳۲) مقاوم‌سازی لرزه‌ای فونداسیون کوله

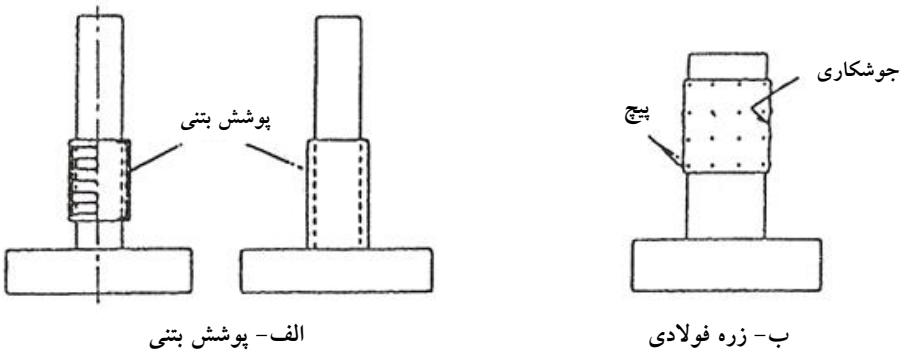
پ- مقاوم‌سازی دیگر اعضای زیرسازه در برابر نیروهای لرزه‌ای

مثالهایی از روش‌های بهبود خواص لرزه‌ای زیرسازه‌ها در شکل‌های (۴-۳۳) تا (۴-۳۶) نشان داده شده است. برای مقاوم‌سازی زیرسازه‌ها از روش‌هایی چون پوشش بتنی[1] یا زره فولادی[2] برای افزایش مقاومت در برابر تغییر شکل استفاده شده است. این روش‌ها همچنین برای مقاوم‌سازی نقاط قطع فولاد که در آنجا مقاومت کاهش‌یافته است مؤثر می‌باشند. اضافه کردن شمع‌ها، دیوارهای لرزه‌ای و سخت‌کننده‌ها برای پایه‌های دارای شمع و سرشمع و پایه‌های با سیستم قاب صلب که هر کدام از پایه‌ها دارای فونداسیون صندوقی بدون مصالح متصل کافی می‌باشد، مفید خواهد بود.

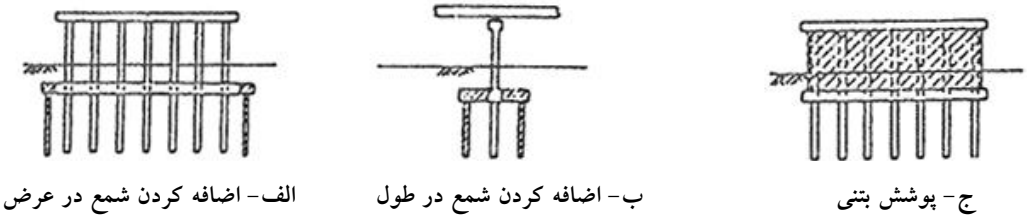
1- Concrete Casing
2- Steel Plate Lining



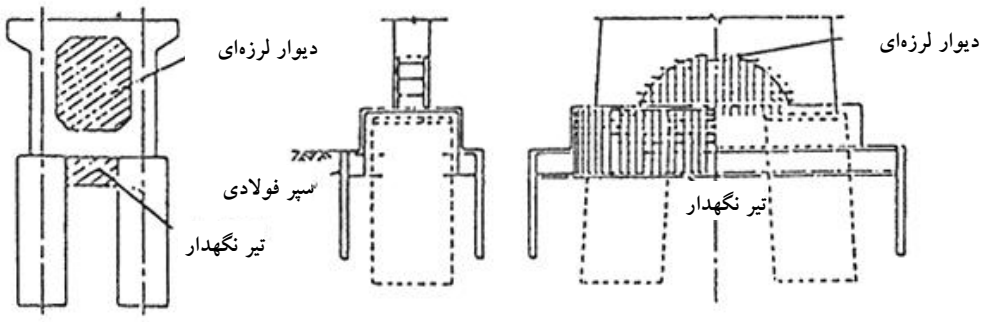
شکل (۴-۳۳) مقاوم‌سازی لرزه‌ای پایه بتنی



شکل (۴-۳۴) مقاوم‌سازی پایه‌های بتنی در برابر زلزله در نقاط قطع فولاد



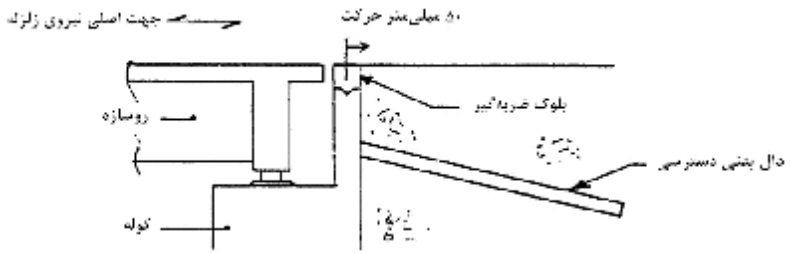
شکل (۴-۳۵) بهسازی لرزه‌ای پایه‌های دارای شمع و سرشمع



شکل (۴-۳۶) مقاوم‌سازی لرزه‌ای پایه‌های دارای پی صندوقی دو پایه

ت- سایر اقدامات

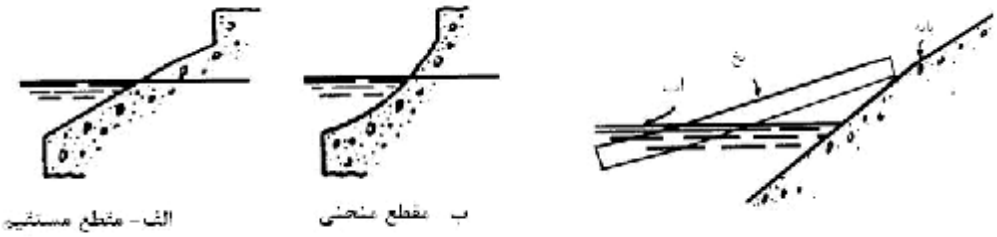
جداسازی لرزه‌ای پایه[1] به عنوان یک فناوری قابل قبول برای کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها شناخته شده است. جداسازی لرزه‌ای را می‌توان با بکارگیری وسایل مختلفی اجرا نمود. بلوکهای ضربه‌گیر[2] شبیه چیزی که در شکل (۴-۳۷) به تصویر کشیده شده است، اغلب همراه با وسایل جداساز پایه بکار برده می‌شوند.



شکل (۴-۳۷) بلوک ضربه‌گیر

۴-۵-۶- یخ

پایه‌های پل و دماغه‌ها باید برای شکستن یخهای شناور در جاهایی که چنین شرایطی وجود داشته باشد طراحی شوند. شکل (۴-۳۸) انواع پایه‌ها و دماغه‌هایی را نشان می‌دهد که در مقابل یخ شناور استفاده می‌شود. همان طور که در شکل (۴-۳۸- الف) مشاهده می‌شود محل برخورد آب یا شیبدار بوده و یا مانند شکل ب منحنی می‌باشد. لذا قطعه یخ تمایل دارد که به سمت بالای آب‌شکن[3] حرکت کند تا وقتی که یک لبه آن به طور کامل از آب خارج شود و وزن آن باعث شکسته شدن قطعه روی لبه تیغه شود. روش دیگر شکستن یخ، کار گذاشتن بلوکهای بتنی در بالادست پایه‌های پل می‌باشد.



شکل (۴-۳۸) استفاده از آب‌شکن به عنوان یخ‌شکن

از فنلاند گزارش شده است که برخورد قطعه یخ شناور در آب باعث ساییدگی سازه شده است. در بخش ۴-۶-۱ در مورد روش‌های تعمیر اجزایی که در زیر آب هستند، بحث می‌شود.

1- Base Isolation
2- Knock –off Block
3- Starling

۴-۶- روش‌هایی برای مقابله با آسیب‌های ناشی از اضمحلال مصالح

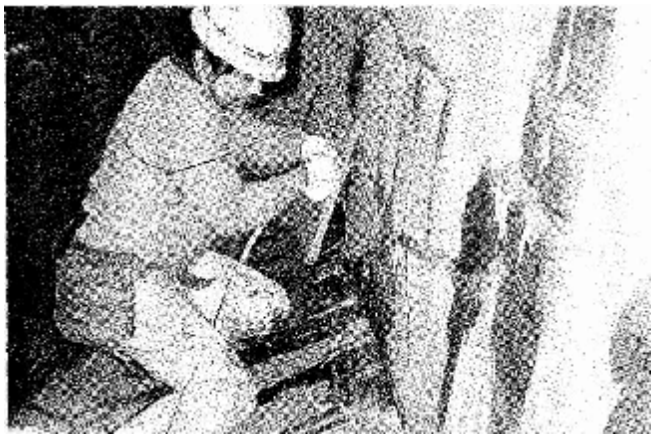
۴-۶-۱- بتن

در این قسمت در مورد روش‌های مقاوم‌سازی برای اعضای بتنی اضمحلال یافته بحث خواهد شد و انواع آسیب‌ها مانند ترک، فرسایش بتن، خوردگی آرماتور و کربناسیون بتن طبقه‌بندی خواهند شد. در مورد ترکهای ناشی از واکنش سنگدانه‌های قلیایی (AAR)[1] به طور جداگانه بحث خواهد شد زیرا اقدامات لازم در برابر آن کمی متفاوت از اقدامات لازم برای ترکهای معمولی می‌باشد.

- **تعمیر ترکها**

ترک‌خوردگی در سازه‌های بتنی در اثر عوامل مختلفی مانند جمع‌شدگی، معایب اجرایی، تنش‌های حرارتی، بارهای زنده، نمک و AAR به وجود می‌آید. هنگامی که یک ترک گسترش می‌یابد باید تعمیر شود. روش‌هایی که معمولاً به کار می‌روند عبارتند از تزریق و یا آغشته نمودن ترک با مواد آلی (مانند رزین پروکسی) یا مواد غیر آلی (مانند ملات سیمان). تزریق به داخل ترک از روش‌هایی است که بسیار در تعمیر ترکها مورد استفاده قرار می‌گیرد و مصالحی که مورد استفاده قرار می‌گیرند بسته به عرض ترک و دلیل وقوع آن متفاوت هستند. به علاوه در حالتی که منشاء ترکها AAR باشد و از بیرون قابل رویت باشند، علاوه بر تزریق، پوشش سطحی بتن نیز باید مد توجه قرار گیرد.

استاندارد مشخصات تزریق ترکها در آلمان، سوئد و ایالات متحده توسعه یافته است که در آنها در مورد انتخاب نوع مصالح، فرآیندهای اجرایی، بازرسی و کنترل اجرا، توصیه‌هایی ارایه شده است[۱و ۷]. مصالح مصرفی جهت تزریق شامل رزین اپوکسی، رزین پلی‌اورتان، خمیر سیمان و ملات سیمان می‌باشد. برای ترکهای ریز (مثلاً کمتر از ۰/۰۳ میلی‌متر) از رزین اپوکسی با لزجت کم و سیمان بسیار نرم استفاده می‌شود. فرآیندهای کلی عبارتند از: الف) پاکسازی، ب) کارگذاری لوله تزریق و درزگیری، پ) تزریق، ت) پرداخت سطح، ث) رنگ‌آمیزی. مثالی از تزریق در ترک در شکل (۴-۳۹) نشان داده شده است.



شکل (۴-۳۹) کارهای تعمیراتی به روش تزریق رزین

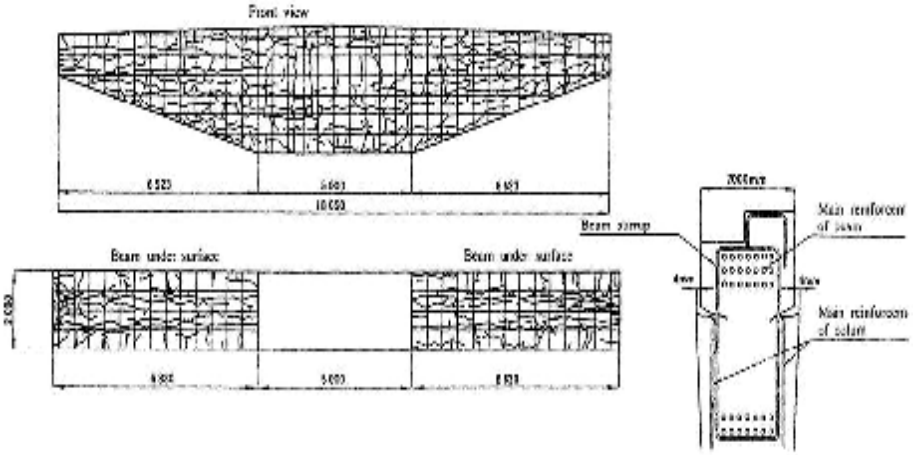
1- Alkali-Aggregate Reaction

در حالاتی که ترک عمیق باشد، ممکن است تزریق به کمک یک تفنگ دستی انجام شود. در حالات خاص نیز ممکن است از روش Vacuum Impregnation استفاده گردد. در حالتی که زرین اپوکسی یا سیمان بسیار نرم به عنوان عامل چسباننده ژاکت فولادی نیز در تزریق بکار برده شود می‌توان عملیات تزریق و مقاوم‌سازی را با هم انجام داد.

در حالاتی که عرض ترک در حدود ۰/۱ میلی‌متر و سطح ترک خورده افقی باشد، ترک را می‌توان با نفوذ به کمک فشار یک پلیمر دارای لزجت کم، درزگیری نمود.

- **کارهای تعمیر و مقاوم‌سازی برای آسیب‌های ناشی از واکنش‌های قلیایی سنگدانه‌ها (AAR)**

مسأله ترک‌خوردگی در اثر AAR در بسیاری از کشورها مانند بریتانیا، ایالات‌متحده و ژاپن بسیار مهم می‌باشد. روش‌های تعمیر ترکهای ناشی از AAR در ژاپن توسعه یافته است. در آنجا تعمیر ترک به وسیله ترکیب دو عمل تزریق و پوشش سطحی بتن انجام می‌شود. برای اینکه بتوان بعد از اتمام عملیات تعمیر از گسترش ترکها جلوگیری نمود، موادی که برای تزریق استفاده می‌شوند نباید مواد معمولی (سرعت پخش در حدود ۲٪) باشند که عموماً برای تعمیر ترکها (همانطور که در بالا بدان اشاره شد) بکار می‌روند و باید از مواد انعطاف‌پذیر (سرعت پخش ۲۰۰٪ – ۱۰۰٪) استفاده شود. همچنین به دنبال تزریق، بسته به حالت گسترش ترک و وجود رطوبت، از مواد دافع آب (سیلان[1] + ملات سیمان پلیمری + امولوسیون اکریل) یا مواد ضد آب (رزین اپوکسی + رنگ پلی‌اورتان) برای پوشش سطحی بتن استفاده می‌شود (جدول ۴–۳، ژاپن).



شکل (۴–۴۰) ترک‌خوردگی تیر سرستون

1- Silane

جدول (۴-۳) سیستمهای پوششی مورد استفاده در ژاپن

سیستم	فرآیند	مواد	مصرف استاندارد (Kg/m^2)
بر پایه اپوکسی	زیرسازی	آستری رزین اپوکسی	۰/۱
	پوشش ثانویه	رزین اپوکسی انعطاف‌پذیر	۰/۲
	پوشش نهایی	رزین اپوکسی انعطاف‌پذیر	۰/۲
بر پایه پلی اورتان	زیرسازی	آستری رزین اپوکسی	۰/۱
	پوشش ثانویه	رزین پلی‌اورتان انعطاف‌پذیر	۰/۲۵
	پوشش نهایی	رزین پلی‌اورتان انعطاف‌پذیر	۰/۲۵
بر پایه سیلان	زیرسازی	رزین سیلان	۰/۲
	پوشش ثانویه	رزین سیلان	۰/۲
	پوشش نهایی	ملات سیمان پلیمری	۰/۳

مواردی وجود داشته است که در هنگامی که گسترش ترک به طور خاصی جدی بوده است کارهای مقاوم‌سازی با استفاده از ژاکت فولادی (ژاپن) و المانهای مسلح‌کننده اضافی (ژاپن، انگلستان) انجام شده است.

- **تعمیر و مرمت قطعات بتنی**

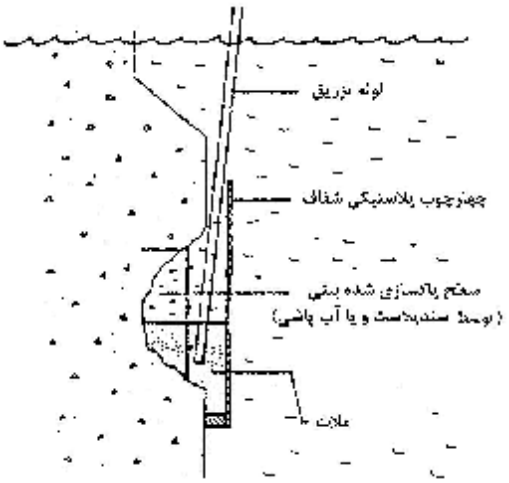
در حالاتی که مقطع یک عضو بتنی آسیب سنگین دیده باشد و یا ظرفیت باربری آن کافی نباشد، همان طور که در بخش ۴-۵-۵ نشان داده شد، می‌توان از ژاکت‌های فولادی یا بتنی استفاده نمود. به عبارت دیگر حالاتی که بتن به علت خوردگی میلگردهای فولادی در اثر نمک یا ترک جدا می‌شود و در مواردی که حفره‌هایی ناشی از معایب بتن‌ریزی نمایان می‌شود، تزریق ملات، استفاده از بتن پیش‌فشرده و پاشیدن بتن، روش‌هایی هستند که بسیار زیاد در تعمیر آسیب‌های مذکور بکار می‌روند. روندهای استانداردی در ایالات‌متحده، آلمان، سوئد و نروژ گسترش یافته است [۱و ۷].

مصالح مصرفی جهت تعمیر، بسته به وضعیت آسیب، علل وقوع خرابی، شرایط محیطی و نتایج دلخواه، بسیار متنوع می‌باشند. هنگامی که در ناحیه‌ای خرابی گسترش یافته باشد ولی بودجه مورد نظر محدود باشد، می‌توان از ملات سیمان معمولی و یا ملات بدون جمع‌شدگی استفاده نمود. به علاوه می‌توان از ملات سیمان پلیمری و رزین بتنی که چسبندگی مناسبی را با بتن موجود تأمین می‌کند و دارای جمع شدگی ناچیز و کارایی خوبی می‌باشد استفاده نمود.
فرآیند کلی اجرای تزریق ملات، بتن پیش‌فشرده و بتن‌پاشی عبارتست از:

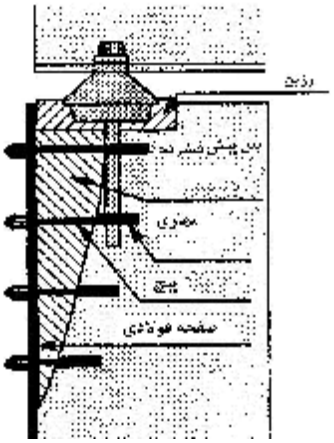
- تزریق ملات: الف) پاک کردن تمیزکاری، ب) چیدن و تنظیم میلگردها و قالب‌بندی، پ) بتن‌ریزی، ت) پرداخت سطحی، ث) رنگ‌آمیزی

- بتن پیش‌فشرده: الف) پاکسازی، ب) قرار دادن میلگردها و قالب‌بندی، پ) جادادن مصالح سنگی، ت) ریختن ملات، ث) پرداخت سطحی، ج) رنگ‌آمیزی
- بتن‌پاشی: الف) پاکسازی، ب) بتن پاشی، پ) پرداخت سطحی، ت) رنگ‌آمیزی

شکل (۴-۴۱) مثالی را از روش‌های تعمیر با استفاده از تزریق ملات برای قطعه بتنی آسیب‌دیده در زیر آب در اثر معایب اجرایی و یخ‌زدگی و آب‌شدگی مکرر نشان می‌دهد. در شکل (۴-۴۲) نیز نمونه‌ای از روش‌های تعمیر با استفاده از بتن پیش‌فشرده و رزین بتنی برای مقطع خرد شده بتنی در نزدیک تکیه‌گاه نشان داده شده است.



شکل (۴-۴۱) تزریق ملات



شکل (۴-۴۲) تعمیر تکیه‌گاه با استفاده از بتن پیش‌فشرده

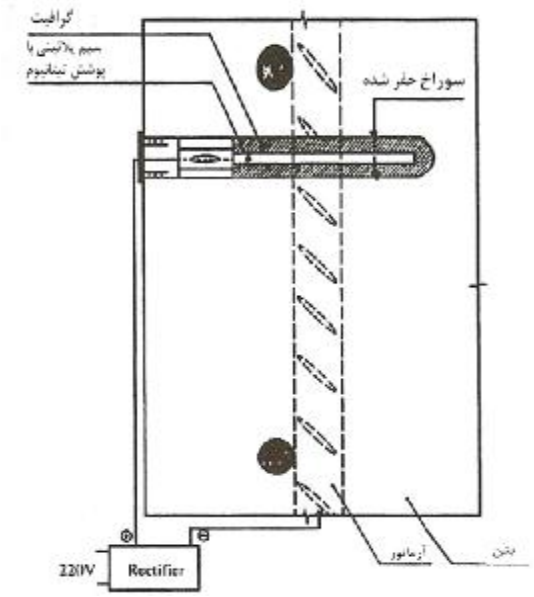
- **تعمیر و مرمت میلگردهایی که دچار خوردگی شده‌اند**

احتمال خوردگی آرماتورها در المانهای بتنی که در نواحی ساحلی و یا نواحی که در آنها نمک‌های ضدیخ[1] بکار برده می‌شود قرار دارند بیشتر است. فشاری که در اثر انبساط ناشی از فعالیت‌های خورندگی به وجود می‌آید باعث ایجاد ترک و در نهایت قلوه‌کن شدن بتن می‌شود. تکنیک‌های مؤثر تعمیر ترکها و قطعات بتنی در بالا توضیح داده شد. روش حفاظت کاتدیک و یا حذف کلریدها به روش الکتروشیمیایی نیز از روش‌های مناسب مواجهه با المانهای آسیب‌دیده در اثر خوردگی می‌باشند. اصول حفاظت کاتدیک عبارتست از جلوگیری از فعل و انفعالات خوردگی با استفاده از جریان الکتریکی مستقیم در داخل آرماتورها، به نحوی که تمام نقاط تماس سطحی با آنها طوری پلاریزه شوند که دارای پتانسیل آندی بیشتری از آندی‌ترین نقطه آرماتورها باشند. بنابراین آرماتورها نسبت به آند خارجی، کاتدی می‌شوند و حفاظت کاتدی برقرار می‌شود. کلید موفقیت در حفاظت کاتدی فولاد در بتن، برقراری و پخش یک پتانسیل یکنواخت روی فولاد با کمترین جریان مصرفی می‌باشد. بدین معنی که مقاومت بین آندهای خارجی و

1- Deicing Salt

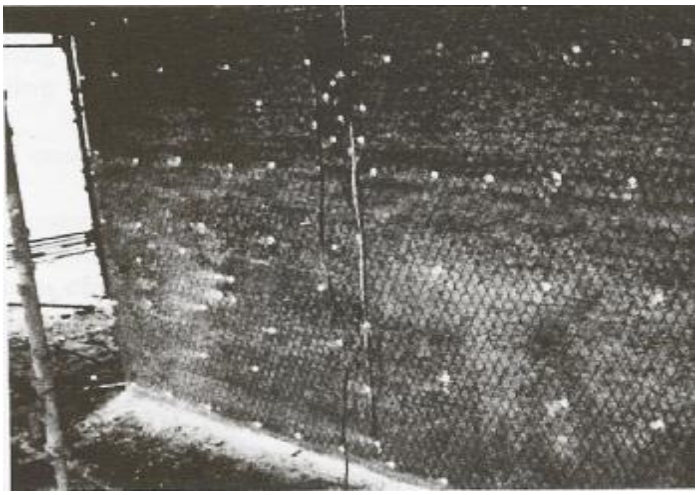
آرماتورها باید به طور یکنواخت و کم باشد و این آندها باید آنقدر بزرگ باشند که شدت جریان را چه بر آند و چه سطح بتن به حداقل مقدار ممکن برسانند.

دو روش اعمال جریان به سطح بتن عبارتند از کاربرد آندهای گالوانیک و یا استفاده از منبع جریان تحت کنترل. اگرچه نمونه‌هایی از موارد استفاده از سیستمهای گالوانیک به ویژه در گرمای شدید و محیط‌های مرطوب وجود دارد، اما اغلب از جریان تحت کنترل استفاده می‌شود. معمولاً شدت جریان به کاربرده شده در محدوده ۵ تا ۱۰ mA/m^2 از سطح بتن می‌باشد. تا کنون از مصالح و ترکیبات متعددی به عنوان آند استفاده شده است. سه مثال از کشور نروژ در شکلهای (۴-۴۳) تا (۴-۴۵) نشان داده شده است.



شکل (۴-۴۳) حفاظت کاتدیک با استفاده از آندهای منفرد

شکل (۴-۴۴) آندها قبل از بکارگیری مصالح پوششی



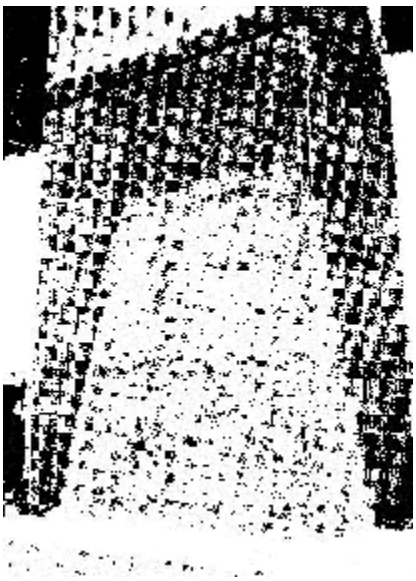
شکل (۴-۴۵) حفاظت کاتدی با استفاده از مش تیتانیوم به عنوان آند

- **از بین بردن یونهای کلر به روش‌های الکتروشیمیایی و قلیایی کردن مجدد**

فرآیند حذف یونهای کلر و دوباره قلیایی کردن بتن شامل بکارگیری یک آند و الکترولیت بر سطح سازه بتن مسلح و عبور جریان مستقیم بین آند و آرماتورها می‌باشد. این تکنیک مشابه حفاظت کاتدی است اما از دو جنبه با آن تفاوت دارد: اول این که آند موقتی می‌باشد و دوم، شدت جریان تقریباً یکصد برابر شدت جریانی است که در حفاظت کاتدی بکارگرفته می‌شود.

در روش حذف الکتروشیمیایی یونهای کلراید به سمت آند خارجی حرکت می‌کنند و یونهای Hydroxyl بر روی آرماتورها تولید می‌شود. بنابراین نسبت یون cl^- به OH^- بر سطح فولاد کاهش می یابد و خاصیت منفعل بودن آن دوباره احیا می‌شود. حداکثر ولتاژی قابل کاربرد، توسط آیین‌نامه‌های مربوطه و براساس ملاحظات ایمنی، به ۳۰ تا ۵۰ ولت محدود شده است. حداکثر شدت جریان روی سطح بتن باید در محدوده ۱ تا ۴ آمپر بر مترمربع و حداکثر شارژ عبوری باید در محدوده ۶۰۰ تا ۱۲۰۰$A\text{-}h/m^2$ باشد. این بدان معنی است که زمان عملیات تقریباً در حدود ۱۰ تا ۸۰ روز (با فرض اینکه متوسط شدت جریان ۶۰ درصد حداکثر آن باشد) خواهد بود. بازده روش حذف کلراید معمولاً در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد می‌باشد. این روش معالجه مناسب‌ترین روش برای اعضایی است که پوسته پوسته شدن بتن ناشی از خوردگی آرماتور در آنها به طور گسترده اتفاق نمی‌افتد و در هنگام انجام عملیات مذکور می‌توانند در حالت سرویس‌دهی باقی بمانند.

شکل (۴-۴۶) عملیات بهسازی در حال انجام را در انتاریو کانادا نشان می‌دهد. این عکس بعد از بکار بردن الکترولیت سلولز و آند مش فولادی و قبل از بکار بردن لایه ثانویه سلولز گرفته شده است. عمل قلیایی کردن مجدد ممکن است برای احیای خاصیت منفعل بودن آرماتورها، در جایی که که عمق کربناسیون بتن از عمق پوشش بتنی روی آرماتور فراتر می‌رود، نیز استفاده شود. این فرآیند شامل مهاجرت یون‌های قلیایی (معمولاً یونهای سدیم) از الکترولیت به آرماتورها همزمان با تولید یونهای Hydroxy1 بر روی سطح فولاد می‌باشد.



شکل (۴-۴۶) روش بهسازی الکتروشیمیایی کلراید با استفاده از آند الکترولیت سلولز

۴-۶-۲- فولاد

- **رنگ کردن**

یک سازه فولادی هنگامی دوباره رنگ می‌شود که اضمحلال در آن به حدی رسیده باشد که نیازمند به نگهداری باشد. زنگ‌زدگی روی سطح فولاد به سه دسته طبقه‌بندی می‌شود:

- زنگ‌زدگی‌های کم که به طور پراکنده روی سطح رنگ‌شده نمایان می‌شود.
- زنگ‌زدگی با مقدار متوسط که به طور فلس یا لایه‌ای نمایان می‌شود.
- زنگ‌زدگی قابل ملاحظه که به طور لایه‌ای، فلسی یا حفره‌های ریز ظاهر می‌شود.

DIN53210 یا ISO4628/I-1978 شرایط زنگ‌زدگی را با جزییات بیشتری طبقه‌بندی می‌کند.

به طور کلی، رنگ کردن مجدد مطابق با رویه زیر انجام می‌شود. هنگامی که رنگ کردن در فضای بسته انجام شود، باید موجبات تهویه هوا را فراهم نمود:

- پاکسازی
- بلاست کردن
- رنگ آستری
- لایه دوم رنگ (ضخامت لایه بسته به نوع رنگ و شرایط محیطی متفاوت است)
- رنگ نهایی (ضخامت لایه بسته به نوع رنگ و شرایط محیطی متفاوت است)

- **حفاظت در برابر خوردگی در شرایط در معرض قرار گرفتن شدید[1]**

حالاتی که سازه به شدت با شرایط محیطی مواجه می‌باشد مانند زونهای جزرومدی پایه‌های پلهای فلزی که در اقیانوس ساخته می‌شوند یا سازه‌هایی که در نواحی ساحلی بنا می‌شوند و یا در مواردی که سازه‌های مهم مد نظر می‌باشد، نیاز به کارهای حفاظتی دارای دوام و پایداری بیشتر می‌باشد، از جمله بکارگیری مصالح مخصوص برای حفاظت سطوح مصالح فولادی. مثالی از پوشش مورد استفاده در ژاپن برای چنین شرایطی، در ادامه ذکر می‌گردد.

- حفاظت ساده از خوردگی

الف) اعمال پوشش بتن مسلح

ب) پاشیدن فوم پلی‌اورتان

پ) پاشیدن زرین اپوکسی یا اعمال پوشش اپوکسی سخت‌شونده در زیر آب، بیتوته رزین

- حفاظت ترکیبی در برابر خوردگی

الف) پوشش FRP + درزگیری با ملات

ب) پانل فولادی ضد زنگ + درزگیری با ملات

1-Extreme Expose Condition

پ) پانل پوششی تیتانیوم + درزگیری ملات

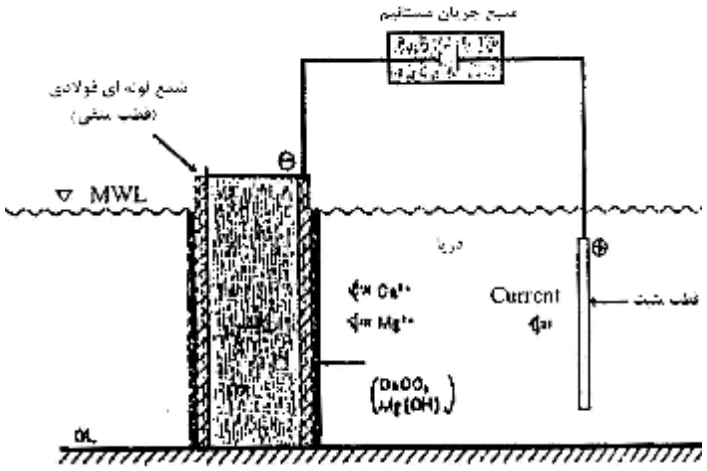
ت) اضافه کردن ورق فولادی برای دوام بیشتر + تزریق رزین اپوکسی سخت‌شونده در زیر آب

- **حفاظت کاتدی**

حفاظت کاتدی اغلب در مورد پایه‌های فولادی که در زیر آب ساخته شده‌اند بکار می‌رود. دو روش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد: یکی برقراری سیستم جریان تحت کنترل بین فولاد و آب دریا و دیگری تعبیه ورقهای آلومینیومی یا ساخته شده از فلز روی بر روی سطح فولاد، برای نگهداری از پتانسیل الکتریکی فلز مبنا.

- **رسوب‌گذاری الکتریکی**[1]

در حال حاضر روش جدیدی بنام رسوب‌گذاری الکتریکی در حال توسعه می‌باشد. فرآیند مربوطه به طور شماتیک در شکل (۴-۴۷) نشان داده شده است. این فرآیند شامل اعمال جریان مستقیم تحت کنترل به قطب منفی در آب دریا می‌باشد. همچنین المانهای سازه‌ای توسط مواد آلی تحت پوشش قرار می‌گیرند.

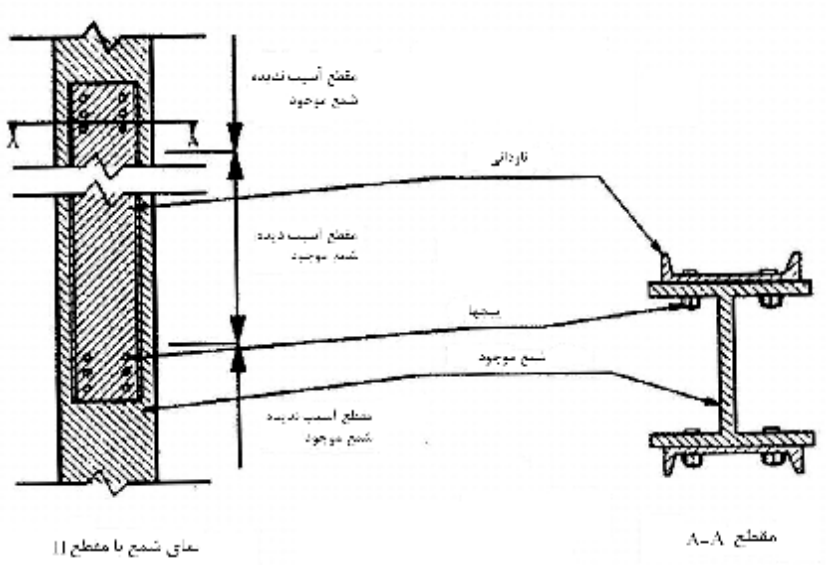


شکل (۴-۴۷) روش رسوب‌گذاری الکتریکی

- **جایگزین نمودن المانها**

چنانچه اضمحلال پوشش محافظ پیشرفت نماید، ممکن است که المانهای فولادی تحت خوردگی شدید قرار گرفته و مقطع خود را از دست بدهند. شکل (۴-۴۸) مثالی را از کارهای تعمیراتی در آمریکا نشان می‌دهد که در مورد یک شمع با مقطع H شکل اعمال شده است و در آن کاهش سطح مقطع با وصله کردن یک ناودانی به وسیله پیچ به سطح بیرونی مقطع خورده شده، ترمیم شده است.

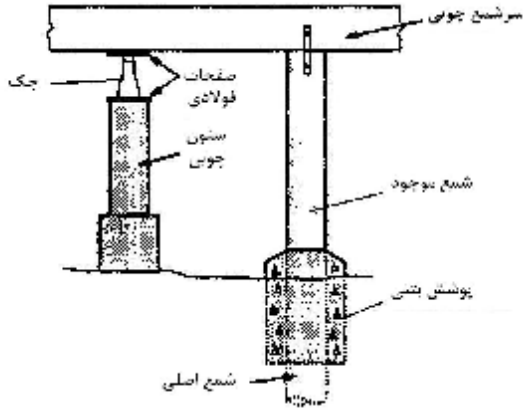
1- Electrodeposition



شکل (۴-۴۸) مرمت شمع فولادی

۴-۶-۳- چوب

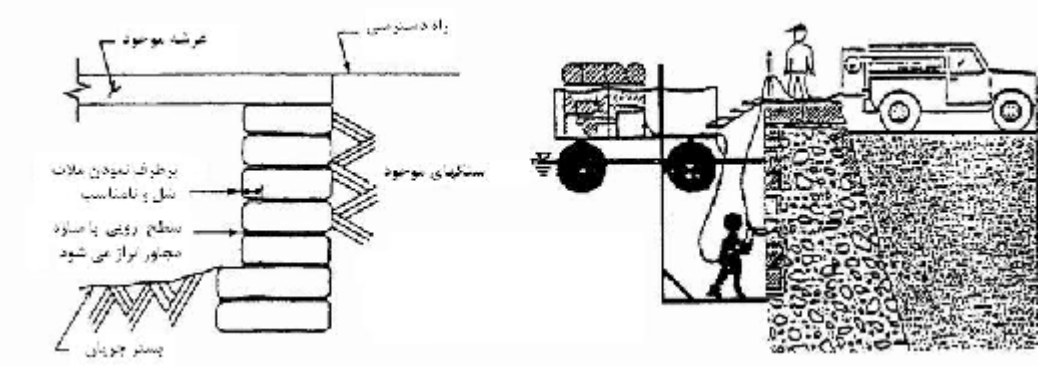
جایگزینی المانهای آسیب‌دیده، به طور معمول مؤثرترین روش در تعمیر سازه‌های چوبی می‌باشد. بر خلاف اعضای فولادی، مقاوم‌سازی مقاطع آسیب‌دیده با وصله کردن ورق، روش مناسبی برای چوب آسیب‌دیده نمی‌باشد و جایگزین نمودن این المانها ضروری می‌باشد. بخصوص شمع‌های چوبی معمولاً تحت آسیب قرار دارند و در کشورهای ایالات‌متحده و فنلاند، روش‌هایی برای تعمیر آنها وجود دارد [۱]. شکل (۴-۴۹) مثالی را از ایالات‌متحده نشان می‌دهد که در آن روسازه به طور موقت بر المانهای فشاری چوبی متکی شده است و شمع‌های آسیب‌دیده موجود در نزدیکی زمین با شمع‌های جدید جایگزین شده و سپس با روکش بتنی مسلح شده‌اند.



شکل (۴-۴۹) وصله شمع

۴-۶-۴- ملات

شکل (۴-۵۰) مثالی را از یک کوله ساخته شده از مصالح بنایی نشان می‌دهد کـه در آن مصـالح ناحیـه اتصـال تقریباً از بین رفته بودند. در این مورد، ابتدا تمام ملات‌های به جا مانده برداشته شد و محل اتصال کـاملاً پاکسـازی شـد. پس ملات تازه به محل اتصال تزریق شد و عمل‌آوری گردید. در نهایت عملیات مرمت با پرداخت سـطح اتصـال بـرای ایجاد یک نمای تمیز به پایان رسید.



شکل (۴-۵۰) بندکشی مجدد مصالح بنایی با ملات

۵- خط‌مشی تعمیر و مقاوم‌سازی ـ پیشنهادات

۵-۱- خط‌مشی کلی و اهداف

مراجع مسؤول راهها باید اهداف و استراتژی‌های مشخصی برای ساخت‌وساز و نگهداری زیرساخت‌های خود داشته باشند. هدف اصلی این سیاست باید ارضاکننده نیازهای کاربران راه، در حال حاضر و در طی عمر مفید آن باشد. یک چنین اهداف بلندمدتی نیازمند یک سیستم پیش‌بینی مؤثر برای انجام ارزیابی قابل اعتمادی از الگوها و حجم ترافیک آینده و آسیب‌های وارد به راهها و پلها می‌باشد.

اهداف استراتژیک مراجع مسؤول پلها و راهها می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

- اطمینان از جریان روان ترافیک با کمترین الزام برای تعمیرات
- حصول استانداردهای بالای ایمنی
- حصول استانداردهای بالای زیست‌محیطی
- کمینه کردن هزینه‌های ساخت‌وساز و نگهداری

۵-۲- ساختار خط‌مشی‌ها و استراتژی‌ها

۵-۲-۱- تحولات و فناوری‌ها

مبنای اهداف بلندمدت مدیریت پلها براساس سیاست‌های کلی شبکه راهها، سیاست‌های اقتصادی و حمل‌ونقلی دولت و اهداف و چشم‌اندازهای بلندمدت ملی می‌باشد.

ساخت‌وساز پلهای استاندارد، بازتابی از دانش و تجربه موجود می‌باشد و در کنار آن نیز باید از برآورده شدن نیازهای آتی با کمترین تغییرات لازم در عملکرد جاری اطمینان حاصل نمود. آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی در ساخت پلها، حاصل بازتابهای عملی و تکنولوژیکی در کنار تحقیقات سازه‌ای و نوآوری شامل موارد زیر می‌باشد:

- روندهای جدید طراحی و توسعه نرم‌افزارها
- ارایه راه‌حلهای مناسب همراه با جزییات اجرایی جدید
- توسعه و پیشرفت خواص مصالح مصرفی در ساخت‌وساز
- استفاده از مصالح موجود در ساخت‌وساز
- مصالح جدید و ابتکاری
- سیر تکاملی نسبت هزینه‌های انسانی به هزینه‌های مصالح
- روش‌های جدید ساخت‌وساز
- تکنولوژی ساخت سازه‌های زیبا و ظریف
- روش‌های جدید و بهبودیافته در بازرسی و نگهداری

در حال حاضر ساخت پلها در مکانهایی که قبلاً ساخت آنها غیر ممکن بود، آسانتر شده است. این پیشرفت در توان ساخت‌وساز موجود، نیازمند اتخاذ راه‌حلهای فنی است که در بلندمدت امتحان نشده‌اند و همچنین مستلزم بکارگیری مصالح جدید و تکنیک‌های جدید ساخت‌وساز می‌باشد که هیچ تجربه بلندمدتی از آنها در دسترس نیست و مشکلات یک طبیعت ناشناخته نیز ممکن است به تبع آن ظهور کند. از آنجا که مرزهای جدید به طور مکرر شکسته می‌شوند، فلسفه‌ها و مبانی مفهومی کلی طراحی پل باید تغییر کند. اگر چنین اتفاقی رخ ندهد، در مرحله طراحی مفهومی، ملزومات مربوط به نیازهای آینده در سازه دیده نخواهد شد.

۵-۲-۲- پیامدهای عملیات نگهداری

به همین دلیل باید هر چند وقت یکبار استراتژی‌های مربوط به بازرسی و نگهداری بازبینی شود و در جهت اطمینان از کافی بودن آنها برای لحاظ کردن نیازهای آینده توسعه داده شوند. تغییرات مکرر در فرآیندهای مدیریتی نباید انجام شود زیرا بعد از هر تغییر، کاهش بازدهی وضعف اقتصادی در کوتاه‌مدت از عوامل غیر سازنده می‌باشند. مجموعه‌ای منسجم از اطلاعات حین ساخت[1] شامل عیوب حین ساخت، اطلاعات مربوط به جنبه‌های مختلف طراحی، مصالح و روش‌های ساخت باید توسط مراجع مسؤول ثبت و نگهداری شود.

۵-۲-۳- استراتژی‌های تعمیر

اگرچه عنوان این گزارش "تعمیر زیرسازه پلها" می‌باشد، اما هنگامی که استراتژی‌هایی برای کل پل اندیشیده می‌شود، در نظر گرفتن المانهای مختلف به طور جداگانه بسیار مهم است.

بررسی‌های مربوط به بتن قبل از پیش‌بردن هرگونه استراتژی، براساس شرایط سازه باید انجام گیرد. این کار باید براساس خط‌مشی فراگیر انجام شود. به مثالهای زیر توجه کنید:

- کلراید موجود در بتن در عمقی که آرماتور وجود دارد نباید از مقدار مشخصی تجاوز کند.
- پلهای قدیمی و جدید که بر روی آبراهه‌هایی ساخته شده‌اند که از آنها بار ترافیکی (کشتی، قایق و ...) عبور می‌کند، باید ضربه ناشی از کشتی را تا حد معقول و بدون پیامدهای نامناسب جذب نمایند.
- پلهای قدیمی و جدید باید در برابر زلزله در محدوده‌ای معقول و بدون پیامدهای نامناسب مقاومت نمایند.
- ستونهای پل‌های روگذر که در معرض خطر تصادف قرار دارند، باید در برابر ضربات ناشی از بارهای ترافیکی مقاوم یا محافظت شوند.

برای دستیابی به یک چنین استانداردهایی برای تعداد بسیار زیادی پل، دو سطح از استراتژی مورد نیاز است:

۱- استراتژی مربوط به تعداد کل یا گروهی از سازه‌ها (استراتژی کلی)

۲- استراتژی مربوط به تک سازه‌ها (استراتژی خاص)

1- As Built

برای دستیابی به یک نگاه مؤثر از مدیریت سازه پلها در شبکه، نیاز به یک استراتژی کلی می‌باشد. هزینه‌های مربوط به نگهداری روتین و کارهای تعمیراتی جزیی توسط هزینه کارهای تعمیراتی برنامه‌ریزی نشده برای سازه‌های تکی تحت‌الشعاع قرار می‌گیرند. ریسک این عمل، استفاده بدون صرفه اقتصادی از منابع موجود می‌باشد.

استراتژی خاص برای سازه‌های تکی و یا گروهی از سازه‌ها بسته به نوع، عملکرد یا نوع آسیب آنها، می‌تواند براساس استراتژی کلی توسعه یابد. در این سطح به صرفه‌ترین روش از لحاظ اقتصادی مورد نیاز است. هرگونه تغییر در استراتژی یا توسعه یک استراتژی جدید، باید تمام فازهای یک پل از زمان طراحی تا زمانی که از لحاظ عملکردی غیر قابل استفاده می‌باشد را در برگیرد.

۵-۳- عوامل مؤثر در خط‌مشی

عمده هزینه در ساخت پلها، مربوط به زیرسازه پلها می‌باشد که المانهایی با طول عمر زیاد می‌باشند.

۵-۳-۱- محدودهٔ عوامل مؤثر

الف) سلسله مراتب سیستم جاده‌ای

- پلهای واقع در راههای درجه یک
- پلهای واقع در راههای درجه دو
- پلهای واقع در راههای بین‌شهری

ب) شدت ترافیک

- ADT (ترافیک روزانه در سال)
- ADTT (ترافیک روزانه کامیون در سال)

پ) عوامل پلها

- سن
- ظرفیت باربری
- طول کل (پل کوچک / پل بزرگ) و طول دهانه‌ها
- شرایط محیطی
- ارضای تقاضای ترافیکی
- سرمایه نهفته در المانهای مختلف پل
- مدت زمان باقیمانده از سرویس‌دهی پل قبل از جایگزینی آن
- مسیرهای دیگر برای حرکت

۵-۳-۲- ایمنی و اورژانس

تأمین ایمنی عمومی در استفاده از پلها و یا گذر از زیر آنها، از بالاترین درجه اهمیت برخوردار است. فروریزی یک پل به دلیل آنکه دارای پیامدهایی همچون از دست رفتن یک زندگی می‌باشد، غیر قابل قبول است. بسیاری از اثرات خارجی که در فصل ۲ شرح داده شدند، ممکن است باعث فروریزی پلها شوند. عقیده عمومی بر این است که شبکه راهها مشتمل بر پلها بایستی همیشه باز باشد. با این وجود وقایع غیر قابل انتظاری روی می‌دهد که باعث انسداد می‌گردد همانند فروریزی جزیی یا کلی. نیروهای طبیعی و اثرات آنها به خوبی شناخته شده‌اند، اگرچه نسبت دادن مقدار به آنها مشکل می‌باشد اما روش‌های حصول به اطلاعات استاتیکی همچنان رو به بهبودی است. به عبارت دیگر اطمینان از اینکه پل در مقابل تمام ترکیبات بارهای طبیعی به طور صد درصد مقاومت نماید لزوماً یک راه‌حل اقتصادی نیست.

این ملاحظات، نیاز به اقداماتی برای حصول اطمینان از ایمنی کلی و سازه‌ای پلهای قدیمی‌تر را القاء می‌نماید. برای مثال برای محافظت در برابر ضربه کشتی، نیاز به ساخت سازه‌های ضربه‌گیر می‌باشد و چنانچه فروریزی روی دهد، مسیر ترافیک به طور خودکار بسته می‌شود.

بازتاب اثرات حاصل از نیروهای طبیعی غیر منتظره مانند سیل یا زلزله توسط سیستم بازرسی بسیار مهم است و در این بازرسی‌ها نیز باید به مواردی همچون خوردگی و دیگر آسیب‌های جدی که ممکن است ظرفیت باربری پل را به خطر اندازد، توجه ویژه‌ای گردد. همچنین در بازرسی‌ها باید اضمحلال مصالح همراه با گذشت زمان شناسایی و تشخیص داده شود.

۵-۳-۳- ظرفیت باربری

هنگامی که پلها برای عبور بارهای ترافیکی سنگین‌تر در نظر گرفته می‌شوند، زیرسازه هرگز نقطه ضعف پل نمی‌باشد. چنانچه طراحی پل به طور مناسب انجام شده باشد و عیوب جدی، اضمحلال یا گسیختگی زمین وجود نداشته باشد، زیرسازه تقریباً همیشه برای بارهای ترافیکی سنگین‌تر کافی می‌باشد زیرا بار مرده وارده، بسیار بیشتر از افزایش در بار ترافیکی می‌باشد.

۵-۳-۴- عوامل بحرانی در طراحی، بازرسی و نگهداری

همیشه در طراحی زیرسازه درصد کمی ریسک ناشی از عدم اطمینان از اطلاعات موجود مانند موارد زیر وجود دارد:

- شرایط ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی
- نوسانات جریان آب
- اطلاعات استاتیکی جهت تخمین بارهای طبیعی
- اثرات محیطی

عنصر راهبردی: طراحی اقدامات لازم در بازرسی

طراحی پلها بطور قابل ملاحظه‌ای نیازهای تعمیراتی آینده را تحت تاثیر قرار می‌دهد زیرا انواع مصالحی که در ساخت پل استفاده می‌شود، طرح در نظر گرفته شده برای اعضای زیرسازه و محل انتخاب شده برای پل، همگی در اقدامات آتی موثر خواهند بود.

هنگامی که یک پل طراحی می‌شود، در نظر داشتن هزینه‌های تعمیر و نگهداری آینده آن در جهت کمینه کردن هزینه‌های کل چرخه عمر پل بسیار مهم می‌باشد. امکان انجام عملیات نگهداری بدون ایجاد مزاحمت برای ترافیک عبوری باید میسر باشد. المانهایی از زیرسازه که دسترسی به آنها مشکل می‌باشد، باید به صورت محافظه‌کارانه طراحی شوند.

جایگزین نمودن اعضا و المانهایی از پل که دارای عمر کمتری هستند باید به آسانی امکان‌پذیر باشد. گزارشهای ثبت شده در بازرسی‌ها باید نشانی از میزان موفقیت خدمات و نگهداری‌های روتین باشد و مبنایی برای برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی تعمیرات مشخص نماید. برای تعداد زیادی پل، حجم وسیعی از اطلاعات تولید خواهد شد و نیاز به یک سیستم کامپیوتری برای مدیریت و ذخیره این اطلاعات، بسیار حیاتی خواهد بود.

نظارت منظم بر شرایط پل ممکن است که منجر به تغییرات استراتژی در جهت انعکاس رفتار پل شود. ایجاد تغییرات در استراتژی تنها در زمانی باید رخ دهد که دلایل درستی برای انجام این کار موجود باشد. بازرسی‌ها، بازتابهای با ارزشی را مانند نیازهای تعمیراتی آتی برای مهندس طراح تأمین می‌نمایند. همچنین بازرسی از تعمیراتی که در گذشته صورت پذیرفته، اطلاعات مفیدی را برای استراتژی آینده تامین می‌نماید. اغلب، تجربیات بلندمدتی از مصالح و تکنیک‌های مورد استفاده برای تعمیر و نگهداری وجود ندارد.

۵-۴- مسایل اقتصادی و فنی

۵-۴-۱- نگهداری

ضرب‌المثل قدیمی «علاج واقعه قبل از وقوع باید کرد» در مورد پلها بسیار مصداق دارد. به عنوان یک قانون کلی، نگهداری منظم از پل بر طبق یک برنامه مشخص، عمر اجزای پل را افزایش خواهد داد و هزینه‌های عملیات راه را بهینه خواهد کرد. رسیدگی به مشکلات زیرسازه قبل از اینکه به وضع بحرانی برسد، احتمال پیامدهای جدی‌تر را حداقل خواهد نمود. نگهداری در جهت جلوگیری و یا به تعویق انداختن تعمیرات پرهزینه و یا جایگزینی نیز اغلب اوقات از لحاظ اقتصادی به صرفه خواهد بود. بحث و بررسی‌های زیادی در مورد زمان مناسب مداخله وجود دارد و اطلاعات بیشتری در مورد هزینه‌های لازم در طول عمر پل مورد نیاز می‌باشد تا بتوان استراتژی درستی را برای هر حالت تعریف نمود.

عملیات نگهداری را می‌توان به دو گروه مختلف دسته بندی نمود:

۱- کارهای روتینی که در مورد کل مجموعه پلها، گروهای مشابه پلها و یا یک پل انجام می‌شود.

۲- کارهایی که در مورد یک پل و در نتیجه گزارش‌های بازرسی‌های انجام شده از آن، صورت می‌گیرد.

فعالیت‌های معمولی که در مورد گروه اول انجام می‌شود عبارتند از:

- شتسشوی اعضای ساختمانی با آب تمیز و با فشار زیاد
- بهسازی سطح بتن در معرض عوامل ضدیخ[1]
- محافظت پلهای فولادی در برابر خوردگی
- برنامه‌های خاص برای نگهداری پیش‌گیرانه برای پلهای بزرگ و یا پیچیده

فعالیت‌های معمولی که در مورد گروه دوم انجام می‌شود عبارتند از:

- بهسازی سطوح بتنی که نفوذ کلراید به داخل آنها مشکل‌آفرین خواهد بود.
- تزریق به داخل ترک

۵-۴-۲- طرح‌ریزی تعمیر و مقاوم‌سازی

نیاز یک پل به تعمیر در بازرسی‌های مجموعه پلها مشخص خواهد شد. در هر سال مالی، اولویت‌ها باید مطابق تعمیرات مورد نیاز براساس عوامل فنی و اقتصادی مانند موارد زیر پایه‌ریزی شود:

- آسیبی که ایمنی و ظرفیت پل را به مخاطره می‌اندازد.
- آسیبی که اگر از آن صرفنظر شود، منجر به هزینه‌های تعمیر و نگهداری بیشتر خواهد شد.

مقاوم‌سازی را می‌توان به دو گروه مختلف دسته‌بندی نمود:

۱- مقاوم‌سازی پلهای منفرد

۲- برنامه مقاوم‌سازی برای گروهی از پلها

در بعضی مواقع، مسایل پیش‌بینی نشده و بسیار جدی مانند ضربه وسایل نقلیه یا سیل رخ خواهد داد که فرسایش زیادی را ایجاد خواهد کرد و نیازمند توجه فوری می‌باشد. با گذشت زمان، تجربه، میزان بودجه‌ای را که باید برای این کارهای ضروری ذخیره نمود، مشخص می‌نماید.

1- Deicing Agents

طرح‌ریزی و استراتژی‌های تعمیرات

در گزارش‌های بازرسی باید آسیب‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان برای اولویت‌بندی آنها تصمیمات درستی اتخاذ نمود. به علاوه، هزینه‌های مربوط به ایجاد تأخیر در ترافیک نیز باید مورد محاسبه قرار گیرد و مسایل دیگری که در بخش ۵-۱-۳ عنوان شد نیز باید در برآورد هزینه‌های تعمیر مد نظر قرار گیرد. برای آنکه اثرات ناشی از کارهای تعمیراتی روی ترافیک عبوری کمینه شود، چنانچه میسر باشد، باید این اقدامات با کارهای تعمیراتی مربوط به جاده هماهنگ باشد. برای ترکیب کردن این هزینه‌ها و اولویت‌بندی آنها ممکن است استفاده از یک برنامه کامپیوتری ضروری باشد.

برای یک سازه منفرد که به شدت دچار اضمحلال شده است، استراتژی‌های گوناگونی در مورد تعمیر آسیب‌ها باید ارزیابی شوند و مناسب‌ترین آنها از لحاظ صرفه اقتصادی انتخاب شود.

استراتژی تعمیر پلهای بتنی که آرماتورهای آنها دچار خوردگی شدید شده‌اند می‌تواند به صورت زیر باشد:

۱- دست‌نخورده گذاشتن؛ چنانچه جایگزینی پل به دلایل دیگر قریب‌الوقوع باشد و یا جایگزینی را در صورت امکان می‌توان جلو انداخت.

۲- انجام تعمیرات جزئی برای دستیابی به یک سطح قابل قبول از عملکرد و تعویق جایگزینی

۳- تعمیرات جامع و فوری برای بازیابی سطح سرویس طراحی

استراتژی‌ها را می‌توان از لحاظ هزینه‌های اجرایی مقایسه نمود. به طور عادی هزینه‌های ناشی از ایجاد تأخیر در ترافیک از هزینه‌های واقعی بیشتر خواهد بود.

تصمیم‌گیری در این حوزه بسیار مشکل می‌باشد زیرا موارد زیادی از عدم اطمینان در مورد چگونگی گسترش خرابی یا دامنه تعمیرات مؤثر، وجود دارد. باید در نظر داشت که تکنولوژی تعمیرات به سرعت رو به بهبود است، بنابراین تعویق فعالیت‌ها بدون کاهش ضرایب ایمنی، در بعضی مواقع ممکن است اقتصادی باشد.

هنگامی که روشهای تعمیر و مرمت ارزیابی و بررسی می‌شوند، در نظر گرفتن مهارت‌ها و تخصص‌هایی که از قبل در این حوزه در یک کشور مشخص وجود دارد، حایز اهمیت خواهد بود. چنانچه از روشهای جدید یا ناشناخته استفاده شود، درصد ریسک بیشترین مقدار است. به خصوص در مواقعی که از روشهای جدید استفاده شود.

در بیشتر موقعیت‌ها، انجام آزمایش‌های اولیه که منجر به کسب اطلاعات تازه‌ای درباره روش مورد نظر و مناسب بودن آن برای پل می‌شود، بسیار سودمند خواهد بود و می‌توان بدین وسیله پیشنهادهای خوبی را برای بهبود مرحله عملیاتی عنوان نمود.

برنامه‌ریزی برای بودجه باید با در نظر گرفتن مسائل مذکور و مناسب‌ترین ارزش پول در بلندمدت صورت گیرد.

۵-۵- چالش‌های آینده

۵-۵-۱- نیاز به پیش‌بینی

در برخی کشورها، نگهداری روتین پلها، با هدف دستیابی به عمر بهره‌برداری ۱۰۰ سال انجام می‌شود. پایه‌های پلها با کیفیتی ساخته می‌شوند که حداقل یکبار جایگزینی روسازه پل بدون جایگزینی پایه‌ها، میسر باشد. نیاز به جایگزینی روسازه بنا به دلایلی ممکن است ضروری باشد دلایلی همچون پاسخگو نبودن به حجم افزایش‌یافته ترافیک (منسوخ از لحاظ کاربری)، عدم تحمل بارهای افزایش‌یافته (نارسایی سازه‌ای) یا ضعف سازه‌ای ناشی از خوردگی آرماتورها.

در مرحله طراحی مفهومی، در مورد احتمال افزایش ظرفیت مسیر در آینده بایستی به زیرسازه توجه زیادی معطوف نمود. با کاربرد مصالح مناسب در ساخت‌وساز و اعمال محافظت‌های لازم و ایجاد تأخیر در زوال مصالح، باید از دوام مصالح مصرفی اطمینان حاصل نمود.

۵-۵-۲- تفاضاهای ترافیکی آینده

در سالهای اخیر تقریباً در تمام کشورهای عضو، حجم ترافیکی همانند بارهای محوری افزایش یافته است و این تغییر و تحولات همچنان ادامه دارد. انواع جدید محورها مانند "tridem axles " و انواع جدید چرخها مانند "super single wheel" ظاهر شده‌اند. تحقیقات در مورد کاهش پتانسیل فرسودگی سریع راهها و پلها در حال انجام است. همچنین حمل‌ونقل دریایی به تدریج سهم بیشتری از کل حمل‌ونقل را به خود اختصاص می‌دهد.

در جهت عملکرد ایمن حمل‌ونقل جاده‌ای در کشورهای عضو که راهها در معرض یخ و آب‌شدگی مکرر قرار دارند، در فصل زمستان در مواقع لازم روی سطح آنها نمک‌پاشی می‌شود. این نمک ممکن است از روی عرشه از طریق دزرهایی که به خوبی آب‌بندی نشده‌اند به زیرسازه نفوذ کند و باعث خوردگی آرماتورها گردد. نمک پاشیده‌شده روی سطح جاده به همراه آب یا بخار تولید کلراید می‌کند و باعث اضمحلال کوله‌ها و پایه‌ها می‌شود. برای اینکه بتوان کوله‌ها و پایه‌ها را از این آلودگی کلرایدی مصون نگه داشت تعدای از کشورهای عضو آب‌بندی تمام درزها در روسازه پلها را ضروری می‌دانند پانلهای عرشه و دیگر قسمتهایی که در معرض خطر هستند را از جنس ضد آب در نظر می‌گیرند.

علاوه بر این در کشور انگلستان ضوابطی برای حذف یا حداقل نمودن تعداد درزها در پلهای جدید وجود دارد. نرده‌های محافظ برای پایه‌هایی که در معرض برخورد وسایل نقلیه می‌باشند، برای محافظت کاربران راه مورد نیاز می‌باشد. در مواردی که پل بر روی آبراهه‌ای که از آن کشتی عبور می‌کند ساخته شده باشد، پیش‌بینی سپر محافظ برای جلوگیری از برخورد کشتی با پایه کمک بزرگی خواهد بود. در مواردی تصادفاتی روی داده است که پس از برخورد کشتی با پایه، پل به طور کامل تخریب شده است. در بسیاری از کشورها، پایه‌های پلهایی را که برفراز آبراهه قرار دارند را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که در برابر ضربه ناشی از برخورد کشتی مقاوم باشند، اگرچه به طور عادی پیش‌بینی وسایل محافظتی اضافی در این موارد لازم خواهد بود.

در سال ۱۹۸۰ برخورد کشتی با پل Tjörn واقع در ساحل غربی سوئد، منجر به تخریب پل و کشته شدن ۸ نفر شد. پس از این واقعه فهرست چنین پلهایی که در معرض این خطر قرار داشتند تهیه شد و در ادامه پایه این پلها و بسیاری از پلهای واقع در کشورهای شمال اروپا مسلح گردیدند و نتیجه گرفته شد که در نظر گرفتن سپر محافظ و کانالهای هدایت‌کننده و علائم راهنمایی در مسیر، برای محافظت پایه‌های پل در آبراهه‌ها ضروری می‌باشد.

۵-۵-۳- ملاحظات شرایط محیطی

تقاضا برای نگهداری و بهبود محیط زیست رو به افزایش است. لذا این موضوع در مورد ساخت و به طور خاص تعمیر و مرمت پلها، با توجه به مصالحی که در آنها استفاده شده، نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

برای مثال استفاده از تولیدات مشتق از اپوکسی به شدت محدود شده است و یا تحت شرایط بسیار دشوار و در بعضی موارد تنها به وسیله افرادی که آموزش دیده‌اند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در بسیاری از کشورها رنگ کردن سازه‌های فولادی با استفاده از بعضی رنگهای سنتی مانند اکسید قرمز سرب ممنوع می‌باشد.

هنگامی که تمیز کردن سطح فولاد یا بتن به روش پاشیدن با فشار یک ماده بر روی سطح آن انجام می‌شود، باید از ورود مواد زاید شامل تراشه‌ها به داخل منابع آبی جلوگیری نمود. هنگامی که تخریب بخشی از بتن زیرسازه درون آب صورت می‌گیرد، باید با ایجاد موانعی از وارد شدن مواد زاید بتن به داخل آب جلوگیری نمود.

سیستمهای رنگ‌آمیزی برپایه آب[1] برای محافظت از سازه‌های فولادی در برابر خوردگی در حال توسعه می‌باشند اما در حال حاضر دستیابی به مقاومت و پایایی در برابر هوا برای سیستمهای رنگ‌آمیزی موجود دشوار است.

از جنبه زیست‌محیطی، قرار دادن ستونهای پل درون آبراهه نیازمند توجهات خاصی می‌باشد. طراحی پل Sound بین سوئد و دانمارک، مطالعات گسترده زیست‌محیطی را به دنبال داشته است. طبق نظر کارشناسان محیط زیست، پایه‌های پل، جریان آب شور را از kattegatt به بالتیک محدود می‌کنند و این موضوع بر حیات زیر آب تأثیر خواهد گذاشت. چنانچه برای جبران سد معبر به وجود آمده توسط ستونها، لایروبی یا خاکبرداری زیرآبی انجام شود، باز هم این کار آسیب‌رسان خواهد بود زیرا ادعا شده است که این کار باعث تولید ابرهایی از نمک در داخل آب خواهد شد که زندگی گیاهی زیر آب را به مخاطره خواهد انداخت.

۵-۵-۴- محدودیت‌های فنی

مسایلی همچون شرایط دشوار مربوط به فونداسیون ممکن است راه‌حلهای فنی پیشرفته‌ای را لازم گرداند. به لطف روش‌های مدرن ساخت‌وساز، در ساخت زیرسازه‌ها محدودیت‌های فنی کمی وجود دارد اما هزینه‌ها بالا می‌رود زیرا از راه‌حلهای پیچیده‌ای برای حل مسایل مربوط به شرایط سخت زمین استفاده می‌شود. المانهای بتن مسلح در پلها، مقاومت اولیه مورد انتظار را در برابر اثرات محیطی نخواهند داشت زیرا آنها در معرض حملات کلرایدی قرار دارند. چاره‌جویی برای حل این معضل بزرگ نیازمند افزایش هزینه‌های در نظر گرفته شده برای امور نگهداری می‌باشد.

1- Water Based Paint Systems

۵-۵-۵- جنبه‌های اجتماعی ـ اقتصادی

هنگامی که به جهت تعمیر یک پل، ترافیک عبوری بسته می‌شود، هزینه‌های اتلاف وقت و ایجاد تأخیر برای کاربران راه بسیار زیاد می‌باشد زیرا تعمیر پل کاری وقت‌گیر می‌باشد. تعمیر پلهای اصلی به خودی خود نیازمند بودجه زیادی است که اغلب از بودجه ملی تأمین می‌شود و این بودجه بین بخش‌های مهم مانند تأمین اجتماعی، آموزش و پرورش، بخش‌های نظامی و ... تقسیم می‌شود. بسیاری از کشورها هزینه‌های مربوط به پروژه‌های پلها را با بازگشت سرمایه از طریق پرداخت مستقیم کاربران راه تأمین می‌کنند.

۵-۶- پیشنهادات

اولین اولویت را باید جلوگیری از فروریزش سازه‌ای و حصول اطمینان از سرویس‌دهی و صرفه اقتصادی در نظر گرفت. به زیرسازه‌های پل باید به عنوان اعضای با عمر بلندمدت نگریست و با این دید امور نگهداری آنها را انجام داد. ارزیابی تأثیر شرایط محیطی و ظرفیت باربری سازه پل، نیازمند یک برنامه کامپیوتری می‌باشد تا به وسیله آن نحوه گسترش آسیب‌ها، نیازهای آتی و اولویت‌بندی لازم ثبت و پی‌گیری شود. همچنین حصول اطمینان از اطلاعات آماری و تجربیات به دست آمده از راهها، از موارد با اهمیت می‌باشد.

توسعه استراتژی‌ها یا ایجاد تغییرات در آنها باید با ارزیابی کل سازه همراه باشد. نباید اتفاقی را که برای یک قسمت خاص از سازه در حال رخ دادن است، بزرگنمایی نمود و به دنبال آن، دید کلی از سازه را از دست داد. منشاء حیاتی در دست‌یابی به این اهداف، وجود پرسنل با تجربه و آموزش‌دیده با سرمایه کافی می‌باشد که این وظایف مهم را به انجام برسانند.

۵-۷- مراجع

1. OECD. ROAD RESEARCH (1981). Bridge maintenance. OECD. Paris .
2. OECD. ROAD RESEARCH (1983). Bridge rehabilitation and strengthening. OECD. Paris .
3. OECD. ROAD TRANSPORT RESEARCH (1992). Bridge management. OECD. Paris.
4. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1985). Bridge Designs to Reduce and Facilitate Maintenance and Repair. NCHRP, Synthesis of Highway Practice No.123. Washington D.C .
5. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1986). Cost _ Effective Bridge Maintenance Strategies. Volume 2, Guidelines and Recommendations. FHWA _ RD _ 86 _ 110. Washington D.C .
6. INVESTIGATIVE RESEARCH COMMITTEE ON DURABILITY OF STEEL BRIDGES (1993). Manual of maintenance of steel bridge structures. Hanshin Expressway Administration and Technology Center. Osaka.

۶- فعالیت‌های تحقیقاتی و نیازها

۶-۱- دیدگاه

مطالب این فصل محدود به نیازهای تحقیقاتی مربوط به روش‌ها و فرآیندهای تعمیر زیرسازه پلها می‌باشد. علاوه بر شناخت روش‌ها و مصالح لازم برای انجام تعمیرات پلها، نیاز به پیشرفت در فناوری تعمیر زیرسازه‌ها روز به روز بیشتر می‌شود. این موضوع در برگیرنده سایر حوزه‌های تحقیقات و فناوری که در گزارش‌های قبلی OECD مطرح شدند، شامل بازرسی، ظرفیت باربری، نگهداری، بهسازی و مقاوم‌سازی نیز می‌باشد. موضوع مهم در مسایل تعمیراتی، شناخت منشاء و فرآیند به وجودآورنده آسیب و خرابی می‌باشد. همان طور که در فصل دوم بحث شد، منشاء خرابی شامل آب‌شستگی و ناپایداری جریان آب، حرکات شدید زمین (زمین‌لرزه)، اضمحلال و فساد مصالح می‌باشد. قدم اول در تعمیر، ارزیابی شرایط می‌باشد، بدین معنی که مسأله یا وضعیتی که نیازمند تعمیر می‌باشد، به خوبی شناخته شود. در بعضی مواقع مسأله موجود مرموز و شناسایی آن مشکل است. هنگامی چنین مسأله‌ای کشف می‌شود نمی‌توان بلافاصله یک طرح عملی برای تعمیر آن ارایه نمود. لذا باید یک چنین مسایلی مانند دگرگونی بستر آبراهه، خوردگی یا اضمحلال المانهای زیرسازه بخوبی کالبد شکافی شوند. اما در بعضی موارد هم ممکن است مسأله موجود کاملاً آشکار بوده و با یک نرخ ثابت افزایش یابد که ما را وادار می‌سازد نسبت به آن عکس‌العمل نشان دهیم، مانند آسیب‌های وارده به تکیه‌گاهها و تغییر شکل تدریجی خاک زیر فونداسیون. گاهی نیز ممکن است مسأله به طور ناگهانی و فاجعه‌بار اتفاق افتد، مانند زلزله و آب‌شستگی. آب‌شستگی موضعی پایه‌هایی که روی جریان آبرفتی قرار دارند، نیازمند مطالعه ترکیبی مسایل مختلف در ارزیابی شرایط موجود می‌باشد زیرا آب‌شستگی یک فرآیند دینامیک می‌باشد. بدین ترتیب که در اثر آب‌شستگی حفره‌هایی به وجود می‌آید و این حفره‌ها در شرایط سیل دوباره پر می‌شوند. لذا بازرسی‌ها و انجام اقدامات در یک بازه زمانی که جریان آب کم است، ممکن است گمراه‌کننده باشد.

استراتژی‌های درجه‌بندی شدت آسیب‌ها و ضرورت انجام عملیات تعمیر بخوبی تعریف نشده‌اند و اغلب به طور مقایسه‌ای و مرزبندی مشخص می‌شوند. در برآورد شدت آسیب به آسانی اشتباه می‌شود زیرا به جای آنکه اساس فرآیند رخ داده، نرخ گسترش و سرنوشت نهایی آن شناخته شود، اغلب به وضعیت ظاهری زیرسازه، المان / آسیب توجه می‌شود. در نظر گرفتن صرفه اقتصادی تعمیرات و اجرای اقدامات خنثی‌کننده به جای جایگزینی پل، نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. همان طور که قبلاً بیان شد، آنالیز اقتصادی هرگونه استراتژی تعمیر ضروری است. تعمیر همیشه یک گزینه مؤثر برای یک طبقه خاص از آسیب‌ها نیست. برای آب‌شستگی و زلزله راه‌حل معمول بازسازی یا جایگزینی می‌باشد. مقاوم‌سازی و محافظت به عنوان اقدامات خنثی‌کننده، در پیش‌بینی خطرات نیز می‌تواند به عنوان یک گزینه برای تعمیر بکار گرفته شود، البته چنانچه خطر احتمالی به اندازه کافی باشد. جای آن دارد که در اینجا هشداری را از گزارش‌های قبلی OECD تکرار کنیم، انجام تعمیرات براساس استراتژی نادرست و بکارگیری روش‌ها و مصالح نامناسب شرایط موجود را بدتر خواهد کرد.

برای پلهایی که هیچ اطلاعاتی در مورد نوع و عمق فونداسیون آن در دست نیست و اسناد طراحی آن نیز موجود نمی‌باشد، تصمیم‌گیری در مورد تعمیر و محافظت آنها مسأله‌ای بحرانی است. این موضوع باعث محدود شدن

ارزیابی‌های مهندسی، ارزیابی فرآیندها و عوامل مؤثر در ایجاد آسیب‌ها، ارزیابی شرایط موجود و تصمیم‌گیری در مورد عملیات تعمیراتی مورد نیاز خواهد شد.

۶-۲- فرآیندهای ایجاد آسیب

برای شناخت و پیش‌بینی فرآیند وارد آمدن آسیب به زیرسازه پلها، نیاز به تحقیقات می‌باشد. اولین گام برای شناخت فرآیندهای مؤثر، اندازه‌گیری آنها می‌باشد. توسعه ابزار قابل اعتماد برای اندازه‌گیری این فرآیندها ممکن است نیازمند تحقیقات گسترده‌ای باشد. مدلهای شبیه‌سازی فرآیند به صورت فیزیکی یا عددی باید توسعه یابند تا بتوان از طریق آنها وضعیت موجود را مشخص نمود و سرنوشت نهایی شرایط آسیب و خرابی را برآورد کرد.

۶-۲-۱- آب‌شستگی و ناپایداری جریان آب

اغلب تخریب‌های فاجعه‌بار پلهایی که روی آبراهه احداث شده‌اند در اثر آب‌شستگی موضعی پایه‌ها و کوله‌ها، آب‌شستگی در اثر تنگ شدن راه عبور سیل به وسیله پایه‌های پل، ناپایداری جریان در اثر اضمحلال یا دگرگونی کف آبراهه روی می‌دهد. این فرآیندها به گونه‌ای مطلوب شناخته نشده‌اند تا بتوان با درجه بالایی از اطمینان آنها را مدل نمود. بسیاری از روش‌های پیش‌بینی براساس نتایج تجربه‌های آزمایشگاهی می‌باشند زیرا اطلاعات واقعی محدودی برای تایید آنها در دسترس می‌باشد. تحقیقات پایه‌ای گسترده‌ای برای اندازه‌گیری، شناخت و مدلسازی این فرآیندها مورد نیاز است. راهبردهای موقتی در مورد آب‌شستگی در اثر فشار جریان آب، هنگامی که سطح آب با فولاد روسازه تماس می‌یابد و همچنین برای آب‌شستگی کوله‌ها لازم می‌باشد. طراحی اقدامات عملی لازم برای مقابله با آب‌شستگی نیز مورد نیاز می‌باشد.

۶-۲-۲- زلزله

برای شناخت فرآیند فیزیکی و پاسخهای سازه در برابر حرکات شدید زمین، نیاز به تحقیقات می‌باشد. تحقیق روی توزیع فضایی تشدید حرکات زمین در حوزه‌های آبرفتی، از زمینه‌هایی است که بایستی در مورد آن مطالعات فراوانی انجام داد. جهت، بزرگی و فرکانس حرکات شدید زمین در فواصل کوتاه مکانی، به عنوان تابعی از شکل لایه زیرین بستر سنگی، به طور قابل ملاحظه‌ای فرق می‌کند. برای محافظت پلها از اثرات تشدیدیابنده زلزله می‌توان آنها را در جهت محورهای مورد انتظار مقاوم‌سازی کرد. حوزه‌های دیگری که تحقیق در مورد آنها مفید خواهد بود شامل بزرگی و توالی تکرار وقوع حرکات شدید زمین می‌باشد.

زلزله اخیر لوماپریتا بار دیگر خطر خاکهای آبرفتی و ضعیف تحت بارهای لرزه‌ای را پر رنگ نمود. برای تعیین روش‌های بهتر تخمین حساسیت خاک نسبت به بارهای لرزه‌ای و بهسازی یا اصلاح فونداسیون‌های سازه‌ها در جهت کاهش یا حذف خطر روانگرایی، نیاز به تحقیقات بیشتری می‌باشد.

۶-۲-۳- نشست و تغییر شکل تدریجی خاک زیر فونداسیون

مدلهای ژئوتکنیکی از فرآیندهای مربوط به نشست و حرکات تدریجی خاک زیر فونداسیون‌ها بسیار پیچیده و وابسته به محل می‌باشند. برای پیش‌بینی نرخ و میزان نهایی حرکت فونداسیون نیاز به مطالعه می‌باشد.

۶-۲-۴- خوردگی

خوردگی و اضمحلال یک فرآیند پیوسته می‌باشد. آسیب‌هایی که در اثر خوردگی به وجود می‌آید اتفاقی نبوده و اغلب بحرانی شناخته نمی‌شوند، اگرچه هزینه‌های زیادی را به دنبال خواهند داشت. یک برنامه تحقیقاتی چند جانبه بر روی نحوه گسترش سلولهای خوردگی و نرخ و میزان گسترش نهایی خوردگی و اضمحلال ضروری به نظر می‌رسد.

در تعدادی از فونداسیونهایی که در زیر سطح آب دریا بنا شده‌اند، خوردگی آرماتورها شناسایی شده است. این نوع خوردگی معمولاً هیچ‌گونه آثار عینی را در سطح بتن به دست نمی‌دهد زیرا کمبود اکسیژن و شرایط رطوبتی، خوردگی کمی را تولید می‌کند. برای توسعه آزمایشهای غیر مخرب برای پیش‌بینی نرخ و گسترش این نوع خرابی نیاز به تحقیقات می‌باشد.

۶-۳- ارزیابی شرایط موجود

شناخت آسیب و ارزیابی شرایط موجود، علت و میزان گسترش آسیب، از جمله اقدامات اولیه برای گسترش یک استراتژی کارآمد برای تعمیر می‌باشد. تعریف طبقه‌بندی‌های مشخص خطرات و نحوه شکست به صورت فاجعه‌بار و شکست ناگهانی، شک کمتری را در مورد وقوع آسیب بجای می‌گذارد. چه بسا در هنگام شکستهای فاجعه‌بار، اغلب اطمینانی در مورد ارزش اسقاط سازهٔ باقیمانده وجود ندارد. ارزیابی شرایط موجود در مورد خطراتی که در اثر آسیب‌هایی که در درازمدت به سازه وارد شده‌اند و منجر به شکست می‌شود، کمی مبهم است. به عنوان مثال می‌توان به خرابی‌هایی که در زمان طولانی در اعضای سازه اتفاق افتاده (به ویژه در جاهایی که از دید خارج و یا در بازرسی‌ها قابل دید نیستند) اشاره کرد. دستورالعمل‌ها و تحقیقات اضافی بر روی ارزیابی شرایط موجود برای اغلب مدلهای خرابی و شکست مورد نیاز می‌باشد. همچنین روش‌های دقیق بیشتری، بر پایه کامپیوتر برای آنالیز استاتیکی اعضای دچار اضمحلال و خوردگی، شامل استفاده از روش‌های احتمال برای مشخص نمودن بارها و مقاومت مصالح، برای پیش‌بینی و برآورد عمر باقیمانده پل مورد نیاز می‌باشد.

۶-۳-۱- NDE/NDT (تجهیزات غیرمخرب/ آزمایشهای غیرمخرب)

این موضوع کمی گسترده‌تر بوده و با دیگر مباحث تحقیقاتی مربوط به پل تداخل دارد. یک نیاز برای نظارت جامع بر پلها وجود دارد و آن عبارتست از یک ابزار نسبتاً مستقیم برای کنترل شرایط سازه و مشخص نمودن محل آسیب‌ها. این نیاز، هم در مورد زیرسازه و هم روسازه پلها می‌باشد. صنعت هوا- فضا کارهای پایه‌ای زیادی را در این مورد راهبری کرده است اما تعداد کمی از آنها برای کاربرد مستقیم در مورد پلها مناسب هستند. مطالعات گسترده‌ای در

مورد استفاده از ابزار مختلف، شامل: تداخل سنجی[1]، مادون قرمز، فیبر نوری، اولتراسونیک، رادار نفوذکننده و دیگر فناوریها، باید با دیدگاه تطابق دادن آنها با پلها بکار گرفته شوند. این کار به میزان زیادی بازرسی، نظارت و تعمیر پلها را تسهیل خواهد کرد.

ارزیابی غیر مخرب و روش‌های همراه با آزمایش، به خصوص در مواردی که آسیب‌ها قابل رویت نمی‌باشند و یا زیرسازه برای یک ارزیابی کافی در دسترس نمی‌باشد، بسیار مهم است. همچنین تحقیقات در مورد خطرات و مدهای شکستی که افزایشی بوده یا ارزیابی شرایط آنها که مشخص‌کننده نیاز به تعمیر می‌باشد مشکل است، ضروری به نظر می‌رسد. طبقه‌بندی‌های خاصی از تجهیزات غیر مخرب برای کارهای زیر آب و در مواقعی که قالب‌ها و تجهیزات ساخت در محل باقی گذاشته می‌شوند، مورد نیاز می‌باشد. امروزه تکنیک‌های ژئوفیزیکی برای مشخص نمودن شرایط خاک زیرین و مشخصات فونداسیون‌های مشکوک ابداع شده‌اند و این موضوع نیز زمینه پرباری برای انجام تحقیقات می‌باشد.

۶-۳-۲- روش‌های مستقیم

اغلب مشاهده المانهای نمایان فونداسیون برای اطلاع مهندس از حرکات فونداسیون کافی می‌باشد. تعیین اینکه فونداسیون از مقدار کنونی بیشتر حرکت خواهد کرد یا حرکت آن تا نقطه شکست ادامه خواهد یافت، آسان نیست. برای ارزیابی مناسب شرایط فونداسیون، نیاز به روش‌هایی برای پیش‌بینی خزش زیر پی و نشست آن می‌باشد.

۶-۳-۳- شرایط محیطی

عملیات تعمیر زیرسازه پلها کار دشواری است زیرا محیط کاری سختی دارند و به همین دلیل تحقیقات و روش‌هایی باید انجام گردد تا راهکارهای جدیدی به دست آید. سختی کار بیشتر مرتبط با موارد زیر می‌باشد:

- **جریان شدید آب**

جریان شدید آب در بسیاری از رودخانه‌ها مانع از آن می‌شود تا غواصان بتوانند به راحتی عملیات بازرسی فنی و یا تعمیرات زیرسازه‌ها را انجام دهند. تجهیزات و روش‌هایی مورد نیاز است که این امکان را برای غواصان فراهم سازد تا آنها بتوانند زمان بیشتری برای عملیات در زیر آب برای تعمیر و حفاظت زیرسازه‌ها اختصاص دهند.

- **قدرت دید**

در بیشتر رودخانه‌ها قدرت دید در زیر آب بسیار محدود می‌باشد. از این رو در بسیاری از موارد غواصان از قوه لامسه خود برای عملیات تعمیر و بازرسی استفاده می‌کنند. با استفاده از تکنیک‌ها و روش‌های جدید می‌توان روش‌های بازرسی، تعمیر و ساخت را در جاهایی که قدرت دید محدود می‌باشد، افزایش داد. چراغ‌های پرنور،

1- Interferometry

دوربین‌های حساس، اسکنرهای صوتی و لیزری و وسایل مشابه، به طور مستقیم و غیر مستقیم قدرت دید در محیط‌های کم نور زیر آب را افزایش داده‌اند.

- **خطرات محیط کار**

قدرت دید کم، خستگی غواص، جریان شدید آب، اجسام معلق و در حال حرکت، عوامل بیماری‌زا، ماهی‌ها و جانوران خطرناک مانند مارماهی‌ها، همگی از جمله عوامل خطرناک و مشکل‌زا در محیط‌های کاری زیر آب می‌باشند. بنابراین تحقیقات برای دستیابی به روش‌هایی به منظور کاهش اینگونه خطرات مورد نیاز می‌باشد.

- **مواد و مصالح خطرناک و سمی**

گاهی اوقات استفاده از روش‌هایی که شامل مواد و مصالح خطرناک و سمی می‌باشد در طول مراحل تعمیر ناگزیر می‌گردد. حتی گاهی مواقع در خود آب ممکن است مواد خطرناک و سمی وجود داشته باشد. بنابراین باید تدابیری برای داشتن یک محیط کاری ایمن به کار برده شود.

- **نقل و انتقال رسوبات**

در زمان طغیان رودخانه‌ها معمولاً مواد ته‌نشین شده و رسوبی به حرکت در می‌آیند و پس از آرام شدن سیلاب مجدداً ته‌نشین می‌گردند. آبشستگی نیز سوراخ‌هایی را در پایه‌ها ایجاد می‌کند که با آرام شدن سیلاب، مجدداً حفره‌ها پر می‌شوند و به همین دلیل از دید پنهان می‌مانند. بنابراین باید روش‌هایی اتخاذ گردد تا بتوان به صورت دایمی مراحل رسوب‌گذاری را نظارت کرد و مورد بررسی قرار داد.

۶-۴- تعمیر

روش‌های تعمیر وسیستمهای حفاظتی برای دامنه وسیعی از مخاطرات مورد نیاز می‌باشد که عمده‌ترین آنها عبارتند از: زمین‌لرزه‌ها، خوردگی، تخریب، پوسیدگی، خزش خاک زیر پی، فرسایش فیزیکی و دیگر انواع خسارات. اقدامات پیشگیرانه و حفاظتی نباید در تحقیقات مربوط به روش‌های تعمیر زیرسازه‌ها مورد کم توجهی قرار بگیرد.

۶-۴-۱- روش‌های دسترسی و ساخت

در مباحث تعمیراتی زیرسازه پلها، دسترسی به بخشهای زیر سطح آب از جمله نکاتی است که حتی از مباحث گفته شده در قسمت قبل، مهمتر می‌باشد. عمده‌ترین عامل بازدارنده عملیات تعمیر زیرسازه‌ها شدت زیاد جریان آب در اطراف پایه‌هاست. برای وارد شدن غواصان وجابجایی و حرکت و کار در محیط پر فشار اطراف پایه‌ها، نیاز به وسایل مخصوصی است و باید تحقیقات لازم در جهت ساخت روبات‌ها و ماشین‌آلات ساختمانی مفید انجام گیرد. از جمله عوامل بازدارنده دیگر، حتی زمانی که شدت جریان زیادی وجود ندارد، می‌توان به آبهای عمیق اشاره کرد. تحقیقات

لازم در این زمینه، در جهت حفاظت زیرسازه در اعماق آب، بهبود و تحکیم خاک اطراف پایه‌ها و شالوده‌ها، ترمیم ترکهای شمع‌ها، سر شمع‌ها و ستونها می‌باشد.

۶-۴-۲- بهسازی مواد و مصالح

مصالح و محصولات تعمیراتی و روش‌های مربوطه، مباحث تحقیقاتی وسیعی را طلب می‌نماید. مواد و مصالح مذکور باید قابلیت چسبیدن به اعضای مرطوب سازه‌های آبی و همچنین اعضای قدیمی و جدید سازه‌ها را داشته باشند و نیز بتوان از آنها برای مقاوم‌سازی اعضای پی و خاک استفاده نموده و بتوان المانهای زیرسازه را از آسیب‌های آتی حفاظت نمود. پلاستیکهای فیبری مسلح (FRP) دارای آینده تحقیقاتی خوبی می‌باشند و از جمله مواردی هستند که می‌توان گفت دارای رفتار و خواص درازمدت می‌باشند. زمینه‌های تحقیقاتی بالقوه‌ای شامل استفاده از نوارهای قوی‌تر از FRP برای مسلح نمودن و یا پس‌تنیدگی، جهت افزایش مقاومت اعضا و کمینه نمودن تراکم افزایش یافته، وجود دارد. در جاهایی که نیروهای بزرگ پس‌تنیدگی خارجی مورد نیاز می‌باشد، نوارهای پرمقاومت FRP بسیار کارساز خواهد بود. کاربرد دیگر FRP در افزایش شکل‌پذیری ستونها می‌باشد. این کار باعث افزایش مقاومت، لاغری کمتر و دوام بیشتر ستون خواهد شد. برای اینکه در استفاده از محصولات جدید تعمیراتی اطمینان بیشتری حاصل گردد، نیاز به مدلهای دقیق اضمحلال مصالح در معرض محیط می‌باشد. این مدلها همچنین جهت استفاده در سیستم مدیریت پلها کاربرد زیادی دارند.

۶-۴-۳- تکنیک‌های پیشگیری و تعمیر

نیازها و زمینه‌های تحقیقاتی مربوطه می‌تواند به شرح زیر خلاصه شود:

- **آب‌شستگی**

هنگامی که پیشرفت آب‌شستگی موجب بروز خرابی و خسارت در پی‌ها و پایه‌ها شود، معمولاً خسارات وارده فاجعه‌بار خواهد بود. گاهی اوقات آب‌شستگی تا نقطه بحرانی ادامه پیدا می‌کند، به شکلی که پی به مقدار کمی دوران و یا نشست می‌کند که با دوباره ثابت کردن پی و تنظیم مجدد روسازه تعمیر انجام خواهد پذیرفت. کوله‌هایی که در اثر آب‌شستگی نشست کرده یا کج می‌شوند، به نوعی غیر قابل مرمت و ترمیم می‌شوند زیرا تأثیر این آب‌شستگی بر روی خاک جبران‌ناپذیر می‌شود. پایه‌هایی که در اثر آب‌شستگی دچار نشست می‌شوند ولی دوران قابل ملاحظه‌ای ندارند قابل تعمیر هستند.در موارد دیگر، هنگامی که آب‌شستگی به نقطه بحرانی نزدیک شده ولی منجر به آسیب ظاهری نشده است و یا در جایی که تخمین‌ها و ارزیابی‌های مهندسی نشان می‌دهد که روند آب‌شستگی منجر به خرابی می‌شود، اقدامات خنثی‌کننده و سیستمهای حفاظت‌کننده برای جلوگیری از آسیب‌های بیشتر مناسب می‌باشند. تحقیقات بر روی طبقه‌بندی‌های مختلف اقدامات لازم در برابر آب‌شستگی، در مورد آب‌شستگی موضعی، آب‌شستگی انقباضی در اثر

تنگ‌شدگی مسیل[1] در کنار سازه پل، مهاجرت جانبی آبراهه که ممکن است به حریم پل تجاوز کند و زوال آبراهه در اثر تغییرات رژیم جریان و رسوب‌گذاری، لازم می‌باشد. در گذشته اقدامات تعمیراتی کوله‌ها و پایه‌هایی که در اثر آب‌شستگی آسیب می‌دیدند، به سبب مقیاس کار و طبیعت شکننده روسازه‌هایی که به طور ساده روی تکیه‌گاه قرار می‌گیرند، محدود بوده است. امروزه روش‌های محاسباتی بهبود یافته این امکان را می‌دهد تا ازفروریزش کامل پل جلوگیری شود.

- **پی‌ها**

تقویت پی از زیر و دیگر روش‌های بهسازی و مقاوم‌سازی فونداسیون‌ها مانند کوبیدن و سفت کردن خاک، مسلح نمودن خاک، تزریق با فشار و کاربرد شمع‌های کوچک، از جمله زمینه‌های تحقیقاتی هستند که می‌توانند در جهت بهسازی و مقاوم‌سازی پی مورد توجه قرار گرفته و مفید واقع گردند.

- **زمین‌لرزه‌ها**

پیشرفت روش‌های تعمیرات زیرسازه‌های تخریب شده در اثر زمین‌لرزه حاکی از آن است که به روش‌های بهتری برای تعمیر پایه‌های R/C و PS/C نیاز می‌باشد. نکته‌ای که باید به آن توجه شود این است که مقاوم‌سازی در برابر زلزله به معنی بازسازی و رسیدن به حالت اولیه نیست، بلکه باید تدبیری اندیشیده شود تا سازه در مقابل حوادث مشابه نیز مقاوم و استوار باشد. استفاده از روش‌های جدید مستلزم استفاده از مواد و مصالح جدید، مفاهیم و اصول جدید و طراحی‌های جدید می‌باشد.

- **خوردگی**

مهمترین اولویت تحقیقاتی در زمینه کاهش احتمال خوردگی در زیرسازه پلها این است که روش‌های پیشگیری را توسعه دهیم و همچنین روش‌ها و طراحی‌هایی که در آنها خوردگی به وجود می‌آید بایستی تغییر کنند. حذف اتصالات زیادی و غیرضروری، انجام زهکشی آبراهه‌ها و تعبیه لوله‌ها و انحراف مسیر آب از جمله مواردی است که برای پیشگیری انجام می‌شود. از بین بردن خوردگی نباید تنها درباره سازه‌های موجود باشد بلکه باید برای سازه‌های جدید نیز مورد توجه قرار گیرد.

تحقیقات درباره جلوگیری از خوردگی در اثر کلراید در اولویت انجام است. در این روش ابتدا باید کلراید از روی اجزایی که قرار است تعمیر شوند، حذف شود. در این راستا، در استفاده از حذف‌کننده الکتریکی- شیمیایی کلراید از روی عرشه موفقیت‌هایی حاصل شده است ولی استفاده از این روش در زیرسازه‌ها بسیار مشکل می‌باشد. حفاظت کاتدی نیز از جمله روش‌های مفید در پیشگیری از خوردگی است. از نظر اقتصادی بودن این روش باید از آندهای با عمر طولانی استفاده گردد. در این گونه تعمیرات نیاز به تغییر در زیرسازه نیست و این موضوع یکی از نقاط قوت آن می‌باشد. روش ترمیم بتن هنوز جای کار بسیاری دارد و نیاز به روش‌های آسان‌تر محسوس است. همچنین مواد و

1- Floodway

مصالح مربوطه نیز باید بهبود یابند. همچنین تحقیقاتی درباره تعمیر خوردگی پایه‌های مسلح با اپوکسی مورد نیاز می‌باشد.

۶-۴-۴- مقاومت در برابر تغییر روش‌ها

معمولاً در بسیاری از موارد در استفاده از روش‌ها و مصالح جدید تردید وجود دارد. مواد و مصالح جدید به وسیله ارگانها و سازمان‌های مربوطه آزمایش می‌شوند تا بعد از آزمایش در لیست محصولات و مواد قابل قبول قرار گیرند. باید یک سازمان بین‌المللی در جهت تبادل اطلاعات، تجارب و محصولات مورد استفاده در بحث تعمیر و نگهداری پلها به وجود آید تا بتوان با استفاده از یک شبکه کامپیوتری، ارتباط مفیدی در جامعه مهندسان پل در سراسر جهان ایجاد نمود.

۶-۵- تحلیل و تصمیم‌گیری برای تعمیر

همیشه تعمیر بهترین و بهینه‌ترین گزینه برای یک سازه خسارت دیده نیست بلکه گاهی اوقات تعویض مناسبتر می‌باشد. تحقیقات درباره معیارهای تصمیم‌گیری منطقی و انتخاب روش‌های بهینه در مورد تعمیر و یا تعویض سازه ضروری است. تحلیل هزینه چرخه عمر پل، روش و تکنیک نوپایی است و نیاز به توسعه دارد. به هر حال عوامل و پارامترهایی از قبیل هزینه‌های مربوط به مالکیت پل، کاربران، هزینه‌ها و مخارج ناشی از تأخیر در انجام عملیات تعمیر و دیگر هزینه‌های عمومی و غیر عمومی بایستی در هزینه چرخه عمر پل لحاظ گردند.

۶-۶- جمع‌بندی

موضوع بحث در این فصل، نیاز به تحقیقات جهت ارتقای روش‌های تعمیر زیرسازه پلها بود. همچنین درباره زمینه‌های تحقیقاتی لازم برای توسعه روش‌های مستقیم تعمیر و تسهیل در تعمیر بحث گردید (به عنوان مثال درباره روش‌های آزمون و تست‌های غیر مخرب). به هر حال یکی از روش‌های دستیابی به تکنیک‌های تعمیر زیرسازه‌ها، جلب مشارکت و حمایت بین‌المللی برای انجام تحقیقات جدید در این زمینه می‌باشد.

۷- نتایج کلیدی تحقیقات

۷-۱- خلاصه

در فصل اول بر اهمیت زیرسازه پل تأکید شد و همچنین ارزش و اهمیت برنامه‌های بازرسی فنی، تعمیر، حفظ و نگهداری از المانهای زیرسازه در وضعیت مطلوب برای دستیابی به یک ایمنی پایدار در کل شبکه راه‌های کشور بیان گردید. برنامه و ماموریت کارشناسان علمی OECD، جمع‌آوری علل و عوامل ایجاد آسیب و خسارت به اجزای زیرسازه پل و روش‌ها و تکنیک‌های تعمیر و بازسازی مورد استفاده در کشورهای عضو OECD بود. یافتن روش بهینه و مؤثر تعمیر زیرسازه براساس شرایط خاص هر پل، مبحث اصلی این تحقیق را شامل می‌شود. مباحث دیگر این تحقیق مربوط به روش‌های ارزیابی و بازرسی فنی، روندهای مدیریتی و تکنیک‌های نگهداری می‌باشد.

۷-۱-۱- آسیب‌های معمول و عوامل به وجود آورنده آنها

اطلاعات به دست آمده از کشورهای عضو OECD که خرابی و نقص زیرسازه پل‌ها در آنها مورد بررسی قرار گرفت، نشان داد که می‌توان عوامل مؤثر ایجادکننده آسیب‌ها را به چهار دسته طبقه‌بندی کرد:

۱- عوامل زمینی
۲- عوامل آبی
۳- بارهای خارجی
۴- اضمحلال

عامل زمینی که باعث نشست خاک و زیر پی می‌شود در تمامی کشورها وجود دارد و گزارش می‌شود. دیگر عوامل زمینی مانند زمین‌لرزه، روانگرایی و زمین‌لغزه بسیار کمتر اتفاق می‌افتند، گرچه هنگامی که این حوادث اتفاق بیفتند، معمولاً اثرات فاجعه‌باری دارند.

بیشتر گزارش‌ها حاکی از آن است که آبشستگی به عنوان مهمترین عامل مخرب در زیرسازه پل‌ها می‌باشد. از دیگر عوامل آبی که تأثیر کمتری دارند می‌توان به سیلاب‌ها، ناپایداری جریان رودخانه‌ها و همچنین جزرومد اشاره کرد. برخورد کشتی با زیرسازه، گرچه از عوامل نادر به شمار می‌آید ولی به عنوان یک بار خارجی، در صورت وقوع آن نیاز به تعمیرات اساسی می‌باشد. گزارش‌ها نشان می‌دهند که یخ و توده‌های یخی در کشورهایی که زمستانهای بسیار سرد دارند، یک مشکل اساسی است. دیگر بارهای خارجی ناشی از باد، ترافیک، دما و همچنین زباله‌ها نیز تأثیر کمی بر روی زیرسازه پل‌ها دارند.

نتایج نشان می‌دهد که شکل، طرح و جزییات روسازه به عنوان عاملی از عوامل محیطی، بر خرابی زیرسازه تأثیرگذار است و به عبارت کلی‌تر، کارایی زیرسازه بستگی به کیفیت کل سازه و ساختمان پل دارد. استفاده از ضدیخ تأثیر مخربی بر زیرسازه‌های فولادی و بتنی دارد. همچنین زیرسازه‌های چوبی، به خصوص آنهایی که در نواحی دریایی قرار دارند، به رطوبت و جانوران (چوب‌خور و سوراخ‌کن) حساس هستند. زیرسازه‌های بنایی که از قدیمی‌ترین انواع

زیرسازه می‌باشند، مقاومت و دوام خوبی را نشان داده‌اند و معمولاً بیشتر مشکلات از هوازدگی، جدایی اتصالات و درزها و یا زهکشی نامناسب شروع می‌شود.

۷-۱-۲- روش‌های بازرسی فنی

در فصل سوم یک مبحث اجرایی درباره بازرسی فنی از المانهای زیرسازه پل‌ها ارایه شده است که شامل هر دو نوع بازرسی‌های روتین و ویژه از قسمت‌ها و اجزای داخل و خارج آب و خاک می‌باشد. بازرسی از پل‌ها در بین کشورهای عضو OECD از لحاظ دفعات و نحوه انجام آن، تقریباً مشابه می‌باشد و معمولاً هر سال و یا هر دو سال یکبار انجام می‌شود.

غالباً در بازرسی روتین، داده‌ها و اطلاعات به روش دستی و با قلم و کاغذ در زمان بازدید از پل یادداشت و جمع‌آوری می‌شوند. البته در صورت استفاده از سیستم‌های مدیریت پل، روش‌های پیشرفته‌تری برای جمع‌آوری داده‌ها مورد نیاز می‌باشد. گرچه در کشورهای مذکور درباره روش‌های جمع‌آوری خودکار داده‌ها بحث نشده است ولی انواع مختلفی از تجهیزات کامپیوتری برای جمع‌آوری داده‌ها در محل، در حال آزمایش می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که روندهای استانداردی برای ثبت درجه‌بندی وضعیت در دسترس می‌باشد و این اطلاعات به مدول سیستم مدیریت پل منتقل می‌شود.

معمولا بازرسی‌های ویژه در مواقع خاص، به عنوان مثال در زمان وقوع حوادث و خسارات ناشی از وسایل نقلیه، زمین‌لرزه و یا سیلاب، انجام می‌شود. همچنین بازرسی دقیق و جزء به جزء زمانی انجام می‌گیرد که نیاز به تعیین روش‌های بازسازی برای سازه‌هایی است که محدودیت بارگذاری دارند و یا دارای طراحی مناسب نمی‌باشند.

در بازرسی‌های ویژه، از تجهیزات و روش‌های خاصی استفاده می‌شود. به عنوان مثال برای تشخیص خوردگی در آرماتورها معمولاً میزان یون‌های کلراید را اندازه‌گیری می‌کنند و به تصویر در می‌آورند و برای تشخیص ترکها از نشانگر متحرک و تکنیک فراصوتی (اولتراسونیک) استفاده می‌شود. گرچه بازرسی زیر سطح آب در کشورهای نروژ، سوئد و ایالات متحده بخشی از بازرسی‌های روتین است ولی به دلیل پیچیدگی‌های فنی و پرهزینه بودن آن، جزو بازرسی‌های رزومره در دیگر کشورها نمی‌باشد.

۷-۱-۳- روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی

کشورهای مورد مطالعه، روش‌هایی را که به منظور تعمیر و نگهداری زیرسازه پل‌های آسیب‌دیده بکار برده‌اند، عنوان نموده‌اند که در فصل چهارم رئوس و خلاصه هر روش به همراه یک مثال و تصویر مرتبط (براساس اطلاعات دریافتی) ارایه شده است. در بخشهای بعدی فصل چهارم، درباره مراحل و جزییات روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی، از جمله مصالح و تجهیزات مورد نیاز، بحث شد. علاوه بر موارد مذکور باید روش‌ها از لحاظ امکان و هزینه آنها نیز مورد توجه قرار گیرند.

همانطور که اشاره شد، نگهداری کارآمد پیش از انجام اقدامات اجرایی برای تعمیر و نگهداری سازه‌ها بسیار حایز اهمیت است. همیشه این امکان وجود دارد که در بررسی‌ها و بازبینی‌ها و تحقیقات مشخص شود که بهتر است حتی پیش از پدید آمدن نقایص و خرابی در سازه‌ها، روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی به عنوان اقدامی در جهت پیشگیری مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۱-۴- پیشنهادات و خط‌مشی‌های تعمیر و مقاوم‌سازی

گروه کارشناسان علمی OECD تدوین و ارایه یک خط‌مشی برای تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه‌ها را ضروری دانستند. در فصل پنج درباره این موضوع صحبت شده است. ایمنی، ظرفیت باربری، عوامل طراحی، بازرسی، نگهداری و مباحث اقتصادی از موارد اصلی آن می‌باشند. بی‌تردید وجود یک هدف مشخص درباره حفظ و نگهداری از زیرسازه پل‌ها از جنبه‌های مختلف حایز اهمیت است.

گرچه برنامه‌ها و فعالیت‌های مرتبط با بحث زیرسازه‌ها چه در بخش طراحی، ساخت و توسعه و چه در بخش تعمیر و مقاوم‌سازی هیچگاه به حالت ایده‌آل نخواهند رسید ولی همواره پیشرفت‌ها و نوآوری‌هایی در بخش طراحی، مصالح و روش‌های ساخت و همچنین تعمیر و نگهداری وجود دارد. به هر حال باید همیشه خط‌مشی‌ها و استانداردهای تعمیر و نگهداری در حال ارتقاء باشند.

۷-۱-۵- نیازها و فعالیت‌های تحقیقاتی

در فصل ششم درباره نیاز به تحقیقات برای پیش‌بینی خسارت به زیرسازه پل‌ها، به دلیل آبشستگی، زمین‌لرزه، نشست پی و خوردگی مصالح بحث شده است. در این راستا، دستورالعمل‌هایی برای ارزیابی شرایط و وضعیت و همچنین تخمین مقاومت مصالح و طول عمر باقیمانده مورد نیاز می‌باشد. شرایط سخت محیطی، جریان شدید آب، قدرت دید محدود و آشغال و زباله از جمله مشکلات کاری در هنگام تعمیر و مقاوم‌سازی است که به هر حال باید روش‌هایی را برای کاهش آنها بکار بست. به علاوه تحقیقات اضافی در زمینه روش‌های ارتقاء و بهبود مقاومت مصالح، اقدامات مقابله‌کننده، بهسازی، محافظت از خوردگی و تکنیک‌های نگهداری زیرسازه پلها لازم می‌باشد. ایده ایجاد یک مرکز و سازمان جهانی با دسترسی از طریق شبکه کامپیوتری، برای تبادل اطلاعات و تجربیات در مورد روش‌ها و مواد و مصالح در زمینه‌های تعمیر و نگهداری پل، در حال بررسی است.

۷-۲- نتیجه‌گیری

۱- استفاده از تجهیزات ثبت خودکار داده‌ها موجب خواهد شد تا مراحل جمع‌آوری اطلاعات در برنامه‌های بازرسی پل ارتقا یابد.

۲- مدیر پل می‌تواند با استفاده از تجهیزات پیشرفته برای شناسایی خرابی قسمت‌های داخل و خارج سطح آب، به اطلاعات دقیقتری جهت انتخاب روش تعمیر و یا استراتژی نگهداری مناسب دست یابد.

۳- روش‌های تعمیر و مقاوم‌سازی که در این گزارش ارایه شده‌اند به طور عملی و موفقیت‌آمیز در کشورهای عضو OECD مورد استفاده قرار گرفته‌اند. البته در مواردی نیز کارآیی درازمدت برخی از روش‌ها هنوز تأیید نشده است.

۴- تحقیقات، روش‌های جدیدی را برای ارزیابی زیرسازه‌ها در محیط‌ها و شرایط سخت و مشکل ارایه می‌کند. همچنین روش‌های حفاظت زیرسازه در برابر نیروها و بارهای زمینی، آبی و محیطی پیشرفت کرده‌اند.

۵- روش‌ها و تکنیک‌های فراوانی برای تبادل اطلاعات در مورد روش‌ها و محصولات مرتبط با تعمیر و نگهداری زیرسازه‌ها ارایه شده‌اند که هر یک به نوعی درصد موفقیت را افزایش می‌دهند.

۷-۳- پیشنهادات

۱- باید استفاده از تجهیزات جمع‌آوری خودکار داده‌ها در برنامه بازرسی پل معرفی و متداول گردد تا به این ترتیب دقت اطلاعات جمع‌آوری شده توسط بازرس پل بیشتر شود. این کار باعث خواهد شد تا بازرس به جای صرف وقت زیاد برای وارد کردن داده‌ها با دست، وقت بیشتری را به بازرسی عملی اختصاص دهد.

۲- باید برای تشخیص دقیقتر خرابی بخش‌های داخل و خارج سطح آب، تلاش‌های مؤثری در جهت پیشرفت تجهیزات صورت گیرد.

۳- کشورهای عضو باید روش‌های ارایه شده تعمیر و مقاوم‌سازی را امتحان کنند و از بین آنها مناسب‌ترینشان را انتخاب کرده و بکار گیرند. همچنین باید اطلاعات مرتبط با امکان، هزینه و اجرای روش‌ها فراهم شود.

۴- تحقیقاتی برای یافتن روش‌های بهتر ارزیابی زیرسازه در شرایط و محیط‌های سخت و دشوار مورد نیاز می‌باشد. همچنین باید تلاش‌هایی در جهت پیشرفت روش‌های حفاظت زیرسازه در برابر نیروها و بارهای زمینی، آبی و محیطی انجام شود.

۵- باید سازوکاری برای تبادل اطلاعات، تجربیات، روش‌ها و مواد و مصالح در زمینه‌های تعمیر و نگهداری پل برای سرویس‌دهی در سطح بین‌المللی به وجود آید.

Ministry of Roads and Transportation
Deputy of Education Research and Technology

Repairing Bridge Substructures

فهرست انتشارات

عنوان کتاب	سال انتشار		قیمت (ریال)
الف) پروژه‌های تحقیقاتی			
1. کاربرد آب و مصالح محلی چابهار برای ساخت بلوکهای ساختمانی	بهار	۸۳	۱۱/۰۰۰
2. شیوه‌های طراحی و کاربرد حفاظها و ضربه‌گیرهای ایمنی در راهها	بهار	۸۳	۱۳/۰۰۰
3. ضوابط طراحی و اجرای روسازی راه آهن بدون بالاست	بهار	۸۳	۱۴/۰۰۰
4. بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی رویه‌های بتنی و آسفالتی	بهار	۸۳	۲۷/۰۰۰
5. بررسی مسائل کمی و کیفی مصرف قیر در راههای کشور	زمستان	۸۳	۱۶/۰۰۰
6. ضوابط طراحی و اجرای آسفالت ماستیک	بهار	۸۴	۱۱/۰۰۰
7. راهنمای طراحی و ایمن‌سازی پایه علائم راه	بهار	۸۴	۱۱/۰۰۰
8. بررسی عوامل مؤثر در ارزیابی و توجیه فنی و اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی پروژه‌های راه و راه‌آهن	تابستان	۸۴	۲۴/۰۰۰
9. راهنمای طراحی واجرای سیستم زهکشی آبهای سطحی و زیرسطحی راه، راه‌آهن وفرودگاه (و نقشه‌های اجرایی)	تابستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
10. روش‌های جدید طرح مخلوط‌های آسفالتی بر اساس عملکرد و پیشنهاد روش مناسب برای کشور	تابستان	۸۴	۱۳/۰۰۰
11. راهنمای تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راهها	تابستان	۸۴	۱۸/۰۰۰
12. تسلیح خاکریز و بستر راهها با استفاده از ژئوگرید	تابستان	۸۴	۱۴/۰۰۰
13. سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل ریلی	پاییز	۸۴	۲۰/۰۰۰
14. ظرفیت باربری محوری شمعها	زمستان	۸۴	۱۷/۰۰۰
15. راهنمای تهیه مشخصات فنی، جزئیات و نقشه‌ها در پل و سازه‌های راه	زمستان	۸۴	۲۶/۰۰۰
16. آیین‌نامه نحوه بارگیری، حمل و مهار ایمن بار وسایل نقلیه باربری جاده‌ای	زمستان	۸۴	۵۰/۰۰۰
17. تثبیت شیب شیروانی خاکریزها و خاکبرداری‌ها	بهار	۸۵	۱۴/۰۰۰
18. روشهای نوین تعیین مشخصات و ارزیابی روسازی راه	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰
19. روشهای بازیافت سرد و گرم آسفالت و امکان‌سنجی اقتصادی آن در ایران	بهار	۸۵	۱۵/۰۰۰
۲۰. بررسی و ارائه روش‌های ساماندهی اخذ عوارض در آزادراههای کشور	بهار	۸۵	۲۲/۰۰۰
۲۱. معیارهای طرح مخلوطهای آسفالتی برای مناطق گرمسیر، سردسیر و شیبهای تند جاده‌ها	بهار	۸۵	۲۰/۰۰۰
۲۲. کاربرد پلیمر در بهبود خواص قیرها و مخلوطهای آسفالتی	تابستان	۸۵	۱۵/۰۰۰

ب) گزارش‌های تخصصی

۱. ممیزی ایمنی راه	تابستان	۸۲	۱۰/۰۰۰
۲. پیشنهاداتی برای آزمایش ژئوتکستایلها	پاییز	۸۲	۱۰/۰۰۰
۳. راهنماییهای سودمند برای طراحی و ساخت خاکریزهای راه	پاییز	۸۲	۱۰/۰۰۰
۴. روشها و شرایط لازم برای عملیات خاکی به منظور کاهش اثرات زیست محیطی پروژه‌های راه	پاییز	۸۲	۱۰/۰۰۰
۵. آلودگی ناشی از دی اکسید نیتروژن در تونلهای راه	پاییز	۸۲	۱۰/۰۰۰
۶. ایمنی در تونلها	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۷. مدیریت ترافیک و کیفیت سرویس	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۸. بهینه سازی شبکه‌های موجود بین شهری	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۹. بیست و دومین همایش جهانی راه پیارک	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۰. یارانه‌ها هزینه‌ها و منافع اجتماعی حمل‌ونقل عمومی	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۱. برنامه‌ریزی و بودجه در شبکه راهها	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۲. روشهای مشارکت همگانی در توسعه پروژه راه	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۳. قیمت‌های بین‌المللی سوخت (بنزین و گازوییل)	بهار	۸۳	۱۱/۰۰۰
۱۴. سیاست حمل‌ونقل اروپایی تا سال ۲۰۱۰	بهار	۸۳	۱۱/۰۰۰
۱۵. مبانی تحلیل اقتصادی	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۶. گزارش سالانه ژوئیه GRSP ۲۰۰۳	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۷. راهنمای ممیزی ایمنی راه	بهار	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۸. راهنمای فیلم‌های IRF	تابستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۱۹. انتخاب مصالح و طراحی روسازی‌های انعطاف‌پذیر برای آمدوشد و شرایط آب‌وهوایی سخت	تابستان	۸۳	۱۶/۰۰۰
۲۰. راههای دسترسی به مناطق برون شهری	تابستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۱. روشهای ساده نگهداری راه	تابستان	۸۳	۱۱/۰۰۰
۲۲. تجهیزات اتوماتیک بررسی ترک خوردگی روسازی راه	تابستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۳. ارتقاء و بهبود عملکرد داخلی راهها	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۴. تأمین مالی و ارزیابی اقتصادی	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۵. بهبود تأمین منابع مالی و مدیریت نگهداری راه	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۶. بازیافت روسازی‌های انعطاف‌پذیر موجود	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۷. حمل‌ونقل هوشمند	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۲۸. محیط زیست و پروژه‌های راهسازی	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰

۲۹. تقسیم مسؤولیت برای داشتن جاده‌های ایمن‌تر	پاییز	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۰. فرآیند تصمیم‌گیری در اعمال سیاست‌های پایدار حمل‌ونقل جاده‌ای	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۱. کیفیت خدمات جاده‌ای	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۲. روشهایی برای ارزیابی خطر وقوع زمین لغزه‌ها	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۳. روشهای ارزیابی اقتصادی برای پروژه‌های راه در کشورهای عضو پیارک	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۴. راهنمای ارزیابی سیستم‌های نگهدارنده خاک	زمستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۳۵. آشنایی با مفاهیم مدیریت روسازی	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۳۶. راهنمای انعقاد قرارداد، نحوه انتخاب و مدیریت مشاوران در فعالیت‌های مهندسی پیش از ساخت	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۳۷. تضمین کیفیت در عملیات خاکی	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۳۸. رویه‌های بتنی مسلح پیوسته	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۳۹. طبقه‌بندی تونل‌ها، دستورالعمل‌ها، تجربیات موجود و پیشنهادات	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۰. نقش مدل‌های اقتصادی و اجتماعی- اقتصادی در مدیریت راه	بهار	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۱. حمل‌ونقل ترکیبی، اقداماتی جهت تشویق به استفاده از حمل‌ونقل عمومی	تابستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۲. پیشرفت مدیریت و تأمین بودجه نگهداری راهها در افریقا	تابستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۳. برنامه ملی ایمنی ترافیک کشور ترکیه	پاییز	۸۴	۱۱/۰۰۰
۴۴. بررسی توسعه حمل‌ونقل در منطقه اسکاپ در سال ۲۰۰۳، آسیا و اقیانوسیه	پاییز	۸۴	۱۷/۰۰۰
۴۵. تبادل فناوری و توسعه	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۶. راههای دارای رویه بتنی	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۷. تجدید ساختار بخش راه	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۸. حمل‌ونقل کالا	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۴۹. گزارش سالانه ژوئن GRSP ۲۰۰٤	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۰. بکارگیری مصالح حاصل از بازیافت رویه‌های آسفالتی و بتن خرد شده در خاکریز	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۱. تراکم ترافیک در آزادراهها و بزرگراهها	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۲. کاربرد بتن غلتکی در راهسازی	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۳. راهنمای تأمین روشنایی راهها	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۴. راهسازی در نواحی بیابانی	زمستان	۸۴	۱۰/۰۰۰
۵۵. مدیریت عملکرد پلها	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰
۵۶. سیستم مدیریت ایمنی در صنعت حمل‌ونقل ریلی	بهار	۸۵	۱۲/۰۰۰
۵۷. راهنمای ممیزی سیستم مدیریت ایمنی هوایی	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰

۵۸. توسعه ابزارهای سنجش عملکرد	بهار	۸۵	۱۰/۰۰۰
۵۹. نگهداری نواحی کنار راه و زهکشی (جلد اول)	تابستان	۸۵	۳۰/۰۰۰
۶۰. تعمیر و نگهداری راههای شوسه (جلد دوم)	تابستان	۸۵	۳۰/۰۰۰
61. تعمیر و نگهداری راههای دارای رویه آسفالتی (جلد سوم)	تابستان	۸۵	۲۵/۰۰۰
62. نگهداری سازه‌ها و ادوات کنترل ترافیک (جلد چهارم)	تابستان	۸۵	۱۵/۰۰۰
۶۳. فناوری و اقدامات ابتکاری کنترل ترافیک در اروپا	تابستان	۸۵	۱۰/۰۰۰
۶۴. معرفی سیستم مدیریت ریسک	تابستان	۸۵	۱۰/۰۰۰
۶۵. تعمیر و مقاوم‌سازی زیرسازه پلها	تابستان	۸۵	۱۲/۰۰۰

ج) کتب

۱. فرهنگ جامع دریایی	تابستان	۸۳	۱۵/۰۰۰
۲. برنامه‌ریزی و طراحی فرودگاه (دو جلد)	تابستان	۸۳	۳۹/۰۰۰
۳. فرهنگ و اصطلاحات فنی و مهندسی راه	تابستان	۸۳	۱۰/۰۰۰
۴. راهنمای ایمنی راه (پیارک)	پاییز	۸۴	۱۲۵/۰۰۰
۵. فرهنگ مصور دریایی (همراه با نسخه الکترونیک)	پاییز	۸۴	۴۰/۰۰۰

د) لوح فشرده

1. نشـریات Austroads (شـامل ۱۸۶ عنـوان از نشـریات وزارت راه اسـترالیا و نیوزلند در موضوعات مختلف بصورت فایل pdf)	پاییز	۸۳	۳۴/۵۰۰
2. فیلم‌های آموزشی راه IRF (شامل ۱۰۷ فیلم در ۴۲ لوح فشرده)	زمستان	۸۳	۳۴/۵۰۰ (قیمت واحد)
3. نشـریات SWOV (شـامل ۱۳۸ عنـوان از نشـریات SWOV, VTI , DRI NCHRP, در موضوعات مختلف بصورت فایل pdf)	بهار	۸۴	۳۴/۵۰۰
4. آیین‌نامه ایمنی راهها (مجموعه هفت جلـدی منتشـر شـده از سـوی سـازمان مدیریت و برنامه‌ریزی)	پاییز	۸۴	۴۷/۵۰۰

Ministry of Roads and Transportation
Deputy of Education Research and Technology

Repairing Bridge Substructures

ض