بسم الله الرحمن الرحيم

٣١٢٠٢

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه از آنجا

۱۳۷۹ /۶/ ۳۰

دانشگاه علوم و فنون مازندران
دانشکده فنی

گروه مهندسی عمران (سازه)

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه

عنوان

بررسی علل نشست پلهای صدمه‌دیده استان مازندران
در اثر آبشستگی کف رودخانه‌ها

استاد راهنما: آقای دکتر علی بیگی

استاد مشاور: آقای دکتر مفید گرجی

7699

نگارش

علی ملازاده شفیعی

سال ۱۳۷۶

۳۱۲۰۲

تشکر و سپاس

در اینجا لازم است از زحمات استاد ارجمند و گرامی جناب آقای دکتر علی‌بیگی کمال تشکر و قدردانی بعمل آید که قبول زحمت فرمودند و راهنمایی و سرپرستی این پروژه را بر عهده گرفتند.

بی‌شک نام دکتر علی‌بیگی نزد دانشجویان مهندسین عمران و مراکز تحقیقاتی نام آشنا و بزرگ است. همچنین از استاد ارجمند و گرامی جناب آقای دکتر مفید گرجی رئیس محترم گروه مهندسین سازه در دانشکده فنی دانشگاه علوم و فنون که با راهنماییهای خود اینجانب را یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

در پایان از مسئول محترم و کارکنان خدمات فرهنگی دانا که زحمت تایپ و صحافی این مجموعه را برعهده داشته‌اند و بخصوص از «آقایان اسداله‌زاده و عباسی» کمال سپاس و امتنان را دارا هستم.

فهرست مطالب

صفحه عنوان

فصل اول

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تقسیم‌بندی سازه پل ۴

۱-۳- طبقه‌بندی پلها ۴

۱-۳-۱- طبقه‌بندی پلها از نقطه‌نظر طول دهانه ۴

۱-۳-۲- طبقه‌بندی پل از نقطه نظر سیستم سازه‌ای ۴

۱-۳-۳- طبقه‌بندی سیستم عبورگاه پلهای دهانه کوتاه و متوسط ۵

۱-۳-۳-۱- طبقه‌بندی پل از نقطه‌نظر مصالح ۶

۱-۳-۳-۲- طبقه‌بندی پل از نظر تکنولوژی ساخت ۶

۱-۳-۴- طبقه‌بندی پل از نقطه‌نظر استفاده ۷

۱-۳-۵- طبقه‌بندی پلهای بتن آرمه ۷

۱-۴- انتخاب نوع پل ۱۰

۱-۵- بارگذاری پل‌ها ۱۲

۱-۵-۱- سربار پلهای جاده در آیین‌نامه کشور فرانسه ۱۵

۱-۵-۲- سرابر پلهای جاده در آیین‌نامه‌های ایالات متحده آمریکا ۱۷

۱-۶-۱- نیروی باد ۲۴

۱-۶-۲- نیروی تحت به فوق ناشی از فشار باد بر زیر عبورگاه ۲۶

۱-۶-۳- نیروهای ناشی از جریان آب و فشار یخ ۲۷

۱-۶-۴- نیروهای بلندکننده ۲۷

۱-۶-۵- نیروی غوطه‌وری ۲۸

فهرست مطالب

صفحه عنوان

۱-۶-۵-۱- فشار جانبی خاک ۲۸

۱-۶-۶- نیروی ناشی از زلزله ۲۸

۱-۷- پلهای طاقی و قوسی ۲۹

فصل دوم

مقدمه ۳۴

۲-۱- مقدمه‌ای بر مهندسی رودخانه ۳۵

۲-۲- محاسبه پروفیل سطح آب و اثر جریان آن ۳۵

۲-۳- پایداری رودخانه ۳۶

۲-۳-۱- رودخانه‌های پایدار استاتیکی ۳۷

۲-۳-۲- رودخانه‌های پایدار دینامیکی ۳۷

۲-۳-۳- رودخانه‌های ناپایدار ۳۷

۲-۳-۴- هندسه مسیر رودخانه ۳۸

۲-۴- اثر پایه‌های پل بر روی رژیم رودخانه ۴۰

۲-۴-۱- هیدرولیک رودخانه ۴۲

۵- تخمین فرسایش موضعی درگروه شمع ۵۲

۶- اطلاعات لازم برای انتخاب طول و تعداد دهانه‌های پل ۵۳

۷- محل پل ۵۴

۶- محل قراگیری پایه‌های میانی و کناری ۵۶

۷- عمق شالوده پایه ۵۷

۸- هواکش ۵۷

۹- رادیه و برید ۵۸

فهرست مطالب

صفحه عنوان

فصل سوم

۳-۱- پل ۲ دهانه کاردیکلاه-کامکلاه ۶۲

۳-۲- در حدود ۳۰۰ متر پائینتر از این پل یک پل دیگری با دو دهانه ۱۲ متری توسط . ۶۴

۳-۳- پل سنگ تجن نوشهر که بر روی رودخانه سنگ تجن حدود ۱۰ کیلومتر جنوب.. ۶۵

۳-۴- پل لاویج رود بر روی رودخانه لاویج در جاده بین آمل - چمستان نور در حدود. ۶۸

۳-۵- پل عبداله‌آباد که بین آمل - چمستان واقع شده این پل در ۳ کیلومتری..... ۷۰

۳-۶- پل سرخرود روی رودخانه هراز بین فریدونکنار و محمودآباد در مسیر جاده ۷۱

۳-۷- پل بابلرود (پل محمدحسن خان) در اثر همین رادیه کف پل قدیمی بابل که ۷۲

۳-۸- پل تجن که بر روی رودخانه تجن نرسیده به پلیس راه ساری پلی است با چند... ۷۳

۳-۹- پل پنبه‌چوله روی رودخانه تجن ساری در فاصله ۲۰ کیلومتری جاده خزرآباد به . ۷۵

۳-۱۰- پل تالارکه روی رودخانه تالار اول قائم شهر احداث شده ظاهراً امر نشان داده. ۷۷

۳-۱۱- پل بالار ستم که بر روی رودخانه تالار حدود ۳ کیلومتر پائین‌تر از پل قبلی ۸۷

۳-۱۲- پل حاجیکلا در حدود ۲ کیلومتر بالاتر از پل اصلی پل این پل با تیر و دال ۸۸

۳-۱۳- پل ترک محله در قسمت جنوب بابل در جاده قدیم بابل و آمل بطرف..... ۸۹

فصل چهارم

۴-۱- مسئله فرسایش ۹۱

۴-۲- مکانیزم فرسایش ۹۲

۴-۲-۱- آب‌شستگی عمومی..... ۹۲

۴-۲-۲- آب‌شستگی موضعی ۹۳

۴-۳- مکانیزم آب‌شستگی موضعی ۹۸

فهرست مطالب

صفحه عنوان

۴-۴- تشابه آستانه حرکت رسوب ۱۰۴

فاکتورهای مؤثر آب شستگی موضعی ۱۰۷

۴-۵- آب شستگی در مقطع تنگ‌شده ۱۰۹

نقطه نظرات محققین پیرامون عوامل موثر بر آبشستگی موضعی ۱۱۲

تأثیر عمق جریان و دبی ۱۱۳

سرعت جریان ۱۱۵

تفاوت بین آبشستگی توسط آب صاف و آب بهمراه تزریق رسوب ۱۱۹

تاثیر زمان ۱۲۱

فصل پنجم

۵-۱- رودخانه ۱۲۴

۵-۲- تأثیرات احداث پل بر سیستم رودخانه ۱۲۶

۵-۳- تأثیر عوامل رودخانه‌ای بر سازه پل ۱۲۷

۵-۴- معادن شن و ماسه و مسأله برداشت بی‌رویه آن ۱۲۸

۵-۵- عوامل هیدرولکی موجود در روند طراحی یک نمونه پل ۱۲۹

فصل ششم

۶-۱- ارزیابی کلی از وضعیت آبشستگی پایه پلها ۱۳۵

فصل هفتم

۷-۱- مطالعات آماری ۱۳۹

۷-۲- موارد مهم آبشستگی و انتخاب آنها برای عمق آبشستگی ۱۴۰

۷-۳- نگرشی بر روشهای مختلف برآورد و مهار آبشستگی پایه‌های پلها ۱۴۰

فهرست مطالب

صفحه عنوان

۷-۴- مقدمه ۱۴۱
۷-۵- آبشستگی و علت آن ۱۴۱
۷-۶- سیستم سه بعدی گردابها در آبشستگی پایه‌های پل ۱۴۳
۷-۶-۱- گرداب نعل اسبی ۱۴۳
۷-۶-۲- گرداب برخاستگی *(wake Vortex)* ۱۴۴
۷-۶-۳- گرداب خزنده ۱۴۵

فصل هشتم

۸- انواع آبشستگی ۱۴۶
۸-۱- خود آب‌شستگی موضعی دو نوع است ۱۴۶
۸-۲- حالت دوم آب‌شستگی ۱۴۶
۸-۳- برآورد میزان آبشستگی ۱۴۷
۸-۴- روشهای کنترل آبشستگی ۱۵۰
۸-۴-۱- گروه ۱ روشهای جلوگیری از آبشستگی پایه پل ۱۵۱
۸-۴-۲- گروه ۲ از روشهای جلوگیری از آبشستگی پایه پل ۱۵۱

فصل نهم

۹-۱- فرسایش دیوارهای ساحلی ۱۵۳
۱- فرسایش ناشی از جریان آب ۱۵۴
۲- فرسایش ناشی از موج ۱۵۸
۳- فرسایش ناشی از عوامل مکانیکی ۱۶۱
۴- فرسایش ناشی از زه ۱۶۲

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

۵- فرسایش ناشی از رواناب سطحی ۱۶۴
۶- جابجائی ذرات ۱۶۴
۹-۲- عوامل موثر در گسیختگی کلی دیواره ساحلی ۱۶۸
خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۶۹

فصل دهم - ضمیمه

۱۰-۱- روشهای محاسبه پلها ۱۷۰
۱۰-۲- پلهای تخت ۱۷۲
۱۰-۳- پلهای تخت سرتاسری ۱۷۳
۱۰-۴- محاسبه عرشه‌های تخت در دالهای ساده ۱۷۴
۱۰-۵- پلهای تخت سرتاسری ۱۷۶
۱۰-۶- پلهای با تیر و تاوه ۱۷۷
۱۰-۶-۱- محاسبه ۱۷۷
۱۰-۶-۲- روشهای تقسیم سازه پل به عناصر طولی و عرضی ۱۷۴
۱۰-۶-۳- بر پایه نظریه صفحات غیر ایزوتروب یا ارتوتروب است ۱۷۸
مثال از تیر و تاوه ۱۷۸

منابع مورد استفاده در این پایان‌نامه ۱۸۱

بسمه تعالی

بررسی علل نشست پلهای صدمه‌دیده استان مازندران در اثر آبشستگی کف رودخانه‌ها

فصل اول

۱-۱- مقدمه

پل یک ساختمان فنی است که برای فراهم کردن گذرگاهی بر روی گذرگاه دیگر و یا بر روی موانع بنا میشود گذرگاه روی پل میتواند جاده، راه‌آهن، پیاده‌رو، یا آبرو باشد و پل وابسته را بترتیب، پل جاده، پل راه‌آهن، پل پیاده‌رو و پل آبرو می‌نامند. گذرگاه زیر پل نیز ممکن است رودخانه و جاده و راه‌آهن و پیاده‌رو و یا آبرو باشد. هنگامی که برای خودداری از ایجاد تقاطع هم سطح راه‌آهن و جاده، پلی ساخته میشود بسته به اینکه راه‌آهن از روی پل و یا از زیر پل بگذرد مهندسان به ترتیب آن را روگذر و یا زیرگذر می‌گویند. برای گذشتن از روی دره‌ها نیز پلهایی ساخته می‌شود که به پل دره‌ای موسومند. پل را می‌توان با چوب یا مصالح بنایی (آجر و سنگ و بتن) یا فلز بتن آرمه یا بتن پیش تنیده و یا با ترکیبی از این مصالح ساخت. امتداد محورگذرگاه روی پل جهت طولی و امتداد عمود بر آن جهت عرض پل را نشان میدهد. هر طول از فضای آزاد زیرپل یک دهانه پل و یا یک چشمه پل خوانده می‌شود. در هر پل یک چشمه بطور عمده دو قسمت تشخیص می‌دهیم عرشه پل نشستگاه پل، عرضه پل‌رویه تختی است که گذرگاه روی آن انجام می‌گیرد و نشستگاه همان تکیه‌گاههای میانی هم نیاز هست این تکیه‌گاههای میانی را پایه

پل مینامیم. قدیمی‌ترین پل بصورت طاقی و با مصالح بنایی میباشد. تا سد ۱۹ مسیحی چوب، مصالح بنایی (آجر، سنگ، بتن) تنها مراد اصلی در پل‌سازی بود و با به کار بردن شکل طاق پل قوسی تا طول دهنه ۷۰ متر از سنگ ساخته‌شده بود. و در سال ۱۷۷۹ ساختمان تحقیق پل آهنی بر روی رودخانه *Severn* در انگستان به پایان رسید با دهانه ۳۰ متر پل بزرگ فولادی اغلب بصورت خرپای طره‌ای میباشد که سالها در میان پلهای فولادی بی‌رقیب بود. و برای دهانه‌های ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ اقتصادی میباشد. مهندسان فرانسوی و سویسی نخستین کسانی بودند که با تقلید از شکل ساختمانهای بنایی بتن آرمه را در پل سازی بکار بردند و پلهای قوس بتن آرمه را گسترش دادند و نمونه‌های زیبائی از این نوع پل ساختند. و در سالهای ۱۸۸۷، ۱۸۹۱ شرکت آلمانی تعدادی از پل قوسی بتنی تا دهانه ۴۰ متر احداث کردند بهبود روشهای بتن‌سازی که ساختن بتن‌های با تاب زیاد و وارفتگی کم را مسیر می‌ساخت به همراه فراهم‌بودن فولادهای با تاب کششی زیاد زمینه را برای ساختن پلهای بزرگ (تا دهانه ۱۸۰ متر) از بتن پیش تنیده آماده کرده بود. در مقایسه با بتن آرمه سنتی برتری بزرگ بتن پیش تنیده درکاهش بار مرده ساختمانها است.

پلسازی با بتن پیش‌تنیده بدست *Freyssinet* (۱۹۶۲-۱۸۷۹) متداول شد و پلهایی از بتن پیش تنیده با دهانه ۱۵۲ متر و پل *Benfot* با دهانه ۲۰۸ متر ساخته شد.

دهانه آویزان هم در پلهای فلزی و هم در پلهای بتنی بکار رفته است، نوع درخور توجهی از این پلها پل معلق است.

بین سالهای ۱۹۳۰، ۱۹۴۰ متداول‌ترین نوع پلهای بتن آرمه بشرح زیر بوده است:

الف - دال ساده برای دهانه‌های تا ۱۲ متر

ب - دال با پشت‌بند (تیر *T*) برای دهانهٔ تا ۳۰ متر

ج - پلهای قوسی برای دهانه‌های بزرگتر

د - پل صندوقه‌ای

برای دهنه‌های کوچک و متوسط پل با تیرهای مستقیم با صرفه است و برای گذر از دهنه‌های بزرگ نیز پلهای با تیرهای مستقیم ساخته‌اند.

یکی از بزرگترین پلهای بتن آرمه با تیر مستقیم پل سه دهنه پیوسته در برزیل باشد طول دهانه میانی این پل ۶۸/۲۸ متر است

و هر کدام از دهنه‌های کناری ۲۶/۸۲ متر طول است.

برای گذر از دهنه‌های بزرگتر پل قوسی بتن آرمه راه حل اقتصادی است.

پل قوسی *Sando* در سوئد که در سال ۱۹۴۳ بپایان رسید ۲۶۶ متر طول دارد.

رکورد جهانی بزرگترین پل بتن آرمه از استرالیا است. پل قوسی با طول دهنه ۳۰۸ متر ساخته شده اکنون در انواع گوناگون پل با مقطع صندوقه‌ای زیاد بکار برده میشود مقطع صندوقه‌ای هم سبکتر و هم در برابر خمش و پیچش سفتر مقاومتر میباشد.

از این رو در پلهای تیرهای مستقیم بزرگ فلزی و بتن آرمه جای مقطع *T* را میگیرد در دهنه‌های متوسط روش پیش‌ساختگی و فن پس تنیدگی اجرای (قطعه به قطعه) پلهای بتن آرمه را میسر ساخته است و نمونه ممتاز این راه‌حل را میتوان پل *Westway* در بزرگراه لندن دید برای دهانه‌های تا ۴۰ متر گرایش بر این است که تیرهای فولادی و یا تیرهای پیش تنیده پیش‌ساخته بکار ببرند که در محل روی تیر هادال بتون‌آرمه ریخته میشود.

۱-۲- تقسیم‌بندی سازه پل

۱- در یک تقسیم‌بندی کلی شالوده و پایه‌های پل را زیرسازه و آن قسمت که بصورت یک سیستم خمشی وظیفه تحمل عبورگاه (عرشه) را بین پایه‌ها بعهده دارد روسازه نامیده میشود.

۱-۳- طبقه‌بندی پلها

پل را از جهات مختلف میتوان طبقه‌بندی نمود بدون اینکه در این مورد الویتی قائل شد. در زیر طبقه‌بندیهای مختلف را ارائه مینماییم.

۱-۳-۱- طبقه‌بندی پلها از نقطه‌نظر طول دهانه

۱- دهانه‌های کوتاه (زیر ۸ متر)

۲- دهانه‌های متوسط (بین ۸ تا ۵۰ متر)

۳- دهانه‌های بلند (بالای ۵۰ متر)

برای هر یک از طبقه‌بندیهای فوق سیستمهای سازه‌ای مناسبی وجود دارد

۱-۳-۲- طبقه‌بندی پل از نقطه نظر سیستم سازه‌ای

۱- پلهای صفحه‌ای (از بتون مسلح)

۲- پلهای تیر و شاتیر (فولاد، بتون مسلح، بتون پیش‌ساخته، ترکیب فولاد و بتن)

۳- پلهای خرپائی

۴- پلهای قوسی (طاقی)

۵- پلهای خرپائی طره‌ای

۶- پلهای معلق (با کابل سهمی)

۷- پلهای با کابل کشیده

۸- پلهای قابی

۱-۳-۳- سیستم پل از لحاظ باربری بستگی کامل به دهانه آن دارد بدین معنی که ممکن است یک سیستم در محدوده‌ای از طول دهانه مناسب و در مقابل استفاده آن در محدوده دیگر غیرمعقول باشد به همین دلیل برای طبقه‌بندی عبورگاه پل از لحاظ سیستم باربری مجبور هستیم که در دو حالت را در نظر بگیریم.

۱- پلهای دهانه کوتاه و متوسط

۲- پلهای دهانه بزرگ

منظور از دهانه کوتاه و متوسط پلهایی هستند که دهانه آنها حدود حداکثر ۶۰ متر می‌باشند از آنجا که این قبیل پلها بیشتر مدنظر می‌باشد و طبقه‌بندی آنها با دقت بیشتری مورد توجه قرار دارد پلها با دهانه بزرگی که اکثراً فولادی می‌باشند و این طبقه‌بندی هم پلهای فولادی و هم پلهای بتنی دارا هستند.

۱-۳-۳-۱- طبقه‌بندی سیستم عبورگاه پلهای دهانه کوتاه و متوسط

برای عبورگاه پلهای دهانه کوتاه متوسط غالباً از یکی از چهار سیستم ساده‌ای زیر استفاده میشود.

الف - عبورگاه یک عنصری

ب - عبورگاه دو عنصری

ت - عبورگاه سه عنصری

ج - عبورگاه چهار عنصری

در ادامه به طور مشروح به بررسی و روش تحلیل و طراحی هر یک از ۴ سیستم فوق میپردازیم.

۱-۳-۲- طبقه‌بندی پل از نقطه‌نظر مصالح

۱- پلها با مصالح بنائی و غیرمسلح

۲- پلهای بتن مسلح (درجا، پیش ساخته)

۳- پلهای بتن پیش‌تنیده (پیش کشیده، پس کشیده)

۴- پلهای فولادی

۵- پلهای مرکب فولادی و بتن

۶- پلهای آلومنیومی (مورد استفاده کم)

۱-۳-۳- طبقه‌بندی پل از نظر تکنولوژی ساخت

۱- اجرای درجا با قالب‌بندی کامل

۲- اجرای پیش‌ساخته (الف: نصب با جرثقیل ب: نصب به شیوه هل دادن)

۳- اجرای طره‌ای