بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش : آب – سازه هیدرولیکی

عنوان:

تحلیل عددی اندرکنش گروه پایه ها و بستر پل با جریان آب و بهینه سازی فرم هندسی آنها

(مطالعه موردی: پل خواجوی اصفهان)

استاد راهنما:

دکتر سید عبدالعظیم امیر شاه کرمی

استاد مشاور:

دکتر محمد صادق صادقیان

پژوهشگر:

حمید آشوری ها

زمستان ۱۳۹۱

تقدیم به:

تقدیم به پدر و مادر عزیزم ،

که همه هستیم از وجود آنهاست،

و خواهر و برادر مهربانم یار و یاور من بوده و هستند.

تشکر و قدردانی

اکنون که به لطف پروردگار، پایان نامه کارشناسی ارشد خود را به پایان رسانیده ام، بر خود لازم می دانم از زحمات بی دریغ و یاری فراوان استاد محترم جناب آقای دکتر سید عبدالعظیم امیر شاه کرمی که نه تنها در طول این پژوهش، بلکه همواره با راهنمایی دقیق و کارگشای خود مرا مورد لطف قرار داده اند، صمیمانه تشکر نمایم.
همچنین از جناب آقای دکتر محمد صادق صادقیان و جناب آقای دکتر هومن حاجی کندی که با راهنمایی های مفید و موثرشان مرا مورد لطف خود قرار دادند، صمیمانه تشکر می نمایم.
همچنین از کلیه اساتید بخش عمران دانشگاه آزاد تهران مرکز و همین طور اساتید گروه عمران دانشگاه شهید چمران اهواز و به طور خاص از زحمات جناب آقای پروفسور محمودیان شوشتری که در محضرشان کسب فیض نموده ام کمال تشکر را دارم. ضمنا از تمام دوستانی که هر کدام به نوعی به اینجانب محبت داشته اند، تقدیر و تشکر می نمایم.

حمید آشوری ها

زمستان ۱۳۹۱

چکیده

وقوع آبشستگی موضعی و کلی در اطراف پایه های پل یکی از دلایل عمده عدم پایداری این سازه ها می باشد. با توجه به هزینه های کلان احداث پل ها ارائه راه کارهای مناسب به منظور کنترل آبشستگی از مسایلی است که بسیار مورد توجه می باشد. تا کنون تحلیل های زیادی جهت تخمین عمق آبشستگی اطراف پایه های پل انجام گرفته است، ولی به علت پیچیدگی های اثرات توام و نامعین ها(غیر مطلق ها) تا کنون راه حل واحدی برای تخمین عمق آبشستگی ارائه نشده است.

در این تحقیق سعی شده است که به بررسی رفتار جریان و بهبود شکل هندسی پایه پرداخته شود و در این مسیر از طرح مهندسی پل خواجو به عنوان یکی از میراث های گران بهای مهندسی در ایران الگو برداری شده است. در پایان به کمک تحلیل عددی سه بعدی جریان در اطراف پایه نشان داده می شود که استفاده از فرم بستر و ایجاد دراپ در کف و استفاده از زاویه ورودی توانایی جلوگیری از گردابه در ورودی را داشته و با این کار می توان عامل اصلی ایجاد آبشستگی را کنترل کرد. فرم هندسی پایه در خروجی به صورت پلکان نیز سبب می گردد جریان برگشتی به صورت یکباره به پشت پایه حرکت نکند و در چندین مرحله این جریان برگشتی اتفاق می افتد. این امر سبب از بین رفتن گردابه بزرگ در پشت پایه و سبب ایجاد گردابه های کوچک جایگزین می شود که با کمتر بودن انرژی این گردابه ها، فرسایش در پشت پایه نیز کاهش می یابد.

کلید واژه:

آبشستگی - اندر کنش سازه و جریان – تحلیل عددی سه بعدی جریان – رفتار جریان – پل خواجو

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست نمودارها.....و

فهرست جدول‌ها.....ز

فهرست شکل‌ها.....ح

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- ضرورت تحقیق:..... ۲

۱-۲- تاریخچه ای از تخریب پلها:..... ۳

۱-۲-۱- مطالعه موردی: پل بالارود ۳

۱-۲-۲- مطالعه موردی: پل تالار ۵

۱-۲-۳- مطالعه موردی پل کن ٦

۱-۲-٤- نمونه هایی از تخریب پل ها در اثر پدیده آبشستگی در خارج از کشور ۸

۱-۳- معرفی بخش های تحقیق:..... ۱۰

فصل ۲- مروری بر مطالعات انجام شده:..... ۱۱

۲-۱- تقسیم بندی مطالعات و تحقیق های انجام شده در ارتباط با آبشستگی..... ۱۱

۲-۲- بررسی مطالعات انجام شده برای بررسی مکانیزم آبشستگی پای پل..... ۱۱

۲-۳- بررسی مطالعات انجام شده در تخمین عمق آبشستگی در پایه های پل:..... ۱۲

۲-٤- فرمولهای پیش بینی عمق آب شستگی موضعی:..... ۱۳

۲-٤-۱- دوراندکلی (۱۸۷۳) ۱۳

۲-٤-۲- تایسون (۱۹٤۰) ۱۳

۲-٤-۳- لاراس (۱۹٦۳و ۱۹٦۰) ۱۳

۲-٤-٤- هانکو (۱۹۷۱) ۱۳

۲-٤-٥- شن و اشنایدر (۱۹۷۱و۱۹٦٦) ۱٤

۲-٤-٦- لارسون و تاچ (۱۹۷۲) ۱٤

۲-٤-۷- دیتز (۱۹۷۲) ۱٥

۲-٤-۸- بروسز (۱۹۷۷) ۱٥

۲-٤-۹- فرمول دانشگاه ایالتی کلرادو (۱۹۹۳) ۱٥

۲-٤-۱۰- شری رم (۱۹۹۹) ۱٦
۲-۵- بررسی راه کارهای پیشنهادی ارائه شده جهت کنترل پدیده آبشستگی..... ۱۷
۲-۵-۱- استفاده از سنگ چین ۱۷
۲-۵-۲- استفاده از طوقه ۱۸
۲-۵-۳- استفاده از شکاف پایه ۲۰
فصل ۳- مکانیزم آبشستگی..... ۲۲
۳-۱- معرفی آبشستگی ۲۲
۳-۲- انواع آبشستگی:..... ۲۲
۳-۲-۱- آبشستگی عمومی ۲۳
۳-۲-۲- آبشستگی ناشی از انقباض ۲٤
۳-۲-۳- آبشستگی موضعی ۲٤
۳-۳- آنواع آبشستگی از نظر رسوبات موجود در جریان:..... ۲۵
۳-۳-۱- آبشستگی آب زلال ۲۵
۳-۳-۲- آبشستگی بستر فعال ۲٦
۳-٤- مطالعات تئوری درباره آب شستگی اطراف پایه پل..... ۲٦
۳-٤-۱- سیستم گرداب نعل اسبی درحالت بستر صاف (بدون حفره آب شستگی) ۲۷
۳-٤-۲- سیستم گرداب نعل اسبی با وجود حفره آب شستگی ۲۷
۳-٤-۳- نیروهای وارده بریک ذره دعمق تعادل آب شستگی آب زلال ۲۷
۳-۵- الگوی جریان ومکانیزم آبشستگی موضعی دراطراف پایه پل:..... ۳۱
فصل ٤- مطالعه مدل های رفتاری برای سیال:..... ۳۳
٤-۱- ضرورت تعریف مدل های رفتاری برای جریان های آشفته:..... ۳۳
٤-۲- تعریف آشفتگی:..... ۳٤
٤-۳- برآورد حل برای یک جریان آشفته:..... ۳۵
٤-٤- اثرات اغتشاش روی معادلات رینولدز..... ۳٦
٤-۵- معادلات حرکت در جریانات آشفته..... ۳۷
٤-۵-۱- معادله پیوستگی برای جریان آشفته: ۳۸
٤-۵-۲- معادله مومنتم برای جریان آشفته: ۳۸
٤-٦- مدل سازی جریانات آشفته و مدل های آشفتگی..... ٤۰
٤-٦-۱- مدل های Eddy - Viscosity ٤۰
فصل ۵- معرفی مطالعه موردی:..... ٤۲

۵-۱- تاریخچه پل خواجو: ۴۲
۵-۱-۱- پل خواجو از دیدگاه مهندسی هیدرولیک: ۴۲
۵-۱-۲- پل خواجو از دیدگاه مدیریت منابع آب: ۴۳
۵-۱-۳- پل خواجو از دیدگاه مهندسی معماری: ۴۴
۵-۱-۴- پل خواجو از دیدگاه مهندسی سازه: ۴۵
۵-۲- بررسی اجزای هیدرولیکی در پایه های پل خواجو: ۴۵
۵-۲-۱- مشخصات پل ۴۵
۵-۲-۲- بخش های هیدرولیکی در پایه های پل ۴۷
فصل ۶- مدلسازی و تحلیل ها ۵۵
۶-۱- معرفی روش مدل سازی: ۵۵
۶-۱-۱- کلیاتی درمورد نرم افزار Ansys CFX ۵۵
۶-۱-۲- مراحل حل مسئله به کمک روش CFD ۵۸
۶-۲- مدلسازی در نرم افزار Ansys CFX ۵۸
۶-۲-۱- تعریف دامنه مورد مطالعه: ۶۰
۶-۲-۲- هدف گذاری مسئله: ۶۲
۶-۳- مدل سازی هندسی جریان ۶۲
۶-۳-۱- گروه یک مدل سازی: ۶۳
۶-۳-۲- گروه دوم مدل سازی: ۶۴
۶-۳-۳- گروه سوم مدل سازی: ۶۴
۶-۳-۴- گروه چهارم مدل سازی: ۶۷
شبکه بندی مدل: ۶۸
۶-۳-۵- معرفی شبکه: ۶۸
۶-۳-۶- انتخاب کردن نوع شبکه مناسب: ۶۹
۶-۳-۷- شبکه بندی مدل هندسی: ۷۰
۶-۴- مدل سازی شرایط فیزیکی تحلیل: ۷۴
۶-۴-۱- مشخصات فیزیکی سیال: ۷۴
۶-۴-۲- فشار مبنا در مدل سازی: ۷۴
۶-۴-۳- تاثیر نیروی شناوری بر مدل ۷۵
۶-۴-۴- نیروی بوزینک: ۷۶
۶-۴-۵- مدل سازی جریان چند فازی ۷۶
۶-۴-۶- دیدگاه های مدل سازی جریان های چند فازی: ۷۷

٦-٤-٧- بررسی روش حل در مدل VOF: ٧٨
٦-٤-٨- معرفی شرایط مرزی: ٨٤

فصل ٧- بررسی نتایج و صحت سنجی مدل سازی:..... ٩٧

٧-١- نتایج مدل سازی گروه اول:..... ٩٧
٧-١-١- رفتار جریان در صفحه XY به فاصله ٠,٥ متر از محور پایه: ٩٧
٧-١-٢- رفتار جریان در صفحه XY به فاصله ١,٥ متر از محور پایه: ٩٩
٧-١-٣- مقایسه سرعت ها در راستای قائم به فاصله ١٠ سانتی متری از پایه ١٠١
٧-٢- نتایج مدل سازی در گروه دوم:..... ١٠٢
٧-٢-١- رفتار جریان در صفحه XY به فاصله ٠,١ متر از محور پایه: ١٠٢
٧-٢-٢- رفتار جریان در صفحه XY به فاصله ١ متر از محور پایه: ١٠٣
٧-٢-٣- رفتار جریان در صفحه XY به فاصله ٢ متر از محور پایه: ١٠٤
٧-٢-٤- مقایسه خطوط جریان در مدل های گروه دوم: ١٠٥
٧-٢-٥- نمودار تغییرات سرعت جریان در راستای محور X: ١٠٦
٧-٢-٦- نمودار تغییرات سرعت جریان در راستای محور قائم: ١٠٧
٧-٣- بررسی نتایج مدل سازی در گروه سوم:..... ١٠٩
٧-٣-١- نتایج مدلسازی بخش اول از گروم سوم (تاثیر ارتفاع دراپ): ١٠٩
٧-٣-٢- نتایج مدلسازی بخش دوم از گروم سوم (تاثیر طول دراپ): ١١٤
٧-٣-٣- رفتار جریان در صفحه XY به فاصله ٢ متر از محور پایه: ١١٤
٧-٣-٤- نتایج مدلسازی بخش سوم از گروم سوم (تاثیر موقعیت دراپ): ١١٦
٧-٣-٥- رفتار جریان در صفحه XY به فاصله ١ متر از محور پایه: ١١٦
٧-٤- بررسی نتایج مدل سازی در گروه چهارم:..... ١١٨
٧-٤-١- بررسی رفتار جریان در صفحه افقی (XZ) به ارتفاع ده سانتی متر:..... ١١٨
٧-٤-٢- بررسی رفتار جریان در صفحه افقی (XZ) به ارتفاع ٦٠ سانتی متر (میانه عمق جریان):..... ١٢١
٧-٤-٣- بررسی رفتار جریان در صفحه افقی (XZ) به ارتفاع ١٣٠ سانتی متر (سطح جریان):..... ١٢٣
٧-٤-٤- رفتار جریان در صفحه XY به فاصله ١ متر از محور پایه: ١٢٥
٧-٤-٥- مقایسه خطوط جریان در پشت پایه های پل: ١٢٧
٧-٤-٦- مقایسه نمودارهای تغییرات سرعت جریان در راستای کانال: ١٢٩
٧-٥- اعتبار سنجی مدل:..... ١٣١
٧-٥-١- دسته بندی خطاهای ممکن در مدل سازی: ١٣١
٧-٥-٢- خطای ایده آل سازی ها برای معرفی به مدل ١٣١
٧-٥-٣- خطای در مدل مورد استفاده ١٣٢

۷-۵-٤- خطای در دقت ناکافی جهت مدل سازی ۱۳۲
۷-۵-۵- خطای در شرایط مدل سازی و تعریف مدل های رفتاری مصالح ۱۳٦
فصل ۸- جمع بندی و نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات جهت مطالعات تکمیلی..... ۱۳۷
۸-۱- نتایج حاصله از تحلیل های عددی:..... ۱۳۷
۸-۱-۱- بررسی گروه یک مدل سازی: ۱۳۷
۸-۱-۲- بررسی گروه دوم مدل سازی: ۱۳۷
۸-۱-۳- بررسی گروه سوم مدل سازی: ۱۳۸
۸-۱-٤- بررسی گروه چهارم مدل سازی ۱۳۸
۸-۲- پیشنهاد های مطالعاتی برای مطالعات آینده..... ۱۳۹
فهرست مراجع..... ۱٤۰

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۷-۱: مقایسه سرعت های قائم در عمق جریان..... ۱۰۱
نمودار ۷-۲: تغییرات سرعت در راستای کانال بر محور میانه چاله فرسایش (پایه ساده)..... ۱۰۶
نمودار ۷-۳: تغییرات سرعت در راستای کانال بر محور میانه چاله فرسایش (پایه زاویه دار به همراه دراپ) ۱۰۷
نمودار ۷-٤: تغییرات سرعت در راستای قائم بر محور میانه چاله فرسایش (ساده)..... ۱۰۷
نمودار ۷-۵: تغییرات سرعت در راستای قائم بر محور میانه چاله فرسایش (پایه زاویه دار به همراه دراپ) ۱۰۸
نمودار ۷-٦: سرعت جریان در راستای کانال در محور میانی کانال (دراپ ۳۰ سانتی متری)..... ۱۱۳
نمودار ۷-۷: سرعت جریان در راستای کانال در محور میانی کانال (دراپ ٦۰ سانتی متری)..... ۱۱۳
نمودار ۷-۸: نمودار سرعت در راستای کانال برای پایه ساده..... ۱۲۹
نمودار ۷-۹: نمودار سرعت در راستای کانال برای پایه با فرم پلکان بزرگ..... ۱۲۹
نمودار ۷-۱۰: نمودار سرعت در راستای کانال برای پایه با فرم پلکان کوچک..... ۱۳۰
نمودار ۷-۱۱: نمودار سرعت در راستای کانال برای پایه با فرم پلکان کوچک کشیده..... ۱۳۰

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ : ضرایب شکل برای پایه های مختلف..... ۱۵
جدول ٦-۱: آمار تعداد نقاط و المان های مش بندی در مقطع ورودی پل..... ۷۲
جدول ٦-۲: آمار تعداد نقاط و المان های مش بندی در مقطع خروجی پل..... ۷۲
جدول ٦-۳: آمار تعداد نقاط و المان های مش بندی در مدل کلی پل..... ۷۳
جدول ٦-٤: تعریف مشخصات سیالات برای مدلسازی..... ۷٤
جدول ٦-۵: تعریف توابع مورد نیاز در شرایط مرزی با استفاده از CCL..... ۸۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: نمایی از پل بالا رود جنوبی (ماشین رو) قبا از آب شستگی سال ۱۳۷۳..... ۳
شکل ۱-۲: موقعیت پل های راه آهن و ماشین رو بالا رود..... ٤
شکل ۱-۳: آبشستگی پایه های پل بر روی رودخانه تالار..... ٥
شکل ۱-٤ : بخش تخریب شده پل کن در اثر آبشستگی..... ۷
شکل ۱-٥: جریان عبوری از میان پایه های پل کن و بروز پدیده آبشستگی..... ۷
شکل ۱-٦ : نمونه هایی از بروز پدیده آبشستگی در خارج از کشور..... ۸
شکل ۱-۷ : نمونه هایی از پدیده آبشستگی در خارج از کشور..... ۹
شکل ۲-۱: اثر طوقه بر آب شستگی موضعی پایه استوانه ای..... ۱۸
شکل ۲-۲ : نمایی از موقعیت طوقه روی پایه استوانه ای..... ۱۹
شکل ۲-۳: شکاف روی پایه، الف – شکاف نزدیک بستر، ب–شکاف نزدیک سطح آب..... ۲۰
شکل ۲-٤ : اثر شکاف بر آب شستگی پایه استوانه ای [29]..... ۲۱
شکل ۳-۱: انواع مختلف فرسایش در یک محل..... ۲۳
شکل ۳-۲: شمای عمومی انواع فرسایش اطراف پایه پل..... ۲٤
شکل ۳-۳: توسعه آب شستگی نسبت به زمان در شرایط آب زلال و بستر فعال..... ۲٦
شکل ۳-٤: حفره آبشستگی و نیروهای وارد بر ذرات بستر..... ۲۸
شکل ۳-٥: نمای شماتیک الگوی جریان در اثر برخورد با یک پایه استوانه ای..... ۳۲
شکل ٤-۱: رفتارهای متفاوت جریان..... ۳۳
شکل ٤-۲: اندازه سرعت نقطه ای در جریان مغشوش..... ۳٤
شکل ٥-۱: تغذیه مادی ها به وسیله آب جمع شده در پشت پل خواجو..... ٤٤
شکل ٥-۲: نمای غربی پل خواجو متشکل از ۲۱ دهانه..... ٤٦
شکل ٥-۳: پلان پایه های پل..... ٤٦
شکل ٥-٤: بخش های هیدرولیکی در پایه های پل خواجو..... ٤۷
شکل ٥-٥: مقطع ورودی و خروجی جریان در پل خواجو..... ٤۹
شکل ٥-٦: هدایت جریان در مقطع ورودی و جلوگیری از حرکت رو به پایین جریان..... ٤۹
شکل ٥-۷: موقعیت قرار گیری دراپ ورودی..... ٥۰
شکل ٥-۸: مقاطع ورودی جریان در هنگام سیلاب..... ٥۱
شکل ٥-۹: موقعیت نصب دریچه های بالادستی در مقطع شماره ٤..... ٥۲

شکل ۵-۱۰: موقعیت نصب دریچه و پشت بند..... ۵۳
شکل ۵-۱۱: مقطع خروجی سیال و سر ریز های پلکانی..... ۵٤
شکل ٦-۱: مراحل استفاده از روش CFD در مدلسازی عددی..... ۵۸
شکل ٦-۲: مراحل مدل سازی در نرم افزار CFX..... ۵۹
شکل ٦-۳: پلان موقعیت شکل پایه ها در پل خواجو..... ٦۰
شکل ٦-٤: دامنه مورد مطالعه در مدل سازی پایه پل خواجو..... ٦۱
شکل ٦-۵: دامنه مورد مطالعه در مدلسازی قسمت ورودی..... ٦۱
شکل ٦-٦: دامنه مورد مطالعه در مدلسازی قسمت خروجی..... ٦۲
شکل ٦-۷: مدل های هندسی ساخته شده در گروه اول مدل سازی..... ٦۳
شکل ٦-۸: مدلسازی هندسی جریان در گروه دوم..... ٦٤
شکل ٦-۹: بررسی ارتفاع های متفاوت دراپ ورودی..... ٦۵
شکل ٦-۱۰: بررسی تاثیر طول های متفاوت دراپ ورودی بر رفتار جریان..... ٦۵
شکل ٦-۱۱: مدلسازی مقطع خروجی پایه پل..... ٦۷
شکل ٦-۱۲: نمونه ای از تقسیم حجم سیال به بخش های کوچک با نام حجم کنترل..... ٦۸
شکل ٦-۱۳: مش های قابل استفاده در مدل سازی دو بعدی..... ٦۹
شکل ٦-۱٤: مش های قابل استفاده در مدل های سه بعدی..... ٦۹
شکل ٦-۱۵: نمونه استفاده از شبکه های ساخت یافته و غیر ساخت یافته در یک مدل..... ۷۱
شکل ٦-۱٦: نمونه ای از مش بندی مدل در مقطع ورودی پایه پل..... ۷۱
شکل ٦-۱۷: نمونه ای از مش بندی مدل در مقطع خروجی پل..... ۷۲
شکل ٦-۱۸: مش بندی مدل کلی پل..... ۷۲
شکل ٦-۱۹: تاثیر در نظر گرفتن فشار مبنا درخطای رند شدن..... ۷٤
شکل ٦-۲۰: معرفی فشار مرجع، نیروی شناوری و چگالی مرجع به نرم افزار..... ۷۵
شکل ٦-۲۱: معرفی اختلاف چگالی به عنوان نیروی شناوری..... ۷٦
شکل ٦-۲۲ : اعمال مدل VOF به عنوان روش حل در بخش مدل های چند فازی..... ۸۳
شکل ٦-۲۳: انتخاب مدل رفتاری سیال..... ۸٤
شکل ٦-۲٤: موقعیت شرط مرز ورودی سرعت..... ۹۱
شکل ٦-۲۵: معرفی سرعت نرمال و پارامترهای اغتشاش شرط مرزی ورودی در مقطع ورودی پایه پل ۹۲
شکل ٦-۲٦: معرفی سرعت نرمال و پارامترهای اغتشاش شرط مرز ورودی در مقطع خروجی پایه پل. ۹۲
شکل ٦-۲۷: معرفی کسرهای حجمی المان ها در بالا دست..... ۹۲

شکل ٦-٢٨: موقعیت شرط مرز خروجی فشار..... ٩٣
شکل ٦-٢٩: تعریف شرایط مرزی خروجی فشار..... ٩٣
شکل ٦-٣٠: موقعیت شرط مرزی تهویه آزاد..... ٩٤
شکل ٦-٣١: تعریف شرط مرزی باز شو آزاد (تهویه)..... ٩٤
شکل ٦-٣٢: موقعیت اعمال شرط مرزی تقارن..... ٩٥
شکل ٦-٣٣: موقعیت شرط مرزی دیواره..... ٩٦
شکل ٦-٣٤: معرفی شرایط مرزی دیوار برای نرم افزار..... ٩٦
شکل ٧-١: رفتار جریان در پایه ساده و ٠,٥ متری محور پایه ستون هنگام برخورد با پایه مستطیلی..... ٩٧
شکل ٧-٢: رفتار جریان در ٠,٥ متری محور پایه ستون و هنگام برخورد با پایه با ورودی زاویه دار... ٩٨
شکل ٧-٣: رفتار جریان در ٠,٥ متری محور پایه ستون و هنگام برخورد با پایه با ورودی زاویه دار و دراپ در کف..... ٩٨
شکل ٧-٤: رفتار جریان در پایه ساده و ٠,٥ متری محور پایه ستون هنگام برخورد با پایه مستطیلی..... ٩٩
شکل ٧-٥: رفتار جریان در ١,٥ متری محور پایه ستون و هنگام برخورد با پایه با ورودی زاویه دار... ١٠٠
شکل ٧-٦: رفتار جریان در ٠,٥ متری محور پایه ستون و هنگام برخورد با پایه با ورودی زاویه دار و دراپ در کف..... ١٠٠
شکل ٧-٧: برخورد جریان با پایه مستطیلی با وجود چاله آبشستگی..... ١٠٢
شکل ٧-٨: برخورد جریان با پایه زاویه دار و دراپ با وجود چاله آبشستگی..... ١٠٢
شکل ٧-٩: برخورد جریان با پایه مستطیلی با وجود چاله آبشستگی..... ١٠٣
شکل ٧-١٠: برخورد جریان با پایه زاویه دار و دراپ با وجود چاله آبشستگی..... ١٠٣
شکل ٧-١١: عبور جریان از کانال میان پایه های مستطیلی با وجود چاله فرسایش یافته..... ١٠٤
شکل ٧-١٢: عبور جریان از کانال میان پایه های زاویه دار به همراه دراپ با وجود چاله فرسایش یافته..... ١٠٤
شکل ٧-١٣: خطوط جریان در پایه مستطیلی با وجود چاله فرسایش یافته..... ١٠٥
شکل ٧-١٤: خطوط جریان در پایه زاویه دار به همراه دراپ با فرض وجود چاله فرسایش..... ١٠٦
شکل ٧-١٥: نمایش عبور جریان از روی دراپ با ارتفاع ٣٠ سانتی متر..... ١٠٩
شکل ٧-١٦: نمایش عبور جریان از روی دراپ با ارتفاع ٦٠ سانتی متر..... ١١٠
شکل ٧-١٧: رفتار جریان در کف کانال با ارتفاع دراپ ٣٠ سانتی متری..... ١١١
شکل ٧-١٨: رفتار جریان در کف کانال با ارتفاع دراپ ٦٠ سانتی متری..... ١١١
شکل ٧-١٩: رفتار جریان در سطح فوقانی دراپ با ارتفاع دراپ ٣٠ سانتی متری..... ١١٢
شکل ٧-٢٠: رفتار جریان در سطح فوقانی دراپ با ارتفاع دراپ ٦٠ سانتی متری..... ١١٢

شکل ۷-۲۱: رفتار جریان در عبور از دراپ با طول ۷۰ سانتی متر ۱۱٤
شکل ۷-۲۲: رفتار جریان در عبور از دراپ با طول ۱۵۰ سانتی متر ۱۱۵
شکل ۷-۲۳: رفتار جریان در مدل ۱ هنگام برخورد با پایه ۱۱٦
شکل ۷-۲٤: رفتار جریان در مدل ۲ هنگام برخورد با پایه ۱۱۷
شکل ۷-۲۵: رفتار جریان در مدل ۳ هنگام برخورد به پایه ۱۱۷
شکل ۷-۲٦:گردابه ایجاد شده در حالت پایه ساده (ارتفاع ده سانتی متر) ۱۱۸
شکل ۷-۲۷: گردابه ایجاد شده در حالت پلکان بزرگ (ارتفاع ده سانتی متر) ۱۱۹
شکل ۷-۲۸: گردابه ایجاد شده در حالت پلکان کوچک (ارتفاع ده سانتی متر) ۱۱۹
شکل ۷-۲۹: گردابه ایجاد شده در حالت پلکان کوچک کشیده (ارتفاع ده سانتی متر) ۱۲۰
شکل ۷-۳۰: گردابه ایجاد شده در حالت پایه ساده (ارتفاع ٦۰ سانتی متر) ۱۲۱
شکل ۷-۳۱: گردابه ایجاد شده در حالت پلکان بزرگ (ارتفاع ٦۰ سانتی متر) ۱۲۱
شکل ۷-۳۲: گردابه ایجاد شده در حالت پلکان کوچک (ارتفاع ٦۰ سانتی متر) ۱۲۲
شکل ۷-۳۳: گردابه ایجاد شده در حالت پلکان کوچک کشیده (ارتفاع ٦۰ سانتی متر) ۱۲۲
شکل ۷-۳٤: گردابه ایجاد شده در حالت پایه ساده (ارتفاع ۱۳۰ سانتی متر) ۱۲۳
شکل ۷-۳۵: گردابه ایجاد شده در حالت پلکان بزرگ (ارتفاع ۱۳۰ سانتی متر) ۱۲۳
شکل ۷-۳٦: گردابه ایجاد شده در حالت پلکان کوچک (ارتفاع ۱۳۰ سانتی متر) ۱۲٤
شکل ۷-۳۷: گردابه ایجاد شده در حالت پلکان کوچک کشیده (ارتفاع ۱۳۰ سانتی متر) ۱۲٤
شکل ۷-۳۸: گردابه های ایجاد شده در پشت پایه ساده ۱۲۵
شکل ۷-۳۹: گردابه های ایجاد شده در پشت پایه با فرم پلکان بزرگ ۱۲۵
شکل ۷-٤۰: گردابه های ایجاد شده در پشت پایه با فرم پلکان کوچک ۱۲٦
شکل ۷-٤۱: گردابه های ایجاد شده در پشت پایه با فرم پلکان کوچک کشیده ۱۲٦
شکل ۷-٤۲: خطوط جریان در پشت پایه مستطیلی ساده ۱۲۷
شکل ۷-٤۳: خطوط جریان در پشت پایه با فرم پلکانی بزرگ ۱۲۷
شکل ۷-٤٤: خطوط جریان در پشت پایه با فرم پلکانی کوچک ۱۲۸
شکل ۷-٤۵: خطوط جریان در پشت پایه با فرم پلکانی کوچک کشیده ۱۲۸
شکل ۷-٤٦: مدل سازی با مش بندی درشت تر ۱۳۳
شکل ۷-٤۷: آمار المان ها و نقاط در مش بندی با ابعاد بزرگ ۱۳۳
شکل ۷-٤۸: مدل سازی با مش بندی ریزتر ۱۳٤
شکل ۷-٤۹: آمار المان ها و نقاط در مش بندی با ابعاد ریز ۱۳٤
شکل ۷-۵۰: همگرایی حل در حل مسئله با ۱۰۰ بار تکرار ۱۳۵

شکل ۷-۵۱: همگرایی حل در حل مسئله با ۲۰۰ بار تکرار..... ۱۳۵

فصل ۱- مقدمه

عبور آسان، بی خطر و اقتصادی وسایل نقلیه از عارضه های طبیعی نظیر رودخانه ها و دره های عمیق مستلزم ایجاد معبری است که به آن پل میگوییم. پل سازی فنی است که ریشه تاریخی در تمدن بشری دارد. امروزه با افزایش میزان حجم حمل نقل بین المللی و بین شهری و احتیاج جوامع بشری به ایجاد شریان ارتباطی مانند جاده های شوسه و راه آهن بیشتر شده است. با توجه به این موضوع که هر جاده ارتباطی در مسیر خود باید از رودخانه ها ودره های متعدد عبور کند، به اهمیت پل سازی در چرخش اقتصاد کشور پی می بریم. علاوه بر مسائل اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، پل ها نقش استراتژیک و تعیین کننده ای در مسائل نظامی دارند. وقوع سیلاب،اعمال بار اضافه،زلزله، رانش زمین، باد، طراحی و اجرای نادرست و استفاده از مصالح نامرغوب از مهمترین عوامل تخریب پل ها گزارش شداند. از میان عوامل فوق،وقوع سیلاب از اهمیت ویژه ای بر خوردار است. لزوم ایمن بودن این سازه های مهم و حیاتی در برابر پدیده های طبیعی از جمله آبشستگی بر کسی پوشیده نیست.

تخریب پل ها در اثر فرسایش بستر دور پایه ها هنگام وقوع سیلاب،یعنی درست در زمانی که نیاز مبرم به آنها وجود دارد رخ میدهد و باعث اختلال در سیستم حمل ونقل و بروز خسارت های مالی و حتی جانی می شود. بنابراین،بررسی موضوع آبشستگی پایه های پل بسیار حائز اهمیت است.

۱-۱- ضرورت تحقیق:

یکی از عمده ترین مشکلات سازه هایی نظیر پلها که پایه های آنها داخل رودخانه هایی با بستر قابل فرسایش می باشد، آبشستگی ایجاد شده در اطراف پایه ها است. شکست کامل یا موضعی برخی از پل ها به علت فرسایش اطراف پایه ها اتفاق می افتد. فرسایش ممکن است در پایه ها یا سواحل رودخانه رخ دهد.

اهمیت بررسی موضوع آبشستگی پایه های پل با ذکر این مطلب روشن می شود که بدانیم میلیونها پل در سطح جهان وجود دارد (بیش از هزاران عدد از این پل ها در کشور ماست) که به دلیل وقوع سیلابهای سالانه آبشستگی در اطراف پایه های آنها پدیدار شده و احتمال تخریب آنها در صورتیکه برای محافظت از آنها طرحی اندیشیده نشده نشود حتمی است. این موضوع هنگامی بحرانی تر می شود که بدانیم پلها درست زمانی تخریب می شوند که ما بیشترین احتیاج را به راههای دسترسی جهت کمک به آسیب دیدگان از بلایای طبیعی (به عنوان مثال در مواقع سیلابی) داریم.

بجز چند تحقیق مختصر که قبل از جنگ جهانی بر روی آبشستگی و روشهای محافظت در برابر آن انجام شد، اوج تحقیقات در این زمینه طی چهار دهه اخیر بوده است.[3]

۱-۲- تاریخچه ای از تخریب پلها:

تا به حال پلهای مختلفی در ایران و سراسر جهان در اثر آبشستگی خراب شده اند. در ادامه به منظور روشن تر شدن اهمیت مطالعات دقیق آبشستگی پل تنها به چند مورد تخریب پلها بعنوان نمونه اشاره می شود.

۱-۲-۱- مطالعه موردی: پل بالارود

پل بالارود یکی از پلهایی است که در اثر آبشستگی دچار خرابی گردیده است. این پل در محور اهواز – اندیمشک و در استان خوزستان و بر روی رودخانهٔ بالارود (که از منتقه ای به نام چنار و در اندیمشک سرچشمه می گیرد) واقع شده و شامل ٢٤ دهانه ۱۲ متری است. عرشهٔ اولیه این پل از شاهتیرهای بتنی – فلزی ساخته شده و پایه های آن از دیواره های بتن مسلح می باشد. (شکل ۱-۱)

شکل ۱-۱: نمایی از پل بالا رود جنوبی (ماشین رو) قبا از آب شستگی سال ۱۳۷۳