





دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی-آب  
گرایش آبیاری و زهکشی

بررسی تأثیر صفحات دوگانه مستغرق در کاهش و کنترل آبشستگی  
کنار پایه استوانه‌ای

استادان راهنما:

دکتر بهزاد قربانی

دکتر مجتبی صانعی

استاد مشاور:

دکتر حسین صمدی بروجنی

پژوهشگر:

ابوالفضل دبردانی

دی ماه ۱۳۸۸



دانشگاه شاهرود

دانشکده کشاورزی

پایان نامه آقای **ابوالفضل دبردانی** جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی-آب گرایش آبیاری و زهکشی با عنوان " بررسی تأثیر صفحات دوگانه مستغرق در کاهش و کنترل آبشستگی کنار پایه استوانه‌ای" در تاریخ ۱۳۸۸/۱۰/۳۰ با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با نمره ۱۹/۴۳ مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استادان راهنمای پایان نامه دکتر بهزاد قربانی  
با مرتبه علمی استادیار  
امضاء

دکتر مجتبی صانعی  
با مرتبه علمی استادیار  
امضاء

۲. استاد مشاور پایان نامه دکتر حسین صمدی بروجنی  
با مرتبه علمی استادیار  
امضاء

۳. استادان داور داخلی گروه دکتر محمد شایان نژاد  
با مرتبه علمی استادیار  
امضاء

دکتر روح الله فتاحی  
با مرتبه علمی استادیار  
امضاء

دکتر سید حسن طباطبایی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی

۱۳۸۸/۱۰/۲۶

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتاج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه  
متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

## مشکر و قدردانی

دل کر چه در این بادیه بسیار شافت  
یک موی ندانست ولی موی شکافت

اکنون که به یاری خداوند بزرگ کار این پایان نامه به فرجام رسیده است بر خود می دانم که از همه استاد کرامی و دوستان  
ارجمندی که یاری کر من بوده اند سپاسگزار می نمایم.  
باسپاس از استاد راهنمای کرامی جناب آقای دکتر بهزاد قربانی و دکتر مجتبی صانعی به سپاس بهره مندی از محضر ایشان در  
دوران دانشجویی و راهنمایی های ارزنده ایشان در راستای انجام این پایان نامه.  
از استاد مشاور کرامی جناب آقای دکتر حسین صمدی بروجنی که افتخار شاگردی را به اینجانب عطا فرمودند نهایت تشکر را  
دارم.

از آقایان دکتر محمد شایان نژاد و دکتر روح الله قاجری که زحمات داور این پایان نامه را پذیرفتند کمال تشکر و قدردانی را  
دارم. از پرسنل مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری استان تهران به خصوص آقایان عماد حلیل، شوشی و زارعی  
به خاطر مساعدت های مربوطه کمال تشکر را دارم.

از کلیه دوستان عزیزم خانم مهندس حسینی، ذبیحی، کاموسی، رضا پوران و نوری و آقایان مهندس رئوفی راد، ایران  
پور، مؤمنی، خاتمی نژاد، رحمتی، نادری، پای رنج، جعفری، یزدانی، لاله زاری، ابولی پور و... که در سال های تحصیل  
در دانشگاه یاری کر اینجانب بوده اند، سپاسگزار می نموده و پیروزی ایشان را در تمامی مراحل زندگی آرزو مندم.

پیشکش بہ آن مہر عالمتاب عطفوت، کہ بہشت بر زیر گامش نقش دارد،  
او کہ بادستان پر سخاوتش و کفتار شیرینش بوستان زندگی ام را باغبان است،  
مہر سیکران مادرم.

ہدیہ بہ آن در شاہوار کہ دریای بی آرایش سخاوت است،  
آنکہ در راہش، قدم استوار و کلام کویش، زندگی را یافتہ ومی یابم،  
کنج نامام پدرم.

ہدیہ بہ خواہران عزیزم فاطمہ، مریم و فرحناز  
کہ وجودشان تنہا تکیہ گاہ من برای ادامہ راہ است.

## چکیده

پل‌ها از مهم‌ترین سازه‌های هیدرولیکی هستند که از دیرباز مورد استفاده قرار می‌گیرند. نقش استراتژیک پل‌ها در برقراری راه‌های ارتباطی بر کسی پوشیده نیست. پل‌ها همواره در معرض تخریب بوده و می‌باشند و همه ساله تعداد زیادی از آنها در سراسر جهان تخریب می‌شوند. علت عمده تخریب پل‌ها نادیده گرفتن نقش مسائل هیدرولیکی در طراحی از جمله آب شستگی کنار پایه پل‌ها است. لذا برای طراحی پل، شناخت پدیده آبشستگی و به کار بردن تمهیدات لازم برای کاهش و کنترل آن بسیار ضروری است. یکی از روش‌های جدید در کاهش میزان آبشستگی در اطراف پایه‌های پل، استفاده از صفحات مستغرق در کنار آنها است. در این تحقیق، از سری صفحات مستغرق بصورت دوگانه، با طول‌های متفاوت و نیز زاویه قرارگیری متفاوت که در موقعیت‌های مختلفی نسبت به پایه قرار گرفته‌اند، برای آزمایش استفاده شده است. آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری استان تهران، در یک کانال مستطیلی با ابعادی بطول ۱۴ متر، عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شد. برای این منظور از رسوبات غیرچسبنده، با قطر متوسط ۱ میلی‌متر استفاده شد. مدل پایه پل از جنس آهن با قطر ۷/۶ سانتیمتر (۳ اینچ) و صفحات مستغرق نیز از جنس فلز بصورت دوگانه (جفت)، با ارتفاع ۱۰ سانتیمتر و ضخامت ۱ سانتیمتر، با طول‌های مختلف (با اعمال ضرایب ۰/۳۳، ۰/۵، ۰/۶۶، ۱ و ۱/۵ برابر قطر پایه) که در سه زاویه قرارگیری متفاوت نسبت به جهت جریان، در چهار موقعیت مختلف نسبت به مدل پایه قرار گرفتند، استفاده شد. آزمایش‌ها به مدت هفت ساعت و در شرایط آبشستگی آب زلال انجام شدند. در این آزمایش‌ها حداکثر عمق آبشستگی و حجم حفره آبشستگی اندازه‌گیری شدند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که کاربرد صفحات مستغرق دوگانه با زاویه قرارگیری ۱۰ درجه با طول ۰/۵ برابر قطر پایه در موقعیت زاویه ۴۵ درجه نسبت به جریان حداکثر عمق و حجم حفره آبشستگی به ترتیب به مقدار ۴۸/۸۲ و ۴۶/۰۳ درصد کاهش بیشترین کاهش را داشته است.

کلمات کلیدی: آبشستگی آب زلال، پایه استوانه‌ای، صفحات مستغرق دوگانه.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷	<b>فصل اول - مقدمه</b>
۷	۱-۱ مقدمه
۹	۲-۱ اهداف اصلی مطالعه
۹	۳-۱ اهمیت پژوهش حاضر
۹	۴-۱ ساختار گزارش
۱۱	<b>فصل دوم - بررسی منابع</b>
۱۱	۱-۲ مقدمه
۱۱	۲-۲ آبخستگی و انواع آن
۱۱	۱-۲-۲ تعریف آبخستگی
۱۱	۲-۲-۲ انواع آبخستگی
۱۲	۳-۲-۲ انواع آبخستگی موضعی
۱۲	۳-۲ عوامل اصلی ایجاد آبخستگی موضعی
۱۳	۱-۳-۲ سیستم گردابی نعل‌اسبی
۱۳	۲-۳-۲ سیستم گردابی شیاری
۱۳	۳-۳-۲ سیستم گردابی دنباله‌دار
۱۳	۴-۲ اهمیت تعیین آبخستگی موضعی
۱۴	۵-۲ روش‌های مختلف بررسی‌های انجام‌گرفته پیرامون آبخستگی
۱۵	۶-۲ تاریخچه احداث پل
۱۵	۷-۲ عوامل تخریب پل‌ها
۱۶	۱-۷-۲ تخریب پل‌ها در اثر آبخستگی
۱۷	۲-۷-۲ مواردی از تخریب پل‌ها در ایران، در اثر آبخستگی
۲۱	۸-۲ آبخستگی ناشی از وجود پایه پل
۲۲	۱-۸-۲ آبخستگی پایه پل از نظر وجود یا عدم وجود آبخستگی عمومی بستر جریان
۲۲	۲-۸-۲ آبخستگی پایه پل، صرف نظر از وجود یا عدم وجود آبخستگی عمومی بستر جریان
۲۳	۹-۲ پارامترهای موثر بر آبخستگی موضعی
۲۳	۱-۹-۲ پارامترهای هیدرولیکی
۲۳	۲-۹-۲ پارامترهای مربوط به سیال
۲۴	۳-۹-۲ پارامترهای هندسی
۲۴	۴-۹-۲ پارامترهای رسوب
۲۴	۱۰-۲ لزوم بررسی پدیده آبخستگی
۲۵	۱۱-۲ مطالعات صورت گرفته بر روی آبخستگی پایه پل
۲۶	۱۲-۲ روش‌های کنترل و کاهش آبخستگی موضعی پایه پل
۲۶	۱-۱۲-۲ روش‌های گروه اول
۲۸	۲-۱۲-۲ روش‌های گروه دوم
۲۸	۱-۲-۱۲-۲ استفاده از طوق (Collar)



۲۹	۲-۲-۱۲-۲ استفاده از پاشنه (شالوده)
۲۹	۳-۲-۱۲-۲ استفاده از شکاف
۳۰	۴-۲-۱۲-۲ استفاده از صفحات مستغرق
۳۰	۳-۱۲-۲ روش‌های گروه سوم
۳۱	۱۳-۲ استفاده از صفحات مستغرق برای موارد گوناگون
۳۱	۱-۱۳-۲ استفاده از صفحات مستغرق در دهانه آبگیرها
۳۲	۲-۱۳-۲ استفاده از صفحات مستغرق در کنترل فرسایش و رسوبگذاری
۳۵	۱۴-۲ جمع بندی سابقه تحقیق
۳۶	<b>فصل سوم- مواد و روشها</b>
۳۶	۱-۳ مقدمه
۳۶	۲-۳ مواد انجام آزمایش‌ها
۳۶	۱-۲-۳ متغیرهای آزمایش‌ها
۳۷	۲-۲-۳ انتخاب پارامترهای آزمایش
۳۷	۱-۲-۲-۳ اندازه پایه
۳۸	۲-۲-۲-۳ قطر ماسه
۳۸	۳-۲-۲-۳ دبی جریان
۳۸	۴-۲-۲-۳ عمق جریان
۳۹	۵-۲-۲-۳ طول صفحات
۳۹	۶-۲-۲-۳ ارتفاع صفحات
۳۹	۷-۲-۲-۳ ضخامت صفحات
۳۹	۸-۲-۲-۳ زاویه صفحات در برابر جریان
۳۹	۹-۲-۲-۳ ارتفاع قرارگیری صفحات
۳۹	۳-۳ مدل آزمایشگاهی
۴۲	۱-۳-۳ نیروی محرکه ایجاد کننده جریان
۴۳	۲-۳-۳ کنترل دبی ورودی به کانال
۴۶	۳-۳-۳ تنظیم عمق جریان در کانال
۴۷	۴-۳-۳ خصوصیات ماسه مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها
۴۸	۴-۳-۳ طرح ریزی آزمایش‌ها
۴۹	۵-۳-۳ روش انجام آزمایش‌ها
۵۰	۱-۵-۳ اندازه گیری تغییرات عمق آبشستگی با گذشت زمان
۵۰	۲-۵-۳ اندازه گیری تغییرات موضعی بستر در اطراف پایه
۵۳	<b>فصل چهارم- نتایج و بحث</b>
۵۳	۱-۴ مقدمه
۵۳	۲-۴ آبشستگی موضعی کنار پایه استوانه‌ای بدون حضور صفحات مستغرق دوگانه
۵۷	۳-۴ تأثیر صفحات مستغرق دوگانه در کاهش حداکثر عمق آبشستگی
۵۷	۱-۳-۴ موقعیت $S_1$
۵۹	۲-۳-۴ موقعیت $S_2$

۶۱	۳-۳-۴ موقعیت $S_3$
۶۴	۴-۳-۴ موقعیت $S_4$
۶۶	۴-۴ بررسی زمانی کاربرد صفحات مستغرق دوگانه در کاهش حداکثر عمق آبشستگی اتفاق افتاده در محل رأس پایه
۶۶	۱-۴-۴ بررسی زمانی آزمایش با حضور صفحات مستغرق در مقایسه با پایه شاهد
۶۷	۲-۴-۴ بررسی زمانی تأثیر صفحات مستغرق بر کاهش آبشستگی در مقایسه با یکدیگر در یک موقعیت و یک زاویه حمله، با طول‌های متفاوتی از صفحات
۶۸	۳-۴-۴ بررسی زمانی تأثیر صفحات مستغرق بر کاهش آبشستگی در مقایسه با یکدیگر در یک موقعیت و یک طول از صفحات، با زوایای حمله متفاوت
۶۹	۴-۴-۴ بررسی زمانی تأثیر صفحات مستغرق بر کاهش آبشستگی در مقایسه با یکدیگر در موقعیت‌ها، زوایای حمله و طول‌های متفاوت
۷۱	۵-۴ بررسی حجم حفره آبشستگی ایجاد شده در اطراف پایه
۷۳	<b>فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۷۳	۱-۵ مقدمه
۷۳	۲-۵ نتیجه‌گیری
۷۵	۳-۵ پیشنهادات
۷۶	منابع

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴۹	جدول ۱-۳ مشخصات تمامی آزمایش‌های انجام‌شده
۵۴	جدول ۱-۴ مشخصات هیدرولیکی و نتایج آزمایش شاهد
۵۹	جدول ۲-۴ درصد کاهش حداکثر عمق آبستگي، نسبت به شاهد در موقعیت S <sub>1</sub>
۶۱	جدول ۳-۴ درصد کاهش حداکثر عمق آبستگي، نسبت به شاهد در موقعیت S <sub>2</sub>
۶۳	جدول ۴-۴ درصد کاهش حداکثر عمق آبستگي، نسبت به شاهد در موقعیت S <sub>3</sub>
۶۵	جدول ۵-۴ درصد کاهش حداکثر عمق آبستگي، نسبت به شاهد در موقعیت S <sub>4</sub>
۶۹	جدول ۶-۴ درصد کاهش حداکثر عمق آبستگي ایجاد شده در محل رأس پایه، نسبت به شاهد در موقعیت S <sub>1</sub>
۷۰	جدول ۷-۴ درصد کاهش حداکثر عمق آبستگي ایجاد شده در محل رأس پایه، نسبت به شاهد در موقعیت S <sub>2</sub>
۷۰	جدول ۸-۴ درصد کاهش حداکثر عمق آبستگي ایجاد شده در محل رأس پایه، نسبت به شاهد در موقعیت S <sub>3</sub>
۷۱	جدول ۹-۴ درصد کاهش حداکثر عمق آبستگي ایجاد شده در محل رأس پایه، نسبت به شاهد در موقعیت S <sub>4</sub>

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۳	شکل ۱-۲ الگوی جریان اطراف یک پایه قائم استوانه‌ای
۱۷	شکل ۲-۲ نشست پایه پل آدینان واقع بر روی رودخانه زرينه‌رود، در اثر آبشستگی
۱۸	شکل ۳-۲ تخریب پایه پل چم‌چال در کرمانشاه در اثر آبشستگی
۱۸	شکل ۴-۲ پل قدیمی دزفول در کنار سازه فلزی احداث شده
۱۹	شکل ۵-۲ آسیب‌های وارده به پایه‌های پل دزفول در اثر آبشستگی
۱۹	شکل ۶-۲ پل خسرو در کنار سد خاکی برای جلوگیری از آبشستگی
۲۰	شکل ۷-۲ تخریب کامل پل دوراهی دیر
۲۰	شکل ۸-۲ پل جاده قدیم آران و بیدگل
۲۱	شکل ۹-۲ تخریب پایه‌های پل ایرانشهر به بمپور
۲۱	شکل ۱۰-۲ تخریب پل روستای ولیران
۲۳	شکل ۱۱-۲ آبشستگی پایه پل
۲۷	شکل ۱۲-۲ مدل آزمایشگاهی استفاده از سنگ‌چین در کنترل آبشستگی
۲۸	شکل ۱۳-۲ نمایی از موقعیت طوق روی پایه استوانه‌ای
۲۹	شکل ۱۴-۲ نمایش شکاف در یک پایه استوانه‌ای
۳۷	شکل ۱-۳ پلان و مشخصات پایه همراه با صفحات در موقعیت‌های مختلف
۴۰	شکل ۲-۳ نمای جانبی کانال
۴۱	شکل ۳-۳ مخزن و لوله‌های مکنده جریان
۴۱	شکل ۴-۳ مخزن و لوله‌های بالابرنده جریان
۴۱	شکل ۵-۳ کانال فرعی موجود در جهت عمود بر کانال اصلی
۴۲	شکل ۶-۳ آجرهای مشبک آرام‌کننده جریان در بالادست حوضچه آرامش
۴۲	شکل ۷-۳ آجرهای مشبک آرام‌کننده جریان در پایین دست حوضچه آرامش به همراه قطعه یونولیتی
۴۳	شکل ۸-۳ الکتروپمپ‌های ایجاد کننده جریان
۴۴	شکل ۹-۳ شیرهای کنترل کننده جریان خروجی از پمپ
۴۴	شکل ۱۰-۳ شیر تخلیه کننده دبی مازاد از حوضچه آرامش
۴۵	شکل ۱۱-۳ سرریز مثلثی برای تنظیم جریان ورودی به کانال
۴۵	شکل ۱۲-۳ آرام‌کننده به همراه سرریز مثلثی
۴۵	شکل ۱۳-۳ عمق سنج برای قرائت عمق آب بر روی سرریز مثلثی
۴۶	شکل ۱۴-۳ منحنی دبی - اشل سرریز مثلثی
۴۶	شکل ۱۵-۳ دریچه لولائی تنظیم کننده عمق جریان در پایاب
۴۷	شکل ۱۶-۳ دریچه تنظیم عمق جریان
۴۷	شکل ۱۷-۳ اهرم چرخ‌دنده‌ای برای کنترل دریچه لولائی
۴۸	شکل ۱۸-۳ منحنی دانه‌بندی ماسه مورد استفاده
۵۱	شکل ۱۹-۳ عمق سنج به کار رفته به همراه ارابه
۵۱	شکل ۲۰-۳ ارابه برای حرکت در طول کانال
۵۲	شکل ۲۱-۳ مختات عرضی عمق سنج

- شکل ۳-۲۲ مختصات طولی عمق سنج ۵۲
- شکل ۴-۱ پلان و مشخصات پایه در آزمایش شاهد ۵۴
- شکل ۴-۲ تصویر مدل پایه و بستر رسوبی و حفره آبشستگی در آزمایش شاهد، از بالادست ۵۴
- شکل ۴-۳ تصویر مدل پایه و بستر رسوبی و حفره آبشستگی در آزمایش شاهد، از بالا ۵۵
- شکل ۴-۴ تصویر مدل پایه و بستر رسوبی و حفره آبشستگی در آزمایش شاهد، از پایین دست ۵۵
- شکل ۴-۵ نقشه خطوط تراز حفره آبشستگی در آزمایش شاهد ۵۵
- شکل ۴-۶ نقشه سایه‌دار برجستگی‌های حفره آبشستگی در آزمایش شاهد ۵۶
- شکل ۴-۷ مقطع طولی تغییرات سطح بستر حفره آبشستگی در آزمایش شاهد ۵۶
- شکل ۴-۸ تصویر سه‌بعدی سطح بستر حفره آبشستگی در آزمایش شاهد ۵۶
- شکل ۴-۹ پلان و مشخصات پایه استوانه‌ای و صفحات مستغرق در موقعیت  $S_1$  ۵۷
- شکل ۴-۱۰ تغییرات درصد حداکثر عمق آبشستگی با زاویه حمله برای طول‌های مختلف در موقعیت  $S_1$  ۵۸
- شکل ۴-۱۱ تغییرات درصد حداکثر عمق آبشستگی با طول صفحات مستغرق برای زاویه‌های حمله مختلف در موقعیت  $S_1$  ۵۸
- شکل ۴-۱۲ پلان و مشخصات پایه استوانه‌ای و صفحات مستغرق در موقعیت  $S_2$  ۵۹
- شکل ۴-۱۳ تغییرات درصد حداکثر عمق آبشستگی با زاویه حمله برای طول‌های مختلف در موقعیت  $S_2$  ۶۰
- شکل ۴-۱۴ تغییرات درصد حداکثر عمق آبشستگی با طول صفحات مستغرق برای زاویه‌های حمله مختلف در موقعیت  $S_2$  ۶۰
- شکل ۴-۱۵ پلان و مشخصات پایه استوانه‌ای و صفحات مستغرق در موقعیت  $S_3$  ۶۱
- شکل ۴-۱۶ تغییرات درصد حداکثر عمق آبشستگی با زاویه حمله برای طول‌های مختلف در موقعیت  $S_3$  ۶۲
- شکل ۴-۱۷ تغییرات درصد حداکثر عمق آبشستگی با طول صفحات مستغرق برای زاویه‌های حمله مختلف در موقعیت  $S_3$  ۶۳
- شکل ۴-۱۸ پلان و مشخصات پایه استوانه‌ای و صفحات مستغرق در موقعیت  $S_4$  ۶۴
- شکل ۴-۱۹ تغییرات درصد حداکثر عمق آبشستگی با زاویه حمله برای طول‌های مختلف در موقعیت  $S_4$  ۶۴
- شکل ۴-۲۰ تغییرات درصد حداکثر عمق آبشستگی با طول صفحات مستغرق برای زاویه‌های حمله مختلف در موقعیت  $S_4$  ۶۵
- شکل ۴-۲۱ تغییرات زمانی درصد حداکثر عمق آبشستگی در مقایسه با پایه شاهد ۶۶
- شکل ۴-۲۲ تصویر مدل پایه به همراه صفحات مستغرق از بالادست ۶۷
- شکل ۴-۲۳ تغییرات زمانی درصد آبشستگی با طول، برای زاویه ۱۰ درجه، در موقعیت  $S_3$  ۶۸
- شکل ۴-۲۴ تغییرات زمانی درصد آبشستگی با زاویه، برای طول ۰/۵ قطر پایه، در موقعیت  $S_3$  ۶۹
- شکل ۴-۲۵ تغییرات درصد حجم حفره آبشستگی نسبت به حالت شاهد برای طول ۰/۵ قطر پایه، در مقابل زاویه حمله ۷۱
- شکل ۴-۲۶ تغییرات درصد حجم حفره آبشستگی نسبت به حالت شاهد برای زاویه حمله ۱۰ درجه، در مقابل طول صفحات ۷۲

## فصل اول

### مقدمه

در این فصل به مقدمه‌ای در مورد پایان‌نامه پیش رو و موضوع مورد بررسی، ضرورت تحقیق و اهداف مورد نظر از اجرای این تحقیق، پرداخته شده‌است.

#### ۱-۱ مقدمه

پل‌ها از جمله مهم‌ترین سازه‌های ارتباطی هستند که از دیرباز مورد استفاده قرار می‌گیرند و نقش استراتژیک آنها در برقراری راه‌های ارتباطی بر کسی پوشیده نیست. با افزایش جمعیت و نیاز به مسکن برای زندگی، شهرسازی توسعه پیدا کرده و ایجاد ارتباط بین شهرها اجتناب ناپذیر شده‌است و این امر با ساخت پل‌های بسیاری بر روی رودخانه‌ها در سراسر دنیا همراه بوده‌است (ارونقی، ۱۳۸۳).

پل‌ها همواره در معرض تخریب می‌باشند و همه‌ساله پل‌های زیادی در سراسر جهان تخریب می‌شوند. تخریب پل‌ها در بیشتر موارد به دلایل سازه‌ای نیست، بلکه به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل‌ها است.

در مطالعات انجام شده در مورد تخریب پل‌ها، سیلی که منتج به آبشستگی می‌شود به عنوان یکی از اصلی‌ترین دلایل شکست پل‌ها شناخته شده است (زرانی، ۱۳۷۹). بر اساس تحقیقات انجام شده بیش از نیمی از پل‌ها در اثر وقوع سیلاب تخریب می‌شوند (نظری، ۱۳۸۲). تخریب پل‌ها علاوه بر خسارات مادی، در مواقع سیلابی خسارات جانی و مسائل اجتماعی زیادی به دنبال دارد.

آبشستگی در اثر فرسایش بستر رودخانه توسط جریان آب و موادی که توسط آب حمل می‌شوند ایجاد می‌شود و با گذشت زمان، اطراف پایه را خالی می‌کند و باعث انهدام و ناپایداری پل‌ها می‌شود. تغییر جهت جریان آب در رودخانه و نیز افزایش سرعت آب در اثر سیل یکی دیگر از عوامل از بین رفتن پل‌ها می‌باشد. آبشستگی منتج به شکست پل، در طول جریان‌های سیلابی اتفاق می‌افتد. وجود جریان‌های ناپایدار واشکال هندسی سازه و پیچیدگی دینامیکی جریان، دلیل اصلی شکست پل در مواقع سیلابی است، اگرچه وجود اجسام شناور، مانند درختان، در جریان رودخانه نیز می‌تواند باعث وارد آمدن خساراتی به پایه پل و حتی شکستن آن شود (رائودکیوی و اتما، ۱۹۸۳).

پایه‌های ساخته شده بر روی بستر آبرفتی، استعداد و قابلیت بالایی برای آبشستگی اطرافشان داشته و ممکن است در اثر این آبشستگی فرو بریزند (پوسی، ۱۹۷۴).  
آبشستگی در رودخانه‌های آبرفتی در سه گروه دسته‌بندی می‌شود:

۱- آبشستگی عمومی بستر که صرف نظر از وجود یا عدم وجود پل، در بستر رودخانه ایجاد می‌شود.

۲- آبشستگی انقباضی یا آبشستگی تنگ‌شدگی که ممکن است به خاطر تنگ‌شدگی مقطع رودخانه در اثر وجود سازه‌هایی از جمله پل، در مسیر جریان به وجود آید.

۳- آبشستگی موضعی که توسط جریان موضعی در اطراف پایه‌های پل ایجاد می‌شود. عوامل مختلفی که در میزان آبشستگی موضعی تأثیر دارند عبارتند از:

۱- جریان (سرعت، عمق، دبی،...)

۲- مصالح رسوبی (اندازه، چگالی،...)

۳- مشخصات هندسی پل (عرض، طول، زاویه،...)

۴- زمان و مدت برقراری جریان

آبشستگی موضعی پایه پل به یکی از دو روش زیر، می‌تواند اتفاق بیفتد:

۱- آبشستگی آب زلال: این نوع آبشستگی زمانی اتفاق می‌افتد که ذرات بستر در بالادست منطقه آبشستگی موضعی، حرکتی نداشته‌باشند و در جای خود باقی بمانند. تنش برشی بستر در خارج از منطقه آبشستگی موضعی، کوچک‌تر یا مساوی تنش برشی بحرانی یا تنش برشی آستانه برای شروع حرکت ذرات بستر می‌باشد. در آبشستگی آب زلال، حداکثر عمق آبشستگی زمانی ایجاد می‌شود که جریان، دیگر قادر به خارج ساختن ذرات از داخل گودال آبشستگی نباشد.

۲- آبشستگی بستر زنده: زمانی اتفاق می‌افتد که انتقال عمومی ذرات بستر رودخانه، توسط جریان انجام گیرد. این نوع آبشستگی نیز صرف نظر از وجود یا عدم وجود پایه پل اتفاق می‌افتد، زیرا در این حالت در تمام مسیر جریان، سرعت جریان بیشتر از سرعت بحرانی است. عمق تعادل آبشستگی در شرایط بستر زنده در محل پایه پل، زمانی حاصل می‌شود که در یک بازه زمانی، مقدار ذرات خارج شده از گودال آبشستگی با مقدار رسوب وارد شده به آن از بالادست، برابر باشد (قربانی و حیدرپور، ۱۳۸۴).  
در طرح مورد نظر، کاهش حداکثر عمق آبشستگی موضعی در حالت آبشستگی آب زلال ناشی از وجود تک پایه در بستر آبرفتی، تحت تأثیر وجود صفحات مستغرق دوگانه در ابعاد و زوایای قرارگیری متفاوت، نسبت به جهت جریان و نیز محل‌های قرارگیری متفاوت نسبت به پایه پل مورد بررسی قرار می‌گیرد و در

نهایت مقایسه‌ای میان حالات ذکر شده صورت می‌گیرد و بر اساس آن، بهترین حالت ممکن از نظر کاهش حداکثر عمق آبشستگی، مشخص می‌شود.

## ۲-۱ اهداف اصلی مطالعه

- ۱- بررسی میزان حداکثر عمق آبشستگی موضعی در موقعیت‌های قرارگیری مختلف صفحات مستغرق دوگانه نسبت به پایه،
- ۲- بررسی میزان حداکثر عمق آبشستگی موضعی در زوایای حمله مختلف صفحات مستغرق دوگانه نسبت به جهت جریان،
- ۳- بررسی میزان حداکثر عمق آبشستگی موضعی در طول‌های مختلف صفحات مستغرق دوگانه،
- ۴- مقایسه تأثیر بکارگیری و عدم بکارگیری صفحات مستغرق دوگانه در کاهش حداکثر عمق آبشستگی موضعی نسبت به حداکثر عمق آبشستگی موضعی ایجاد شده در اطراف پایه استوانه‌ای.

## ۳-۱ اهمیت پژوهش حاضر

مطالعات برایس (۱۹۷۸) نشان داد که بین سال‌های ۱۹۶۴ و ۱۹۷۲، سیل‌ها خسارتی در حدود صد میلیون دلار به پل‌ها و راه‌ها در آمریکا وارد کرده‌اند. تخریب پل‌ها درست در زمانی که نیاز مبرم به آنها می‌باشد، رخ می‌دهد (بهرامی، ۱۳۸۲). شکست و تخریب پل‌ها علاوه بر خسارات مالی و جانی، راه ارتباطی بین نقاط سیل‌گیر و نیازمند به کمک رسانی را قطع می‌کند.

بررسی برخی مدارک نشان می‌دهد که بیشترین تخریب پل‌ها در اثر آبشستگی یا عوامل هیدرولیکی دیگر صورت می‌گیرد. به عنوان مثال، در ایالات متحده آمریکا در طی سی سال گذشته، یک هزار از مجموع پانصد هزار پل ساخته شده بر روی رودخانه‌ها تخریب شده‌است که شصت درصد آنها در اثر آبشستگی بوده‌است، درحالی که سهم زلزله در این تخریب‌ها تنها دو درصد می‌باشد.

در کشور ما به دلیل عدم رعایت ملاحظات فنی در طراحی و اجرای پل‌ها، هرساله ده‌ها پل تخریب شده که اکثر آنها در اثر آبشستگی می‌باشد. لذا برای طراحی پل، شناخت پدیده آبشستگی و به کار بردن تمهیدات لازم برای کاهش و کنترل آن و همچنین برآورد دقیق مقدار حداکثر آن بسیار ضروری است (ارونقی، ۱۳۸۳).

بنابراین لزوم بررسی پدیده آبشستگی و محافظت پایه‌ها در مقابل آن به وضوح دیده می‌شود. لذا شناخت این پدیده، پیش‌بینی میزان آبشستگی و لحاظ کردن آن در طراحی پل‌ها و مهم‌تر از همه به کار بردن تمهیدات لازم برای کاهش و کنترل آبشستگی بسیار ضروری است.

## ۴-۱ ساختار گزارش

این پایان‌نامه متشکل از پنج فصل می‌باشد که در فصل اول مقدمه، در فصل دوم بررسی منابع و معرفی کارهای انجام شده در زمینه کنترل و کاهش آبشستگی موضعی در کنار پایه پل‌ها و چگونگی کاربرد صفحات مستغرق در کنار پایه و عملکرد آنها بر آبشستگی موضعی، در فصل سوم به چگونگی انتخاب مدل آزمایشگاهی، مواد و ابزار کار، شرح آزمایش‌ها و زمان انجام آنها، موقعیت استقرار صفحات مستغرق دوگانه در



اطراف پایه و چگونگی برداشت نتایج حاصل در طول آزمایش‌ها و در فصل چهارم با بحث بر روی نمودارها و جداول حاصله به مقایسه عملکرد صفحات مستغرق دوگانه در موقعیت‌های مختلف و تحت زوایای حمله متفاوت و با طول‌های مختلف بر کاهش آبشستگی موضعی اطراف پایه و در فصل پایانی، بهترین حالات کاهش آبشستگی موضعی همراه با مجموعه‌ای از پیشنهادات ارائه شده‌است.

## فصل دوم

### بررسی منابع

#### ۱-۲ مقدمه

در این فصل به مواردی از تحقیقات انجام شده در زمینه‌های مشابه با تحقیق حاضر پرداخته می‌شود تا بتوان یک دید کلی در مورد موضوع مورد بررسی و مشکلات ناشی از نادیده گرفتن این مسأله پیدا کرد.

#### ۲-۲ آبشستگی و انواع آن

##### ۱-۲-۲ تعریف آبشستگی

آبشستگی (Scouring) نوعی از فرسایش است که در اثر جریان آب در سواحل دریاها، رودخانه‌ها و در اطراف سازه‌های احداث شده در آنها به وقوع می‌پیوندد. در واقع ذرات موجود در بستر، تا زمانی که برابر حرکت مقاومت می‌کنند که نیروی وارده بر آنها از نیروی وزن آنها کمتر باشد و زمانی که برآیند نیروهای وارد به ذرات از نیروی مقاوم بیشتر شد، ذرات شروع به حرکت می‌کنند. این حرکت ذرات، اول در سطح و سپس، با گذشت زمان در عمق نیز مشاهده می‌شود.

##### ۲-۲-۲ انواع آبشستگی

آبشستگی در رودخانه‌های آبرفتی در سه گروه دسته‌بندی می‌شود:

- ۱- آبشستگی عمومی بستر که با توجه به نوع رسوبات بستر و خصوصیات جریان، در بستر رودخانه ایجاد می‌شود،
- ۱- آبشستگی انقباضی یا آبشستگی ناشی از تنگ‌شدگی که بخاطر تنگ‌شدگی مقطع رودخانه در اثر وجود سازه‌هایی از جمله پل، در مسیر جریان به وجود می‌آید،
- ۲- آبشستگی موضعی که توسط جریان موضعی در اطراف پایه‌های پل وسایر سازه‌ها ایجاد می‌شود (قربانی و حیدرپور، ۱۳۸۴).

## ۲-۲-۳ انواع آبشستگی موضعی

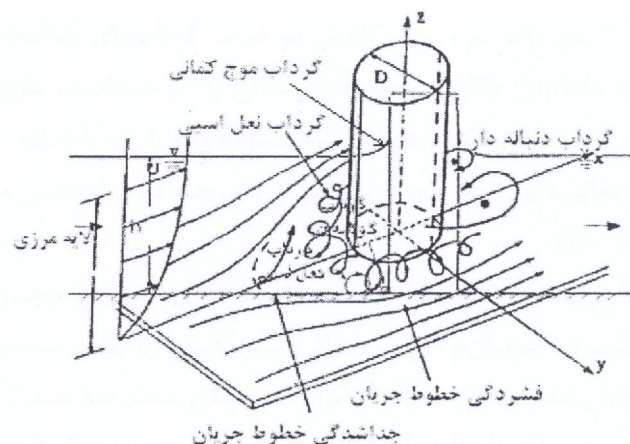
آبشستگی موضعی در بسترهای طبیعی را به‌طور کلی می‌توان به سه دسته تقسیم کرد :

- ۱- آبشستگی موضعی در مجاورت موانع موجود در رودخانه‌ها،
  - ۲- آبشستگی موضعی در پایین‌دست سازه‌های کنترل در سیستم‌های انتقال آب،
  - ۳- آبشستگی موضعی در اثر ریزش‌های قائم و یا افقی جریان آب (مئاندرها).
- هنگامی که مانعی مانند پایه‌های پل و یا آبشکن‌ها در مسیر جریان قرار می‌گیرند، اختلاف فشار بوجود آمده در جریان آب بالادست و پایین‌دست مانع، و گرادیان فشار در جلوی پایه منجر به بوجود آمدن جریان‌های آشفته چرخشی و گردابی و رو به پایین در اطراف مانع می‌شود و در نتیجه آن حفره‌ای عمیق در اطراف مانع و بخصوص در قسمت بالادست آن ایجاد می‌شود که آن را آبشستگی موضعی (Local Scour) می‌گویند. بطور کلی هر جا که در اثر تغییر جهت جریان، جریان‌های گردابی بوجود بیاید، آبشستگی موضعی رخ می‌دهد. آبشستگی موضعی موجب می‌شود که پایین‌ترین قسمت بستر مجرا از سطح معمول گودتر شود (سیمون و سنچر، ۱۹۷۷).
- عامل اصلی آبشستگی موضعی، در مورد پایه‌های پل، جریان رو به پایینی است که نظیر یک جت عمودی از آب عمل می‌کند و مواد موجود در اطراف پایه را بلند کرده و در مسیر جریان انتقال می‌دهد (شفاعی بجستان، ۱۳۷۳).
- از طرفی تأثیر جریان‌های گردابی ایجاد شده در اطراف موانعی که در مسیر جریان قرار دارند را نمی‌توان نادیده گرفت و قابل ذکر است که این سیستم‌های گردابی (Vortex system) از عوامل اصلی ایجاد آبشستگی می‌باشند.

## ۲-۳ عوامل اصلی ایجاد آبشستگی موضعی

با توجه به شکل و نحوه قرارگیری مانع و شرایط جریان، گرداب ایجاد شده ممکن است به یکی از صورت‌های زیر باشد:

- ۱- سیستم گردابی نعل اسبی (Horse shoe vortex)،
  - ۲- سیستم گردابی شیاری (Wake vortex)،
  - ۳- سیستم گردابی دنباله‌دار (Trailing vortex).
- تمامی گرداب‌هایی که منجر به آبشستگی می‌شوند به صورت یکی از موارد فوق و یا ترکیبی از آنها می‌باشند.



شکل ۲-۱: الگوی جریان اطراف یک پایه قائم استوانه‌ای

### ۲-۳-۱ سیستم گردابی نعل اسبی

سیستم گرداب اصلی که در شکل‌دهی گودال آبخستگی مؤثر است در لبه بالادست پایه شروع می‌شود و جهت جریان در بستر رودخانه را تغییر می‌دهد. از این رو مواد بستر در اثر جریان بلند می‌شوند و یک چرخش حلزونی در اطراف پایه بوجود می‌آید و بدلیل آنکه گرداب در پلان، شکل نعل اسب دارد، در اصطلاح به آن گرداب نعل اسبی گفته می‌شود.

### ۲-۳-۲ سیستم گردابی شیاری

در سیستم گردابی شیاری برای اعداد رینولدز پایین، ( $5 < R < 50$ ) گرداب‌ها پایدار هستند و یک سیستم دائمی در پایین دست و نزدیک پایه را تشکیل می‌دهند، اما برای اعداد رینولدز بالاتر سیستم ناپایدار است و گرداب‌ها بصورت پی‌درپی در محل پایه ایجاد شده و به پایین دست انتقال می‌یابند. گودال ایجاد شده در این حالت معمولاً طویل‌تر از حالت قبل می‌باشد.

### ۲-۳-۳ سیستم گردابی دنباله‌دار

سیستم گردابی دنباله‌دار معمولاً در موانع کاملاً غوطه‌ور روی می‌دهد. این سیستم ترکیبی از یک یا چند گرداب مجزا، مربوط به بالای پایه می‌باشد و به پایین دست امتداد می‌یابد. این گرداب‌ها وقتی تشکیل می‌شوند که اختلاف فشار بین دو سطح برخورد گوشه‌ای، مانند بالای مانع و قسمت‌های پایین‌تر وجود داشته باشد (شن، ۱۹۷۱؛ کبورانی، ۱۳۷۰؛ شفاعی بجزستان، ۱۳۷۳ و فیاض‌بخش، ۱۳۸۲).

### ۲-۴ اهمیت تعیین آبخستگی موضعی

تعیین آبخستگی به این دلیل که، در وهله اول بیانگر میزان پتانسیل تخریب جریان در اطراف سازه بوده و در وهله دوم، در طراحی ابعاد و اندازه‌های پی سازه‌هایی که در مسیر جریان قرار داشته و در معرض آبخستگی می‌باشند، نقش با اهمیتی را ایفا می‌کند.