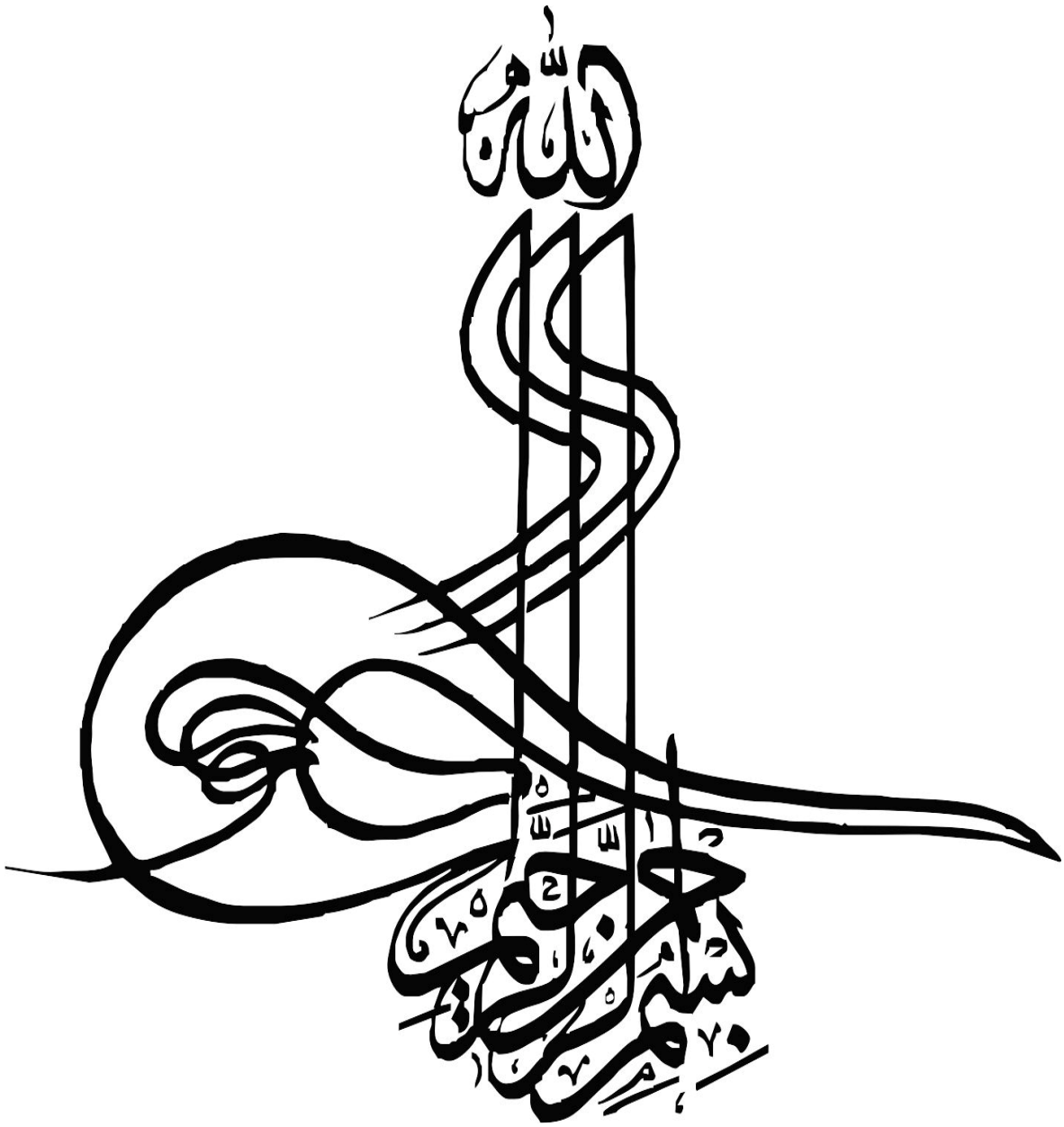

الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده مهندسی آب و محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی ارشد- مهندسی عمران- مهندسی رودخانه

بررسی آزمایشگاهی فرسایش درونی در مجاورت سازه‌های متقاطع در کناره‌های رودخانه

تحقیق و تدوین:

هدیه سلامت روندی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا مجدزاده طباطبایی

استاد مشاور:

دکتر سعید قربان بیگی

دی ۱۳۹۰

نمی‌توانم معنایی بالاتر از تقدیر و تشکر بر زبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف استادان خویش آشکار نمایم، که هر چه گویم و سرایم، کم گفته‌ام.

بر خود واجب می‌دانم که از اساتید گرانقدرم و تمام کسانی که به هر نحوی در انجام این تحقیق یاری‌ام نمودند تشکر و قدردانی نمایم؛

جناب آقای دکتر محمدرضا مجدزاده طباطبایی، استاد راهنمای بزرگوارم به خاطر راهنمایی‌های ارزنده و پشتیبانی‌های بی‌دریغ و فراتر از حد انتظار و صبر و حوصله فراوان ایشان در انجام مراحل مختلف این رساله؛

جناب آقای دکتر سعید قربان بیگی استاد مشاور محترم به خاطر مشاوره‌های مفیدشان در انجام این رساله؛

جناب آقای مهندس محمد حسین خرازی‌فرد، استاد ارجمند به خاطر ارائه پیشنهادها و نقطه نظرات مفید و ارزنده در بخش‌های مختلف انجام آزمایشات و تحلیل این رساله و کمک‌های بی شائبه ایشان در به سرانجام رسانیدن این رساله؛

سرکار خانم مهندس نادره سلامت روندی به خاطر کمک‌های بی‌دریغشان در انجام آزمایشات؛

جناب آقای مهندس فیروز قاسم زاده به خاطر کمک‌ها و پیشنهادهای مفیدشان در انجام آزمایشات؛

و در انتها از مسئولین و اساتید محترم آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه صنعت آب و برق، جناب آقای دکتر حاجی ستوده، جناب آقای دکتر آجرلو و جناب آقای تکلو، به خاطر در اختیار قرار دادن آزمایشگاه و وسایل و تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها و سایر افرادی که به هر نحوی در انجام این رساله یاری‌ام دادند، نهایت تقدیر و تشکر را دارم.

تقدیم به:

مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق،

که از نگاهش صلابت

از رفتارش محبت

و از صبرش ایستادگی را آموختم

و تمام زندگیم را مدیون فداکارهایش هستم

و

روح پاک پدرم،

او که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی و انسانیت را تجربه نمایم

و

خواهر و برادران عزیزم.

فهرست مطالب

کلیات- فصل اول ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مقدمه‌ای بر فرسایش ۲

۱-۳- ضرروت انجام تحقیق ۳

۱-۴- هدف از انجام تحقیق ٦

۱-۵- ساختار پایان‌نامه ۷

فصل دوم- مروری بر مطالعات گذشته ۹

۲ -۱- مقدمه ۱۰

۲- ۲- مبانی نظری ۱۰

۲-۲-۱- تقسیم‌بندی رودخانه‌ها به لحاظ آبدهی ۱۰

۲-۲-۲- توصیف پدیده‌ی فرسایش درونی ۱۳

۲-۲-۳- فرآیندهای کلی فرسایش کناره رودخانه ۱٤

۲-۲-۴- عوامل موثر بر فرسایش کناره رودخانه ۱٦

۲-۲-۵- تعادل رودخانه‌ها ۱٦

۲-۳- مروری بر سابقه‌ی مطالعاتی در زمینه‌ی فرسایش درونی ۱۷

فصل سوم- تجهیزات آزمایشگاهی و روند انجام آزمایش‌ها ۳۲

۳-۱- مقدمه ۳۳

۳-۲- لوازم و تجهیزات آزمایشگاهی ۳۳

۳-۲-۱- فلوم آزمایشگاهی ۳۳

۳-۲-۲- لایه‌بندی خاک و شبیه‌سازی کناره‌ی رودخانه با دانه‌بندهای مختلف در فلوم ۳٦

۳-۲-۳- اندازه‌گیری آب و رسوب ۳۹
۳-۳- روند انجام آزمایشات ۴۰
۳-۳-۱- شرح انجام آزمایشات ۴۰
۳-۳-۲- روش افزایش تراز آب در آزمایش ۴۲
۳-۳-۳- آزمایشات انجام شده در این تحقیق ۴۴
۳-۴- روش پیشنهادی انجام آزمایش‌ها ۴۴
فصل چهارم- تحلیل نتایج ۴۶
۴-۱- مقدمه ۴۷
۴-۲- پارامترهای مؤثر بر فرسایش نشتی و تحلیل ابعادی پارامترهای مؤثر ۴۹
محاسبات انجام شده و جدول مربوط به داده‌ها و نتایج ۵۱
۴-۳- بررسی نتایج آزمایشات و ارائه و تحلیل نتایج ۵۲
۴-۳-۱- آزمایشات انجام شده در فلوم بزرگ ۵۲
۴-۳-۲- آزمایشات انجام شده در فلوم کوچک ۵۹
۴-۳-۳- مقایسه‌ی آزمایشات دو حالت با لوله وبدون لوله طبق آزمایشات انجام شده در فلوم بزرگ ... ۶۶
۴-۳-۴- مقایسه‌ی آزمایشات دو حالت با لوله وبدون لوله طبق آزمایش‌ها انجام شده در فلوم کوچک . ۷۵
۴-۳-۵- مقایسه‌ی آزمایشات در دو فلوم بزرگ و کوچک ۷۶
۴-۴- روابط تجربی پیشنهادی جهت بر آورد عمق حفره‌ی آبشستگی ۸۷
۴-۴-۱- روابط پیشنهادی برای آزمایشات در فلوم بزرگ ۸۷
۴-۴-۲- روابط پیشنهادی برای آزمایشات در فلوم کوچک ۸۸
۴-۴-۷- بحث در ارتباط با روابط ارائه شده ۸۹
۴-۵- خطاهای موجود در آزمایش ۹۰
۴-۵-۱- خطاهای دستگاه آزمایش و مدل‌سازی ۹۰

۴-۵-۲- خطاهای اندازه‌گیری‌ها ۹۰

۴-۵-۳- خطاهای محاسباتی ۹۱

فصل پنجم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۹۲

۵-۱- مقدمه ۹۳

۵-۲- خلاصه نتایج ۹۳

۵-۳- پیشنهادات در راستای ادامه و تکمیل این تحقیق ۹۵

مراجع ۹۷

فهرست اشکال و جداول

شکل۱-۱- مراحل فرآیند فرسایش نشتی در کناره رودخانه ۵

شکل ۲-۱- رابطه‌ی بین آب زیرزمینی و رودخانه ۱۰

شکل ۲-۲- دیاگرام نشان‌دهنده‌ی ذخیره‌ی کناره در یک رودخانه‌ی دریافت‌کننده ۱۱

شکل ۲-۳- انواع شکست ساحل(Julien, 1955) ۱۵

شکل ۳-۱- فلوم‌های آزمایش ۳٤

شکل ۳-۲- شماتیک فلوم بزرگ ۳٤

شکل ۳-۳- فلوم بزرگ ۳۵

شکل۳-۴- شماتیک دستگاه آزمایش، فلوم بزرگ ۳۵

شکل۳-۵- فلوم کوچک ۳٦

شکل۳-۶- شماتیک دستگاه آزمایش، فلوم کوچک ۳٦

شکل ۳-۷ـ شماتیک از نمونه مورد آزمایش، تشکیل شده از ۳ لایه. ۳۷

شکل ۳-۸– آماده‌کردن مدل در فلوم بزرگ- الف: متراکم کردن لایه‌ی سربار، ب- صاف کردن جبهه‌ی جلویی. ۳۸

شکل ۳-۹- قرار دادن لوله در لایه‌ی ماسه‌ای ۳۹

شکل ۳-۱۰- آماده شدن نمونه‌ی با لوله ۳۹

شکل ۳-۱۱- ظروف اندازه‌گیری دبی و رسوب ٤۰

شکل ۳-۱۲ نمونه‌های آماده شده ٤۱

شکل ۳-۱۳- مراحل شروع پسروی در حالت با لوله ٤۲

شکل ۳-۱۴- گراف پایه‌ی افزایش هد به روش متغیر پله‌ای ٤۳

جدول ۳-۱- جدول متغیرهای آزمایش ٤٤

جدول ۳-۲- جدول روش استاندارد پیشنهادی افزایش تراز آب ٤۵

جدول ۴-۱- اطلاعات و محاسبات مربوط به آزمایش دانه‌بندی ۰/۸-۰/۴ میلی‌متر حالت بدون لوله ۵۳

جدول ۴-۲- اطلاعات و محاسبات مربوط به آزمایش دانه‌بندی ۰/۸-۰/۴ میلی‌متر حالت با لوله ۵۴

شکل ۴-۱- روند انجام وتحلیل آزمایش‌ها ٤۸

شکل ۴-۱- نمودار گرادیان در مقابل زمان بی بعد شده ۵۳

شکل ۴-۲- عدد رینولدز در مقابل زمان بی بعد شده ۵۳
شکل ۴-۳- طول پسروی بی‌بعد در مقابل زمان بی بعد ۵٤
شکل ۴-۴- طول پسروی بی بعد در مقابل تراز بی بعد ۵٤
شکل ۴-۵- طول پسروی بی بعد در مقابل عدد بی بعد رینولدز ۵٤
شکل ۴-۶- وزن رسوب بی بعد در مقابل زمان بی بعد ۵۵
شکل ۴-۷- وزن رسوب بی بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده ۵۵
شکل ۴-۸- گرادیان در مقابل زمان بی بعد ۵٦
شکل ۴-۹- عدد رینولدز در مقابل زمان بی بعد ۵۷
شکل ۴-۱۰- طول پسروی بی بعد در مقابل زمان بی بعد ۵۷
شکل ۴-۱۱- طول پسروی بی بعد در مقابل تراز بی بعد شده آب ۵۷
شکل ۴-۱۲- طول پسروی بی‌بعد در مقابل عدد رینولدز ۵۸
شکل ۴-۱۳- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل زمان بی‌بعد ۵۸
شکل ۴-۱۴- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعدشده ۵۸
شکل ۴-۱۵- گرادیان در مقابل زمان بی بعد ٦۰
شکل ۴-۱۶- عدد رینولدز در مقابل زمان بی‌بعد ٦۰
شکل ۴-۱۷- طول پسروی بی‌بعد در مقابل زمان بی‌بعد شده ٦۱
شکل ۴-۱۸- طول پسروی بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ٦۱
شکل ۴-۱۹- طول پسروی بی‌بعد در مقابل عدد رینولدز ٦۱
شکل ۴-۲۰- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل زمان ٦۲
شکل ۴-۲۱- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ٦۲
شکل ۴-۲۲- گرادیان در مقابل زمان بی‌بعد ٦۳
شکل ۴-۲۳- عدد رینولدز در مقابل زمان بی‌بعد ٦٤
شکل ۴-۲۴- طول پسروی در مقابل زمان بی‌بعد ٦٤
شکل ۴-۲۵- طول پسروی در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ٦۵
شکل ۴-۲۶- طول پسروی بی‌بعد در مقابل عدد رینولدز ٦۵

شکل ۴-۲۷- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل زمان بی‌بعد ٦٥
شکل ۴-۲۸- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ٦٥
شکل ۴-۲۹- گرادیان در مقابل زمان بی‌بعد ٦٧
شکل ۴-۳۰- عدد رینولدز در مقابل زمان بی‌بعد ٦٧
شکل ۴-۳۱- طول پسروی بی بعد در مقابل زمان بی‌بعد ٦٨
شکل ۴-۳۲- طول پسروی بی بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ٦٨
شکل ۴-۳۳- طول پسروی بی بعد در مقابل عدد رینولدز ٦٨
شکل ۴-۳۴- وزن رسوب بی بعد در مقابل زمان بی‌بعد ٦٨
شکل ۴-۳۵- وزن رسوب بی بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ٦٩
شکل ۴-۳۶- گرادیان آب در مقابل زمان بی‌بعد ۷۰
شکل ۴-۳۷- عدد رینولدز آب در مقابل زمان بی‌بعد ۷۰
شکل ۴-۳۸- طول پسروی بی بعد در مقابل زمان بی‌بعد ۷۱
شکل ۴-۳۹- طول پسروی بی بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ۷۱
شکل ۴-۴۰- طول پسروی بی بعد در مقابل عدد رینولدز ۷۱
شکل ۴-۴۱- وزن رسوب بی بعد در مقابل زمان بی‌بعد ۷۱
شکل ۴-۴۲- وزن رسوب بی بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ۷۲
شکل ۴-۴۳- گرادیان آب در مقابل زمان بی‌بعد ۷۳
شکل ۴-۴۴- عدد رینولدز در مقابل زمان بی‌بعد ۷۳
شکل ۴-۴۵- طول پسروی بی‌بعد در مقابل زمان بی‌بعد ٧٤
شکل ۴-۴۶- طول پسروی بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ٧٤
شکل ۴-۴۷- طول پسروی بی‌بعد در مقابل عدد رینولدز ٧٤
شکل ۴-۴۸- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل زمان بی‌بعد ٧٥
شکل ۴-۴۹- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ٧٥
شکل ۴-۵۰- عدد رینولدز در مقابل زمان بی‌بعد ٧٦
شکل ۴-۵۱- طول پسروی بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ٧٧

شکل ۴-۵۲- طول پسروی بی‌بعد در مقابل عدد رینولدز ۷۷
شکل ۴-۵۳- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل گرادیان ۷۷
شکل ۴-۵۴- عدد رینولدز در مقابل زمان بی‌بعد ۷۸
شکل ۴-۵۵- طول پسروی بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ۷۸
شکل۴-۵۶- طول پسروی بی‌بعد در مقابل عدد رینولدز ۷۹
شکل ۴-۵۷- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ۷۹
شکل ۴-۵۸- عدد رینولدز در مقابل زمان بی‌بعد ۸۰
شکل ۴-۵۹- طول پسروی بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ۸۰
شکل ۴-۶۰- طول پسروی بی‌بعد در مقابل عدد رینولدز ۸۰
شکل ۴-۶۱- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل تراز آب بی بعد شده ۸۱
شکل ۴-۶۴- طول پسروی بی‌بعد در مقابل عدد رینولدز ۸۲
شکل ۴-۶۵- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده ۸۳
شکل ۴-۶۶- عدد رینولدز در مقابل زمان بی‌بعد ۸۳
شکل ۴-۶۷- طول پسروی بی بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده ۸٤
شکل ۴- ۶۸- طول پسروی بی بعد در مقابل عدد رینولدز ۸٤
شکل ۴-۶۹- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده ۸٤
شکل ۴- ۷۰- عدد رینولدز در مقابل زمان بی‌بعد ۸۵
شکل ۴- ۷۱- طول پسروی بی‌بعد در مقابل تراز بی‌بعد شده آب ۸٦
شکل ۴- ۷۲- طول پسروی بی‌بعد در مقابل عدد رینولدز ۸٦
شکل ۴- ۷۳- وزن رسوب بی‌بعد در مقابل تراز بی بعد شده ۸٦
جدول (۴-۳)- روابط پیشنهادی با استفاده از داده‌های بدست آمده از آزمایشات در دو فلوم با حذف محدودیت دانه‌بندی ۸۹

چکیده:

رودخانه‌ها و نهرها زهکش طبیعی حوضه‌ی آبریزشان بوده، و معمولا به عنوان یک سیستم پویا شناخته شده‌اند؛ به این معنی که بطور مداوم در حال تغییرند. یکی از این تغییرات، فرسایش کناره‌های رودخانه‌هاست که می‌تواند دلایل متعددی از قبیل بالا و پایین رفتن سطح آب رودخانه، کشتیرانی، تغییرات جوی، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، نفوذ آب بارندگی یا آب ناشی از زهکش‌های کشاورزی، زهکشی زمین‌های اطراف رودخانه، جریان‌های زیرسطحی و غیره داشته باشد. فرسایش رودخانه‌ها در پی فرآیند مستمر عوامل فیزیکی و هیدرولیکی صورت می‌گیرد و باید توجه داشت که نوع، درجه و نرخ فرسایش، به شدت عوامل مؤثر در فرسایش و توانائی حمل ذرات خاک توسط نیروهای فرساینده از یک طرف و مقاومت مصالح بستر و کناره در مقابل نیروهای محرک از طرف دیگر، بستگی دارد. از بین فرسایش کناره، فرایند فرسایش نشتی یا زیرسطحی است که موجب زیرشویی در لایه‌ی نفوذپذیر کناره‌ی قرارگرفته‌شده در بین دو لایه‌ی نفوذناپذیر و ریزش توده‌ای لایه بالایی و شکست کناره می‌شود. فرسایش کناره‌ی رودخانه و رسوب‌سازی مربوطه و خطرهای از دست رفتن زمین‌ها یک مسئله‌ی مدیریتی منابع با اهمیت جهانی است. مسائلی همچون تغییرات جانبی رودخانه، در اثر فرایندهای فرسایش کناره هزینه‌های سنگینی را با عنوان اقدامات پایدارسازی کناره دربردارد. این فرایند از عوامل پیچیده در تغییر مورفولوژی رودخانه‌هاست. این نوع از فرسایش کناره پیامدهای رسوبی نامطلوبی را در پائین دست یک سیستم رودخانه به جای می‌گذارد ولی تشخیص رخداد آن در اغلب موارد امری پیچیده و مشکل است، هر چند اهمیت این نوع از فرسایش در سدهای خاکی و خاکریزها بسیار مورد توجه بوده و همواره پایش می‌شود ولی علیرغم فراگیر بودن آن در اکثر نقاط جهان، در زمینه کناره‌های رودخانه و اثرات آن در تغییر مورفولوژی آبراهه‌ها کمتر مورد توجه محققین بوده‌است. با وجود اینکه چنین مواردی در مجاورت لوله‌ها در سدها و کناره‌ی رودخانه‌ها و ترک‌های موجود در کناره‌های رودخانه‌ها و سدهای خاکی، قرارگیری یک سازه‌ی متقاطع در دیواره‌ی رودخانه تا کنون مطالعه نگردیده است. هدف این مطالعه بررسی این نوع فرسایش در حالت بدون لوله و با لوله‌ی متقاطع در دیواره‌ی رودخانه بوسیله‌ی مطالعات آزمایشگاهی می‌باشد. در تحقیق حاضر کناره رودخانه در یک فلوم آزمایشگاهی جهت بررسی فرسایش درونی و اندازه‌گیری وزن رسوب زیرشویی شده و عمق حفره‌ی تشکیل شده بعد از زیرشویی شبیه‌سازی شد. فرسایش نشتی در دو حالت با وجود لوله‌ی مدفون و بدون وجود لوله در لایه‌ی ماسه‌ای کناره‌ی رودخانه با نفوذپذیری بالا بین دو لایه با نفوذپذیری پایین بررسی شد. عمق چاله‌ی آبشستگی ناشی از این فرسایش در اطراف لوله در طول زمان و در گرادیان‌های هیدرولیکی مختلف اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج مشاهده شده چند رابطه‌ی تجربی جهت برآورد طول آبشستگی بی‌بعد کناره در اثر نشت پیشنهاد گردید. همچنین مشاهده شد که افزایش تراز، بزرگ شدن متوسط قطر ذرات لایه‌ی ماسه و وجود لوله عدد رینولدز و تلاطم جریان نشتی را افزایش داده و در نتیجه باعث افزایش فرسایش می‌شود.

کلمات کلیدی: *فرسایش درونی، فرسایش زیر سطحی، فرسایش نشتی، زیرشویی، کناره‌ی رودخانه، سازه‌ی متقاطع.*

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا مقدمه‌ای درباره اهمیت رودخانه‌ها و فرسایش کناره‌ی رودخانه‌ها ارائه می‌گردد، و در ادامه ضرورت و هدف انجام این تحقیق مورد بحث قرار گرفته و در آخر ساختار کلی این پایان‌نامه به طو خلاصه بیان می‌گردد.

۱-۲- مقدمه‌ای بر فرسایش

رودخانه‌ها و نهرها زهکش طبیعی حوضه‌ی آبریزشان بوده، و معمولا به عنوان یک سیستم پویا شناخته شده‌اند؛ به این معنی که به طور مداوم در حال تغییرند. یکی از این تغییرات فرسایش کناره‌ی رودخانه‌ها است که می‌تواند دلایل متعددی از قبیل بالا و پایین رفتن سطح آب رودخانه، کشتیرانی، تغییرات جوی، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در اثر نفوذ آب بارندگی یا آب ناشی از زهکش‌های کشاورزی، زهکشی زمین‌های اطراف رودخانه، جریان‌های زیرسطحی و غیره داشته باشد. در بین انواع فرسایش در کناره رودخانه، فرسایش نشتی یا زیرسطحی موجب زیرشویی لایه‌ی نفوذپذیر قرار گرفته در بین دو لایه‌ی نفوذناپذیر در کناره رودخانه می‌گردد؛ این زیرشویی موجب ریزش توده‌ای لایه نفوذناپذیر بالا و در نتیجه شکست کناره می‌گردد (Rinald *et. al*. 2004).

رودخانه‌ها به صورت طبیعی پیوسته به دنبال کسب پایداری می‌باشند و در اثر عوامل طبیعی دچار فرسایش کناره، جابه‌جایی عرضی و یا کف‌کنی بستر می‌گردند. انسان با دخالت در حریم رودخانه با هدف رفع نیازهای خود و با بهره‌برداری بیشتر از منابع رودخانه‌ای باعث ایجاد ناپایداری در رودخانه و افزایش فرسایش در رودخانه می‌شود. فرسایش رودخانه موجب ایجاد خسارات زیادی به زمین‌های کشاورزی اطراف می‌گردد که در اثر آن سالانه میلیون‌ها تن از خاک‌های حاصلخیز مجاور رودخانه فرسایش یافته و بصورت رسوب در مخازن سدهای احداث شده بر روی رودخانه‌ها انباشته شده و ضمن کاهش عمر مفید سدها، باعث ایجاد مشکلات بسیار در بهره‌برداری از تاسیسات آبگیری و تاسیسات انتقال آب می‌شود. تخمین فرسایش کناره رودخانه‌ها در ایالات متحده آمریکا توسط گروه مهندسین ارتش ایالات متحده در سال ۱۹۸۱، نشان می‌دهد که در آمریکا ۹۲۰۰۰۰ کیلومتر از کناره رودخانه‌ها فرسایش‌پذیر بوده و ۲۲۷۲۰۰ کیلومتر از کناره‌ها در معرض فرسایش شدید قرار دارند؛ همچنین تحقیق یاد شده رقم خسارات وارده از این پدیده را در حدود ۳۴۰ میلیون دلار در سال ۱۹۸۱ برآورد کرده است (Peterson, 1986).

کناره‌های رودخانه یکی از با ارزش‌ترین سازه‌های جغرافیایی بر روی زمین است که اغلب به عنوان یکی از منابع کلیدی رسوب به شمار می‌رود (Laubel *et. al*. 1999). فرسایش کناره‌ی رودخانه و رسوب‌سازی مربوطه و خطرهای از دست رفتن زمین‌ها یکی از مسائل مدیریتی منابع مهم جهانی است. مسائلی همچون تغییرات جانبی رودخانه[1] در اثر فرایندهای فرسایش کناره هزینه‌های سنگینی را با عنوان اقدامات پایدارسازی کناره و بار رسوب در رودخانه‌ها دربردارد و بیلیونها دلار جهت حفظ رودخانه‌ها و احیای آنها هزینه شده است (Chu- Agor *et. al*.2008). محققان نشان داده‌اند که حدود ۳۰ تا ٤۰ درصد از رسوبات رودخانه ناشی از فرسایش کناره می‌باشد. روابط و مدل‌ها عموماً فرسایش کناره را در نتیجه‌ی جریانات رودخانه‌ای نشان می‌دهد (Fox *et. al*. 2007).

3 lateral river changes

۱-۳- ضروت انجام تحقیق

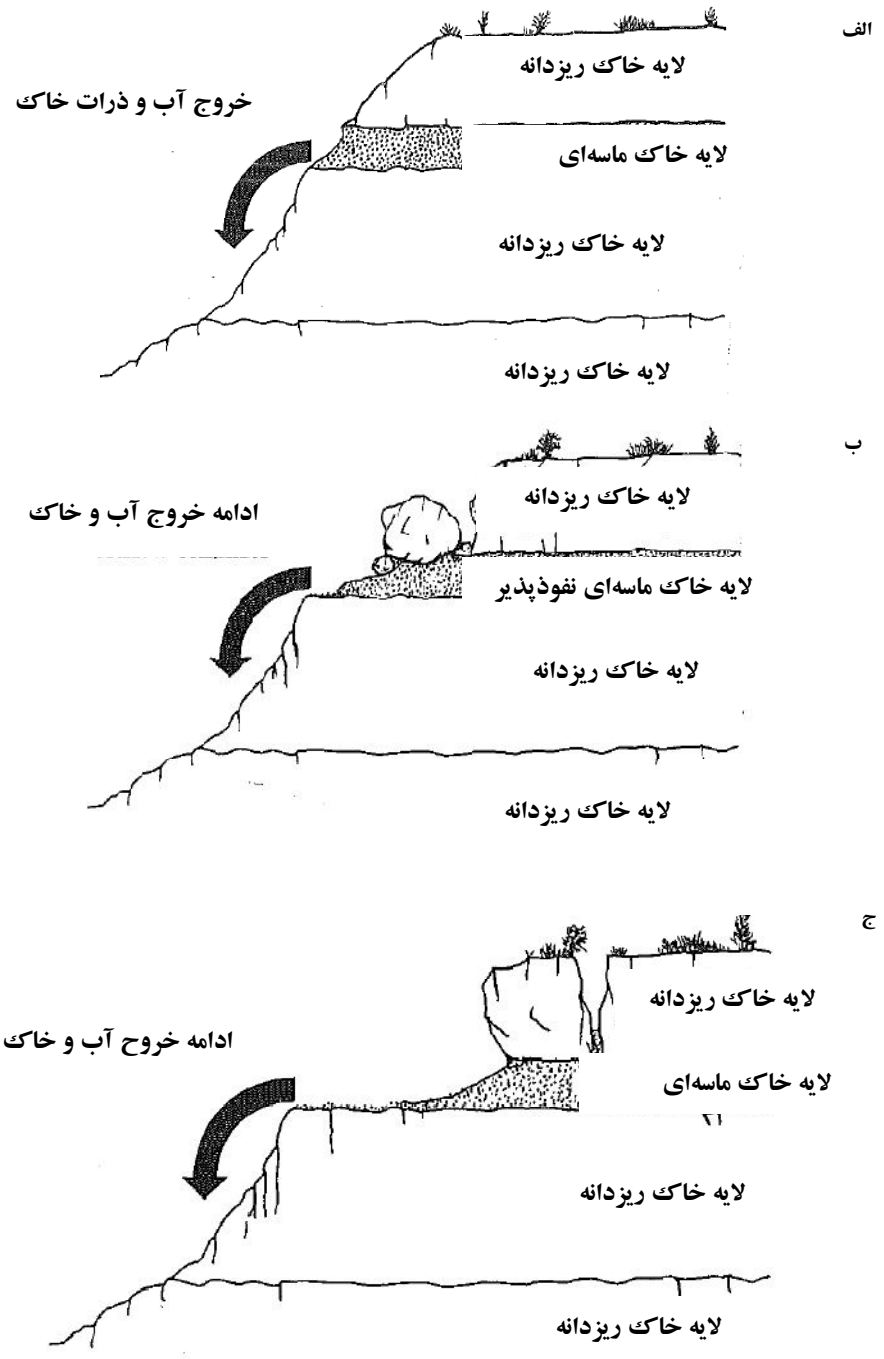
مطالعه شکست کناره رودخانه به علت جریان نشت نیاز به جمع آوری داده ها، مشاهده پدیده در صحرا، و نیز شبیه‌سازی این پدیده در آزمایشگاه دارد (Chu- Agor *et. al*.2008). اندازه‌گیری مستقیم فرسایش کناره‌ی رودخانه در کل سیستم رودخانه نیاز به کار قابل توجهی دارد و به علت تغییرات مکانی فرسایش دارای مشکلاتی می‌باشد (Laubel *et. al*. 1999). این فرایند از عوامل پیچیده تغییر مورفولوژی در رودخانه‌ها است. این نوع از فرسایش کناره، پیامدهای رسوبی نامطلوبی را در پائین دست یک سیستم رودخانه به جای می‌گذارد. و تشخیص رخداد آن در اغلب موارد امری پیچیده و مشکل است؛ زیرا به دلیل قطع شدن جریان زهکشی به هنگام بازدیدهای میدانی و ترکیب این نوع از فرسایش با سایر انواع فرسایش کناره باعث پوشیده ماندن ماهیت آن شده و در نتیجه مدل‌سازی و پایش نرخ فرسایشی آن را دشوار می‌سازد. هر چند اهمیت این نوع از فرسایش در سدهای خاکی بسیار مورد توجه بوده و همواره پایش می‌شود، ولی علیرغم فراگیر بودن آن در اکثر نقاط جهان، در زمینه کناره‌های رودخانه و اثرات آن در تغییر مورفولوژی آبراهه‌ها کمتر مورد توجه محققین بوده‌است (Laubel *et. al*. 1999). فرسایش کناره یکی از فرایندهای اساسی و پیچیده‌ی درگیر در مهاجرت کانال‌ها (جابه‌جایی کانال‌ها) و تغییر مورفولوژی در رودخانه‌ها و تشکیل دشت‌های سیلابی است (Hooke 1979). به علت عدم وجود اطلاعات و دانش کافی و تاثیر کم نشت در مقابل سایر فرآیندها و نیروهای موثر، به طور کلی تاثیر نشت در طراحی کانال‌ها در نظر گرفته نمی‌شود (Burgi and Karaki 1971). اهمیت فرسایش زیرسطحی با وجود مشاهده آن در مناطق متعدد به طور گسترده شناسایی نشده است (Hagerty 1991; Wilson et al.2007; Fox et al. 2007 and Chu- Agor *et. al*. 2008). این نوع از فرسایش از عمده‌ترین منابع تولید رسوبات رودخانه‌ای است که علاوه بر اثرگذاری بر خصوصیات مجاری رودخانه‌ها، در توسعه پهنه سیلابی، مدیریت منابع آب و کنترل میزان رسوب‌گذاری در مخازن سدها حائز اهمیت است (Hagerty 1999a). این پدیده موجب ایجاد خسارت‌های فراوان به اراضی حاصلخیز کشاورزی و سازه‌های موجود در مجاورت رودخانه می‌گردد (ایمان شعار و همکاران، ۱۳۸۹).

در برخی موارد بیرون‌ریزی[2] آب و خاک در زیر سطح آب در رودخانه‌ها یا سطح دریاچه اتفاق می‌افتد (۳-۱۳)، این شرایط وقتی که آب دوباره به درون لایه نفوذپذیر در کناره رودخانه در طول سیلاب وارد می‌شود رایج‌تر است و وقتی که گرادیان هیدرولیکی در هر لایه‌ای به طرف رودخانه هدایت می‌شود، لایه نفوذپذیر شروع به تخلیه دوباره آب به درون رودخانه می‌کند. اگر گرادیان هیدرولیکی به حد بحرانی برسد، ذرات خاک می‌تواند از کناره خارج شود. گاهی چنین زیرشویی‌هایی از طریق اختلاف دما آب خارج شده در اثر نشت و آب رودخانه قابل تشخیص است (برای مثال جریان نشت سرد به یک نقطه‌ی کم عمق نزدیک کناره (Hagerty 1999a;1999b)). با وجود تحقیقات ارائه شده بر روی ناپایداری کناره در اثر نیروهای نشت، شکست کناره در نتیجه‌ی جابه‌جایی ذرات نشتی، به طور کامل بررسی نشده‌است (Fox *et. al*. 2008). نیروهای نشتی در مواقعی که گرادیان هیدرولیکی در یک لایه نفوذپذیر موجب حرکت آب در آن لایه می‌شود، پدیدار می‌گردند. نیاز به جلوگیری از فرسایش یک خاک غیرچسبنده تحت این گرادیان هیدرولیکی در بسیاری از عملیات مهندسی ژئوتکنیک از اهمیت کاربردی برخوردار است (Tomlinson

[2] suffusion

and Vaid 1999). گرادیان هیدرولیکی بوجود آمده در لایه باعث ایجاد فشار منفذی متغیر در لایه می‌شود. تغییرات در فشار آب منفذی در کناره‌ی رودخانه یک فاکتور مهم در تعیین شرایط ناپایداری و ایجاد شکست کناره است (Wolman 1959, Hooke 1979, Thorne 1982). تغییرات فشار منفذی در طول پدیده‌های جریان یا بعد از آن، که یکی از بحرانی‌ترین دوره‌ها بر حسب پایداری کناره‌اند، پیچیده و سریع بوده، و پیش‌بینی آن ها مشکل است (Rinald *et. al*. 2004). این مکانیزم بوسیله‌ی Fox et al. (2006; 2007a; 2007b) و Wilson et al.(2007) با استفاده از آزمایش های لایسی‌متر دو بعدی و شبیه‌سازی پایداری کناره و همچنین توسط دانشمندان دیگر مطالعه شده‌است (Fox *et. al*. 2008). مراحل فرایند فرسایش نشتی (لوله‌ای شکل) در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. قسمت الف در شکل ۱-۱ فرسایش نشتی را در درون لایه‌ی ماسه‌ای نشان می‌دهد؛ در این مرحله جریان شروع به حمل ذرات ماسه از داخل لایه‌ی ماسه‌ای کناره‌ی رودخانه کرده و ذرات فرسایش یافته را وارد رودخانه می‌کند؛ در قسمت ب ادامه‌ی فرسایش نشتی و پسروی لایه‌ی ماسه‌ای نشان داده شده است، در این مرحله به علت زیرکنی لایه‌ی چسبنده سربار، این لایه در اثر وزن خود به صورت توده‌ای ریزش می‌کند؛ در قسمت ج واژگونی و لغزش توده‌ی لایه‌ی سربار بعد از ادامه‌ی زیرکنی نشان داده شده است.

معمولاً نشت هنگامی اتفاق می‌افتد که نفوذپذیری بالای لایه باعث افزایش سطح آب زیرزمینی شود. یا در مواقعی که سطح آب زیرزمینی بین لایه‌های با هدایت هیدرولیکی متفاوت افزایش پیدا می‌کند. سطح آب با بالارفتن سطح آب زیرزمینی در لایه‌های نفوذپذیر بالا می‌رود، و گرادیان‌های هیدرولیکی بالا به طرف کانال رودخانه، منجر به جریان زیرسطحی نسبتاً سریع (جریان درونی) به طرف رودخانه می‌شود و در نتیجه جریان نشتی منجر به حرکت و جابه‌جایی ذرات خاک و در نهایت روان‌سازی خاک، تشکیل لوله‌های فرسایش، از بین‌رفتن مواد و ورود این رسوبات به داخل رودخانه می‌شود (Fox *et. al*. 2007). جریان‌های زیر سطحی به طور مستقیم در اثر فرایندهای نشت و به طور غیر مستقیم با توجه به ویژگی‌های خاک و فشار آب در خاک، در ایجاد فرسایش نقش بسزایی دارند. یکی از مهم‌ترین شرایطی که منجر به ایجاد فرسایش نشتی می‌شود، قرارگیری یک لایه‌ی ماسه‌ی نفوذپذیر در مجاورت لایه‌ی رس نفوذناپذیر در بالا و پایین می‌باشد، که منجر به تخریب کناره‌ی رودخانه و ریزش توده‌ای لایه‌ی بالای لایه‌ی ماسه‌ای (لایه‌ی سربار) در نتیجه‌ی زیرشویی لایه ماسه‌ای می‌شود. هیچ یک از دانشمندانی که تاکنون این نوع فرسایش در کناره رودخانه را مطالعه کرده‌اند، به بررسی این فرسایش در مجاورت سازه‌های متقاطع با دیواره‌ی رودخانه نپرداخته‌اند. اکنون سوالی که در اینجا بوجود می‌آید این است که فرسایش درونی کناره در هنگام وجود سازه‌های متقاطع در کناره‌ی رودخانه به چه صورت خواهد بود؟ در این مطالعه به بررسی این موضوع پرداخته می‌شود و تاثیر گرادیان‌های هیدرولیکی مختلف بر روی عمق چاله‌ی آبشستگی ناشی از فرسایش نشتی در مجاورت سازه‌های متقاطع در کناره‌های رودخانه بررسی می‌گردد. آبی که توسط نشت به داخل رودخانه می‌ریزد می‌تواند توسط سفره‌های زیرزمینی و یا آب نفوذیافته از باران و یا آبیاری مزارع تأمین گردد، و در صورت کافی بودن نیروی نشت ذرات خاک در لایه‌ی نفوذپذیر جابه‌جا شده و فرسایش شروع می‌شود.



شکل۱-۱- مراحل فرآیند فرسایش نشتی در کناره رودخانه (Fox *et. al*. 2008)

در صورت وجود یک سازه‌ی متقاطع مانند لوله در دیواره‌ی رودخانه، حد فاصل بین لوله و خاک دیواره مانند یک ترک عمل کرده و دانه ها به علت تمرکز بیشتر جریان در این بخش، تحت تاثیر نیروی نشتی جابه‌جا شده و فرسایش از این قسمت شروع می‌شود. چند دلیل می‌تواند باعث بوجود آمدن این حالت شود:

۱- عدم تراکم مناسب خاک اطراف لوله و یا تراکم بیش از حد خاک اطراف لوله می‌تواند باعث ایجاد شکاف‌هایی بین لوله و خاک شده و در نتیجه تمرکز جریان در این ناحیه بیشتر خواهد بود و فرسایش از این ناحیه شروع می‌شود.

۲- به علت ایجاد غیر یکنواختی در این ناحیه و در واقع وجود دو ماده از دو جنس مختلف (لوله و خاک) بین لوله و خاک حد فاصلی وجود دارد و در هر صورت این ناحیه یک جداشدگی دارد یا بعبارتی نفوذپذیری این ناحیه بیشتر بوده، که باعث تمرکز جریان به طرف این قسمت و بیشتر بودن نیروی نشتی در این ناحیه شده و ایجاد فرسایش می‌کند.

۳- یکی دیگر از عللی که لوله می‌تواند باعث فرسایش شود، نشت از محل اتصالات لوله می‌باشد .

نقش آب زیرسطحی و زیرزمینی به عنوان تامین کننده بخشی از جریان رودخانه قبلاً شناخته شده‌است. همچنین نقش فشار آب حفره‌ای ناشی از جریان آب زیرسطحی که پایداری کناره را تحت تاثیر قرار می‌دهد پیشتر تا حدودی بررسی و مطالعه شده اما نقش آن در فرسایش نشتی به خوبی شناخته نشده است. Mclane and Howard (1988) با انجام آزمایش‌هایی نقش نشت را بر فرسایش توده ماسه‌ای مورد بررسی قرار دادند. با این حال آنچه بیش از همه موجب تمرکز جریان نشت و ایجاد نیرویی برای خروج ذرات می‌شود، لایه‌بندی کناره و اختلاف هدایت هیدرولیکی لایه‌ها می‌باشد؛ در حالیکه آزمایش‌های آنها بر روی توده‌ی یکنواخت ماسه‌ای انجام شده و این حالت در طبیعت اجازه‌ی چنین تمرکز جریانی را نمی‌دهد. Hagerty (1991) با مطالعات و مشاهدات صحرایی بسیار زیاد، درک کیفی بسیار خوبی از پدیده نشت و فرسایش ناشی از آن ارائه کرد (رستمی‌پور و همکاران، ۱۳۸۶). بنا به مطالعات Hagerty (1991b) علت اصلی فرسایش لوله‌ای شکل، قرارگیری یک لایه نفوذپذیر در بین لایه‌های ریزدانه و چسبنده است که باعث می‌شود این لایه با زهکشی آب از یک منبع و خروج ذرات رسوب همراه با آب موجب تخریب کناره شود. شروع فرسایش لوله‌ای بستگی به گرادیان هیدرولیکی خروجی دارد. با نفوذ آب باران در سراسر ناحیه‌های خاک، هدایت هیدرولیکی بین ذرات خاک کاهش می‌یابد و کاهش نفوذپذیری خاک، منجر به آهسته شدن حرکت جریان قائم شده و جریان جانبی را تسریع می‌کند. با جابجایی ذرات، گرادیان هیدرولیکی در محل برداشت رسوب افزایش می‌یابد و افزایش موضعی در گرادیان می‌تواند تراوش بیشتری را ایجاد کند که به نوبه خود باعث افزایش فرسایش می‌شود. به غیر از عامل نفوذ آب باران، وجود جریان خروجی از سپتیک تانک‌ها و یا جریان جانبی نشت در مجاورت خطوط لوله‌های مدفون و یا مخازن نیز می‌تواند باعث فرآیند فرسایش لوله‌ای شکل شود (Hagerty 1999a).

فرسایش کناره یکی از منابع تولید رسوب در رودخانه‌های آبرفتی می‌باشد. در این بین یکی از عوامل مهم فرسایش کناره‌ی رودخانه فرسایش نشتی محسوب می‌گردد که منجر به تخریب کناره‌ی رودخانه بعد از انجام فرآیند زیرشویی می‌شود.

۱-۴- هدف از انجام تحقیق

در این مطالعه پدیده فرسایش درونی به‌صورت آزمایشگاهی بررسی می‌شود. گرچه شبیه‌سازی کناره رودخانه در آزمایشگاه نیز مشکلات و خطاهای زیادی داشته و از دقت کافی برخوردار نیست، اما به دلیل محدودکردن کناره به یک مدل کوچک می‌توان به بررسی موضعی نشت پرداخته و تغییرات مکانی زیادی که فرسایش نشتی در طبیعت دارد را تا حدودی حذف نمود.

موارد و دلایلی که در بخش ۱-۲ ذکر شد، بیشتر در سدها و خاکریزها دیده شده و فرسایش اطراف لوله در دیواره‌ی رودخانه بررسی نشده است. هدف این مطالعه بررسی این نوع فرسایش در کناره‌های رودخانه در دو حالت با و بدون لوله است. در تحقیق حاضر شبیه‌سازی بخشی از کناره رودخانه در فلوم آزمایشگاهی جهت بررسی فرسایش درونی، اندازه‌گیری وزن رسوب زیرشویی شده و عمق حفره‌ی تشکیل شده بعد از زیرشویی در کناره انجام شد. فرسایش نشتی در دو حالت با وجود لوله‌ی مدفون و بدون وجود لوله در لایه‌ی ماسه‌ای کناره‌ی رودخانه با نفوذپذیری بالا که بین دو لایه با نفوذپذیری پایین قرار گرفته بررسی شده است. عمق چاله‌ی آبشستگی ناشی از این فرسایش در اطراف لوله در طول زمان و در گرادیان‌های هیدرولیکی مختلف اندازه‌گیری و بررسی شده و نتایج با هم مقایسه گردیده است. در پایان چند رابطه‌ی تجربی جهت برآورد طول آبشستگی بی‌بعد در کناره در اثر نشت ارائه شده است.

فرسایش برای سه دانه‌بندی ۰/۸-۰/۴، ۱/۲-۰/۸ و ۲-۱ میلی‌متر لایه‌ی ماسه‌ای مطالعه شده است و نتایج سه دانه‌بندی نیزجهت مشاهده‌ی تاثیر فرسایش نشتی و جریان‌های زیرسطحی بر وزن رسوبات زیرشویی شده از کناره‌ی رودخانه و طول چاله‌ی پسروی با هم مقایسه گردیده است. آزمایش‌ها با تغییر دانه‌بندی در لایه‌ی ماسه‌ای با اندازه‌های مذکور انجام گرفته است. به دلیل عدم توزیع یکنواخت فشار در عرض نمونه در فلوم با عرض ۵۰ سانتی‌متر، اندازه‌گیری‌ها علاوه بر فلوم با عرض ۵۰ سانتی‌متر در یک فلوم به عرض ۲۰ سانتی‌متر نیز انجام گرفته است، فلوم آزمایشگاهی بزرگ به طول و ارتفاع ۱ متر می‌باشد، و فلوم آزمایشگاهی کوچک در ابعاد کوچکتری به طول ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۶ متر است. در فلوم آزمایشگاهی بزرگ کناره‌ی رودخانه به طول و ارتفاع ۰/۵۵ متر و عرض ۰/۵ متر، تشکیل شده از ۳ لایه، رس در زیر به ارتفاع ۰/۰۵ متر؛ ماسه در وسط به ارتفاع ۰/۱ متر (با ۳ دانه‌بندی مختلف) و رس شنی (با حدود ۷۰ درصد رس) به ارتفاع ۰/۴ متر در بالا به عنوان سربار شبیه‌سازی شد؛ و در دومین فلوم کناره‌ی رودخانه به طول ۰/۵ و ارتفاع ۰/۵۵ متر و عرض ۰/۲ متر، تشکیل‌شده از ۳ لایه، با همان ویژگـی‌های ذکرشده در فلوم بزرگتر و با چهار دانه‌بندی مختلف ۰/۸-۰/۴، ۱/۲-۰/۸ ، ۲-۱ و ۳-۲ میلی‌متر ، شبیه‌سازی شد. دبی‌های ناشی از نشت در هدهای مختلف در خروجی فلوم اندازه‌گیری و گرادیان هیدرولیکی مربوط در هر زمان محاسبه شده است. میزان پسروی اطراف لوله در طول زمان و در گرادیان‌های مختلف با خط‌کش اندازه‌گیری و ثبت گردیده است.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه مشتمل بر ۵ فصل بشرح زیر می‌باشد:

در فصل اول پس از ارائه یک مقدمه کلی در مورد رودخانه‌ها و پدیده فرسایش کناره‌ها، ضرورت و هدف از انجام تحقیق بیان می‌شود. در فصل دوم ابتدا مختصراً در مورد اندرکنش بین آب جاری در رودخانه و آب‌های زیرزمینی بحث می‌شود و سپس در مورد پدیده‌ی نشت بحث می‌شود. در ادامه به بررسی پیشینه‌ی تحقیقاتی موضوع فرسایش کناره‌های رودخانه‌ها در خارج و داخل کشور پرداخته می‌شود. در فصل سوم مدل آزمایشگاهی و تجهیزات مربوط به آن تشریح می‌شود و سپس به توصیف لایه‌بندی خاک و چگونگی آماده کردن مدل کناره‌ی رودخانه پرداخته می‌شود. در ادامه به تشریح ابزار و ادوات اندازه‌گیری آب و رسوب و چگونگی اندازه‌گیری پارامترهای مختلف و روند انجام آزمایشات

پرداخته می‌شود. فصل چهارم به ارائه نتایج آزمایش‌های مختلف و تجزیه و تحلیل آن‌ها اختصاص دارد و اثر پارامترهای موثر بر فرسایش درونی کناره‌های رودخانه بررسی می‌گردد. در فصل ۵ خلاصه‌ای از نتایج بدست‌آمده در فصول قبل ونتایج کلی مطرح و در خاتمه پیشنهاداتی در راستای تکمیل تحقیق حاضر ارئه می‌شود.