



بررسی اثر طول و فاصله آب شکن محافظ در کاهش میزان آبشستگی دماغه تکیهگاه واقع در سیلاب دشت

### دانشجو: شمسا بصيرت (۸۶۰۰۴۷۴)

اساتيد راهنما:

دكتر سيد فضلاله ساغرواني

دكتر مجتبى صانعى

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تابستان ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده : عمران و معماری گروه : عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم شمسا بصیرت

تحت عنوان: بررسی اثر طول وفاصله آب شکن محافظ درکاهش میزان أبشستگی دماغه تکیه گاه واقع درسیلاب دشت.

ر تـــاریخ۸۸/۴/۳۱ توسیط کمیتیه تخصصیی زیسر جهست اخید مسیدرک کارشناسیی ارشید

ورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور:	امضاء	اساتید راهنما:
	نام و نام کانوادگی : -		نام و نام خانوادگی : دکتر سود فضل ا ساغروانی
	نام و نام خانوادگی : -	- F	نام و نام خانوادگی : دکتر مجتبی صانعی
	نام و نام خانوادگی : - م	-do-	م و نام خانوادگی : دکتر مجتبی صانعی

امضاء	نماينده تحصيلات تكميلي	امضاء	اساتيد داور:
	یکام و نام خانوادگی : مهندس عباس محمدی		نام و نام خانوادگی : دکتر احمد ی
	init	To	یام و نام خانوادگی : دکتر مىعود قدسیان
		22	نام و نام خانوادگی :
-			نام و نام خانوادگی :



#### تعهد نامه

اینجانب شمسا بصیرت دانشجوی کارشناسیارشد رشته سازههای هیدرولیکی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایاننامه <u>بررسی *اثر طول و فاصله آب شکن محافظ در کاهش میزان آبشستگی دماغه تکیهگاه واقع در سیلاب دشت* تحت راهنمایی آقای دکتر سید فضلاله ساغروانی و آقای دکتر مجتبی صانعی متعهد میشوم:</u>

- تحقیقات در این پایان نامه ( رساله ) توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
  - در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایاننامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود میباشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا (Shahrood University of Technology) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی پایاننامه تاثیر گذار بودهاند در مقالات مستخرج از پایاننامه رعایت می شود.
- در کلیه مراحل انجام این تحقیق در موارد که از موجود زنده (یا بافتها آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایاننامه، در موارد که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی
   یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۸۸/۴/۳۱ امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

 کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

•استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمیباشد.

چکیدہ:

مسئله آبشستگی تکیهگاه پلها یکی از پارامترهای مهم در طراحی آنها میباشد. به دلیل وجود پدیده آبشستگی در طراحی برای حفظ پایداری پل در هنگام سیلاب نیاز به قراردهی فونداسیونهای بزرگ و در عمقهای زیاد میباشد. این مسئله منجر به تحمیل هزینههای فراوان در ساخت پلها می-شود. وجود تکیهگاه در مسیر جریان سیلاب باعث تغییر الگوی جریان و هدایت جریان به سمت محور رودخانه میشود، این تغییرالگو و تنگشدگی محور رودخانه باعث افزایش سرعت در محل تکیهگاه و پایهها شده و منجر به ایجاد آبشستگی و حرکت رسوبات بستر میشود. در موارد زیادی این مسئله باعث تخریب پل و ایجاد خسارات مالی و جانی فراوانی میشود.

در این تحقیق به منظور کاهش میزان آبشستگی تکیهگاه پل در سیلاب دشت پیشنهاد می شود، از یک سازه آبشکن محافظ با طول و فاصله مشخص (با توجه به مشخصات جریان عبوری و هندسه رودخانه) استفاده شود. با توجه به دخالت عوامل متعدد در پدیده آبشستگی رابطهای به منظور تخمین ابعاد هندسی مناسب برای استفاده از آبشکن محافظ با ثابت در نظر گرفتن برخی پارامترها، ارائه شده است.

آزمایشات انجام شده و بررسی پارامترهای هیدرولیکی جریان نظیر دبی، عمق نرمال، ضریب زبری کانال و پارامترهای هندسی همچون طول تکیهگاه و نسبت فاصله آبشکن محافظ به طول تکیه-گاه نسبت طول آبشکن محافظ به فاصله از تکیهگاه و پارامترهای مربوط به هندسه آبراهه، عرض و عمق کانال اصلی و مشخصات ذرات بستر و بیبعدسازی پارامترها و انجام آنالیز ابعادی پارامترها، منجر به ارائه رابطهای بیبعد برای نسبت طول و فاصله آبشکن محافظ شده است.

**کلمات کلیدی:** آبشستگی- سیلابدشت- کانال اصلی- تکیه گاه پل- آبشکن محافظ- مدل آزمایشگاهی ليست مقالات استخراج شده از اين تحقيق:

۲- بررسی آزمایشگاهی اثر فاصله آبشکن محافظ در میزان آبشستگی دماغه تکیهگاه
 پل- دومین همایش ملی مدیریت شبکههای آبیاری و زهکشی- ۸ تا ۱۰ بهمن ۱۳۸۷

# فهرست مطالب:

۱۵	۱.فصل اول
۱۶	۱٫۱. مقدمه:
١٧	۲٫۱. تعریف موضوع پایاننامه:
١٧	۳٫۱. ساختار پایاننامه
۲۰	۲.فصل دوم
۲۰	۱٫۲. مقدمه
۲۱	۲٫۲. بررسی کلی پدیده آبشستگی:
77	۳٫۲. تکیهگاهها و دستکها:
۲۳	۱٫۳٫۲. تکیهگاههای دیوار – بال:
74	۴٫۲. شرایط جابهجایی:
۲۵	۱٫۴٫۲.انتقال رسوب:
۲۶	۲٫۴٫۲.آستانه حرکت:
۲۷	۳٫۴٫۲.تابع ورود:
۲۹	۵٫۲ انواع آبشستگی:
۲۹	۱٫۵٫۲.انواع آبشستگی بر اساس محل حفره:
۳۲	۲٫۵٫۲انواع آبشستگی براساس شرایط جریان:
۳۳	۶٫۲. پارامترهای موثر بر آبشستگی تکیهگاه:
٣۴	۷٫۲. توسعه آبشستگی با زمان:
۳۵	۱٫۷٫۲.مراحل توسعه آبشستگی:
۳۶	۸٫۲. بررسی توزیع تنش برشی در اطراف تکیهگاه:
۳۷	۹٫۲. مدلسازی عددی کانال مرکب:
۳۸	۲. ۱۰. مدلسازی آزمایشگاهی آبشستگی:
۵۰	۱۱٫۲. بررسی آزمایشگاهی روشهای کاهش آبشستگی:

۵۴	۳.فصل سوم۳
۵۴	۱٫۳. مقدمه
۵۵	۲٫۳. فلوم آزمایشگاهی
۵۹	۳٫۳. مشخصات سرریز تنظیم دبی جریان
۵۹	۱٫۳٫۳.تعیین دبی عبوری از سرریز مثلثی:
۶۰	۴٫۳. تعیین تراز آب در کانال مرکب:
۶۲	۵٫۳. شرح آزمایشها:
۶۳	۱٫۵٫۳.تعیین زمان لازم برای هر آزمایش:
۶۴	۲٫۵٫۳.تعداد آزمایشهای انجام شده:
۶۷	۴.فصل چهارم۴
۶۸	۱٫۴. آنالیز ابعادی
۶۹	۱٫۱٫۴انجام آنالیز ابعادی طرح:
Υ۵	۲٫۴. نتایج آزمایشها:
۹۱	۳٫۴. تحلیل منحنیهای حاصل از آزمایش ها:
۹۳	۴٫۴. تحلیل گسترش ابعاد حفره آبشستگی در اطراف تکیهگاه
٥٥٥٥	۵٫۴. روابط بدست آمده در این تحقیق
تتتتت	۵.فصل پنجم
تتتت	۵٫۸ نتایج:
ثثثث	۵٫ ۲. پیشنهادها:
ささささ	مراجع و منابع

## فهرست شكلها:

٢٣	۱- ۱: شکلهای دماغه تکیهگاه	شکل ۲
٢۵	۱- ۲: تغییرات عمق آبشستگی با زمان در شرایط آب زلال و گلآلود	شکل ۲
۲۸	۱- ۳: نمودار شیلدز (برگرفته از مرجع (۱۴) )	شکل ۲
۲٩	۱- ۴: شکل کلی قرار گیری تکیه گاه و پایه های پل در مسیر جریان	شکل۲
۳۰	۱- ۵: تکیه گاه نوع ۱-الف- آبشستگی کانال اصلی بدون سیلاب دشت	شکل۲
۳۰	۱- ۶: : تکیهگاه نوع ۲-الف- امتداد یافته به داخل کانال اصلی	شکل ۲
۳١	۱- ۲: تکیه گاه نوع ۲-ب- تکیه گاه نزدیک لبه کانال اصلی	شکل ۲
٣٢	۱- ۸: تکیهگاه نوع ۲-پ- تکیه گاه و حفره آبشستگی در سیلاب دشت	شکل ۲
٣٢	۱- ۹: تکیه گاه نوع ۲-ت- آبشستگی کناره تکیه گاه و ساحل سیلاب دشت	شکل۲
۵۵	۳- ۱۰ قسمت ابتدای فلوم مورد استفاده در آزمایش ها	شکل '
۵۶	۳- ۲: آبشکن محافظ و تکیهگاه استوانهای در سیلابدشت	ں شکل '
۵۷	۳- ۳: منحنی دانهبندی ذرات بستر فرسایش پذیر	۔ شکل '
۵۷	۳- ۴: سرریز انتهایی فلوم برای تعیین دبی عبوری۳- ۴: سرریز انتهایی فلوم برای تعیین دبی	شکل '
۵٨	۳- ۵: شاخص مورد استفاده برای برداشت پروفیل آبشستگی و حداکثر عمق آبشستگی	شکل '
۵٩	<ul> <li>٣- ۶: چرخه گردش آب در کانال مورد آزمایش</li></ul>	شکل '
۶.	۳- ۲: تعیین مقادیر C و K در معادله تعیین دبی عبوری سرریز مثلثی	شکل '
۶۲	۳- ۸: نمودار انرژی عمق بحرانی در کانال مرکب برای دبیهای مورد آزمایش	شکل '
54	۳- ۹: تغییرات زمانی عمق آبشستگی برای دبیهای مورد آزمایش	شکل '
٧.	الابالية مام بمارية المارية والموجة تكريه الم	۴۱۲۴
	۱۰ - ۱۰ پارامگراهای مربوط به ابغان همناسی خلوم و تعنیه کار	سکل ا

۹: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ ۷۹	شکل۴–
۱۰: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ ۷۹	شکل۴–
۱۱: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن با طول ۸ سانتیمتر در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ	شکل۴–
٨٠	
۱۲: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن با طول ۱۲ سانتیمتر در موقعیتهای مختلف آبشکن	شکل۴–
٨٠	محافظ
۱۳: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن با طول ۱۶ سانتیمتر در موقعیتهای مختلف آبشکن	شکل۴–
۸۱	محافظ
۱۴: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه برای موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ ۸۱	شکل۴–
۱۵: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه برای موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ ۸۱	شکل۴–
۱۶: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه برای موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ ۸۲	شکل۴–
۱۷: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۴ سانتیمتر در فواصل مختلف	شکل۴–
۱۸: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۸ سانتیمتر در فواصل مختلف۸۳	شکل۴–
۱۹: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر در فواصل مختلف۸۳	شکل۴–
۲۰: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر در فواصل مختلف	شکل۴–
۲۱:تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۸ سانتیمتر در فواصل مختلف	شکل۴–
۲۲: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر۸۵	شکل۴–
۲۳: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر۸۵	شکل۴–
۲۴: تغییرات عمق آبّشستگی اطراف آبشکن در آبشکن به طول ۴ سانتیمتر در فواصل مختلف۸۶	شکل۴–
۲۵: تغییرات عمق آبّشستگی اطراف آبشکن در آبشکن به طول ۸ سانتیمتر در فواصل مختلف۸۶	شکل۴–
۲۶: تغییرات عمق آبّشستگی اطراف آبشکن در آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر در فواصل مختلف۸۷	شکل۴–
۲۷: تغییرات عمق آبّشستگی اطراف آبشکن در آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر در فواصل مختلف۸۷	شکل۴–
۲۸: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۴ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ ۸۸	شکل۴–
۲۹: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن	شکل۴–
٨٨	محافظ
۳۰: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ ۸۸	شکل۴–
۳۱: تغییرات عمق حداکثر أبشستگی اطراف آبشکن در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن	شکل۴–
٨٩	محافظ
۳۲: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن	شکل۴–
٨٩	محافظ
۳۳: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در طول آبشکن ۸ سانتیمتر	شکل۴–
۳۴: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در طول آبشکن ۱۲ سانتیمتر	شکل۴–

۳۵: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در طول آبشکن ۱۶ سانتیمتر۹۰	شکل۴–
۳۶: : نمایی شماتیک از شکل گیری منطقه مرده در بالادست و پاییندست تکیه گاه۹۴	شکل۴–
۳۷ :توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۲۰ سانتیمتر در دبی ۱۴ لیتر بر ثانیه۹۵	شکل۴–
۳۸: توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۲۰ سانتیمتر در دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه۹۵	شکل۴–
۳۹: توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۲۰ سانتیمتر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه۹۵	شکل۴–
۴۰ :توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۲۰ سانتیمتر در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه۹۵	شکل۴–
۴۱: توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۲۰ سانتیمتر در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه۹۵	شکل۴–
۴۲: توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیه-گاه ۳۰ سانتیمتر در دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه۹۵	شکل۴–
۴۳: توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه۹۵	شکل۴–
۴۴ :توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتر در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه	شکل۴–
۴۵: : اشل تغییرات عمق در شکلهای توپوگرافی حفره و تل آبشستگی	شکل۴–
۴۶: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۱۴ لیتر بر ثانیه۹۸	شکل۴-
۴۷: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه	شکل۴-
۴۸: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه	شکل۴–
۴۹: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه	شکل۴-
۵۰: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه	شکل۴–
۵ : تغییرات پروفیل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری در دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه	شکل۴–۱
۵۲: تغییرات پروفیل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه	شکل ۴–
۵۲ : تغییرات پروفیل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه	شکل۴- ۳
۵۴: تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی مشاهداتی و محاسباتی	شکل۴–
۵۵ :تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی تکیهگاه محاسباتی و مشاهداتی	شکل۴–
۵۶: تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی آبشکن محاسباتی و مشاهداتی	شکل۴–
۵۷ : تغییرات حجم بیبعد آبشستگی مشاهداتی نسبت به محاسباتی	شکل۴–

# فهرست جدولها:

۵۶	جدول ۳- ۱: مشخصات ذرات بستر فرسایش پذیر
۶١	جدول ۳- ۲: مقدار عمق نرمال برای دبیهای انتخابی
۶۵	جدول ۳- ۳: : مشخصات متغیرهای مورد آزمایش برای تکیهگاه با طول ۲۰ سانتیمتر
99	جدول ۳- ۴: مشخصات متغیرهای آزمایشها برای تکیهگاه باطول ۳۰ سانتیمتر

۷١	عدد فرود هر آزمایش	- ۸: مقادیر	جدول ۴-
۷۲	ds بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۴ سانتیمتر برای تکیهگاه ۲۰ سانتیمتری	- ۱: مقادیر	جدول ۴-
۷۲	ds بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۸ سانتیمتر برای تکیهگاه ۲۰ سانتیمتری	- ۲: مقادیر	جدول ۴-
۲۷	بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر برای تکیه گاه ۲۰ سانتیمتری ds $\mathrm{ds}$	- ۳: مقادیر	جدول ۴-
۲۲	بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر برای تکیه گاه ۲۰ سانتیمتری ds $\mathrm{ds}$	- ۴: مقادیر	جدول ۴-
۷۴	ds بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۸ سانتیمتر برای تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری <sup>2</sup>	- ۵: مقادیر	جدول ۴-
۷۴	ds بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر برای تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری <sup>2</sup>	- ۶: مقادیر	جدول ۴-
۷۴	ر ds بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول۱۶ سانتیمتر برای تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری <sup>2</sup>	- ۷: : مقادی	جدول ۴-

فصل اول مقدمهای بر آبشستگی

مقدمه:

تخریب پلها بر اثر آبشستگی<sup>۱</sup> اطراف پایهها و تکیهگاهها<sup>۲</sup>، یکی از حوادث فاجعهآمیز در مهندسی عمران است که برای جلوگیری از آن نیاز به اطلاعات علمی کاملتری است. به عنوان نمونه، در سال ۱۹۸۷ پل 90-ا بر نهر چوهاری<sup>۳</sup> در نزدیکی آلبانی در ایالت نیویورک آمریکا، به دلیل آبشستگی اطراف فنداسیون پایهها فروریخت که منجر به از بین رفتن جان ۱۰ نفر و میلیونها دلار خسارت به پل برای بازسازی و جایگزینی شد. در طی سیلاب رودخانه می سی سی پی در سال ۱۹۹۳ بیش از نتیجه وقوع سیلاب ۱۰۰ سالهای بود که در طول رودخانههای اوکمولگی و فلینت<sup>۵</sup> در مرکز و شمال-غربی جرجیا<sup>2</sup> جاری شد.(۱)

این پدیده در کشور ما نیز خسارات فراوانی برجا گذارده است که از جمله میتوان به پل بالارود در محور اندیمشک اهواز در استان خوزستان بر روی رودخانه بالارود اشاره نمود که در سال ۱۳۷۳ در اثر آبشستگی بیش از حد عرشه بین دهانههای P10 , P19 بصورت کامل تخریب و منجر به خسارات مالی فراوانی شد. برداشت بیش از حد مصالح، پل پایین دست ماشینرو و بستر پل بالادست قطار رو را نیز تحت تاثیر قرار داده است به نحوی که هنوز این مشکل برای پل بالارود حل نشده است.

پل تالار در استان مازندران در سال ۱۳۶۹ تحت تاثیر آبشستگی قرار گرفت و در بدترین حالت در حدود ۱۰ تا ۱۴ متر عمق آبشستگی ایجاد شد و منجر به نمایان شدن شمعها و در نتیجه معلق شدن بعضی پایهها شد که برای پل بسیار خطرساز بود.(۲)

- 1 -Scouring
- 2 -abutment
- 3 -Schoharie Creek
- 4 -Alberto
- 5 -Flint, Ocmulgee
- 6 -Georgia

تعريف موضوع پاياننامه:

با توجه به کاستیهای موجود در مدارک علمی و فنی در خصوص کنترل آبشستگی و ضرورت ارائه راهکاری مقرون به صرفه برای کاهش آبشستگی تکیهگاه پل در سیلاب دشت طرح این پایاننامه پیشنهاد شد.

پایاننامه حاضر حاصل انجام بررسیهای آزمایشگاهی پدیده آبشستگی تکیهگاه نیم استوانه ای در کانال مرکب می باشد. شرایط آزمایشگاهی با توجه به امکانات موجود و همچنین در نظر گرفتن کلیه پارامترهای موثر و متغیر کنترل شده است. پارامترهای آزمایشها با توجه به موارد معرفی شده در مرجع (۱) در نظر گرفته شده است.

ساختار پاياننامه

این پایاننامه شامل ۶ فصل میباشد که در پی آن مآخذ و منابع تحقیق ارائه خواهد شد.

در فصل اول مقدمهای از روند انجام پایاننامه به همراه خلاصهای از فصول مختلف این مجموعه ارائه شده است.

فصل دوم شامل کلیاتی در مورد انواع آبشستگی تکیهگاه با شکلهای مختلف است. در ادامه فصل، مکانیزم آبشستگی در تکیهگاه و الگوی جریان در اطراف تکیهگاه بیان شده است. از دیگر مواردی که در این فصل به آن پرداخته میشود، روشهای مقابله با آبشستگی و راهکارهای گذشته برای کاهش آبشستگی تکیهگاه میباشد، سپس روابط ارائه شده برای تخمین آبشستگی بیان میشود.

در فصل سوم به شرح تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق پرداخته شد، در این رابطه به تشریح روش انجام آزمایشها و طرز کنترل پارامترهای متغیر پرداخته می شود سپس به معرفی آزمایشهای انجام شده و روش مورد استفاده برای کاهش میزان آبشستگی پرداخته شده و دلیل انتخاب روش و نحوه انجام آزمایشها، پارامترهای موثر در مدل آزمایشگاهی و خصوصیات مصالح، بیان میشود. فصل سوم با تعیین تعداد آزمایشها و زمان انجام هر آزمایش به اتمام میرسد.

فصل چهارم مربوط به آنالیز ابعادی و ارائه دادههای بدست آمده از آزمایشها است. در ادامه روش این تحقیق در خصوص تعیین پارامترهای هیدرولیکی کانال مرکب بیان میشود. پس از تعیین تاثیر پارامترهای مختلف و مشاهده تاثیر روش مورد استفاده در کاهش آبشستگی تکیهگاه پل در سیلاب-دشت، به تحلیل دادههای آزمایشگاهی پرداخته شده است و رابطهای برای تعیین عمق کاهش یافته آبشستگی با توجه به پارامترهای موثر ارائه شده است. در ادامه فصل چهارم به تفسیر نمودارها و نتایج و تحلیل توپوگرافی بستر پرداخته شده است.

فصل پنجم شامل نتایج بدست آمده خلاصه شده و پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده ارائه شده است.

از ویژگیهای مثبت این پایاننامه میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

استفاده از مدل آزمایشگاهی برای بررسی پدیده آبشستگی تکیهگاه پل در سیلاب دشت
 استفاده از فلوم با ابعاد مناسب با توجه به شرایط جریان در کانال مرکب
 ارائه یک روش مقرون به صرفه و کارآمد برای کاهش آبشستگی
 همراستا و کاربردی بودن تحقیق با بسیاری از پروژههای ملی وزارت نیرو، وزارت جهاد
 کشاورزی، وزارت راه و ترابری و دیگر ارگانهای مربوطه



مقدمه

بیش از ۴۸۰هزار پل در ایالات متحده بر روی رودخانهها ساخته شده است و با توجه به آمارهای دهه اخیر، احتمال تلفات جانی و آسیبهای شدید در اثر شکست و خرابی فونداسیون پل به دلیل سیلاب بسیار زیاد است. مدیریت بزرگراههای فدرال<sup>۷</sup> پتانسیل آبشستگی را به عنوان علت شکست فنداسیون-

<sup>7 -</sup>Federal Highway Administration (FHWA)

ها در مواقع سیلاب بیان داشته است. انجمنهای علمی زیادی متشکل از مهندسین هیدرولیک برای تهیه راهنمای طراحی پلها در برابر شستگی، توسط FHWA تشکیل شده است.

تعیین خطوط جریان عبوری در محل قرارگیری پل و روال ایجاد آبشستگی فرآیندی پیچیده <sup>۱</sup> است. آبشستگی نتیجه جداشدگی جریان اطراف پایه یا تکیهگاه و شکل گیری گردابه<sup>۸</sup>های نعل اسبی<sup>۱</sup> تناوبی و سهبعدی و گردابههای برخاستی است که بر بستر متحرک<sup>۱۰</sup> تاثیر می گذارد.

بررسی کلی پدیده آبشستگی:

در طراحی سازهها، رعایت دیدگاههای زیر الزامی است(۳):

- ✓ نقش سازه: تا آنجا که در عملکرد سازه و پایداری آن تغییری حاصل نشود، آبشستگی اهمیت ندارد.
- ✓ عوامل فیزیکی محیطی: سازه باید درجهای مطلوب از حفاظت در مقابل بارگذاری
   هیدرولیکی را با خطرپذیری قابل قبولی، تامین کند. ضمنا هر جا که ممکن باشد، نقطه نظرهای زیست محیطی، تفریحی و ضروریات مرتبط با چشم انداز را پوشش دهد.
- روش اجرا: هزینه های اجرایی تا یک سطح قابل قبول کمینه شود و محدودیت های قانونی
   اکیدا رعایت شود.
  - ۸ بهرهبرداری و نگهداری: بایستی اداره و بهرهبرداری از سازه آبی امکان پذیر باشد.

تکیهگاهها از جمله سازههایی هستند که تحت تاثیر آبشستگی پایداری خود را از دست میدهند و بهرهبرداری از آنها مختل میشود. با توجه به آسیبپذیری تکیهگاه پل مسئله شستگی باید به طور

9 -horseshoe

<sup>8 -</sup>vortex

movable sediment bed -10

کامل بررسی و کنترل شود. آبشستگی در واقع انتقال رسوبات بستر است، رسوبی که مرزهای جریان را شکل میدهد برای سهولت به دو زیرگروه رسوبات چسبنده و رسوبات غیرچسبنده قابل تقسیم است. در مصالح غیرچسبندهای چون ماسه و شن، اندازه خاکدانهها و دانسیته مصالح، پارامترهای غالب برای حمل رسوب هستند و در مصالح چسبنده ضریب چسبندگی و نوع مصالح چسبنده، اندازه ذرات و زاویه اصطکاک عوامل موثر هستند.

سازه آبی قرار داده شده در آبراهه را اغلب برای کاهش نیروی درگ یا لیفت وارده بر سازه از طرف جریان و کاهش اثرات آشفتگی در لایه مرزی، سازگار با خطوط جریان می سازند. سازههای آبی که الگوی جریان را در اطراف خود تغییر می دهند، ممکن است باعث بروز آبشستگی محلی شوند. زیرا تغییر ویژگیهای جریان (سرعتها و یا آشفتگی) به تغییر ظرفیت حمل رسوب می انجامد که این خود به عدم تعادل بین ظرفیت واقعی حمل رسوب و ظرفیتی که جریان رسوب را حمل می کند، منجر می شود. ممکن است یک تعادل جدیدی به دنبال شرایط هیدرولیکی تطبیق یافته با آبشستگی، نهایتاً بوجود آید.

#### تكيه گاهها و دستكها:

تکیهگاهها موانعی هستند که در مواجهه با جریان یک فشردگی افقی با جریان سهبعدی را بهوجود میآورند. پایههای پل موانعی افقی هستند که آب از هر دو طرف آن عبور میکند، بر خلاف آستانهها که فشردگی قائم ایجاد میکنند، تکیهگاهها فشردگی افقی، عمدتاً در جریان دوبعدی، را باعث می-شوند. در شکل۲– ۱۱نواع شکلهای دماغه نشان داده شده است. در شکل۲– ۱ فلشها جهت جریان در کانال را نشان میدهند.





شکل۲- ۱: شکلهای دماغه تکیهگاه( شکل از مرجع (۳))

تکیهگاههای دیوار – بال:

تکیه گاههای کولهای با اشکال پیچیدهای از قبیل تکیه گاههای کولهای انحنادار که شبیه راکت هاکی و یا عکس راکت هاکی شکل دهی شدهاند، وجود دارد. یک تکیه گاه را می توان با پارامترهای هندسی نظیر طول، پهنا، زاویه بالادست دیوار – بال و زاویه پایین دست توصیف کرد. (۴) وجود تکیهگاه در کناره رودخانه باعث تنگشدگی مقطع و در نتیجه ایجاد شرایط آبشستگی می-شود. مطالعات آزمایشگاهی موجود بر روی شستگی تکیهگاهها تغییرات طول تکیهگاه را به عنوان یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر شستگی در نظر گرفتهاند. در کانال واقعی دارای کانال اصلی و سیلاب-دشتهای مجاور، تکیهگاه قرار گرفته در سیلاب دشت که در مسیر جریان با توزیع سرعت یکنواخت قرار ندارد، در آزمایشها بررسی نشده است. آبشستگی تابعی از اندرکنش جریان در بین کانال اصلی و سیلاب دشت در محلهای باز پل میباشد. تکیهگاه با طول مشخص قرار گرفته در کانال با توزیع سرعت کانال مرکب رفتاری متفاوت با جریان در کانال ساده دارد.(۴)

آزمایشهایی بر روی طولهای تکیهگاهی تا دیواره کناری کانال اصلی برای شکل دماغه استوانهای و مستطیلی و دماغه ذوزنقهای انجام شده است. هدف از انجام این آزمایشها بررسی شیوه شکل گیری جریان سهبعدی هنگامی که دماغه در سیلاب دشت تمام میشود و وقتی تکیهگاه تا لبه دشت سیلابی ادامه یابد است. در حالت آبشستگی با بستر متحرک به طور ابتدایی مشاهده شد در حالتی که در کانال اصلی حرکت ذرات بستر وجود دارد، در دشت سیلابی حرکتی از ذرات رسوب مشاهده نمی شود. این مسئله در حالتی که تکیهگاه در کناره یا نزدیک کانال اصلی قرار گرفته و حفره آبشستگی نسبت بیشتری در داخل کانال اصلی قرار گرفته، جالب توجه است. آزمایشهای انجام شده بر روی این حالت به دلیل محدودیت ابعاد فلومهای دارای کانال مرکب موفق نبودهاند.

#### شرایط جابهجایی:

فرسایش آب زلال زمانی رخ میدهد که در بالادست سازه رسوبی وجود ندارد. به عبارت دیگر مصالح بستر در جریان طبیعی بالادست گودال آبشستگی در حالت سکون بوده یا بستر در بالادست از نوع تثبیت شده است. در این موارد، وقتی که آبشستگی در اثر جریانی فاقد مواد رسوبی (بار بستر و بار معلق) ایجاد میشود، عمق آبشستگی بایستی نهایتا به یک مقدار حدی برسد. زمانی که سرعت تقرب بیشتر از سرعت متوسط بحرانی جریان است، بستر بالادست را معمولا حفاظت میکنند تا از جابهجایی ذرات مصالح بستر در اثر جریان جلوگیری شود. آبشستگی بستر فعال، فرسایشی است که در آن حمل رسوب بر روی بستر دست نخورده صورت می گیرد. در این حالت ذرات رسوبی به طور پیوسته توسط جریان حمل و وارد گودال آبشستگی می شوند. به همین دلیل عمق متعادل آبشستگی از شرایط فرسایش آب زلال کوچکتر است. (شکل۲- ۲) (۳)



شکل۲- ۲: تغییرات عمق آبشستگی با زمان در شرایط آب زلال و گل آلود

در بستر فعال گسترش آبشستگی با زمان سریعتر افزایش مییابد و سپس در اطراف یک مقدار متوسط، ضمن واکنش به خصوصیات بستر نوسان میکند.

انتقال رسوب:

انتقال رسوب را به صورت رخداد یکی از دو طریقه زیر میتوان در نظر گرفت:

با چرخیدن (غلتیدن) یا لغزیدن در امتداد کف رودخانه یا دریا در این صورت رسوب
 منتقل شده بار بستر را تشکیل میدهد.

 با تعلیق در سیال در حال حرکت (این معمولا برای ذرات ریز قابل کاربرد است) که بار معلق می باشد.

آستانه حرکت:

یک شی کروی بر یک سطح صاف با اعمال یک نیروی کوچک افقی به سادگی می چرخد، البته در مورد یک مرز فرسایش پذیر ذرات کاملا گرد نیستند و بر سطحی قرار دارند که کاملاً صاف نیست. بنابراین اعمال یک نیرو فقط در صورتی که به اندازه کافی بزرگ باشد تا بر نیروهای مقاوم طبیعی غلبه یابد حرکت را سبب خواهد شد. ذرات دارای اندازههای غیریکنواخت هستند.

مشاهداتی که به وسیله بسیاری از پژوهشگران به عمل آمده، تایید کرده است که اگر نیروی برشی به تدریج از صفر افزایش یابد، به نقطهای خواهیم رسید که در چندین سطح کوچک روی بستر حرکت ذره را می توان مشاهده کرد. اندکی افزایش بیشتر در To معمولا برای ایجاد یک حرکت فراگیر رسوب (از نوع بار بستر) کافی است، این حالت «حرکت آستانه» را تشریح میکند.(۳)

در حالتی از جریان بر روی بستر ماسهای که ابتدا مسطح است، زمانی که تنش برشی برای انتقال کافی باشد حرکت تموجی<sup>۱۱</sup> در کف تشکیل خواهد شد. این تموج کف بزرگتر شده و به تل ماسه<sup>۱۲</sup> تبدیل میشود. در جریانهایی که عدد فرود متوسطی دارند، این تلهای ماسهای به پاییندست حرکت میکنند. این حرکت ناشی از رانده شدن ماسه از قله تل و سپس ذخیره شدن در پاییندست تل میباشد. زمانی که جریان برای به تعلیق درآوردن بار معلق کافی باشد، از آنجا که این تلهای ماسهای شسته خواهند شد، تغییرات اساسی در بستر رخ خواهد داد. احتمالاً بین پارامترهای اصلی روند انتقال رابطهای وجود دارد. بیشتر معادلات رایج بر اساس ترکیبی از آنالیز ابعادی، آزمایشها و مدلهای تئوریکی ساده شده بسط یافته است.

11 -ripples 12 -dunes

نیروی خارجی وارد بر یک ذره فرسایش پذیر ناشی از الگوی جریان جداشده به وزن ذره مستغرق 
$$\frac{\pi D^3 g}{\rho_s - \rho}$$
 شده 'W (برای یک ذره کروی  $\frac{\pi D^3 g}{\rho_s - \rho}$ ) و زاویه ایستایی  $\phi$  مرتبط میباشد. تعداد دانههای برآمده به فشردگی دانهها در سطح بستگی دارد. مجموع نیروهای وارد بر یکایک ذرات ناشی از قابلیت دانههای برآمده میباشد، بنابراین نیروی کل وارد بر هر دانه برآمده در واحد سطح را میتوان چنین بیان کرد:

$$F_D \propto \tau_0 \frac{D}{A} \tag{1-1}$$

در آستانه حرکت To =Tcr بنابراین:

$$\tau_{cr} \frac{D^2}{A\rho} = (\rho_s - \rho)g \frac{\pi D^3}{6} \tan \varphi$$
 (Y-Y)

$$\frac{\tau_{cr}}{(\rho_s - \rho)} \propto \frac{\pi A_p}{6} \tan \varphi \tag{(Y-Y)}$$

در روابط بالا F<sub>D</sub> نیروی درگ، D قطر ذره، T<sub>cr</sub> تنش برشی بحرانی، **ρ** چگالی آب ρ<sub>s</sub> چگالی ذره و **φ** زاویه اصطکاک خاک میباشد.

در سال ۱۹۳۶ شیلدز<sup>۱۳</sup> نتایج بعضی از تحقیقات در انتقال رسوب را منتشر کرد. (۵) او نشان داد که وارد شدن ذرات به جریان، به عدد رینولدز که بر اساس سرعت برشی \***U** یعنی:

13 -Shields

$$\operatorname{Re}^* = \frac{\rho D U^*}{\mu} \tag{(f-T)}$$

میباشد، بستگی دارد. سمت چپ معادله نسبت نیروی برشی به نیروی ثقل است و به نام تابع ورود F<sub>s</sub> معروف است شیلدز نتایج آزمایشهای خود را به شکل F<sub>s</sub> در مقابل \**P* رسم کرد و ثابت کرد که نواری از نتایج خوب تعریف شدهای وجود دارد که نمایش دهنده آستانه حرکت است. بر اساس استفاده از یک پارامتر بیبعد اندازه ذره خط آستانه شیلدز به آسانی بیان شده است. شیلدز مطالعات خود را به صورت شکل۲- ۳ ارائه کرده است. (۶)



شکل۲ - ۳: نمودار شیلدز (برگرفته از مرجع (۱۴) )



انواع آبشستگی:

انواع آبشستگی بر اساس محل حفرہ:

پیچیدگی شبیهسازی آبشستگی تکیهگاه ارائه یک رابطه تخمین قابل اطمینان را مشکل میسازد. همچنین تاثیر شیب و مشخصات مصالح بستر باید مورد بررسی قرار گیرد. در شکل۲- 4 الگوی کلی قرارگیری تکیهگاه در سیلابدشت و پایههای پل در مسیر جریان مشاهده میشود.(۱)



شکل۲- ۴: شکل کلی قرارگیری تکیه گاه و پایه های پل در مسیر جریان

انواع آبشستگی تکیهگاه را به صورت زیر میتوان خلاصه کرد: نوع ۱ : تکیهگاه در یک کانال (بدون سیلابدشت) قرار دارد.

۱-الف: تکیهگاه در معرض آبشستگی موضعی بستر کانال اصلی قرار دارد.



شکل۲- ۵: تکیه گاه نوع ۱-الف- آبشستگی کانال اصلی بدون سیلاب دشت

۱-ب: تکیه گاه در معرض آبشستگی موضعی و آبشستگی جمعشدگی کانال اصلی قرار دارد.

نوع ۲: تکیهگاه در سیلابدشت قرار دارد (با طولهای مختلف)

۲-الف: تکیهگاه در معرض آبشستگی کانال اصلی (موضعی و تنگشدگی) قرار دارد.



شکل۲- ۶: : تکیه گاه نوع ۲-الف- امتداد یافته به داخل کانال اصلی

۲-ب: تکیه گاه در معرض خطر شکست ساحل کانال اصلی که منتج از آبشستگی است، می باشد.



شکل۲- ۷: تکیه گاه نوع ۲-ب- تکیه گاه نزدیک لبه کانال اصلی

۲-پ: تکیهگاه در معرض آبشستگی سیلابدشت قرار دارد.



شکل۲- ۸: تکیه گاه نوع ۲-پ- تکیه گاه و حفره آبشستگی در سیلاب دشت

۲-ت: تکیهگاه در معرض فرسایش ساحلی قرار دارد. این حالت در شرایطی که بده تکیهگاه از

مصالح فرسایش پذیر باشد ایجاد میشود.



شکل۲- ۹: تکیه گاه نوع ۲-ت- آبشستگی کناره تکیه گاه و ساحل سیلاب دشت

انواع آبشستگی براساس شرایط جریان:

انواع آبشستگی میتواند تحت شرایط جریان مختلف ایجاد شوند:

- ✓ آبشستگی کلی بستر کانال اصلی: زمانی اتفاق میافتد که پتانسیل کلی جریان از کانال
   اصلی، برای جابهجایی رسوب در طول کانال میباشد.
- ✓ تغییر در مسیر و ریخت شناسی کانال اصلی که به طور معکوس بر جهت و محل قرار گیری تکیهگاه در رابطه با جریان در کانال اصلی اثر میگذارد.
- آبشستگی تنگشدگی در کانال اصلی در محل قرارگیری تکیهگاه: جریان در محل
   تکیهگاه ایجاد آبشستگی موضعی میکند تا زمانی که به یک تعادل نسبی بین جریان و
   بستر برسد. آبشستگی تنگشدگی در محلهایی که ساحل به تکیهگاه پل برخورد میکند
   و جریان بر روی دشتسیلابی میباشد شدت پیدا میکند. جریان جداشده به صورت
   قیفی شکل در محل تکیهگاه ادامه پیدا میکند.
  - 🗸 آبشستگی موضعی مربوط به جریان محلی در اطراف تکیهگاه
- آبشستگی تنگشدگی، سیلابدشت در محل تکیهگاه به طور معکوس به مسیر خاکریز
   تاثیر گذار خواهد بود.(۶)

## پارامترهای موثر بر آبشستگی تکیهگاه:

پارامترهای موثر بر پدیده آبشستگی به صورت زیر تقسیم بندی میشوند:

- الله عوامل مربوط به هندسه کانال، عرض، شکل سطح مقطع و شیب
- هندسه آبشکن یا تکیهگاه: اندازه شکل سطح مقطع زاویه قرار گیری با جهت جریان -ارتفاع نسبت به رقوم سطح آب
- عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط توزیع دانهبندی چگالی زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی
  - الله عوامل مربوط به خواص سیال: دانسیته- ویسکوزیته- شتاب ثقل- و درجه حرارت

عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی: سرعت متوسط جریان – عمق جریان – سرعت برشی
 و زبری

صانعی(۷) تاثیر سرعت بحرانی و دانهبندی بر میزان آبشستگی را به صورت آزمایشگاهی مطالعه کرده است. نتایج بدست آمده نشان میدهند با افزایش اندازه متوسط ذرات بستر در نسبت سرعت بحرانی ثابت عمق آبشستگی افزایش مییابد، همچنین در شرایط دبی ثابت با افزایش عمق آب میزان آبشستگی کاهش مییابد.

توسعه آبشستگی با زمان:

زمان ایجاد تعادل در فرآیند آبشستگی در تعیین زمان لازم برای آزمایشها ضروری است. در طی دبی طراحی، زمان شاید کوچکتر از زمان رسیدن به تعادل باشد، اما با در نظر گرفتن زمان تعادل برای انجام آزمایش آبشستگی منطقه را برای نمونه طراحی بیشتر نشان میدهد.

توسعه زمانی آبشستگی اولین بار توسط لارسن<sup>۱۰</sup> در تحقیقات اولیه بر روی آبشستگی ناشی از جتها مورد بررسی قرار گرفت. وی نشان داد که آبشستگی آب زلال هم ارز با روال آبشستگی است که در آن رابطه افزایش عمق آبشستگی به طور خطی با لگاریتم زمان میباشد. به طور تئوری آبشستگی تعادلی هیچگاه ایجاد نمیشود. بنابراین برای کاربردی بودن مسئله بعضی محدودیتهای عمق آبشستگی از آزمایشها در طی زمان طولانی وقتی که سرعت تغییر عمق آبشستگی کم میباشد ایجاد میشود. بیشتر آزمایشها در روی توسعه زمانی آبشستگی بر روی آبشستگی پایه پل بوده است.

- معادله بقای رسوب
- تابع انتقال رسوب

14 -Laursen 15 -Carstens شکل حفره آبشستگی فرضی از نظر هندسی در تمام زمانها ثابت است. کارستنس نشان داد که حلهای مشابه برای این معادلات توسط نتایج آزمایشهای لارسن بر روی شستگی جت افقی تایید میشود.

ملویل و چوو<sup>9</sup>(۱) زمان تعادل را به عنوان تابعی از نرخ افزایش عمق آبشستگی کمتر از ۵٪ قطر پایه در ۲۴ ساعت معرفی کردهاند.

### مراحل توسعه آبشستگی:

مشاهدات انجام شده بر فرسایش آب زلال در مدلهای مقیاسدار نشان دادهاند فرآیند آبشستگی در چهار مرحله به وقوع می پیوندد(۳) و(۴) و (۸) و(۹):

- ✓ مرحله اول یا آغازین که در آن جریان در گودال آبشستگی در راستای طولی تقریباً یکنواخت است. این مرحله از فرآیند آبشستگی را میتوان مرحلهای که حداکثر ظرفیت آبشستگی وجود دارد دانست. مشاهدات انجام شده بر مصالح نرم و زبر نشان داده که در شروع شکل گیری گودال آبشستگی، بخشی از مصالح بستر نزدیک شیب بالادست آبشستگی، به حالت تعلیق در میآیند.
- در مرحله دوم یا مرحله توسعه، عمق آبشستگی افزایش قابل ملاحظهای پیدا می کند. اما شکل گودال آبشستگی تغییر نمییابد. در این مرحله نسبت بین عمق بیشینه آبشستگی و فاصله از انتهای حفاظ کف تا نقطهای که گودال آبشستگی بیشترین عمق را دارد، تقریبا ثابت است. اندازه گیریهای انجام شده نشان دادهاند که اگرچه بخش بالایی شیب بالادست آبشستگی در تعادل است، لیکن بخش پایینی آن همچنان در حال توسعه می-باشد.

16 -Chiew, Melville

✓ مرحله سوم یا مرحله تثبیت، آهنگ توسعه عمق بیشینه آبشستگی کند میشود. ظرفیت
آبشستگی در ژرفترین بخش گودال آبشستگی در مقایسه با ظرفیت آبشستگی در پایاب
نقطه همگرایی، بسیار کوچک است. بهطوریکه ابعاد گودال آبشستگی بیشتر در راستای
طولی نسبت به راستای قائم، توسعه مییابد. هرچه فرآیند آبشستگی ادامه یابد، سرعت-
های جریان در ورای بخش پایینی شیب بالادست آبشستگی، بیشتر کاهش مییابد. در
مرحله تثبیت، وضعیت تعادل برای هم شیب بالادست و هم شیب پاییندست آبشستگی
و همچنین عمق بیشینه آبشستگی تقریبا حاصل نشده است.

✓ مرحله چهارم یا مرحله تعادل را میتوان بصورت مرحلهای که در آن ابعاد گودال آبشستگی تغییر قابل ملاحظهای نخواهد یافت تعریف کرد.

## بررسی توزیع تنش برشی در اطراف تکیهگاه:

توزیع تنش برشی در اطراف دیوارههای عمودی تکیهگاهها به صورت آزمایشگاهی توسط مولیناس(۱۰) مورد بررسی قرار گرفته است و تنشهای برشی حداکثر که در کنارههای بالادست دیواره عمودی اتفاق میافتد مشخص شده است. توزیعهای تنش برشی برای عدد فرود بین ۲٫۳ تا ۹٫۹ و برای نسبت بیرون زدگی بین ۱٫۹ تا ۲٫۳ بدست آمده است. تنش برشی در منطقه دماغه تکیه-گاه میتواند به عنوان جمع تنشهای ناشی از جمعشدگی و ساختمان تکیهگاه به تنهایی منظور شود. ضریب شناسایی تنش برشی در دماغه به عنوان نسبت تنش برشی پایین منطقه دماغه به تنش برشی ضریب شناسایی تنش برشی در دماغه به عنوان نسبت تنش برشی پایین منطقه دماغه به تنش برشی وجود اندر کنش در محاسبه تنشهای برشی کلی بر اثر وجود دیواره تکیهگاه عمودی در محل اتصالات کوتاه است. تنشهای برشی در اطراف دیواره عمودی در ضریبی از ۱۰ ضرب میشود و سرعتها تا حدود ۵۰٪ بسته به شرایط جریان و نسبت سهم دیواره افزایش مییابد و نتایج با آزمایشهای قبلی و
مطالعات عددی در زمینه تنشهای برشی در اطراف دیواره و تکیهگاه مقایسه شدهاند. آبشستگی موضعی در اثر افزایش سرعت جریان و شدت برش ایجاد می شود. با تعیین عوامل برش و مشخص کردن نواحی تنش برشی، مدل ساخته شده می تواند برای تعیین اندازههای مورد نیاز برای از بین بردن آبشستگی موضعی مورد استفاده قرار گیرد.

#### مدلسازی عددی کانال مرکب:

آنالیزهای عددی برای پارامترهای جریان در کانال باز مرکب، برای نمونههای انسداد همچون قرار گیری تکیه گاه پل در سیلاب دشت، دربر گیرنده محدودیت هایی در مقایسه با مطالعات آزمایشگاهی میباشد. بیشتر مدل های عددی برای شرایط جریان سهموی، با جهت جریان طولی بدون هیچ گونه جریان بر گشتی میباشد. در این مورد مطالعات کمی بر روی جریان بیضوی انجام شده است که تنها در کانال های مستطیلی قابل کاربرد است. تاثیر هیدرولیک کانال مرکب بر روی پارامترهای جریان در منطقه نزدیک به محل انسداد نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

مدلهای عددی یک و دو بعدی که برای جریان ترکیبی محاسبه شده است همانند جریان در کانال باز مرکب است. استرم (۱) بیان میدارد که: بعضی از مدلهای دو بعدی قابل کاربرد در لایه مرزی جریان که در آنها جریان با استفاده از معادلات دیفرانسیل چندجملهای در جریان طولی است، موقعیت جریان در کانال مرکب باز پیچیدهتر میشود اگر سازههایی همچون پایه پل یا تکیهگاهها در سیلابدشت قرار گیرند. در این شبیهسازی برای مناطق نزدیک سازه فرض جریان یکنواخت درست نمی باشد. به این دلیل که جهت جریان غالب در مناطق نزدیک به سازه وجود ندارد و جریان دش منطقه پاییندست سازه جدایی پیدا میکند و منطقه برگشتی با جریان معکوس و گرادیان فشار معکوس شکل میگیرد که فرض جریان یکنواخت را برهم میزند. بعلاوه تراز سطح آب نیز با جریان یکنواخت یکسان نخواهد بود. به دلیل وجود آشفتگی در هر دو جهت، تغییر سریعی در عمق آب در افزایش مییابد و پروفیل آب راکد را ایجاد میکند. این ویژگیهای جریان با یک میدان بیضوی جریان مدل میشود که دارای ترکیب تاثیر میدانهای سرعت و فشار (عمق آب) است. درک توزیع سرعت در کانال مرکب وابسته به اندرکنش بین جریان در کانال اصلی و جریان سیلاب دشت در مرز برخورد مجازی بین آنها و گردابه و مومنتوم تبادل شده است.(۱۱) نتایج کلی نشان میدهد که جریان کمتری در کانال مرکب نسبت به حالتی که با کانال اصلی جداگانه و جریان در سیلاب دشت بدون اندرکنش آنها نسبت به هم خواهیم داشت.(۱۱)

مدلسازی آزمایشگاهی آبشستگی:

از اواخر دهه ۵۰ میلادی مطالعات زیادی در زمینه آبشستگی موضعی اطراف پایهها و تکیهگاهها صورت پذیرفته است اما مسائل و مشکلاتی در چگونگی پیشبینی این پدیده به دلیل عدم شناخت صحیح ساختارهای پیچیده جریان و مکانیسم آبشستگی در اطراف سازههای آبی هنوز وجود دارد. میتوان با بررسی و مقایسه بین اطلاعات میدانی، آزمایشگاهی و عددی به یک روش کارآمد برای پیشبینی صحیح مقدار آبشستگی اطراف پایههای پل دست یافت. در حال حاضر این پیشبینیها با استفاده از مدلهای ساده آزمایشگاهی با شکلهای هندسی مستطیلی یا دایرهای روی یک پایه پل و فقط در یک فلوم مستطیلی با بستر صاف صورت می گیرد. میتوان با استفاده از نرمافزارهای موجود تحلیل جریان نظیر فلوئنت<sup>۱۸</sup> مدل آزمایشگاهی را در کامپیوتر شبیهسازی کرد و با استفاده از انواع

هاگر و الیوتو (۹) و اتاما(۱۳)چهار مبحث زیر را در زمینه بررسی تاثیر مقیاس بر نتایج آزمایشگاهی ارائه کردهاند:

مشخص کردن حداقل ابعاد آزمایشگاهی برای شبیهسازی فرودی

- ۲- تاثیر شیب دادن به تکیه گاه بر گسترش آبشستگی
  - ۳- گسترش روابط شستگی به آبشکنها
- ۴- تاثیر جریان غیردائمی بر گسترش شستگی به دلیل تاثیر اندرکنش جریان در کانال اصلی و سیلابدشت ارائه راهکارهای حفاظتی برای کاهش آبشستگی تکیهگاه در سیلابدشت پیچیدگی فراوانی دارد.

جائه اه لی<sup>۱۹</sup> (۱۴) اثر طول تکیهگاه در خاک چسبنده و آب زلال را در کانال مستطیلی مورد بررسی قرار داده است. تکیهگاه به شکل دیواره بالدار دارای سه طول مختلف آزمایش شده و شرایط آبشستگی در حالت ترکیب شن و ماسه بررسی شده است. در مدل عددی در حالت ۲ بعدی و ۳ بعدی برای محاسبه سرعتها در ترازهای مختلف بستر استفاده شده است.

ملویل (۱۵) نتایج مشاهدات آزمایشگاهی پایداری ذرات رسوب در اطراف تکیهگاه با دیواره بالدار ارائه کرده است. برای تعیین اندازه ذرات مناسب برای جلوگیری از شکست برشی تحت تاثیر جریان از دادههای آزمایشگاهی استفاده میشود. همچنین ضرایب ایمنی اضافی به دو رابطه موجود برای تعیین قطر ذرات مناسب اضافه شده است.

خزیمه نژاد (۱۶) به بررسی تاثیر شیب کانال بر حرکت رسوبات که در برگیرنده آبشستگی کلی بستر رودخانه میباشد پرداخته و پارامترهای موثر بر حرکت ذرات را مشابه پارامترهای شیلدز منظور کرده است. هافمن و گیجز(۱۷)آبشستگی موضعی در سازههای هیدرولیکی و مراحل مختلف آبشستگی را بررسی کردهاند. آنها عمق حداکثر آبشستگی ملاک بررسی قرار گرفته و رابطههایی برای حداکثر عمق آبشستگی در شرایط آب زلال ارائه و روابط را با نمونه واقعی کنترل کردند. نصراللهی ، قدسیان و تهرانی در سال ۲۰۰۱ حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن باز را بررسی کردند.

19 -Oh, Seung Jae

استرم (۱۸) به بررسی توزیع سرعت در محل قرارگیری تکیهگاه در مسیر جریان و بررسی توزیع جریان در مقاطع مختلف سیلابدشت و کانال اصلی پرداخته است. هاگر ۲۰(۹) عمق آبشستگی را با در نظر گرفتن پارامترهای هیدرولیکی و هندسی جریان ارائه کرده و همبستگی رابطه (۲–۵) را برای حالات مختلف ارائه کرده است:

$$Z = \frac{z}{z_R} = 0.068N\sigma^{-1/2} F_d^{1.5} \log T$$
 (Δ-Υ)

در رابطه فوق:

است ا،۲۵ است که برای پایههای استوانهای و تکیهگاه افقی ۱ یا ۱،۲۵ است N ضریب شکل است که برای پایههای استوانهای و تکیهگاه افقی ۱ یا  $Z_R = (h_0 D^2)^{\frac{1}{3}}$  برای تکیهگاه مستطیلی  $Z_R = (h_0 D^2)^{\frac{1}{3}}$  مستطیلی ho عمق آب

b عرض تکیه گاه

D قطر پايه

نسبت زمان است.  $T = \frac{t}{t_R}$ 

Z عمق آبشستگی

جدد فرود بر اساس قطر متوسط ذرات 
$$F_d = \frac{V}{\sqrt{\left(g'd_{50}\right)}}$$

شتاب ثقل ظاهری 
$$g' = rac{
ho_s - 
ho}{
ho} g$$

20 -Hager

پارامتر 
$${f \sigma}$$
 مربوط به یکنواختی رسوبات  $\sigma=\sqrt{{d_{84}\over d_{16}}}$ 

d84 قطر ذراتی است که ۸۴٪ ذرات از آن درشتتر هستند

d<sub>16</sub> قطر ذراتی است که ۱۶٪ ذرات از آن درشت تر هستند.

کلیه پارامترها در رابطه بالا بر اساس سیستم SI هستند. رابطه (۲–۵) بویژه برای سازههای منفردی چون پایههای پل، دستکهای هدایت رودخانه (اپی)، تکیهگاهها و دیگر سازههای دائمی (چون سرریزها، آستانهها، سازههای انسداد نهایی) صادق میباشد. اما در مواردی چون انسداد شعبههای مصبی که عامل زمان هم اهمیت دارد میتواند به کار گرفته شود.

روابطی بین عامل زمان و پارامترهایی چون سرعت، عمق جریان و دانسیته مصالح از آزمایشها مدل فیزیکی با مقیاسهای مختلف و با مصالح بستر متفاوت بدست آمده است، نتیجه گیری اصلی از معادلات این است که شکل گودال آبشستگی به مصالح بستر و سرعت جریان بستگی ندارد.

یک مدل ریختشناسی از توسعه گودال آبشستگی در پشت یک سازه آبی نیز ارائه شده است.(۱۹) این مدل بر اساس معادلات پخشیدگی انتقال حرارت و ناویراستوکس استوار میباشد، می-تواند آبشستگی دو بعدی را شبیهسازی کند.

مهتابی و همکاران(۲۰) پدیده آبشستگی آبشکنهای کوتاه بالدار را بررسی کردهاند، نتایج نشان دادهاند که عمق بیبعد آبشستگی با افزایش طول پیشآمدگی سازه تقریبا به صورت خطی افزایش مییابد. همچنین طول پاییندست و عرض حفره با افزایش تنگشدگی به طور معنیداری کاهش می-یابد. ولی تغییرات طول بالادست قابل ملاحظه نمیباشد. هاشمی نجفی و همکاران(۲۱) بررسی آزمایشگاهی آبشستگی در حالت آب زلال بر روی آبشکن L شکل و تیغهای و مقایسه آنها و ارائه رابطه را انجام دادهاند. برای تعیین رابطهای دقیق ریاضی، نیاز به دادههای آزمایشگاهی میباشد. از طرفی منظور کردن تاثیر کلیه پارامترها کار بسیار مشکل و غیرممکن است، از این رو لازمست تا ابتدا به کمک آنالیز ابعادی کلیه پارامترهای بدون بعد موثر بر میزان حمل رسوب اطراف آبشکن شناسایی شوند و سپس پارامترهای کم اثرتر حذف شوند و پارامترهای مهم تر تعیین شوند.(۲۲)

عبدالکریم<sup>۱۱</sup> (۲۳)جریان آشفته سهبعدی در میدان چاله آبشستگی اطراف پایه عمودی در شرایط آبشستگی آب زلال در فلوم آزمایشگاهی را مورد بررسی قرار داده است. توزیع عمودی متوسط زمانی اجزاء سرعت، شدت اجزاء آشفتگی و تنشهای رینولدزی در مقاطع عمودی مختلف در بالادست برداشت کرده است. این اطلاعات میتواند برای محققین و کاربران مدلهای عددی میدان جریان در چاله تکیهگاه پلها مفید باشد زیرا به تخمین عمق آبشستگی با استفاده از تعیین میدان جریان کمک میکند. لارسن(۱) رابطهای را برای آبشستگی اطراف تکیهگاه بر اساس قوانین هیدرولیکی صرفا با اتکای به طول تکیهگاه ارائه کرد. ملویل(۱) نیز روشی را برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی بر اساس طول تکیهگاه (کوتاه و بلند) ارائه کرد. اما در بر گیرنده جریان روی پهنه کنار رودخانهها و توزیع سرعت در کانال مرکب نیست. وی همچنین بر روی نمونهای از کانالهای مرکب تحت شرایطی که تکیهگاه در کانال اصلی تا انتهای دشت سیلابی ادامه پیدا کرده است مطالعاتی را انجام داده است.

تاثیر شکل دماغه تکیهگاه توسط FHWA با آزمایشهای بر روی تکیهگاههای در کانال مرکب به شکلهای مستطیلی- چند ضلعی و شکل استوانهای بررسی شده است.(۱) اندازه دانهها در آزمایشها ۳٫۳ میلیمتر محدود شد. اما مقدار دبی و اندازه طول تکیهگاه متغیر بود. هر چند تاثیر شکل دماغه در

21 - Abdul Karim Barbhuiyab

کانال مستطیلی ساده قبلا بررسی شده بود اما تاثیر آن در کانال مرکب بررسی نشده است. نتایج نشان میدهد که میزان آبشستگی تکیهگاه استوانهای در حدود ۵۵٪ کمتر از دماغه مستطیلی میباشد.

تحقیقات آزمایشگاهی اخیر بر روی آبشستگی اطراف تکیهگاه متمرکز بر پیشبینی آبشستگی موضعی در اطراف آبشکن میباشد، نتایج این مطالعات برای مسئله آبشستگی تکیهگاه به کار رفته است. احمد<sup>۲۲</sup>(۱) رابطهای برای عمق آبشستگی آبشکن با استفاده از شدت جریان یا نرخ جریان عبوری از واحد عرض در مقطع تنگ شده ارائه کرده است. تاچ و لارسن<sup>۲۲</sup> نشان دادند که آبشستگی اطراف پایههای پل و تکیهگاههای پل در آب گلآلود، سرعت جریان تقرب تاثیری بر میزان عمق آبشستگی ندارد به این دلیل که افزایش سرعت انتقال رسوب در چاله آبشستگی از بالادست را تغییر نمی دهد اما قدرت گردابهها قابل ارزیابی از چاله آبشستگی وجود دارد به کار می رود. اگر انتقال رسوبات کم باشد و بیشتر به صورت بارهای معلق باشند فرض بستر زنده رفتار آبشستگی مناسب نخواهد بود.

گارده و همکاران<sup>۲۴</sup>(۲۴) به طور آزمایشگاهی آبشستگی در اطراف آبشکنها را در کانال مستطیلی بررسی کردند و ضریب بدون بعد عمق آبشستگی به عمق جریان تقرب با عدد فرود جریان و ضرایب نسبت هندسه M که به عنوان نسبت عرض کانال تنگ شده به عرض کانال تقرب ارائه کردهاند. ضریب نسبت و پارامتر عدد فرود به عنوان تابعی از اندازه رسوب ارائه شده است.

صانعی و همکاران (۲۵) بررسی آبشستگی گروه آبشکنها و تعیین حداکثر عمق آبشستگی در دانهبندیهای مختلف بستر انجام دادهاند، ارتباط بین فاصله آبشکنها و تاثیر کاهشی آبشکن اول در میزان آبشستگی بقیه آبشکنها و افزایش آبشستگی در آخرین آبشکن گزارش شده است. لیو و

22 -Ahmed 23 -Laursen , Toch 24 -Garde, et al. همکاران<sup>۲۵</sup> (۲۶) آبشستگی در اطراف تنگ شدگیهای پل که ناشی از تکیهگاه میباشد در فلومهایی به عرض ۱٫۲ و ۲٫۴ متر بررسی کردند. نتایج آزمایشگاهی آنها برای بستر متحرک نشان داد که نسبت طول تکیهگاه به عمق نرمال ۵/۷۵ و عدد فرود جریان یکنواخت مهمترین تاثیر را بر روی عمق آبشستگی بدون بعد دارد. عمق نرمال قبل از قرارگیری تکیهگاه در فلوم اندازه گیری شده است. آنها رابطهای را برای عمق تعادلی آبشستگی در بستر متحرک، م

$$\frac{d_s}{y_0} = 2.15 \left(\frac{l_a}{y_0}\right)^{0.4} f_0^{\frac{1}{3}}$$
(F-Y)

که ما طول تکیهگاه (دیواره عمودی) Yo عمق نرمال جریان و fo عدد فرود جریان یکنواخت می-باشد. مقادیر آزمایشگاهی Ja/Yo تقریبا بین ۱ تا ۱۰ متغیر بودهاند و اعداد فرود بین ۲٫۳ تا ۱٫۲ متغیر میباشد. سری جداگانهای از آزمایشها روی آبشستگی آب زلال با استفاده از پیش شکلدهی چاله آبشستگی و ایجاد شرایط جریان لازم برای ایجاد حرکت اولیه ذرات بستر در چاله آبشستگی انجام شد. در این نمونه عمق آبشستگی آب زلال تابعی از fo/m بدست آمد که fo عدد فرود جریان یکنواخت و M نسبت تاثیر هندسه تعریف شده با نسبت عرض کانال تنگ شده به عرض کانال تقرب میباشد. ضریب نسبت تقریبا ۱۲٫۵ بدست آمده است.

صانعی و همکاران(۲۷) الگوی آبشستگی ایجاد شده در اطراف یک دسته آبشکن (۵ عدد) به ازای دبیها و درصد تنگ شدگیهای مختلف در دو نوع دانه بندی مصالح بستر را مورد بررسی قرار دادند و در پایان الگوی آبشستگی با هم مقایسه شدند. الگوهای ارائه شده با توجه به مقدار حجم آبشستگی به عنوان راهنمایی برای طراحی میتواند مورد استفاده قرار گیرد. گیل(۱)<sup>۲۶</sup> از نتایج آزمایشهای خود بر روی بستر ماسه در اطراف آبشکنها برای آبشستگی آب زلال و بستر متحرک نشان داد که نیازی به تمایز برای حداکثر عمق آبشستگی نیست. وی نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی وابسته به ضریب

25 -Liu, at. al. 26 -Gill هندسه تنگشدگی M و نسبت اندازه ذرات به عمق جریان بر اساس بستر متحرک و آب زلال با زمان آزمایش ها ۶ ساعت میباشد. رابطه وی به صورت زیر است:

$$\frac{d_s}{y_0} + 1 = 8.38(\frac{d_{50}}{y_0})^{\frac{1}{4}}(\frac{1}{m})^{\frac{6}{7}}$$
(Y-T)

لارسن(۱) رابطههای ارائه شده برای آبشستگی تکیهگاههای پل را بر اساس طول تنگشدگی جریان ارائه کرده است. آبشستگی بستر متحرک به عنوان تابعی از نسبت طول تکیهگاه به عمق جریان تقرب ۱۵/۷۱ . نسبت دبی واحد عرض به دبی عبوری از سیلاب دشت در منطقه آبشستگی ارائه کرده است. وی فرض کرد منطقه آبشستگی عرضی حدود ۲٫۷۵ برابر عمق آبشستگی خواهد داشت. این فرضیات منجر به ارائه رابطهای برای عمق آبشستگی شد:

$$\frac{L_a}{y_1} = 2.75 \frac{d_s}{y_1} \left[ \frac{\left(\frac{1}{11.5} \frac{d_s}{y_1} + 1\right)^{\frac{7}{5}}}{\left(\frac{\tau_1}{\tau_c}\right)^{\frac{1}{2}}} - 1 \right]$$
(A-Y)

در آزمایشهای مقایسهای برای مطالعه تاثیر عمق جریان در آبشستگی آب زلال در اطراف تکیه-گاهها، تی<sup>۲۷</sup>(۱) ضریب ثابتی از تنش برشی تقرب به تنش برشی بحرانی با مقدار ۹٫۹ ارائه داد که عمق جریان و طول تکیهگاه و شکل آن موثر میباشند. نتایج نشان دادند که افزایش عمق آبشستگی همراه با افزایش عمق جریان است اما با افزایش عمق سرعتها افزایش مییابد. طول تکیهگاه با توجه به جریان تقرب و شکل تکیهگاه میتواند بر عمق آبشستگی تاثیرگذار باشد. تکیهگاههای بلندتر و شکلهای لبهدار (مثل مستطیلی) باعث چالههای عمیق تر میشوند. فرولیک<sup>۲۸</sup> (۱) ۱۶۴ نتیجه آزمایشگاهی را از ۱۱ منبع جداگانه بر روی آبشستگی اطراف تکیهگاهها و آبشکنها تکمیل کرد. رابطه پیشنهادی وی به قرار زیر است:

$$\frac{d_s}{y_1} = 0.78K_1K_2 \left(\frac{L_a}{y_1}\right)^{0.63} F_1^{1.16} \left(\frac{y_1}{d_{50}}\right)^{0.43} \sigma_g^{-1.87} + 1$$
(9-7)

σg انحراف استاندارد هندسی توزیع اندازه رسوب F1 عدد فرود تقرب، k1 فاکتور شکل هندسی تکیهگاه، k2 فاکتور عدم تقارن تکیهگاه، a طول تکیهگاه. فرولیک پیشنهاد می کند ضریب اطمینان برابر با ۱ به مقدار ds/y1 بدست آمده اضافه شود. این باید در برگیرنده طرف راست معادله بالا باشد. HEC18 عمق آبشستگی بستر متحرک را رابطه فرولیک قرار داده است، زیرا نسبت به رابطه دیگر محققان بیشتر بر واقعیت منطبق است. عمق آبشستگی بستر متحرک به قرار زیر است:

$$\frac{d_s}{y_1} = 2.27K_1K_2 \left(\frac{L_a}{y_1}\right)^{0.43} 0.61 + \frac{1}{10}$$
 (1.-7)

ملویل تعداد زیادی از نتایج آزمایشگاهی بر روی آبشستگی تکیهگاه در آب زلال در کانالهای مستطیلی خلاصه کرده است و روش طراحی را برای عمق حداکثر آبشستگی بر ضریبهای تصحیح جریان عبوری، شکل تکیهگاه، چیدمان و طول آنها ارائه کرده است. او تکیهگاهها را به کوتاه (۱۵/۷۱/۱) یا بلند (25<۱۵/۷۱) تقسیم,بندی کرده است.

برای طول های تکیه گاه متوسط عمق آبشستگی تعادلی از رابطه زیر بدست میآید:

$$d_{s} = 2K_{1}K_{s}^{*}K_{\theta}^{*}(y_{1}L_{a})^{0.5}$$
(11-7)

K₁ ضریب سرعت جریان، \*K₅ فاکتور شکل تکیهگاه، ⊕\*K فاکتور چیدمان تکیهگاه ، y۱ عمق جریان تقرب و La طول تکیهگاه میباشند.

28- Froehlich

ملویل(۱) روش مشابهی برای پایههای پل و تکیهگاهها با معادلات متفاوت پیشنهاد کرد. وی نشان داد اندازه ذرات بر فاکتور جمعشدگی جریان آبشستگی آب زلال با طول 25<a/br/la/d50 موثر میباشد. تاثیر شکل تکیهگاه در تکیهگاههای کوتاهتر لحاظ میشود. (1=\*ks برای دیواره عمودی- ۰٫۷۵ برای دیواره بالدار و ۰٫۴۵ تا ۰٫۶۶ برای دیواره دایرهای) بسته به شیب کنارهها فقط وقتی 10/21/a باشد برای تکیهگاههای بلند (15=<۱۵/۱) 1=\*s با یک رابطه خطی بین \*s و ۱۵/۷۱ برای مقادیر برای تکیهگاههای الند (15=<۱۵/۱) 1=\*s با یک رابطه خطی بین \*s و ۱۵/۷۱ برای مقادیر تر از سیلاب دشت میباشند و تاثیر تنگشدگی جریان بر آنها خیلی مهم نیست.

ملویل همچنین نتایج آبشستگی تکیهگاه بستر متحرک با استفاده از دادههای دانگل<sup>۲۹</sup> جمعآوری کرده است. در شرایط آب زلال (Vc>۷) عمق آبشستگی وقتی [=۷۱/۷c به حداکثر مقدار خود میرسد برای شرایط بستر متحرک عمق آبشستگی وقتی ۷۱ افزایش مییابد، کاهش مییابد. پایههای نشان داده شده رفتار مشابهای را در شرایط بستر متحرک نشان می دهند.

ملویل، اتاما و ملویل(۱) نتایج آزمایشهای خود بر روی آبشستگی تکیهگاه در کانال مرکب را گزارش کردهاند. برای نمونه تکیهگاه که در داخل کانال اصلی ادامه پیدا کرده است، در صورت اعمال ضریب هندسی KG در رابطه ۲–۱۱عمق آبشستگی مشابه عمق آبشستگی در کانال مستطیلی با عرض مشابه و عمق معادل با عمق کانال اصلی برابر باشد. ضریب هندسی KG از رابطه زیر بدست میآید:

$$K_{G} = \sqrt{1 - \frac{B_{f}}{L_{a}} \left[ 1 - \left(\frac{y_{f1}}{y_{m1}}\right)^{\frac{5}{3}} \frac{n_{mc}}{n_{fp}} \right]}$$
(11-17)

29 -Dongol

که L<sub>a</sub> طول تکیه گاه ادامه پیدا کرده تا کانال اصلی و B<sub>f</sub> عرض سیلاب دشت، Y<sub>f</sub>1 عمق جریان در سیلاب دشت، Ym1 عمق جریان در کانال اصلی و Nmc ضریب مانینگ در کانال اصلی و N<sub>f</sub>p ضریب مانینگ سیلاب دشت میباشد.

یونگ و همکارانش<sup>۳۰</sup>(۱) معادله شستگی در آب زلال را بهتر از بستر متحرک برای آبشستگی تکیه گاه با استفاده از آبشستگی تنگشدگی به عنوان پارامتر بدون بعد برای عمق آبشستگی تکیه گاه معرفی کردهاند.

$$(y_1 + d_s) = 1.37 \left[ \frac{n^2}{\tau_c^* (SG - 1) d_{50}} \right]^{\frac{3}{7}} (y_1 V_R)^{\frac{6}{7}}$$
 (17-7)

رابطه بالا از نظر ابعادی همگن نیست. این رابطه توسط لیم بر روی تکیه گاه کوتاه Ia/Y1=1 رابطه بالا از نظر ابعادی آزمایش شد و تطابق خوبی در این نمونه نشان داده شد.

چانگ تئوری لارسن را برای آب زلال و بستر متحرک اعمال کرد. او پیشنهاد کرد که ضریب سرعت تنگ شدگی kv برای توزیع سرعت غیریکنواخت در مقطع تنگ شده اعمال شود و ضریب جریان چرخشی kf در پنجه تکیهگاه را وابسته به عدد فرود جریان تقرب در نظر بگیرند. مقدار kv بر اساس تئوری پتانسیل جریان و kf از مجموع نتایج آزمایش ها آبشستگی تکیهگاه در کانال مستطیلی تعیین میشود. معادله آبشستگی حاصل عبارت است از:

$$\frac{y_2}{y_1} = K_f \left[ \frac{K_v q_2}{q_1} \right]^{\theta}$$
(14-7)

که 2۷ عمق جریان در مقطع کانال بعد از آبشستگی، ۷۱ عمق جریان تقرب، ۹۱ نرخ جریان واحد عرض در مقطع تقرب، ۹2 نرخ جریان واحد عرض در مقطع تنگ شده و 0.857=6 برای آب زلال

30 -Young et.al.

لحاظ میشود. مقدار 
$$K_f = 0.1 + 4.5F_1$$
 و  $K_v = 0.8 \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^{1.5} + 1$  برای آب زلال و  $K_f = 0.35 + 0.25F_1$  است.  $F_1 = \frac{V_1}{(gV_1)^{0.5}}$  برای بستر متحرک میباشد. عدد فرود جریان تقرب  $K_f = 0.35 + 0.25F_1$  است. معادله بالا تاثیر اندازه رسوبات آبشستگی تکیهگاه در آب زلال را در بر نمی گیرد. از رابطه زیر این تاثیر تعیین می شود:

$$y_2 = K_f K_v^{0.857} y_{sc}$$
 (1Δ-T)

۷2 عمق کلی جریان با در نظر گرفتن عمق آبشستگی تکیهگاه میباشد، ۷<sub>5</sub>c عمق جریان با در نظر گرفتن عمق آبشستگی بدون تغییر اعمال می شوند. نظر گرفتن عمق آبشستگی به تنهایی میباشد. ۲۸ kf , kv از تعاریف قبلی بدون تغییر اعمال می شوند. مقدار ۷<sub>5</sub>c از ۷<sub>2</sub>/۷c بدست میآید که 22 دبی واحد در تنگ شدگی و ۷۰ سرعت بحرانی میباشد. تعیین مقدار 22 در حالتی که مقطع تنگ شده یک مقطع مرکب است ساده نیست. لیم معادلهای را برای تعیین آبشستگی تکیه گاه در آب زلال ارائه کرده است:

$$\frac{d_s}{y_1} = K_s^* (0.9X - 2)$$
 (18-7)

مقدار X از رابطه زیر بدست میآید:

$$X = \frac{F_0^{0.75} \left(\frac{d_{50}}{y_1}\right)^{0.25}}{\tau_{*c}^{0.375}} \left[ 0.9 \left(\frac{L_a}{y_1}\right)^{0.5} + 1 \right]$$
(1Y-Y)

که  $F_0$  مقدار عدد فرود جریان تقرب،  $T_c^*$  مقدار پارامتر شیلدز بحرانی،  $d_{50}$  قطر متوسط ذرات و  $I_{
m c}$  مول تکیهگاه میباشد. معادلات بالا بر اساس پیوستگی قبل و بعد از آبشستگی بدست آمدهاند.

بررسی آزمایشگاهی روشهای کاهش آبشستگی:

محافظت از تکیهگاه پلها در مقابل شستگی در کانال مرکب به دلیل پیچیدگی تاثیر جریان در کانال اصلی و اندرکنش جریان سیلابدشت و کانال اصلی پیچیده میباشد. استرم (۲۸) با در نظر گرفتن نتایج آزمایشها بر روی فلومهای با ابعاد مختلف کانال اصلی تحت شرایط آب زلال و گلآلود، اندازه ذرات بستر، شکل تکیهگاه و سرعت جریان تقرب و عمق جریان رابطهای را برای تخمین عمق آبشستگی ارائه کرده است.

اقدامات کاهش دهنده هیدرولیکی آبشستگی میتواند به انواع زیر تقسیم بندی شود:

 ساختارهای رودخانهای یا کاهش با طوقه ها<sup>۳۱</sup>(۲۹)
 ریپرپ<sup>۳۲</sup> بلوکهای با کابل بسته شده و دیگر روشهای کم کاربرد.(۱۹)
 روشهای تغییر جریان همچون حفاظت سواحل<sup>۳۳</sup> – آبشکنها- پوششهای مسیر بستر و پرهها (۳۰) و (۳۱) و (۳۲) و (۳۳)

ملویل و همکاران (۳۴) استفاده از روش محافظت بستگی به شرایط اقتصادی و زیست محیطی دارد. پورهادی و قدسیان در سال ۲۰۰۱ در مقالهای محافظت از تکیهگاههای پلها و آبشکنها در برابر آبشستگی موضعی را مورد بررسی قرار دادند.

کلوپر و همکاران (۲۴) مسئله آبشستگی پایه پلها و روشهای کاهش آبشستگی و حفاظت از پایه را بررسی کردند. لی هیو <sup>۳۴</sup>(۳۰) برای کاهش آبشستگی تکیهگاه طوقههای فلزی افقی پاییندست دور تکیهگاههای با دیواره بالدار که تا لبه کانال اصلی ادامه داشتهاند تحت شرایط جریان آب زلال در شرایط آزمایشگاهی بررسی کرد. وی نشان داد که طوقهها میتوانند به طور موثری آبشستگی را به

31 -Hydraulic engineering circular32- Rip rap33 -Guide banks

34 -Hiuo li

دلیل جلوگیری از تشکیل ورتکسهای ثانویه کاهش دهند. حداقل عرض موثر طوقهها 0.23L (L عرض عمود بر جریان تکیهگاه) برای از بین بردن کامل آبشستگی به طول ۰٫۸ حداکثر کاهش را در آبشستگی داشته است. طوقهها نه تنها عمق آبشستگی را کاهش میدهند بلکه گسترش چاله آبشستگی را نیز کاهش میدهند. سیو یونگ لیم<sup>۳۵</sup>(۳۵) بررسی آزمایشگاهی تکیهگاه پل با زاویه Θ در شرایط آب زلال در کانال ساده انجام داد و بررسی اثر اندازه ذرات بستر بر میزان آبشستگی و استفاده از غلاف محافظ برای کاهش میزان آبشستگی را دنبال کرده است.

لی و همکاران (۳۲) برای کاهش آبشستگی تحت شرایط جریان مختلف (نسبت سرعت به سرعت بحرانی) و شکل تکیهگاه متفاوت از صفحات چوبی و یا شمعهای سنگی برای کاهش آبشستگی استفاده کردهاند. ملویل (۳۶) با استفاده از ریپرپ و بلوکهای بسته شده با کابل سعی در کاهش آبشستگی کرده است. رحمان و همکاران (۳۷) به بررسی تاثیر شیب دیوارههای آبشکن در میزان آبشستگی آن در شرایط رودخانههای گلآلود و مقایسه آبشکن شیبدار با آبشکن ساده مستطیلی و استوانهای با توجه به عمق حفره آبشستگی پرداختهاند. چو (۳۸) آزمایشهایی بر روی آبشستگی تکیهگاه در حالت بستر متحرک و آب زلال و آب گلآلود انجام داده است. نتایج آزمایشها نشان می-دهند که برای زمان بیش از ۲۴ ساعت عمق آبشستگی تغییرات چشمگیری ندارد. قراردهی ریپرپ در اطراف پایه میتواند شرایط تعادلی را ایجاد کند. بارهویا ۲٬ (۱۹) آزمایشهایی بر روی آبشستگی موضعی در تکیهگاههای کوتاه با شکلهای دیواره عمودی و دیواره بالدار ۴۵ درجه برای شرایط جریان مختلف با ضخامت لایه محافظ متفاوت انجام داده است و تاثیر پارامترهای مختلف بر آبشستگی تکیه-گاه را بررسی کرده است. مقایسه دادههای آزمایشگاهی متفاوت نشان میدهند که عمق آبشستگی تکیهگاه با لایه غلافدار تحت شرایط متعادل ذرات سطحی بزرگتر از حالت بدون غلاف میباشد. پارامترهای مشخصه موثر بر عمق آبشستگی تعادلی بدون بعد بر اساس دلایل فیزیکی و آنالیز ابعادی

35 -Siow- yong lim 36 -Barbhuiya همچون عدد فرود تکیهگاه بیان میشوند. نسبت عمق جریان به طول تکیهگاه ، ضخامت لایه غلاف به قطر ذرات، نسبت ذرات بستر به ضخامت غلاف میباشد.

لی(۳۳) برای کاهش آبشستگی تکیهگاه آزمایشهای با آب زلال و بستر متحرک در کانال مرکب با استفاده از دو نوع دیواره موازی بررسیهایی را انجام داده است. نوع اول از صفحه چوبی صلب باریک و نوع دوم از شمع کوبی کنار هم بوده است. برای دیوارههای موازی صلب گروهی از صفحات صاف مستطیلی به طور عمودی در طولهای مختلف در قسمت بال بالادست دیواره تکیهگاه در جهت جریان قرار گرفتند. سه سرعت مختلف برای حرکت اولیه برای ایجاد جابهجایی ناگهانی بستر مورد استفاده قرار گرفت. مصالح بستر ماسه با ط0.8mm و  $\sigma_{
m g}$ =1.37 بوده است. همه صفحهها در زیر شیب کناره کانال مرکب و نزدیک دیواره تکیهگاه قرار گرفتهاند. مشاهده شد که صفحات مقاوم-سازی وقتی که اشباع میشوند قابلیت حرکت چاله آبشستگی از گوشه بالادست تکیهگاه را دارند. وقتی که طول صفحه افزایش می یابد آبشستگی در تکیه گاه کاهش می یابد. مشاهده شد که 1.6L طول عمودی تکیه گاه بر جریان باعث می شود آبشستگی تکیه گاه برای ضریب سرعت ۰٫۹ محدود شود. برای این دیواره متوسط زمانی عمق آبشستگی با ۱۰۰٪ ضریب سرعت ۱٫۵ و ۷۰٪ برای ضریب ۲٫۳ کاهش دهد. اگر انتهای بالادست دیوار عمق آبشستگی پاییندست را مهار کند. دیواره های سنگی موازی، با طولهای مختلف و طول پیشآمدگی در کانال اصلی مورد آزمایش قرار گرفتند مشاهده شد که دیوارهای که به داخل کانال اصلی نیامده و طولی به اندازه 0.5L دارد حداقل آبشستگی تکیه گاه را برای هر سه ضریب سرعت دارد.

# مواد و روشها

مقدمه

مجموعه دادههای لازم در این پایاننامه با انجام آزمایشهای مختلف در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی، یکی از مجهزترین مراکز تحقیقاتی ایران در رشته مهندسی رودخانه جمعآوری شده است.

فلوم آزمایشگاهی

مطالعات این تحقیق با توجه به تجربیات محققان دیگر و بررسی پارامترهای موثر در فلومی به طول ۱۴، ارتفاع ۵,۰ و عرض ۱٫۵ متر، شامل کانال اصلی در خط مرکزی با عرض ۲۱ و ارتفاع ۸ سانتیمتر و شیب طولی ثابت ۰٫۰۰۱ کانال اصلی و سیلابدشت انجام شد. جنس دیواره فلوم در ۴٫۵ متر اول دیواره سیمانی پرداخت و رنگ شده و مابقی از جنس مصالح شفاف (پلکسی گلاس) است. (شکل ۳-



شکل ۳- ۱: قسمت ابتدای فلوم مورد استفاده در آزمایش ها

تکیهگاه در فاصله ۴ متر از ابتدای کانال قرار داده شد، جنس تکیهگاه از ورق گالوانیزه و با شکل دماغه نیمدایرهای به قطر ۱۰ سانتیمتر و به طولهای ۲۰ و ۳۰ سانتیمتر انتخاب شد. آبشکنهای محافظ از جنس پلکسیگلاس در طولهای ۴ – ۸– ۱۲ – ۱۶ سانتیمتر و در فواصل ۱۰– ۲۰– ۳۰– ۹۰ – ۹۰ سانتیمتر از کنار تکیهگاه مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۳- ۲: آبشکن محافظ و تکیهگاه استوانهای در سیلابدشت

برای بستر از مصالح غیرچسبنده و با دانهبندی یکنواخت استفاده شد. جدول ۳- ۱مشخصات ذرات بستر فرسایش پذیر را نشان میدهد.

جدول ۳- ۱: مشخصات ذرات بستر فرسایش پذیر

نوع مصالح	D <sub>50</sub> (mm)	₽₅ (gr/Cm³)	σg
ماسه شکسته	١	۲/۵۶	1/294

منحنی دانهبندی ذرات بستر فرسایش پذیر در شکل ۳- ۳ ارائه شده است.



شکل ۳ – ۳: منحنی دانهبندی ذرات بستر فرسایش پذیر

در انتهای فلوم حوضچه آرامش به طول ۵٫۴ متر و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر قرار گرفت که منتهی به یک دریچه برای تنظیم عمق آب در کانال شد. پس از دریچه حوضچهای به عمق ۱ متر برای ایجاد جریان کاملا آرام از یک دیواره سنگی مشبک استفاده شد. بعد از آن نیز سرریز مثلثی با مشخصات داده شده در شکل ۳- ۴ برای اندازه گیری دبی عبوری از کانال استفاده شد.



شکل ۳- ۴: سرریز انتهایی فلوم برای تعیین دبی عبوری

برای اندازه گیری تراز سطح آب از یک شاخص ثابت در انتهای کانال استفاده شد و برای برداشت عمق کف از شاخص متحرک (شکل ۳– ۵) واقع بر روی ریل دو طرف کانال که در جهت طولی کانال حرکت می کرد استفاده شد.



شکل ۳- ۵: شاخص مورد استفاده برای برداشت پروفیل آبشستگی و حداکثر عمق آبشستگی در آزمایش های طولانی مدت برای برداشت عمق آبشستگی در زمان های مختلف از دستگاه عمق سنج شکل ۳- ۵ استفاده شد، استفاده از عمق سنج برداشت دقیق عمق را در زمان های مختلف امکان پذیر کرد.

جریان آب ایجاد شده توسط پمپی در بالادست برقرار می شود که تنظیم میزان دبی هم با شیر فلکه موجود در محل پمپ انجام می شود. در شکل ۳- ۶ نمای کلی شماتیک گردش آب را ملاحظه می-فرمایید.



شکل ۳- ۶: چرخه گردش آب در کانال مورد آزمایش

#### مشخصات سرريز تنظيم دبى جريان

جریان آب پس از عبور از دریچه با استفاده از یک سرریز مثلثی اندازه گیری شد. با استفاده از یک دستگاه اندازه گیر نقطهای<sup>۳۷</sup> ارتفاع آب پشت تاج سرریز با دقت یک میلیمتر اندازه گیری شد.

## تعیین دبی عبوری از سرریز مثلثی:

برای تعیین دبی از رابطه (۳–۱) که توسط اداره عمران آمریکا<sup>۳۸</sup> ، انجمن امریکایی اندازه گیری و مواد<sup>۳۹</sup> و سازمان استاندارد جهانی<sup>۴۰</sup> پیشنهاد شده است، استفاده شد.(۳۱)و (۳۹)و (۲۹)

$$Q = 4.28C \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)(h+k)^{\frac{5}{2}} \tag{1-7}$$

در رابطه فوق Q میزان دبی عبوری میباشد. C ضریب دبی، 
$$oldsymbol{ heta}$$
 زاویه سرریز، h ارتفاع آب و k ضریب  
تصحیح هد آب میباشد.

ضرایب C و k با استفاده از شکل ۳- ۷ تعیین می شوند.

37 -Point gage

- 38 -U.S. Department of the interior, Bureau of reclamation (USBR)
- 39 American society for testing and materials (ASTM)
- 40 -International Organization of Standards (ISO)



شکل ۳- ۷: تعیین مقادیر و در معادله تعیین دبی عبوری سرریز مثلثی با توجه به ابعاد و شرایط سرریز استفاده شده در آزمایش ها بدون هیچگونه ضریب تصحیح از روابط فوق برای اندازه گیری دبی عبوری از کانال و سرریز مثلثی استفاده می شود.

تعیین تراز آب در کانال مرکب:

اساس این روش بر این حقیقت استوار است که وقتی جریان یکنواخت در کانال برقرار و کانال دارای شیب ملایم باشد، در صورتی که شیب سطح آب با شیب بستر یکسان شود میتوان گفت که عمق آب عمق نرمال میباشد. بنابراین در آزمایشهای اولیه برای هر دبی با ایجاد جریان یکنواخت، جابهجا کردن دریچه پاییندست و کنترل عمق آب در طول کانال، سعی در یکسان کردن عمق آب شد. عمق به دست آمده به عنوان عمق نرمال در آزمایش ها و روابط مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این آزمایشها در جدول ۳–2 آمده است.

41 -Lotter42 -Horton- Eistein

شماره آزمایش	y(cm)	Q(lit/s)
١	۲,9۵	14
٢	٣,٣۴	18
٣	8,87	۱۸
۴	٣,٨٢	۲.
۵	4,7	٢٢

جدول ۳- ۲: مقدار عمق نرمال برای دبیهای انتخابی

در جدول بالا ۷ عمق جریان یکنواخت در پایین دست کانال در محل سیلاب دشت است.

بر اساس بررسیهای انجام شده در کانال مرکب عمقهای بحرانی برای دبیهای مختلف سه عمق است. برای دبیهای انتخابی آزمایشها نمودار انرژی عمق جریان رسم شده است و مقادیر عمق بحرانی متفاوت برای تمام دبیها مشخص شد. درشکل ۳- ۸ نمودار بدست آمده دیده میشود، با توجه به نمودار انرژی مشاهده میشود که تمام دبیهای در حالت جریان زیربحرانی مورد بررسی قرار گرفتهاند.



شکل ۳- ۸: نمودار انرژی عمق بحرانی در کانال مرکب برای دبیهای مورد آزمایش

### شرح آزمایش ها:

قبل از انجام هر آزمایش ابتدا بستر کاملاً مسطح شد و تراز ها در فواصل یک متری کنترل شد تا شیب مشخص ۰۰۰۰۱ در تمام آزمایش ها به طور یکسان برقرار باشد. پس از آماده شدن بستر آب به صورت تدریجی و دبی محدودی از داخل کانال اصلی جریان پیدا می کرد تا حوضچه آرامش پایین-دست به آرامی پر شود. به این ترتیب جریان آب از بالادست و پاییندست در سیلاب دشت برقرار می-شد تا به عمق لازم برای برقراری دبی به گونهای که حرکت ذرات بستر وجود نداشته باشد برسد. پس از تنظیم دبی با استفاده از سرریز مثلثی تنظیم گردیده و با تغییر موقعیت دریچه پایین دست حوضچه آرامش تراز آب در انتهای کانال در سطح نرمال تنظیم می شد. در تمام آزمایشات زمان شروع آزمایش از زمان مشاهده اولین حرکات بستر در اطراف تکیه گاه در نظر گرفته شد. پس از اتمام زمان آزمایش بس از زمان مشاهده اولین حرکات بستر در اطراف تکیه گاه در نظر گرفته شد. پس از اتمام زمان آزمایش ترایش تراز آب با استفاده از شاخصی که بر روی ریل کنارههای کانال قرار گرفته بود پروفیل تخلیه کامل آب با استفاده از شاخصی که بر روی ریل کنارههای کانال قرار گرفته بود پروفیل

تعیین زمان لازم برای هر آزمایش:

آبشستگی و حرکت ذرات بستر در محل قرارگیری تکیهگاه وابسته به زمان هستند. آبشستگی در طی زمان دارای مراحلی است که در طی آن عمق حفره افزایش و پس از زمان مشخصی عمق آبشستگی ثابت شده ولی شکل حفره و ابعاد آن تغییر میکند. افزایش عمق آبشستگی باعث نمایان شدن فونداسیون و در برخی موارد شستگی زیر فنداسیون و در نتیجه تخریب پل و ایجاد صدمات فراوان میشود. آزمایشها تا زمانی ادامه یافت که حداکثر عمق آبشستگی ایجاد شود و تغییرات محسوسی در عمق آبشستگی وجود نداشته باشد.

زمان سیلابی بودن رودخانه کمتر از زمانی است که حداکثر عمق آبشستگی ایجاد شود، ادامه آزمایشها تا مرحله ثابت شدن ابعاد حفره و نا محسوس شدن تغییرات عمق آبشستگی برای افزایش ضریب اطمینان است. قابل ذکر است در مورد سیلابی که پس از ایجاد حفره آبشستگی توسط سیلاب گذشته جاری شده، یکی از روشهای کاهش آبشستگی در اطراف سازههای آبی ایجاد عمق بیشتر در محل ایجاد سازه میباشد.

برای تعیین زمان آزمایش در ابتدا آزمایشهایی برای رسیدن به عمق ثابت (تعادل) آبشستگی بدون حضور آبشسکن محافظ بر روی تکیهگاه ۲۰ سانتیمتری اجرا شد. با توجه به نتایج آزمایشهای اولیه به مدت ۶ساعت برای هر آزمایش، مطابق آنچه در شکل ۳- ۹ ملاحظه میشود، برای تمامی ۵ دبی انتخابی، پس از ۹۰ دقیقه، عمق آبشستگی حدود ۸۵ درصد حداکثر عمق آبشستگی رسید، بنابراین زمان اجرای آزمایشها ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد.



شکل ۳- ۹: تغییرات زمانی عمق آبشستگی برای دبیهای مورد آزمایش

تعداد آزمایشهای انجام شده:

قبل از شروع بررسی آبشستگی تکیهگاه با انجام ۱۵ آزمایش به بررسی هیدرولیک کانال مرکب پرداخته شد. در این آزمایشها، مشخصات هیدرولیکی جریان از قبیل عمق جریان برای ۵ دبی انتخابی برداشت شد. سپس ضریب مانینگ در سه حالت کانال ساده بدون حضور کانال اصلی، جریان در کانال اصلی و کانال مرکب بررسی شد. در حالت کانال مرکب به روشی که قبلا شرح داده شد عمق نرمال ایجاد شد، در این حالت هیچگونه حرکتی در ذرات بستر وجود نخواهد داشت. به عبارت دیگر سرعت کمتر از سرعت بحرانی حرکت ذرات میباشد.

برای تعیین زمان لازم برای هر آزمایش برای هر ۵ دبی تکیه گاه بدون حضور آبشکن محافظ در زمان طولانی مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش های طولانی مدت تا زمانی که تغییرات محسوسی در عمق آبشستگی و ابعاد حفره آبشستگی مشاهده نشود ادامه پیدا کرد که این زمان در حدود ۶ ساعت به طول انجامید، که در ۹۰ دقیقه اول ۸۵٪ عمق آبشستگی حداکثر ایجاد شد. با توجه به مطالعات انجام شده توسط صانعی و همکاران (۲۷) و مولیناس (۱۰) و با توجه به الگوی جریان در اطراف تکیهگاه در سیلاب دشت و مشخصات منطقه سکون جریان در بالادست و پایین دست تکیهگاه، همچنین توزیع تنش برشی دراطراف تکیهگاه، در شروع کار آبشکن محافظ در فاصله J.0 (L طول تکیهگاه) به سمت بالادست و سپس این فاصله افزایش یابد. در آزمایشهای انجام شده و با توجه به الگوی جریان در پایین دست آبشکنها، مشاهده شد که اگر میزان فاصله از آبشکن از Z.5 بیشتر شود تاثیر آن بر روی سازه پایین دست کاهش می یابد، به همین دلیل حداکثر فاصله آبشکن محافظ به Z.5L محدود شد.

برای تعیین طول آبشکنهای محافظ ('L) پس از مشاهده الگوی جریان در اطراف تکیهگاه و محل شکل گیری جریانهای چرخشی حداقل طول برابر  $\frac{1}{5}$  در نظر گرفته شد. طول حداکثر آبشکن محافظ با توجه به اینکه هدف از استفاده از آبشکن محافظ کاهش هزینههای ساخت تکیهگاه و استفاده از سازهای مقرون به صرفه میباشد، به  $\frac{1}{5}$ محدود شد.

برای بررسی آبشستگی تکیهگاه و تاثیر آبشکن محافظ در کاهش آن ابتدا ۵ آزمایش بدون آبشکن به عنوان شاهد انجام شد. در این آزمایشها پروفیل آبشستگی و حداکثر عمق آبشستگی برداشت شد، که نتیجه در جدول ۳-۳ آمده است.

پارامتر	مقدار

جدول ۳ - ۳: : مشخصات متغیرهای مورد آزمایش برای تکیهگاه با طول ۲۰ سانتیمتر

( / ) دبی	14	18	۱۸	۲.	۲۲
( ) L'( ) طول آبشکن محافظ	۴	٨	١٢	18	
<ul> <li>فاصله آبشكن محافظ</li> </ul>	۱٠	۲.	۳.	4.	۵۰
( ) طول تکیهگاه			۲.		

با قرار دادن آبشکنهای محافظ در ۵ فاصله از تکیه گاه تاثیر حضور محافظ در کاهش آبشستگی با برداشت عمق حداکثر آبشستگی و پروفیل بررسی شد. جمعا ۱۲۵ آزمایش با تکیه گاه ۲۰ سانتیمتری انجام گرفت. در ادامه برای تکمیل اطلاعات و تعمیم تاثیر مطلوب آبشکن محافظ به دیگر نسبتهای تنگشدگی مقطع برای تکیه گاه به طول ۳۰ سانتیمتر تحت شرایط جدول ۳- ۴ آزمایش ها انجام شد.

پارامتر	مقدار			
( / )	18	۱۸	۲۰	
( ) L'( ) طول آبشکن محافظ	٨	١٢	18	
<ul> <li>         فاصله آبشكن محافظ     </li> </ul>	۳.	40	۶.	
( ) طول تکیهگاه		٣٠		

جدول ۳- ۴: مشخصات متغیرهای آزمایش ها برای تکیهگاه باطول ۳۰ سانتیمتر

فصل چهارم نتايج آزمايشها و تحليل آنها

# آناليز ابعادي

آنالیز ابعادی ابزاری توانمند برای بهدست آوردن روابط بدون بعد است. سه روش برای این منظور ذکر شده است:

> ۱- روش اندیس ۲- روش باکینگهام ۳- روش ماتریس

بایستی تاکید کرد که صحت تمام این روشها به تعیین صحیح تمام فاکتورهای مهم بر رخدادهای فیزیکی تحت بررسی بستگی مطلق دارد. اگر مدل واقعا نمایانگر نمونه اصلی باشد در این صورت قانون تشابه دینامیکی باید در مدل و نمونه اصلی صدق کند. برای آنکه چنین باشد، مقدار هر گروه بدون بعد بایستی برای مدل و نمونه اصلی یکسان باشد.

انجام آناليز ابعادي طرح:

عوامل موثر بر پدیده آبشستگی به صورت زیر دستهبندی میشوند:

- 🖌 عوامل مربوط به هندسه کانال :عرض، شکل سطح مقطع و شیب.
- عوامل مربوط به هندسه تکیهگاه: اندازه، شکل، زاویه قرارگیری با جهت جریان و
   ارتفاع آن نسبت به رقوم سطح آب.
- عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط، توزیع اندازه دانهبندی، چگالی،
   زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی.
- عوامل مربوط به خواص سیال: چگالی (دانسیته)، لزجت (ویسکوزیته)، شتاب ثقل و
   درجه حرارت.
- عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: دبی عبوری از سطح مقطع، عمق
   جریان، سرعت برشی و زبری(۴۱) و (۴۲) و (۴۳)

در مطالعات انجام شده پیرامون پدیده آبشستگی، عمق حداکثر به عنوان معیار سنجش آبشستگی مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق برای بررسی کامل تاثیر آبشکن و بررسی گسترش آبشستگی در حالتهای مختلف رابطهای برای تعیین حجم حفره ایجاد شده نیز ارائه شده است.

با توجه به عوامل بیان شده و شکل۴- ۱ میتوان رابطه زیر را برای تعیین عمق آبشستگی در نظر گرفت:

$$F(y,d_{s},V,L,L',x,S,r,w,W,b,g,d_{50},n,\alpha,\theta,\rho,t) = 0$$
 (1-4)

پارامترهای هندسی رابطه بالا در شکل۴- ۱ نشان داده شدهاند. بقیه پارامترها عبارتند از:

در شرایط آزمایشهای این تحقیق، تعدادی از پارامترهای رابطه بالا ثابت بودهاند، بنابراین از رابطه حذف می شوند و برای عمق حداکثر آبشستگی خواهیم داشت:

$$F(y,V,L,L',d_s,x,g) = 0 \tag{7-4}$$



شکل۴- ۱: پارامترهای مربوط به ابعاد هندسی فلوم و تکیهگاه

با انجام آنالیز ابعادی به روش باکینگهام و انتخاب دو متغیر V و 'L به عنوان متغیرهای تکراری و حل معادلات بدست آمده رابطه زیر بهدست میآید:

$$\frac{d_s}{x} = f(Vy^{-2}g^{-2}, \frac{L}{y}, \frac{L'}{y}, \frac{x}{L})$$
(٣-٩)

اولین جمله در رابطه بالا مشابه عدد فرود است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$Fr_s = \frac{Q}{A\sqrt{gy}} \tag{(f-f)}$$

در اینجا، برای جلوگیری از اشتباه این مقدار را عدد فرود آبشستگی نامیده و با نماد Frs نشان داده شده است. پارامتر A سطح مقطع کانال با توجه به عمق جریان در بالادست است. نسبت Q دبی به مساحت مقطع بالادست V سرعت متوسط جریان نشان داده شده است. مقدار عدد فرود آبشستگی هر آزمایش با توجه به رابطه بالا در جدول ۴– ۱ ارائه شده است. مقدار عمق نرمال جریان در هر دبی از نتایج آزمایش ها بررسی هیدرولیک کانال مرکب بدست آمده است.

Q(lit/s)	y(cm)	Fr <sub>s</sub>
14	7,00	١,٠١٧
١ <i>٦</i>	7,94	۰,۹۱۱
14	٣,٢٢	۰,۸۸۵
۲.	3,47	۰,۸۷۵
۲۲	٣,٨	• ,\

جدول ۴- ۱: مقادیر عدد فرود هر آزمایش

برای حجم آبشستگی خواهیم داشت:

$$F(y,V,L,L',V_s,x,g) = 0 \qquad (\Delta - \mathfrak{k})$$

در این حالت نیز پس از آنالیز ابعادی رابطه زیر بدست میآید:

$$\frac{V_s}{L'X^2} = f(V^2 y^{-1} g^{-1}, \frac{L'}{L}, \frac{x}{L})$$
(8-4)

پس از انجام آزمایشها روابطی برای مقادیر فوق بدست میآید که در فصول آینده به آن اشاره خواهد شد.

پس از بررسی نتایج اولیه ۲۱ آزمایش مجددا انجام شد و نمودارهای لازم ترسیم گردید. به عبارت دیگر به طور کلی **تعداد ۱۷۳ آزمایش** در راستای این تحقیق انجام شده است. در جدول ۴- ۲ تا جدول ۴- ۸ مقادیر d<sub>s</sub> بر حسب سانتیمتر در آزمایشهای مختلف ارائه شده است. ردیفهایی که مقدار X/L برابر با صفر لحاظ شدهاند، نشان دهنده آزمایشهایی هستند که آبشکن محافظ وجود ندارد و به عنوان دادههای شاهد برای بررسی تاثیر آبشکن محافظ مورد استفاده قرار گرفتهاند.

	14	18	۱۸	۲۰	۲۲
•	۲,۴	۵,۲	۶,۱	۷,۶	۸,۶
۵,+	۲,٩	4,7	۶,۶	۷,۸	۸,۷
١	۲,۶	۵	۶,۵	۷,۲	۷,۴
1,0	۲,۳	4,9	۵,۷	۶,۸	۷,۵
٢	1,7	۳,۵	۵,۲	8,1	۷,۶
۲,۵	٠,۴	۲,۷	4,7	۶,۳	٧,۴

جدول ۴- ۲: مقادیر بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۴ سانتیمتر برای تکیهگاه ۲۰ سانتیمتری

اه ۲۰ سانتیمتری	برای تکیهگ	، ۸ سانتیمتر	آبشکن به طول	سب سانتیمتر برای	بر ح	جدول ۴- ۳: مقادیر
-----------------	------------	--------------	--------------	------------------	------	-------------------

	114	18	۱۸	۲۰	۲۲
•	۲,۴	۵,۲	۶,۱	۷,۶	۸,۶
۵, ۰	۳,۸	4,0	4,9	۵,۷	8,8
١	۲,۸	۳,۹	۴,۵	۵,۱	۶
۱,۵	1,0	۴	4,4	4,9	۵,۷
٢	۰,۸	۱,۸	٣,٩	4,7	۵,۱
-----	-----	-----	-----	-----	-----
۲,۵	۰,۳	1,1	۲,۲	۳,۱	۵,۲

جدول ۴- ۴: مقادیر بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر برای تکیهگاه ۲۰ سانتیمتری

	14	18	۱۸	۲۰	٢٢
•	۲,۴	۵,۲	۶,۱	۷,۶	۸,۶
۵, ۰	۰,۷	1,8	۳,۴	۴,۴	۵,۶
١	۰,۸	٠,٩	1,۵	۳,۲	4,7
١,۵	۰,۲	۰,۴	۰,۷	1,6	١,٨
۲	٠,١	۰,۲	۵,۰	1,0	۲,۹
۲,۵	<b>*</b> , <b>*</b>	٠,١	۰,۳	1,9	4,7

جدول ۴- ۵: مقادیر بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر برای تکیهگاه ۲۰ سانتیمتری

	14	18	۱۸	۲۰	٢٢
*	۲,۴	۵,۲	۶,۱	۷,۶	۸,۶
۵, ۰	•,•	۰,۷	۲,۴	۵,۰	۵,۲
١	۰,۱	۰,۴	۰,۸	۲,۱	۳,۳
1,0	۰,۲	٠,۴	٠,٩	1,4	۱,۸
۲	<b>* ,*</b>	۰,۳	1,1	1,9	۲,۳

۲,۵	*,*	۵,+	1,8	١,٩	۳,۱

جدول ۴- ۶: مقادیر بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۸ سانتیمتر برای تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری

	18	۱۸	۲.
*	۶,٩	۸,۵	۱۰,۱
١	۷,۱	۸,۴	٩,۵
1,0	8,1	۷,۶	۸,۸
۲	۵,۶	۷,۷	۸,۶

جدول ۴- ۷: مقادیر بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر برای تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری

\_

	18	۱۸	۲۰
•	۶,٩	۸,۵	۱۰,۱
١	۵,۲	۵,۹	۷,۳
1,0	۳,۲	۵,۱	۶,۴
٢	۲,۵	4,4	۵,۳

جدول ۴- ۸: : مقادیر بر حسب سانتیمتر برای آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر برای تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری

( 1)	18	۱۸	۲.

•	۶,۹	۵,۸	۱۰,۱
١	۲,۷	۳,۲	۵,۲
1,0	١,١	1,0	۳,۸
٢	١	١,١	۲,۳

نتایج آزمایش ها:

با توجه به پارامترهای تاثیرگذار بر آبشستگی تکیهگاه و آنالیز ابعادی طرح برای درنظر گرفتن پارامترهای متغیر هر قسمت از آزمایشها بر مبنای ثابت نگهداشتن همه متغیرها و تغییر یک متغیر انجام شد تا به طور صریح تاثیر هر پارامتر مشاهده شود. پس از انجام هر آزمایش اطلاعات مربوط به عمق آبشستگی و حجم آبشستگی استخراج و در نمودارهای مربوطه وارد شد. در شکل۴- ۲ تا شکل ۴-۱۰ تاثیر تغییر هر پارامتر بر عمق حداکثر آبشستگی برای تکیهگاه به طول ۲۰ سانتیمتر ملاحظه می شود.

شکل<sup>۴</sup>- ۲ الی شکل<sup>۴</sup>- ۵ به تغییرات عمق آبشستگی با فاصله آبشکن و تکیهگاه اختصاص دارد. همانگونه که ملاحظه می شود در تمامی حالات جریان و در دبی های مختلف با افزایش فاصله عمق آبشستگی کاهش می یابد. این عمق پس از رسیدن فاصله بین آبشکن و تکیهگاه به یک مقدار مشخص ثابت می شود. این مقدار مشخص برای دبی های مختلف متفاوت است، اما به هر حال روند کلی حاکم بر پدیده رفتار یکسانی برای تمامی حالت ها از خود نشان می دهد.



شکل۴- ۲: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن به طول ۴ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴- ۳: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن به طول ۸ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴- ۴: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل ۴– ۵: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر در فواصل مختلف شکل ۴–۶ تا شکل ۴– ۱۰ به بررسی تغییرات عمق آبشستگی نسبت به فاصله آبشکن و تکیهگاه با طولهای متفاوت آبشکن در دبیهای مختلف می پردازند. نکته جالب رفتار مشابه این سری نمودارها با

نمودار های ۴-۲ تا ۴-۵ میباشد.



شکل۴- ۶: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۴ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ



شکل۴- ۷: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ



شکل۴- ۸: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ



شکل۴- ۹: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ



شکل۴- ۱۰: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ

برای اطمینان از صحت آزمایشات، تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری نیز مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آزمایشها بر روی تکیهگاه با طول ۳۰ سانتیمتر در شکل۴– ۱۱ تا شکل۴– ۱۶ نشان داده شده است. هماهنگی این نتایج با نتایج حاصله از تکیهگاه ۲۰ سانتیمتری بسیار شایان توجه است. به عنوان مثال برای 4.0–L/L نتایج تقریبا با یکدیگر برابر هستند.

L'/L=0.27 ۰.۳۵ ۰.۳ ۰.۲۵ • AV&Frs= ٠.٢ ds/x .10 ·.^^&Frs= •\_•) •\_• ٥ -۰.۹۱)Frs= • ٠.٥ ۱ ۱.۵ ۲ ۲.۵ x/L

شکل۴– ۱۱: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن با طول ۸ سانتیمتر در موقعیت های مختلف آبشکن محافظ



شکل۴- ۱۲: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن با طول ۱۲ سانتیمتر در موقعیت های مختلف آبشکن محافظ



شکل۴– ۱۳: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای آبشکن با طول ۱۶ سانتیمتر در موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ

مجدداً نتایج حاصله به ازای دبیهای مختلف در اشکال ۴–۱۴ تا ۴–۱۶ ارائه شدهاند. این نتایج نیز هماهنگی کامل با نمونه آبشکن ۲۰ سانتیمتری را نشان میدهند.



شکل۴- ۱۴: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه برای موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ



شکل۴- ۱۵: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه برای موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ



شکل<sup>۹</sup>– ۱۶ تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه برای موقعیتهای مختلف آبشکن محافظ در شکل<sup>۹</sup>– ۱۷ تا شکل<sup>۹</sup>– ۲۰ تغییرات حجم آبشستگی برای تکیه گاه با طول ۲۰ سانتیمتر ملاحظه می شود. در هر مورد مقدار حجم محاسبه شده از نرمافزار SURFER8 با استفاده از پارامترهای هندسی بی بعد شده است. در نرمافزار SURFER8 از روش تقریب Nearest neighbor برای تخمین حجم استفاده شد، برای مشخص کردن محل آبشکن محافظ و تکیه گاه از تعریف گسل fault در فایل grid استفاده شد. با توجه به اینکه آبشستگی اطراف تکیه گاه در مطالعات طراحی دارای اهمیت می باشد، در محاسبات حجم آبشستگی، حجم حفره اطراف تکیه گاه لحاظ شده است.



شکل۴- ۱۷: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۴ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴- ۱۸: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۸ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴- ۱۹: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴- ۲۰: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر در فواصل مختلف

برای تکیه گاه با طول ۳۰ سانتیمتر نیز تغییرات حجم حفره آبشستگی در اطراف دماغه روالی مشابه را نشان داده است. در شکل۴– ۲۱ تا شکل۴– ۲۳ این تغییرات قابل مشاهده است.



شکل۴- ۲۱: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۸ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴- ۲۲: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر



شکل۴- ۲۳: تغییرات حجم آبشستگی برای آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر

در این تحقیق هدف ارائه مکان و طول آبشکن محافظ در بهترین حالت برای کاهش میزان آبشستگی میباشد، پایداری آبشکن محافظ در طراحی نیز مسئله غیرقابل اغماض میباشد. عمق حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن محافظ نیز بررسی و رابطه بین طول و فاصله آبشکن محافظ با تکیهگاه با عمق حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن محافظ ازئه میشود. در شکل ۴– ۲۲ تا شکل ۴– ۲۲ تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن محافظ ارائه شده است. عمق حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن محافظ ارائه شده است. عمق حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن محافظ ارائه میشود. در شکل ۴– ۲۴ تا شکل ۴– ۲۳ تغییرات عمق حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن محافظ ارائه می شود. در شکل ۴– ۲۴ تا شکل ۴– ۲۳ تغییرات می حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن محافظ ارائه شده است. عمق حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن محافظ ارائه شده است.



شکل۴– ۲۴: تغییرات عمق آبُشستگی اطراف آبشکن در آبشکن به طول ۴ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴- ۲۵: تغییرات عمق آبّشستگی اطراف آبشکن در آبشکن به طول ۸ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴– ۲۶: تغییرات عمق آبشستگی اطراف آبشکن در آبشکن به طول ۱۲ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴– ۲۷: تغییرات عمق آبُشستگی اطراف آبشکن در آبشکن به طول ۱۶ سانتیمتر در فواصل مختلف



شکل۴- ۲۸: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۴ لیتر بر ثانیه در موقعیت های مختلف آبشکن محافظ



شکل۴- ۲۹: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه در موقعیت های مختلف آبشکن محافظ



شکل۴- ۳۰: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه در موقعیت های مختلف آبشکن محافظ



شکل۴– ۳۱: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه در موقعیت های مختلف آبشکن محافظ



شکل۴- ۳۲: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه در موقعیت های مختلف آبشکن محافظ

برای تکیهگاه با طول ۳۰ سانتیمتر نیز عمق آبشستگی حداکثر آبشکن محافظ برداشت شد، در شکل۴- ۳۳ تا شکل۴- ۳۵ تغییرات عمق آبشستگی را با تغییر دبی، فاصله آبشکن و طول آن ملاحظه می کنید.



شکل۴- ۳۳: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در طول آبشکن ۸ سانتیمتر



شکل۴- ۳۴: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در طول آبشکن ۱۷ سانتیمتر



شکل۴- ۳۵: تغییرات عمق حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن در طول آبشکن ۱۶ سانتیمتر

## تحلیل منحنیهای حاصل از آزمایش ها:

هدف از انجام این تحقیق ارائه راهکار مناسبی برای کاهش میزان آبشستگی تکیهگاه پل در سیلاب-دشت میباشد. برای رسیدن به این هدف باید در ابتدای امر از تاثیر مناسب آبشکن محافظ اطمینان حاصل شود. به این منظور منحنیهای بدست آمده از آزمایشها را مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

همان طور که در منحنی های قسمت قبل مشاهده می شود کلیه منحنی ها بدون بعد ارائه شدهاند. هدف از بی بعد سازی پارامتر ها ایجاد قابلیت مقایسه آن ها با یکدیگر بدون محدودیت ابعادی و کلیت بخشی به اطلاعات می باشد. در ادامه منحنی های بدست آمده و نتایج بررسی می شوند:

در منحنیهای شکل<sup>۴</sup>- ۲ تا شکل<sup>۴</sup>- ۵ مشاهده می شود که برای آبشکن با طول ثابت با افزایش می-فاصله تا 2L عمق آبشستگی کاهش می یابد، پس از آن با افزایش فاصله عمق آبشستگی افزایش می-یابد. علت این امر باز شدن مجدد جریان به طرف کناره کانال است که به صورت تدریجی صورت می-گیرد. با افزایش فاصله بین پایه و دیوار محافظ، جریان مجدداً به سمت دیواره برمی گردد. اگر فاصله به اندازه کافی زیاد شود، به طور کلی جریان به شکل اولیه (بدون دیوار محافظ) بازسازی شده و عملا نقش دیواره قابل صرفنظر خواهد بود.

منحنیهای شکل۴ –۶ تا شکل ۴–۱۰ نشان دهنده تغییرات عمق حداکثر آبشستگی بر اساس تغییر طول و فاصله آبشکن محافظ در مقدار دبی ثابت است. همانطور که مشاهده میشود در یک دبی ثابت با افزایش فاصله عمق آبشستگی برای هر طول کاهش و در دورترین فاصله کمی افزایش دارد. (که این افزایش در دبیهای بیشتر قابل مشاهده است.)

منحنیهای شکل۴- ۱۱ تا شکل۴- ۱۶ تغییرات عمق حداکثر آبشستگی برای تکیهگاه با طول ۳۰ سانتیمتر مشاهده می شود. همانطور که در نمودارها نشان داده شده روال تغییرات مشابه تکیهگاه با طول ۲۰ سانتیمتر است با این تفاوت که مقادیر عمق حداکثر بیشتر است که این افزایش به دلیل افزایش درصد تنگشدگی مقطع رودخانه در محل قرارگیری تکیه گاه میباشد.

در منحنیهای شکل<sup>۴</sup> – ۱۷ تا شکل<sup>۴</sup> – ۲۳ حجم آبشستگی با طول ثابت آبشکن در فواصل مختلف ارائه شده است همانطور که مشاهده میشود حجم کلی آبشستگی ایجاد شده با افزایش طول آبشکن محافظ در اکثر موارد کاهش مییابد. تغییرات حجم آبشستگی با فاصله آبشکن تا تکیهگاه مشابه تغییرات عمق حداکثر آبشستگی با افزایش فاصله میباشد. قرارگیری هر مانعی در مسیر جریان منجربه ایجاد آشفتگی و اتلاف مقدار قابل ملاحظهای از انرژی سینماتیکی جریان میشود، به نظر میرسد قرار دادن آبشکن محافظ قبل از تکیهگاه با ایجاد آشفتگی اولیه در جریان باعث اتلاف مقداری از انرژی جریان و در نتیجه کاهش پتانسیل حمل رسوب توسط جریان شود. البته قطعیت این مطلب نیاز به بررسیهای بیشتر و تحقیقات گستردهتری دارد.

در منحنیهای شکل<sup>۴</sup> – ۲۴ تا شکل<sup>۴</sup> – ۳۲ حداکثر عمق آبشستگی آبشکن محافظ بررسی شده است. همانطور که مشاهده می شود در مقادیر دبی مختلف وقتی طول آبشکن کم باشد و نزدیک به تکیه گاه قرار گیرد، با توجه به اینکه در محدوده خطوط جریان انتهایی منطقه سکون بالادست قرار دارد، دماغه آبشکن تحت تاثیر جریان قرار نمی گیرد و مقدار آبشستگی آن نزدیک به صفر خواهد بود. در بقیه موارد با افزایش فاصله آبشکن محافظ تحت تاثیر جریان دچار شستگی شده که برای بررسی پایداری آن در ادامه رابطه ای برای تعیین عمق حداکثر آبشستگی ارائه می شود.

در شکل۴- ۳۳ تا شکل۴- ۳۵ تغییرات عمق حداکثر آبشستگی آبشکن محافظ برای تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری تحت مقدار دبی ثابت در فواصل مختلف با طولهای مختلف ارائه شده است. روال مشاهده شده مشابه تکیهگاه با طول ۲۰ سانتیمتر میباشد.

با توجه به نتایج حاصل از منحنیهای بدست آمده با اطمینان میتوان گفت عمق آبشستگی تکیه گاه با قرار گیری آبشکن محافظ در بالادست آن به میزان قابل توجهی کاهش مییابد. بنابراین میتوان این ادعا را داشت که استفاده از آبشکن محافظ که یک سازه کاملاً ساده و مقرون به صرفه میباشد در کاهش میزان آبشستگی تکیه گاه مفید میباشد.

تحلیل گسترش ابعاد حفره آبشستگی در اطراف تکیهگاه

در طراحی تکیهگاه در سیلاب دشت، گسترش طول و عرض حفره آبشستگی نقش مهمی دارد. با دانستن اینکه حفره آبشستگی در چه موقعیتی نسبت به تکیهگاه گسترش پیدا میکند، میتوان به بررسی موقعیت مناسب تکیهگاه با توجه به توپوگرافی منطقه پرداخت. برای بدست آوردن پروفیل آبشستگی پس از اتمام هر آزمایش، بر روی یک شبکه با گام ۲ در ۲ سانتیمتر، توپوگرافی حفره آبشستگی با استفاده از شاخص برداشت شد. اطلاعات بدست آمده وارد برنامه SURFER8 گردید تا با استفاده از روش تخمين Natural neighbor فايل grid تعريف شود. سيس با استفاده از فايل blank محل تکیه گاه و آبشکن مشخص شد. در شکل۴- ۳۷ تا شکل۴- ۴۴ گسترش ابعاد آبشستگی در هر یک از دبیهای مورد آزمایش برای دو طول مختلف تکیهگاه نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش دبی ابعاد حفره آبشستگی افزایش می یابد، افزایش مقدار دبی همراه با افزایش پتانسیل حمل رسوب در مقطع تنگشده و افزایش میزان آشفتگی است. در دبیهای یکسان با افزایش طول تکیهگاه طول و عرض حفره آبشستگی افزایش مییابد. دلیل این مسئله افزایش میزان ضریب انقباض مقطع رودخانه در محل قرارگیری تکیهگاه می باشد. در تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری نسبت به تکیهگاه ۲۰ سانتیمتری گسترش تل به سمت پاییندست بیشتر اما طول زبانه انتهایی کمتر است. دلیل این پدیده افزایش ابعاد منطقه مرده پاییندست و کمتر بودن تاثیر آشفتگی بر تل پاییندست در محل پشت تکیهگاه میباشد. منطقه مرده به نواحی بالادست و پاییندست تکیهگاه گفته می شود که سرعت جریان کم است یا به عبارتی آب به حالت تقریباً راکد وجود دارد. که گستردگی این منطقه

بسته به مقدار دبی و طول آبشکن یا تکیه گاه متفاوت است. در شکل۴- ۳۶ منطقه مرده بالادست و پایین دست نشان داده شده است.



شکل۴- ۳۶: : نمایی شماتیک از شکلگیری منطقه مرده در بالادست و پاییندست تکیهگاه





۱۶ لیتر بر ثانیه





۲۰ لیتر بر ثانیه

شکل۴- ۳۹: توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۲۰ سانتیمتر در دبی شکل۴- ۴۰ :توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۲۰ سانتیمتر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه



شکل۴- ۴۱: توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۲۰ سانتیمتر در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه



۱۸ لیتر بر ثانیه



شکل۴- ۴۲: توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتر در دبی شکل۴- ۴۳: توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتر در دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه



شکل۴- ۴۴ :توپوگرافی حفره و تل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتر در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه

در کلیه تصاویر مربوط به توپوگرافی حفره و تل پاییندست ترتیب رنگبندی مطابق شکل۴- ۴۵ است.



شکل۴- ۴۵: : اشل تغییرات عمق در شکلهای توپوگرافی حفره و تل آبشستگی

به طور کلی میتوان گفت، با افزایش دبی طول و عرض حفره و تل آبشستگی افزایش مییابد. با افزایش دبی تل پاییندست دارای زبانهای در قسمت انتهایی میشود، که با توجه به شکلهای بدست آمده از تکیهگاه در کانال ساده میتوان این زبانه را ناشی از وجود کانال اصلی دانست.

با قرار دادن آبشکن محافظ در بالادست تغییرات قابل ملاحظهای در توپوگرافی حفره و تل ایجاد می-شود. در شکل۴- ۴۶ تا شکل۴- ۵۰ تغییرات توپوگرافی حفره آبشستگی برای دبیهای مختلف با تغییر طول و محل آبشکن محافظ ارائه شده است. با مطالعه این منحنیها ملاحظه می شود:



شکل۴- ۴۶: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۱۴ لیتر بر ثانیه



شکل۴- ۴۷: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه



شکل۴- ۴۸: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه





شکل۴- ۴۹: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه



cm

شکل۴- ۵۰: تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر محل و طول آبشکن محافظ تحت دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه

- ✓ با افزایش طول آبشکن، گسترش آبشستگی در جهت عرض کانال افزایش مییابد. علی رغم افزایش آبشستگی در جلوی آبشکن، در محل دماغه تکیهگاه آبشستگی کاهش مییابد. حتی در برخی موارد تل پایین دست آبشکن در جلو دماغه تکیهگاه ریخته میشود و به جای حفره آبشستگی یک تل در محل دماغه تکیهگاه مشاهده میشود.
- ✓ با افزایش طول آبشکن محافظ انحراف تل به سمت کانال اصلی مشاهده می شود. برخی طول-ها در فواصل 1.5L تا 2.5L آشفتگی تازهای دقیقاً بعد از دماغه مشاهده می شد که این آشفتگی جریان موجب ایجاد یک حفره در محل بیرون از پروفیل معمول برداشت شده می-باشد. علت این پدیده گسترش آشفتگی جریان ناشی از تنگ شدگی به آشفتگی ناشی از محل برخورد کانال اصلی و سیلاب دشت می باشد.
- ✓ در دبیهای ۲۰ و ۲۲ لیتر بر ثانیه با افزایش طول آبشکن محافظ علاوه بر کاهش آبشستگی
  ۲۰ در در در تل پاییندست مشاهده می شود، این گسترش تل در مرحله
  سوم پروسه آبشستگی، که در فصل دوم به آن اشاره شد، ایجاد می شود.
- ✓ با افزایش فاصله آبشکن از تکیهگاه آبشستگی تکیهگاه کاهش مییابد و میزان آبشستگی آبشکن محافظ افزایش مییابد. در دبیهای بیشتر حفره جلو آبشکن در فواصل کمتر آبشکن از تکیهگاه با حفره آبشستگی تکیهگاه مخلوط شده و با افزایش فاصله این حفرهها از هم جدا میشوند. مسئله قابل توجه این است که در آبشکنهای طویلتر، نه تنها هیچ حفرهای در محل تکیهگاه مشاهده نمیشود بلکه در برخی موارد (دبیهای بیشتر) ایجاد تل در محل دماغه تکیهگاه دیده شده است.

نتایج بدست آمده حاکی از آن است که استفاده از آبشکن محافظ تاثیر مثبتی در کاهش آبشستگی تکیه گاه دارد به نحوی که با افزایش طول آبشکن محافظ میزان آبشستگی کاهش پیدا می کند. همچنین، در فواصل بین 1.5L تا 2.5L بیشترین کاهش در آبشستگی تکیه گاه رخ می دهد. مطالعه طول آبشکن محدود به طول حداکثر 0.8L شد زیرا با توجه به هدف طرح که ارائه یک سازه بهینه برای کاهش آبشستگی میباشد، استفاده از طولهای بیشتر یا مساوی با طول تکیه گاه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

در رابطه با فاصله آبشکن از تکیه گاه در برخی موارد افزایش فاصله روال افزایش در میزان آبشستگی تکیهگاه را نشان داده است. همچنین با توجه به اینکه در محل رودخانهها و پلها محدودیت توپوگرافی منطقه ممکن است مانع از ایجاد آبشکن محافظ در فواصل دور شود. از مطالعه فواصل دورتر آبشکن اجتناب شده است.

در شکل ۴ –۵۱ تا شکل ۴ – ۵۳ تغییرات پروفیل آبشستگی تکیهگاه با طول ۳۰ سانتیمتر با آبشکن-های با طولهای مختلف و در فواصل مختلف مشاهده می شود. روال تغییرات آبشستگی شبیه تکیهگاه با طول ۲۰ سانتیمتر است با این تفاوت که مقادیر طول و عرض پروفیل به دلیل افزایش درصد تنگ شدگی، افزایش یافته است. همچنین زبانه پایین دست تل به میزان قابل ملاحظهای امتداد پیدا کرده است.



شکل۴–۵۱ : تغییرات پروفیل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری در دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه


ст



شکل۵۲۴-: تغییرات پروفیل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه

ст



شکل۴ ۵۳- : تغییرات پروفیل آبشستگی تکیهگاه ۳۰ سانتیمتری در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه

cm

روابط بدست آمده در این تحقیق

در ادامه تحقیق رابطه تعیین طول و فاصله مناسب آبشکن محافظ در کاهش آبشستگی تکیهگاه تعیین گردید. بدین منظور با توجه به پارامترهای بررسی شده، مشاهدات آزمایشها و آنالیز ابعادی روابط زیر ارائه می شوند.

با استفاده از رابطه بدست آمده از آنالیز ابعادی برای تکیه گاه با طول ۲۰ سانتیمتر با معیار عمق حداکثر آبشستگی، رابطه (۴–۱) بدست آمده است:

$$\frac{d_s}{x} = 258.96(\frac{Q}{A\sqrt{gy}})^{-2.26} \left(\frac{L}{y}\right)^{3.59} \left(\frac{L'}{y}\right)^{-0.6} \left(\frac{x}{L}\right)^{-1.26}$$
(1-4)

در شکل۴- ۵۴ تغییرات عمق حداکثر محاسباتی و مشاهداتی بدست آمده از رابطه (۴–۱) و ضریب تعیین مربوطه را مشاهده میکنید.



شکل۴- ۵۴: تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی مشاهداتی و محاسباتی

برای تعیین طول و فاصله آبشکن محافظ با معیار قرار دادن عمق حداکثر آبشستگی در اطراف تکیهگاه با اعمال اطلاعات هر دو تکیهگاه ۲۰ و ۳۰ سانتیمتری (تغییرات طول تکیهگاه به عنوان متغیر وارد شود) رابطه (۴–۲) پیشنهاد می شود.

$$\frac{d_s}{x} = 202.71 \left(\frac{Q}{A\sqrt{gy}}\right)^{1.75} \left(\frac{L}{y}\right)^{-2.16} \left(\frac{L'}{y}\right)^{-0.597} \left(\frac{x}{L}\right)^{-1.243}$$
(7-4)

رابطه (۴–۲) با ضریب همبستگی ۰٫۹۲ می باشد که با توجه به عدم حذف دادههای پرت بسیار عالی می باشد. همانطور که در شکل۴– ۵۵ مشاهده می نمایید تقریبا ۸۰٪ دادهها در محدوده خطای ۳۰٪ قابل قبول میباشند. این محدوده در کارهای آزمایشگاهی قابل قبول میباشد.



شکل۴- ۵۵: تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی تکیهگاه محاسباتی و مشاهداتی

در این راستا رابطه (۴–۳) به عنوان رابطه تعیین عمق آبشستگی آبشکن محافظ جهت طراحی ارائه می شود.

$$\frac{d_{sG}}{x} = 284.3(\frac{Q}{A\sqrt{gy}})^{3.15} \left(\frac{L}{y}\right)^{-4.56} \left(\frac{L'}{y}\right)^{2.87}$$
(°-4)

ضریب همبستگی رابطه بالا ۰٬۹۰۵ می باشد. نمودار تغییرات آبشستگی محاسباتی نسبت به مشاهداتی در شکل۴- ۵۶ آورده شده است، دادهها با میزان خطای ۳۰٪ قابل قبول میباشند.



شکل۴- ۵۶: تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی آبشکن محاسباتی و مشاهداتی

رابطه (۴-۴) برای تعیین حجم آبشستگی در اطراف تکیه گاه ارائه شده است که در حالت حجم کمینه بهترین موقعیت برای آبشکن محافظ بدست می آید.

$$\frac{V_s}{L'x^2} = 30.44 \left(\frac{Q}{A\sqrt{yg}}\right)^{5.24} \left(\frac{x}{L}\right)^{-0.356} \left(\frac{L'}{L}\right)^{-0.96}$$
(F-F)

رابطه بالا مقدار ضریب تعیین ۸۹، ۱ ارائه شده است. دلیل کاهش ضریب تعیین برای رابطه حجم تاثیر روش تقریب حجم با استفاده از نرمافزار SURFER است. با حدود تغییرات ۳۰٪ دادهها مورد قبول است. در شکل۴– ۵۷ تغییرات حجم بیبعد محاسباتی و مشاهداتی را میبینید.



شکل۴– ۵۷ : تغییرات حجم بیبعد آبشستگی مشاهداتی نسبت به محاسباتی

نتايج:

با توجه به بررسی انجام شده در این تحقیق روابط زیر برای تعیین فاصله و طول آبشکن محافظ ارائه شده است.

$$\frac{d_s}{x} = 202.71 \left(\frac{Q}{A\sqrt{gy}}\right)^{1.75} \left(\frac{L}{y}\right)^{-2.16} \left(\frac{L'}{y}\right)^{-0.597} \left(\frac{x}{L}\right)^{-1.243}$$
(1- $\Delta$ )

با ارائه بررسی دقیق گسترش آبشستگی تاثیر تغییرات دبی و فاصله آبشکن محافظ بر آبشستگی مشخص شد. با بررسی حجم آبشستگی در اطراف تکیه گاه فاصله و طول مناسب آبشکن با معیار حجم آبشستگی به شرح زیر میباشد:

$$\frac{V_s}{L'x^2} = 30.44 \left(\frac{Q}{A\sqrt{yg}}\right)^{5.24} \left(\frac{x}{L}\right)^{-0.356} \left(\frac{L'}{L}\right)^{-0.96}$$
(Y- $\Delta$ )

با توجه به رابطه (۵–۲) به راحتی میتوان عمق لازم آبشکن محافظ را در هر طراحی تعیین کرد. آبشکن مورد مطالعه در این تحقیق با توجه به اینکه دارای محدودیت جنس مصالح و پایداری نیست میتواند نسبت به دیگر راهکارهای ارائه شده تا کنون برای کاهش آبشستگی تکیهگاه گزینه برتر باشد. با استفاده از روابط ارائه شده، میتوان سازهای ساده و ارزان برای کاهش آبشستگی تکیهگاه بنا کرد که در مقایسه با دیگر روشهای کاهش آبشستگی تکیهگاه همچون صفحههای افقی و عمودی یا استفاده از دانهبندیهای مشخص برای سخت کردن بستر به نظر کاربردیتر میباشد.

همچنین سازه پیشنهادی با توجه به اینکه به سادگی قابل طراحی میباشد برای پایههای پل موجود با بررسی تاثیر توپوگرافی منطقه و نوع مصالح بستر و طول تکیهگاه و شرایط سیلاب منطقه به راحتی قابل محاسبه و اجرا میباشد.

## پیشنهادها:

با مطالعه تحقیقات گذشته نیاز به ارائه روشی برای کاهش آبشستگی تکیهگاه پلها و سازههای کشاورزی مانند دستکها به عنوان یک ضرورت شناخته شد و این ضرورت مبنای انجام پایاننامه حاضر قرار گرفت، لکن با توجه به امکانات و محدودیتهای موجود، در این پایاننامه سعی شد برخی پارامترهای موثر بر آبشستگی تکیهگاه مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا برای این که بتوان از نتایج این بررسی به نحو موثرتری بهره جست، موارد زیر به عنوان موضوعاتی برای تحقیقات آتی توصیه می-شود:

- در پایاننامه حاضر به بررسی اثر طول و فاصله آبشکن محافظ پرداخته شده است؛ توصیه می شود اثر دیگر پارامترها اعم از آبشکنها با زاویه های متفاوت نسبت به جهت جریان، دانه بندی متفاوت بستر، نسبت تنگ شدگی های مقطع متفاوت، اثر وجود پوشش گیاهی و ... بر روی آبشستگی تکیه گاه مورد ارزیابی قرار گیرد.
- همان طور که در این پایان نامه ملاحظه شد، با استفاده از آنالیز دادهها می توان تاثیر پارامترهای تاثیر گذار را مورد ارزیابی قرار داد. توصیه می شود، طرحهایی برای آبشکن دارای ضریبهای مختلف نفوذ پذیری ارائه شود و میزان اثر گذاری آن ها در کاهش آبشستگی تکیه گاه مورد ارزیابی قرار گیرد.
- در این پایاننامه، آبشکن محافظ در فواصل و طولهای مختلف استفاده شد، توصیه می شود در تحقیقات آینده از آبشکن با زوایای مختلف نسبت به جریان و اشکال متفاوت
   برای کاهش آبشستگی به صورتهای زیر استفاده گردد:
- ✓ استفاده از آبشکن با زاویه بیش از ۹۰ درجه در جهت جریان و زاویه کمتر از ۹۰ درجه در خلاف جهت جریان
   ✓ استفاده از آبشکنهای L شکل و T شکل
  - استفاده از آبشکنهای مستغرق در بالادست تکیه گاه
- در پایان نامه حاضر، تکیه گاه در یک طرف کانال قرار گرفت برای جامع تر شدن تحقیقات
   توصیه می شود آزمایش های با قرار دهی تکیه گاه در دو طرف کانال نیز مورد ارزیابی قرار
   گیرد.

 در پایاننامه حاضر با توجه به امکانات و شرایط موجود توزیع سرعت و آشفتگی جریان بررسی نشد. برای شناخت بهتر تاثیر آبشکن محافظ در تغییرات جریان و توزیع سرعت در کانال توصیه میشود آزمایشها با استفاده از برداشت سرعت در نقاط مختلف در هر سه جهت انجام شود.

## مراجع و منابع

1. Sturm, Terry W. *ENHANCED ABUTMENT SCOUR STUDIES*. s.l.: FHWA-RD-99-156, 2004.

۲. سازمان, مدیریت برنامه و برنامه ریزی کشور. **دستورالعل مطالعات هیدرولیکی و آبشستگی پل**. *نشریه شماره* ۳۰۲. ۱۳۸۴.

۳. بیات, حبیب اله**. اندر کنش سازه های آبی و فرسایش**. دانشگاه صنعتی امیر کبیر, ۱۳۷۹.

4. Hoffmans, G.J.C.M. Scour Manual. 1997.

5. Schiereck, Gerrit J. Introduction to bed, bank and shore protection. *Delft Uni*. 2001.

6. Ettema, R. Nakato, T. and Muste, M. An Overview of Scour Types and Scour-Estimation Difficulties Faced at Bridge Abutments. *journal of Hydraulic engineering* August 2003.

۷. صانعی, مجتبی. بررسی آزمایشگاهی تاثیر سرعت بحرانی و دانهبندی بر میزان آبشستگی. کنگره ملی مهندسی عمران تهران. ۱۳۸۷.

8. Hager, W. H. Oliveto, G. Further Results to Time-Dependent Local Scour at Bridge Elements. *journal of Hydraulic engineering*. FEBRUARY 2005.

9. Molinas, A. Kheireldin, K. Shear stress Around vertical wall abutments. *journal* of Hydraulic engineering. august 1998.

۱۰. علوی مقدم, سید محمدرضا. **ارائه فرآیندی محاسباتی برای تعیین ارجحیت استفاده از معادلات انرژی و** 

مومنتوم در تحلیل جریان متغیر تدریجی در کانال های مرکب. مفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. ۱۳۸۷.

11. Ackers, P. Stage-Discharge Functions for Two-Stage Channels. Journal of the Institute of Water and Environmental Management. 1993.

12. Robert Ettema, Marian Muste. Scale Effects in Flume Experiments on Flow around a Spur Dike in Flatbed Channel. *journal of Hydraulic engineering*. JULY 2004.

13. Oh, Seung Jae. The effect of Abutment Length for Abutment Scour in Cohesive Soil. *Geotechnics of soil erosion- GSP.* 2007.

14. Melville, W. B. et. al. **Riprap Size Selection at Wing-wall Abutments.** *journal of hydraulic engineering.* 2007, Vol. 133.

۱۵. خزیمهنژاد, حسین. بررسی تأثیر شیب بستر بر روی حرکت رسوبات غیرچسبنده در کانال ها و آبراهه های با شیب ملایم. ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران. شهریور ۱۳۸۶.

16. Gijs j. c. hoffmans, Krystian w. local scour downstream of hydraulic structures. *journal of Hydraulic engineering* © *ASCE vol.121.* 1995.

17. STURM, T. W. M.asce. SCOUR AROUND BANKLINE AND SETBACK ABUTMENTS IN COMPOUND CHANNELS. *journal of Hydraulic engineering*. January 2006.

18. Abdul Karim, B. Dey, S. Clear-Water Scour at Abutments in Thinly Armored Beds. *journal of Hydraulic engineering*. JULY 2004.

۱۹. مهتابی قربان - حسینزاده دلیر علی - فرساویزاده داود - فاخری فرد احمد. بررسی آبشستگی موضعی در آبشکن های کوتاه . هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. ۱۳۸۵.

۲۱. شفاعی بجستان سیروس. **هیدرولیک رسوب**. دانشگاه شهید چمران اهواز, ۱۳۸۴.

22. Abdul Karim Barbhuiyab , Subhasish Deya. Velocity and turbulence in a scour hole at a vertical-wall abutment. *journal of Hydraulic engineering*. August 2005.

23. Clopper, P. E. Lagasse, P. F. Bridge Pier scour countermeasures. *World* environmental and water resources congress. 2007.

۲۴. صانعی مجتبی -شفایی ابوالفضل - کرمی حجت. بررسی آزمایشگاهی حداکثر عمق آبشستگی در دماغه اولین آبشکن.

25. Radice, A. Sediment Kinematics in abutment scour. *journal of Hydraulic engineering*. 2008, Vol. 134.

27. Sturm, T. W. Scour around Bankline and setback Abutments in Compound channels. *journal of hydraulic engineering*. 2006, Vol. 132.

28. ISO. water flow measurement in open channels using weirs and venture flumes – part1: thin plate weirs. *ISO 1438/1-1980(E)*. 1980.

29. Li, H. Barkdoll, B. BRIDGE ABUTMENT COLLAR AS A SCOUR COUNTERMEASURE. ASCE. 2005.

30. USBR. Water measurement manual. 1997.

31. Li, H. Parallel Walls as an Abutment Scour Countermeasure. *journal of hydraulic engineering*. 2006.

32. Li, H. et al. **Parallel Walls as an Abutment Scour Countermeasure.** *journal of Hydraulic engineering.* MAY 2006.

33. Melville, B. W. Brakdoll, B. D. A Review of Bridge Abutment Scour Countermeasures. *World environmental and water resoruce congress*. 2006.

34. Siow- yong, L. Equilibrium clear water scour around an abutment. *journal of Hydraulic engineering*. 1997.

35. Melville, B. W. Scour countemeasures for Wing-wall abutments. *journal of hydraulic engineering*. 2006, Vol. 132.

36. Munsur Rahman, Md. Anisul M. H. Local Scour at Sloped-Wall Spur-Dike Like Structures in Alluvial Rivers. *journal of Hydraulic engineering*. JANUARY 2004.

37. Chiew, Y. M.ASCE. Local Scour and Riprap Stability at Bridge Piers in a Degrading Channel. *journal of Hydraulic engineering* MARCH 2004.

38. ASTM. Standard method for open-channel flow measurement of waterwith thin-plate weirs. *ASTM D5242*. 1993.

۳۹. ابریشمی, جلیل. هیدرولیک کانال های باز. دهم, دانشگاه فردوسی مشهد, ۱۳۸۲.

۴۰. نیکصفت, غلامرضا. **تئوری و کاربرد مدل های هیدرولیک در طرحی سازه های آبی**. کمیته ملی شدهای بزرگ ایران, جلد شماره ۴۱, ۱۳۸۰.

41. Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., and Shields, F. D. Geometry of Scour Holes Associated with 90° Spur Dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1999, Vol. 125.

42. Kuhnle, R.A., Alonso, C.V., Shilds, F.D. Local Scour associated with angled spur dikes. *journal of hydraulic engineering*. 2002, Vol. 128.

## Abstract:

Scouring is one of the important issues in the stability of bridge abutments. Large and deep foundations are employed in order to resist the instability due to potential scour. Other less expensive engineering measures are sought in order to reduce the cost while a higher degree of confidence in the stability of the bridge is achieved. The abutment constructed in flood plain are exposed to the river current a couple of times in the period of their designed life time. Spur dykes are examined in this research as a corrective measure for reducing the dimensions of scour hole and more specifically the depth of scour. Variety of discharges was applied to the abutment which was installed in a flume with moveable bed and composite cross section. A spur dyke was placed upstream of the bridge to form the incoming flow in the way it causes the minimum scour around the bridge abutment. The variation in length and the distance from the main structure was investigated for the best result in each discharge. A total number of 158 tests were run and appropriate graphs were plotted. The dykes proved to be a successful measure since they could reduce the scour depth down to zero although the dyke itself faced scouring process around its toe. Since the abutment located in flood plain where the flood is not always present, the damage to the dyke can be easily and inexpensively repaired.

Key words: scouring- flood plain- composite channel- bridge abutment- guard breakwater- experimental model



Shahrood University of Technology School of Civil and Architecture

Investigation of guard breakwater length and distance effect in decreasing scouring in bridge in floodplane

Shamsa Basirat

Supervisors:

Dr. Saghravani Seed Fazalollah

Dr. Saneie mojtaba

Date: Summer 1388