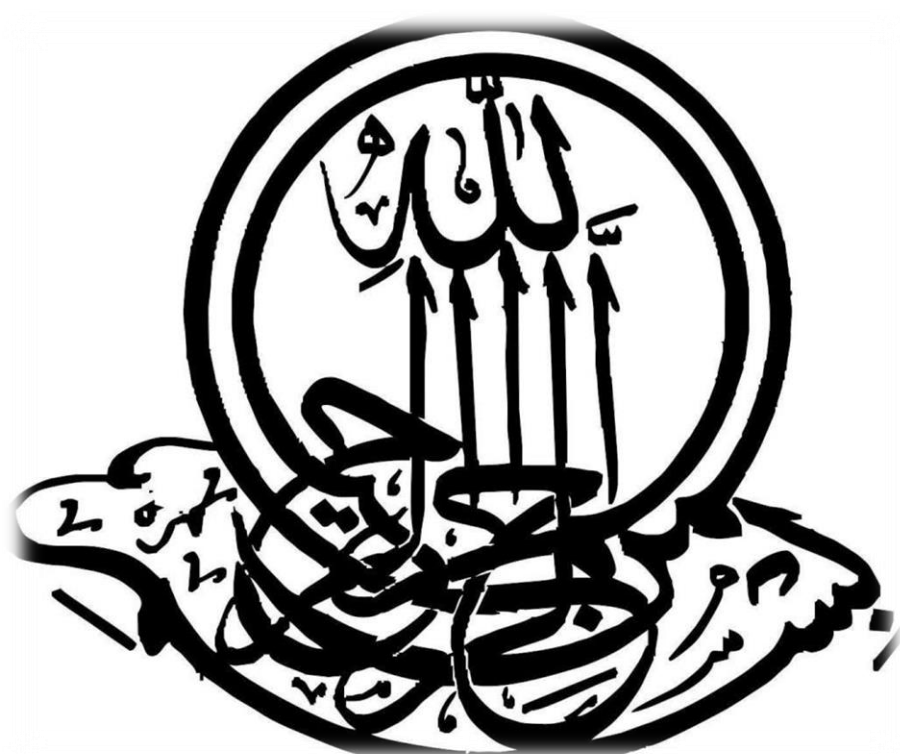






دانشکده : کشاورزی

گروه : مهندسی آب و خاک

عنوان

بررسی اثر آبشکن سرسپری متقارن بر کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل واقع در دشت سیلابی

دانشجو : امین ناظری

اساتید راهنما :

دکتر صمد امامقلی زاده

دکتر خلیل اژدري

استاد مشاور

دکتر مجتبی صانعی

تیرماه ۱۳۹۳

تقدیم به روح پاک پدر عزیزم

که با پروازی ابدی در خاطر من جاودانه شد

و مهربان مادرم

پاس خدای راکه سخوران، دستودن او باند و شمارندگان، شردن نعمت های اونداند و کوشندگان، حق او را گزارش نوتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان و امدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز... بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، بازبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنکاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، پاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت های راکه به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب ”من لم یسکر المنعم من المخلوقین لم یسکر الله عزوجل“؛
از پدر و مادر عزیزم... این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و دشتی من، قلم عشق کشیده و گریانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند؛
از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر اما علی زاده که در کمال سه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از پیچ کجی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استاد بصور و باتقوا، جناب آقای دکتر اژدی، مدیریت محترم کرسی گروه، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی منتقل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛

و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر مودن زاده و سرکار خانم دکتر کنجی نوروزی که زحمت داور ی این رساله را منتقل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید

تعهد نامه

اینجانب امین ناظری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی آزمایشگاهی اثر آبشکن سرسپری متقارن بر آبستتگی تکیه‌گاه پل واقع در دشت سیلابی تحت راهنمایی دکتر امام‌قلی‌زاده متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) 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 پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

آبشستگی یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده پایداری تکیه‌گاه‌های پل احداث شده بر رودخانه‌ها می‌باشد. برای جلوگیری از تخریب‌های احتمالی و جبران‌ناپذیر لازم است با بررسی دقیق فرآیند آبشستگی و به‌کارگیری روش‌های مناسب، آبشستگی را کنترل نمود. وجود تکیه‌گاه پل، باعث تغییر الگوی جریان سیلاب و هدایت جریان به سمت محور رودخانه می‌شود. در موارد زیادی این مسئله باعث تخریب پل و خسارات فراوان مالی و جانی می‌شود.

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل واقع در سیلاب‌دشت پرداخته شد. بدین منظور از یک سازه آبشکن T شکل با ابعاد و فاصله‌های مختلف (با توجه به مشخصات جریان عبوری هندسه رودخانه) استفاده شد. میزان تأثیر هر یک از پارامترهای طول بال، طول جان و فاصله آبشکن بر آبشستگی تکیه‌گاه مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام تحقیق از یک فلوم آزمایشگاهی با مقطع مرکب به طول ۱۲ متر، عرض ۱ متر، و ارتفاع ۰/۶ متر استفاده شد. آزمایش‌ها با دبی‌های ۱۸، ۲۰ و ۲۲ لیتر در ثانیه، یک نوع دانه‌بندی رسوب یکنواخت با قطر ۱ میلی‌متر، انجام شد. نتایج بررسی نشان می‌دهد قرارگیری آبشکن سرسپری در بالادست تکیه‌گاه موجب کاهش ۳ تا ۹۰/۵ درصدی آبشستگی در تکیه‌گاه پل شده است.

همچنین به منظور ارائه رابطه‌ای رگرسیونی برای تخمین آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه و آبشکن، آنالیز ابعادی بر روی پارامترهای هیدرولیکی جریان نظیر دبی، عمق جریان، سرعت جریان، پارامترهای هندسی مانند طول تکیه‌گاه، طول جان و بال آبشکن، فاصله آبشکن از تکیه‌گاه و پارامترهای هندسی آبراهه، عرض و عمق کانال اصلی و مشخصات ذرات بستر انجام گرفت.

کلمات کلیدی: آبشستگی - سیلاب‌دشت - کانال مرکب - تکیه‌گاه پل - آبشکن T شکل - مدل آزمایشگاهی.

فهرست مطالب

فصل اول / مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ تعریف موضوع پایان نامه و ضرورت انجام تحقیق	۳
۳-۱ ساختار پایان نامه	۴
فصل دوم / بررسی کلی پدیده آبخستگی و مروری بر تحقیقات گذشته	۵
۱-۲ مقدمه	۶
۲-۲ تعریف آبخستگی	۶
۳-۲ انواع آبخستگی	۷
۱-۳-۲ آبخستگی عمومی	۷
۲-۳-۲ آبخستگی موضعی	۸
۳-۳-۲ آبخستگی ناشی از تنگ شدگی مقطع	۱۰
۴-۳-۲ آبخستگی کل	۱۰
۴-۲ مراحل توسعه آبخستگی	۱۰
۵-۲ آبخستگی در حالت آب زلال و بستر متحرک	۱۲
۶-۲ تکیه گاه ها	۱۳
۷-۲ الگوی جریان در اطراف تکیه گاه ها	۱۴
۸-۲ انواع آبخستگی در تکیه گاه ها بر اساس محل حفره	۱۵
۹-۲ روش های بررسی آبخستگی تکیه گاه	۱۷
۱-۹-۲ رفتارنگاری آبخستگی	۱۸
۲-۹-۲ مدل سازی فیزیکی	۱۸

۱۹	 مدل سازی عددی و کامپیوتری
۱۹	 ۴-۹-۲ کاربرد روابط تحلیلی - تجربی
۱۹	 ۱۰-۲ پارامترهای موثر بر آبشستگی تکیه گاه
۲۰	 ۱۱-۲ روش های کاهش آبشستگی تکیه گاه
۲۰	 ۱۲-۲ آبشکن ها
۲۰	 ۱۳-۲ انواع آبشکن
۲۱	 ۱-۱۳-۲ انواع آبشکن از نظر شکل دماغه
۲۱	 ۱-۱-۱۳-۲ آبشکن تیغه ای
۲۱	 ۲-۱-۱۳-۲ آبشکن سرکج
۲۱	 ۳-۱-۱۳-۲ آبشکن سرخم (چوگانی)
۲۲	 ۴-۱-۱۳-۲ آبشکن سرسپری
۲۲	 ۲-۱۳-۲ انواع آبشکن از نظر نفوذپذیری
۲۳	 ۳-۱۳-۲ انواع آبشکن از نظر استغراق
۲۳	 ۴-۱۳-۲ انواع آبشکن از نظر قرارگیری نسبت به راستای عمومی جریان
۲۴	 ۱۴-۲ مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه آبشستگی تکیه گاه پل
۲۴	 ۱-۱۴-۲ تعیین پارامترهای موثر بر آبشستگی تکیه گاه پل
۲۶	 ۲-۱۴-۲ تغییرات زمانی آبشستگی در تکیه گاه ها
۲۸	 ۳-۱۴-۲ تخمین حداکثر عمق آبشستگی تکیه گاه پل
۳۴	 ۴-۱۴-۲ بررسی آبشستگی تکیه گاه واقع در دشت سیلابی
۳۹	 ۵-۱۴-۲ بررسی آزمایشگاهی روش های کاهش آبشستگی
۴۵	 فصل سوم / مواد و روش ها

۴۶	 ۱-۳ مقدمه
۴۶	 ۲-۳ مدل آزمایشگاهی
۴۶	 ۱-۲-۳ استخر ذخیره آب
۴۶	 ۲-۲-۳ ایستگاه پمپاژ
۴۷	 ۳-۲-۳ کانال آزمایشگاهی
۵۰	 ۴-۲-۳ مقطع مرکب
۵۰	 ۵-۲-۳ رسوبات مورد نیاز
۵۲	 ۶-۲-۳ تکیه گاه ها و آبشکن ها
۵۳	 ۳-۳ نحوه انجام آزمایش ها
۵۴	 ۴-۳ تعیین زمان لازم برای انجام هر آزمایش
۵۵	 ۵-۳ تعداد آزمایش های انجام شده
۵۷	 ۶-۳ آنالیز ابعادی طرح
۶۱	 فصل چهارم/ نتایج آزمایش ها و تحلیل آن ها
۶۲	 ۱-۴ مقدمه
۶۲	 ۲-۴ نتایج
۶۷	 ۳-۴ تحلیل نتایج آزمایش ها
۸۵	 ۴-۴ جمع بندی نتایج به دست آمده از آزمایش ها
۸۷	 ۵-۴ تحلیل گسترش ابعاد حفره آبستگی در اطراف تکیه گاه
۱۰۰	 ۶-۴ ارائه رابطه رگرسیونی برای پیش بینی عمق آبستگی
۱۰۲	 ۷-۴ مقایسه نتایج تحقیق با تحقیقات مشابه
۱۰۵	 فصل پنجم/ نتیجه گیری و پیشنهادها

۱-۵ مقدمه ۱۰۶

۲-۵ نتیجه گیری ۱۰۶

۳-۵ پیشنهادها ۱۰۸

مراجع و منابع ۱۱۱

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ مراحل توسعه آبشستگی ۱۱
- شکل ۲-۲ تغییرات عمق آبشستگی با زمان در شرایط آب زلال و گل‌آلود ۱۲
- شکل ۳-۲ انواع شکل‌های دماغه تکیه‌گاه ۱۳
- شکل ۴-۲ الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه ۱۵
- شکل ۵-۲ تکیه‌گاه نوع ۱-الف- آبشستگی تکیه‌گاه در کانال اصلی بدون سیلاب‌دشت ۱۵
- شکل ۶-۲ تکیه‌گاه نوع ۲-الف- تکیه‌گاه امتداد یافته به درون کانال اصلی ۱۶
- شکل ۷-۲ تکیه‌گاه نوع ۲-ب- تکیه‌گاه نزدیک لبه کانال اصلی ۱۶
- شکل ۸-۲ تکیه‌گاه نوع ۲-پ- تکیه‌گاه و حفره آبشستگی در سیلاب‌دشت ۱۷
- شکل ۹-۲ تکیه‌گاه نوع ۲-ت- آبشستگی کناره تکیه‌گاه و سیلاب‌دشت ۱۷
- شکل ۱۰-۲ انواع شکل‌های هندسی آبشکن ۲۲
- شکل ۱-۳ نمایی از پمپ و الکتروموتور مورد استفاده در مدل آزمایشگاهی ۴۷
- شکل ۲-۳ دبی‌سنج الکترومغناطیسی ۴۷
- شکل ۳-۳ صفحه مشبک نصب شده در ابتدای کانال ۴۸
- شکل ۴-۳ اجزای مختلف مدل آزمایشگاهی (پلان) ۴۸
- شکل ۵-۳ اجزای مختلف مدل آزمایشگاهی ۴۹
- شکل ۶-۳ تیرک‌های سدکننده و سرریز پلکانی نصب شده در انتهای فلوم ۴۹
- شکل ۷-۳ کانال اصلی و دشت‌های سیلابی در مقطع مرکب ۵۰
- شکل ۸-۳ منحنی دانه‌بندی رسوبات ریزدانه مورد استفاده ۵۱
- شکل ۹-۳ نمای کلی کانال مرکب (پلان) ۵۲
- شکل ۱۰-۳ موقعیت قرارگیری تکیه‌گاه‌ها و آبشکن در سیلاب‌دشت ۵۳

- شکل ۳-۱۱ چاله آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه و آبشکن ۵۴
- شکل ۳-۱۲ تغییرات زمانی عمق آبشستگی برای دبی‌های مورد آزمایش ۵۵
- شکل ۴-۱ تغییرات عمق آبشستگی تکیه‌گاه با تغییر طول جان آبشکن ۶۷
- شکل ۴-۲ تغییرات عمق آبشستگی تکیه‌گاه با تغییر طول بال آبشکن ۷۱
- شکل ۴-۳ تغییرات عمق آبشستگی تکیه‌گاه با تغییر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه ۷۳
- شکل ۴-۴ تغییرات عمق آبشستگی آبشکن با تغییر طول جان آبشکن ۷۶
- شکل ۴-۵ تغییرات عمق آبشستگی آبشکن با تغییر طول بال آبشکن ۷۹
- شکل ۴-۶ تغییرات عمق آبشستگی در اطراف آبشکن با تغییر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه ۸۲
- شکل ۴-۷ توپوگرافی آبشستگی تکیه‌گاه در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه بدون حضور آبشکن ۸۸
- شکل ۴-۸ توپوگرافی آبشستگی تکیه‌گاه در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه بدون حضور آبشکن ۸۸
- شکل ۴-۹ توپوگرافی آبشستگی تکیه‌گاه در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه بدون حضور آبشکن ۸۹
- شکل ۴-۱۰ تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۱۲ سانتی‌متری از تکیه‌گاه تحت دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه ۹۰
- شکل ۴-۱۱ تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۱۸ سانتی‌متری از تکیه‌گاه تحت دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه ۹۱
- شکل ۴-۱۲ تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۲۴ سانتی‌متری از تکیه‌گاه تحت دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه ۹۲
- شکل ۴-۱۳ تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۱۲ سانتی‌متری از تکیه‌گاه تحت دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه ۹۳
- شکل ۴-۱۴ تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۱۸ سانتی‌متری از تکیه‌گاه تحت دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه ۹۴
- شکل ۴-۱۵ تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۲۴

سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه ۹۵

شکل ۴-۱۶ تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۱۲

سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه ۹۶

شکل ۴-۱۷ تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۱۸

سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه ۹۷

شکل ۴-۱۸ تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۲۴

سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه ۹۸

شکل ۴-۱۹ تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی تکیه گاه مشاهداتی و محاسباتی ۱۰۱

شکل ۴-۲۰ تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی آبشکن مشاهداتی و محاسباتی ۱۰۲

فهرست جداول

جدول ۱-۲	پارامتر a برای تکیه‌گاه‌های با دیوار قائم و باله‌ای	۲۷
جدول ۱-۳	مشخصات رسوبات بستر سیلاب‌دشت	۵۱
جدول ۲-۳	پارامترهای متغیر در طول آزمایش‌ها	۵۶
جدول ۳-۳	طول متغیر بال آبشکن به ازای هر طول جان	۵۷
جدول ۴-۳	مقادیر عدد رینولدز در دبی‌های مورد آزمایش	۵۹
جدول ۱-۴	مقادیر عدد فرود در دبی‌های مورد آزمایش	۶۲
جدول ۲-۴	مقادیر d_s بر حسب سانتی‌متر در آزمایش‌های شاهد	۶۳
جدول ۳-۴	مقادیر d_s در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۲ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه	۶۳
جدول ۴-۴	مقادیر d_s در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۸ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه	۶۳
جدول ۵-۴	مقادیر d_s در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و فاصله ۲۴ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه	۶۴
جدول ۶-۴	مقادیر d_s در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۲ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه	۶۴
جدول ۷-۴	مقادیر d_s در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۸ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه	۶۴
جدول ۸-۴	مقادیر d_s در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و فاصله ۲۴ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه	۶۵
جدول ۹-۴	مقادیر d_s در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۲ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه	۶۵
جدول ۱۰-۴	مقادیر d_s در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۸ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه	۶۵
جدول ۱۱-۴	مقادیر d_s در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه و فاصله ۲۴ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه	۶۶
جدول ۱۲-۴	کمترین عمق آبشستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه	۶۶
جدول ۱۳-۴	بیشترین عمق آبشستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه	۶۷
جدول ۱۴-۴	درصد کاهش پارامتر ds/y به ازای درصد افزایش Ls/L	۷۰
جدول ۱۵-۴	درصد کاهش پارامتر ds/y به ازای درصد افزایش Lw/L	۷۳

جدول ۱۷-۴ درصد افزایش پارامتر dsp/y به ازای درصد افزایش Ls/L ۷۸

جدول ۱۸-۴ درصد افزایش پارامتر dsp/y به ازای درصد افزایش Lw/L ۸۱

جدول ۱۹-۴ درصد افزایش پارامتر dsp/y به ازای درصد افزایش X/L ۸۴

فصل اول

مقدمه

رودخانه یکی از عناصر اصلی زیست‌بوم کره زمین است که همواره در پیدایش، تکامل و توسعه تمدن جوامع بشری نقش قابل توجهی داشته است. بدون شک یکی از اولین موضوعاتی که در مواجهه با رودخانه‌ها به ذهن انسان رسیده است ساخت وسیله و یا سازه‌ای برای عبور از این مانع طبیعی است. پل‌ها از جمله مهم‌ترین سازه‌های هیدرولیکی هستند که از دیرباز مورد استفاده بشر قرار گرفته است. طبق تعریف یک پل عبارت است از سازه‌ای که عبور آسان از یک بریدگی طبیعی، مانند رودخانه یا دره را بدون بسته شدن مسیر زیرین آن امکان‌پذیر می‌سازد. از این نوع سازه معمولاً برای عبور قطار، وسایل نقلیه، افراد پیاده، انتقال آب و غیره استفاده می‌شود. از این رو نقش حیاتی پل‌ها در بهبود امور سیاسی، نظامی، اقتصادی و اجتماعی یک کشور کاملاً آشکار است (حسینی، ۱۳۷۱).

لازمه طراحی صحیح پل و ابنیه مشابه، شناسایی و منظور نمودن کلیه عواملی است که ممکن است به طور مستقیم یا غیرمستقیم در طول عمر مفید یک سازه باعث تخریب یا کاهش کارایی آن گردد. یکی از عمده‌ترین مشکلات سازه‌هایی نظیر پل‌ها که پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های^۱ آن‌ها در رودخانه‌های قابل فرسایش قرار گرفته است، آبشستگی^۲ ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه و پایه‌ها می‌باشد. پس از احداث پل در مسیر رودخانه، پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل به صورت یک مانع عمل کرده و باعث تغییر مسیر جریان در محل برخورد با تکیه‌گاه و توسعه جریان‌های گردابی می‌شوند. این گرداب‌ها به نوبه خود مواد اطراف تکیه‌گاه را از جای خود کنده و سپس این مواد توسط جریان رودخانه به سمت پایین‌دست حمل می‌شوند. این عمل در نهایت باعث توسعه حفره آبشستگی در محل استقرار تکیه‌گاه خواهد شد (نشریه شماره ۳۰۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۴).

در بسیاری از موارد، آبشستگی می‌تواند منجر به تخریب و ویرانی کامل پل و ایجاد خسارات اقتصادی و جانی گردد. به عنوان مثال در سال ۱۹۸۷ تعداد زیادی پل بر روی رودخانه سچوهاری^۳

¹ - Abutment

² - Scour

³ - Schoharie

نیویورک در اثر پدیده آبشستگی ویران شد. در این حادثه‌ها جمعا ۱۰ نفر جان خود را از دست دادند. در سال ۱۹۹۵ نیز در کالیفرنیا تعداد ۵ پل در اثر پدیده آبشستگی ویران شد که در این حادثه نیز ۷ نفر از بین رفتند، و موارد دیگری که در کشورمان ایران اتفاق افتاده است (شریعتی و همکاران، ۱۳۸۸). در حال حاضر نیز میلیون‌ها پل در سطح جهان وجود دارد که به دلیل وقوع سیلاب‌های سالانه، آبشستگی در اطراف پایه‌ها و یا تکیه‌گاه‌های آنان پدیدار شده و احتمال تخریب آن‌ها در صورتی که برای محافظت از آن‌ها طرحی اندیشیده نشده باشد، حتمی است. این مطلب وقتی بحرانی‌تر می‌شود که بدانیم پل‌ها زمانی تخریب می‌شوند که ما بیشترین احتیاج را به راه‌های دسترسی جهت کمک به آسیب‌دیدگان از بلایای طبیعی داریم (به عنوان مثال در مواقع سیلابی)، بنابراین دیده می‌شود که به غیر از مساله اقتصادی، مساله حفاظت پل‌ها در برابر آبشستگی یک موضوع انسانی اجتماعی است (نشریه شماره ۵۱۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۸). داده‌ها بیانگر این موضوع هستند که آبشستگی در تکیه‌گاه پل در مقایسه با آبشستگی پایه پل بسیار مشکل‌سازتر خواهد بود. مطالعات انجام شده بر روی شکست ۳۸۳ پل در ایالات متحده نشان می‌دهد که در ۲۵ درصد آن‌ها تخریب پایه و در ۷۲ درصد تخریب تکیه‌گاه علت شکست پل بوده است. همچنین بر طبق مطالعات ملویل^۱ (۱۹۹۲) ۷۰ درصد هزینه‌های مربوط به شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۱ تعریف موضوع پایان‌نامه و ضرورت انجام تحقیق

با توجه به این که اکثر تکیه‌گاه‌ها در دشت سیلابی قرار گرفته‌اند (رمضانی، ۱۳۹۰)، لزوم شناسایی کامل فرآیند آبشستگی تکیه‌گاه‌های پل واقع در دشت‌های سیلابی و نیز به‌دست آوردن راه‌کاری مناسب جهت کاهش آن کاملاً مشخص می‌گردد.

تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که احداث آبشکن در بالادست تکیه‌گاه به طرز قابل توجهی باعث تغییر الگوی جریان و در نتیجه کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل واقع در سیلاب‌دشت می‌شود

¹ - Melville

(بصیرت، ۱۳۸۸)، این تحقیقات محدود به آبشکن‌های ساده بوده و تا کنون تحقیقی در خصوص میزان تأثیر احداث آبشکن سرسپری بر آبشستگی تکیه‌گاه پل صورت نپذیرفته است، لذا در پایان‌نامه حاضر به بررسی آزمایشگاهی تأثیر این نوع آبشکن (سرسپری متقارن) بر آبشستگی تکیه‌گاه با دماغه گرد در کانال مرکب پرداخته شده است.

۱-۳ ساختار پایان‌نامه

این تحقیق در پنج فصل به شرح زیر تهیه و تنظیم شده است:

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

فصل دوم شامل کلیاتی در مورد پدیده آبشستگی، انواع شکل‌های تکیه‌گاه پل، معرفی آبشکن‌ها، مکانیزم آبشستگی و الگوی جریان در تکیه‌گاه‌ها و روش‌های مقابله با آبشستگی می‌باشد. در ادامه مروری بر مطالعات صورت گرفته در زمینه آبشستگی و روش‌های کاهش آبشستگی تکیه‌گاه‌ها انجام می‌پذیرد.

در فصل سوم به بیان چگونگی طراحی و ساخت مدل آزمایشگاهی، روش انجام آزمایش‌ها و معرفی آزمایش‌های انجام شده پرداخته می‌شود. فصل سوم با تعیین تعداد آزمایش‌ها و زمان انجام هر آزمایش ادامه یافته و با بیان آنالیز ابعادی و بررسی پارامترهای هیدرولیکی موثر بر آبشستگی در کانال مرکب پایان می‌یابد.

در فصل چهارم به تحلیل داده‌های آزمایشگاهی پرداخته شده و رابطه‌ای برای تعیین عمق کاهش یافته آبشستگی تکیه‌گاه ارائه شده است.

در فصل پنجم خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده از تحلیل آزمایش‌ها به همراه پیشنهاداتی برای رسیدن به نتایج بهتر و جامع‌تر ارائه شده است.

در انتها نیز منابع مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است.

فصل دوم

بررسی کلی پدیده آتشستگی و مروری بر

تحقیقات گذشته

هنگامی که یک سازه در بستر رودخانه قرار می‌گیرد با تغییراتی که در جریان رودخانه ایجاد می‌کند ظرفیت انتقال رسوب جریان را افزایش می‌دهد. این افزایش ظرفیت در نهایت منجر به بروز آبشستگی در اطراف سازه خواهد شد. تکیه‌گاه پل‌ها در سیلاب‌دشت‌ها از جمله سازه‌های مهمی هستند که در مجاورت رودخانه احداث می‌شوند و در هنگام وقوع سیلاب تقریباً همه‌ی عواملی که در به‌وجود آمدن آبشستگی موثرند را دارا می‌باشند. مسئله اصلی آسیب‌پذیری این سازه‌ها آبشستگی موضعی دماغه آن‌ها می‌باشد. با توجه به پیچیدگی و همچنین تأثیر پارامترهای زیاد بر این پدیده، استفاده از روش‌های عددی مشکل می‌باشد. محققان زیادی به طور آزمایشگاهی این پدیده را بررسی کرده‌اند و برای کاهش میزان آبشستگی روش‌های مختلفی ارائه شده است.

۲-۲ تعریف آبشستگی

آبشستگی در حقیقت جابه‌جایی ذرات توسط جریان از محل استقرار اولیه آن‌ها به مکان دیگری است. آبشستگی ممکن است در نتیجه تغییرات طبیعی جریان در آبراهه یا در نتیجه فعالیت‌های انسان مانند ساخت سازه‌ها در مسیر جریان یا برداشت مصالح بستر اتفاق افتد. به طور کلی آبشستگی در اثر اندرکنش نیروهای زیر حاصل می‌شود:

- ۱- نیروی محرک ناشی از جریان که در راستای جدا کردن ذره از بستر عمل می‌کند.
 - ۲- نیروی مقاوم ناشی از اصطکاک ذرات و وزن ذره که در برابر وزن ذره مقاومت کرده و مانع جدایی ذره از بستر می‌شود.
- حرکت یک ذره هنگامی آغاز می‌شود که نیروهای اعمال شده توسط جریان یعنی نیروی رانشی^۱ و بالابرنده^۲ که باعث جدا شدن ذره از بستر می‌شوند، بر نیروی مقاوم ذره غالب شوند (نشریه شماره ۳۱۸ وزارت نیرو، ۱۳۸۹).

¹ - Drag Force

² - Lift Force

۲-۳ انواع آبشستگی

آبشستگی را از جنبه‌های مختلف می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد (صانعی، ۱۳۸۹):

- آبشستگی از نظر علت به وجود آمدن آن، که شامل آبشستگی عمومی، آبشستگی ناشی از تنگ‌شدگی مقطع و آبشستگی موضعی است. از مجموع این سه آبشستگی، عمق آبشستگی کل به دست می‌آید.
- آبشستگی از نظر وضعیت حمل رسوب، که شامل آبشستگی در حالت آب زلال و آبشستگی در حالت آب حاوی رسوب است.
- آبشستگی از نظر وضعیت ذرات رسوب در حفره آبشستگی، که شامل آبشستگی استاتیکی و دینامیکی می‌شود.

۲-۳-۱ آبشستگی عمومی^۱

این آبشستگی زمانی رخ می‌دهد که جریان در بازه‌ای از رودخانه قادر باشد ذرات بستر را در طول مسیر جابه‌جا و با خود حمل کند که باعث کاهش تراز بستر رودخانه در همان بازه می‌شود. آبشستگی عمومی صرف نظر از نوع سازه و در نتیجه وجود جریان در رودخانه اتفاق می‌افتد (صانعی، ۱۳۸۹).

آبشستگی عمومی شامل موارد زیر می‌شود:

- پایین افتادگی تراز رودخانه
- مهاجرت جانبی رودخانه (جابه‌جایی رودخانه در پلان)
- آبشستگی در قوس رودخانه‌ها و پیچان‌رودها
- آبشستگی در محل اتصال رودخانه‌ها و انشعابات

¹ - General Scour

پدیده‌های فوق به طور مستقیم به مشخصات حوضه آبریز و شکل رودخانه وابسته‌اند (نشریه شماره ۳۱۸ وزارت نیرو، ۱۳۸۹).

۲-۳-۲ آبشستگی موضعی^۱

آبشستگی موضعی بر اثر ایجاد موانعی مانند پایه‌های پل، تکیه‌گاه‌های کناری و آبشکن‌ها در مسیر جریان و در اطراف این موانع رخ می‌دهد. این موانع می‌توانند سرعت موضعی جریان و آشفتگی آن را افزایش دهند و بسته به شکل سازه گردابه‌هایی ایجاد نمایند که نیروهای فرسایشی اضافی را بر بستر اطراف سازه اعمال نمایند. در نتیجه، نرخ حرکت رسوب و فرسایش به صورت موضعی در حوالی این سازه‌ها افزایش می‌یابد و منجر به پایین رفتن موضعی بستر نسبت به تراز عمومی بستر آبراهه می‌گردد.

سیستم گردابی ایجاد شده ممکن است ترکیبی از یک یا چند نوع از سیستم‌های زیر باشد (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷):

۱. سیستم گردابی رو به پایین^۲

۲. سیستم گردابی نعل اسبی^۳

۳. سیستم گردابی شکاری یا برخاستگی^۴

۴. سیستم گردابی دنباله دار^۵

۵. سیستم گردابی موج کمانی^۶

دو عامل مهم باعث ایجاد چنین سیستم‌هایی می‌شود، یکی برخورد جریان به تکیه‌گاه و دیگری جدا شدن جریان از تکیه‌گاه پل می‌باشد. الگوی جریانی که در اطراف تکیه‌گاه پل شکل می‌گیرد به طور مستقیم یا غیرمستقیم با یکی از این دو عامل در ارتباط می‌باشد.

¹ - Local Scour

² - Down Flow

³ - Horseshoe Vortex

⁴ - Wake Vortex

⁵ - Trailing Vortex

⁶ - Down Wave

پس از برخورد جریان آب به مانع که می‌تواند تکیه‌گاه کناری، پایه پل و یا آبشکن باشد، روی سازه به تناسب سرعت جریان، فشار ایجاد می‌شود و به دلیل توزیع سرعت عمودی جریان که سرعت از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود، فشار دینامیکی بیشتری نیز در ترازهای بالاتر به پایه وارد شده که باعث به وجود آمدن گرادیان فشار روی پایه از بالا به پایین می‌شود. این گرادیان فشار باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در جلوی سازه می‌شود.

همچنین در رودخانه، سرعت در سطح آب حداکثر نمی‌باشد، بلکه حداکثر آن کمی پایین‌تر از سطح آب به وجود می‌آید. در نتیجه در این قسمت نیز یک توزیع سرعت و به تبع آن توزیع فشار ایجاد می‌شود که باعث حرکت آب رو به بالا شده و در سطح آب در بالای مانع، موجی به نام موج کمائی ایجاد می‌شود.

سرعت جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود. مقداری از جریان که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد با جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و دوباره با سازه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن در داخل حفره کنده شده، گردابی تشکیل می‌دهد که به تدریج در اطراف سازه، امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب پدید می‌آورد که به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آبشستگی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین‌دست حمل می‌شوند (نشریه شماره ۳۱۸ وزارت نیرو، ۱۳۸۹). به نظر کلیه محققین، مهم‌ترین عامل ایجاد حفره آبشستگی در جلوی تکیه‌گاه و پایه پل، گرداب نعل اسبی می‌باشد. با عمیق شدن حفره و اضافه شدن حجم آب داخل حفره این گرداب ضعیف شده و از تنش‌های وارده به کف کاسته می‌شود (بصیرت و همکاران، ۱۳۸۸).

هنگام جدا شدن جریان از انتهای دماغه تکیه‌گاه به دلیل کاهش فشار در پشت دماغه، جریان به پشت تکیه‌گاه منحرف شده و باعث ایجاد گردابی می‌شود که به آن گرداب برخاستگی گویند. این گرداب با محور عمودی و مرکز کم فشار مانند یک گردباد، رسوبات بعد از دماغه را به سمت بالا

مکیده، و پس از جدا کردن رسوبات از کف، آن‌ها را در اختیار جریان عمومی گذاشته تا به پایین دست حمل شوند. این گرداب در نزدیکی کف با دنباله گرداب نعل اسبی که در حال نوسان عمودی و افقی می باشد اندرکنش دارد. هنگامی که ابعاد مانع جریان (پایه پل یا تکیه گاه)، بزرگ باشد یا سرعت جریان زیاد باشد این گرداب اهمیت بیشتری پیدا می کند (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۳-۳ آبشستگی ناشی از تنگ شدگی مقطع^۱

وجود تنگ شدگی مقطع در مسیر جریان باعث افزایش سرعت جریان و بالا رفتن قدرت فرسایشی جریان در این محل می شود. آبشستگی در این حالت را آبشستگی ناشی از تنگ شدگی مقطع می نامند. آبشستگی ناشی از تنگ شدگی به طور معمول نتیجه محدود کردن عرض رودخانه می باشد. به عنوان مثال تکیه گاه های کناری و پایه های پل که در وسط آبراهه احداث می گردند، باعث کاهش عرض مجرا و در نتیجه آبشستگی می شوند (نشریه شماره ۳۱۸ وزارت نیرو، ۱۳۸۹).

۲-۳-۴ آبشستگی کل

عمق آبشستگی کل مرتبط با یک سازه مشخص، از مجموع سه آبشستگی زیر به دست می آید:

– آبشستگی عمومی

– آبشستگی ناشی از تنگ شدگی

– آبشستگی موضعی

۲-۴ مراحل توسعه آبشستگی

بر اساس مطالعاتی که توسط محققینی نظیر بروسز (۱۹۹۶)، دیتز (۱۹۶۹) و زنک (۱۹۷۸) انجام

گرفته است، پدیده آبشستگی به طور کلی دارای چهار مرحله زیر است:

– مرحله ابتدایی^۲

^۱ - Contraction Scour

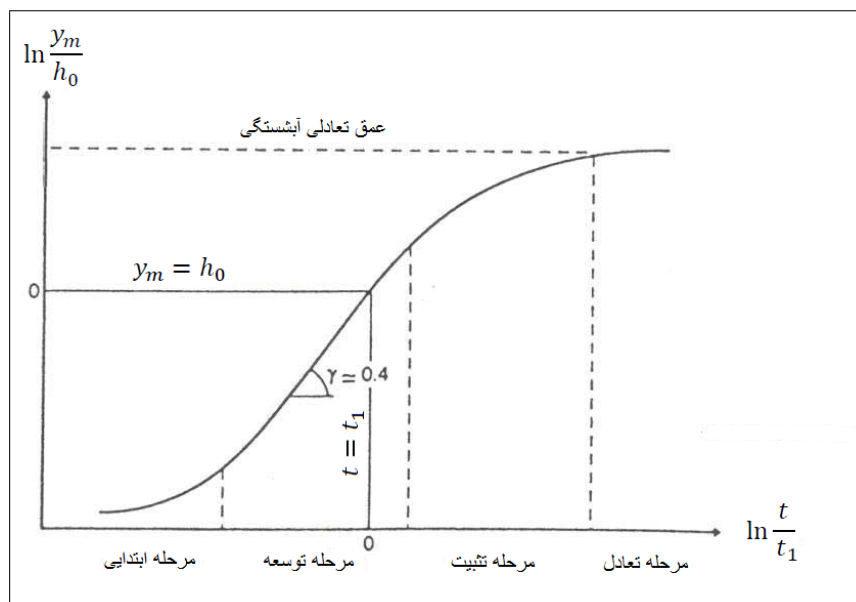
^۲ - Initial Phase

- مرحله توسعه^۱

- مرحله تثبیت^۲

- مرحله تعادل^۳

مرحله ابتدایی، ظرفیت آبشستگی بالایی داشته و حفره آبشستگی در این مرحله آغاز می‌شود. در مرحله توسعه، عمق و ابعاد حفره آبشستگی گسترش می‌یابد. در مرحله تثبیت، روند تغییرات نیمرخ بستر کاهش می‌یابد و در این مرحله، تغییرات محسوسی در دیواره پایین‌دست حفره آبشستگی رخ می‌دهد. در مرحله چهارم که مرحله تعادل است تنها حرکت ذرات ممکن است درون حفره آبشستگی صورت گیرد به طوری که ذراتی که حرکت غلطشی دارند از درون حفره آبشستگی خارج نمی‌شوند. در این مرحله با توجه به شرایط جریان، ممکن است حتی جابجایی ذرات نیز متوقف شود. مراحل آبشستگی در شکل (۱-۲) نشان داده شده است (نشریه شماره ۵۴۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۰).



شکل (۱-۲) - مراحل توسعه آبشستگی

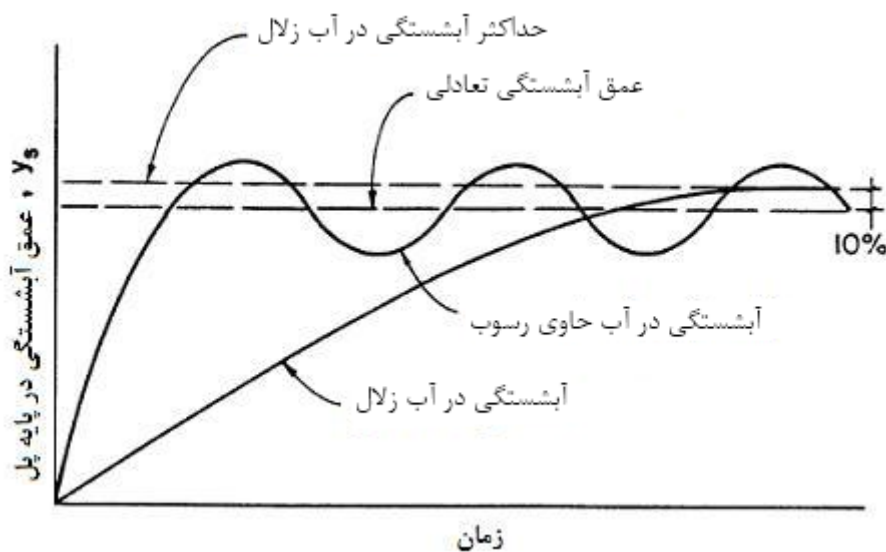
¹ - Development Phase

² - Stabilization Phase

³ - Equilibrium Phase

۵-۲ آبشستگی در حالت آب زلال^۱ و بستر متحرک^۲

اصطلاح آبشستگی در آب زلال به شرایطی اطلاق می‌گردد که مواد بستر در بالادست محدوده آبشستگی در جای خود ثابت و به آستانه حرکت نرسیده باشند. به عبارت دیگر جریان ورودی از بالادست حاوی رسوب نباشد. در شرایط بستر متحرک، شرایط انتقال رسوب از بالادست فراهم بوده و در نتیجه جریان ورودی از بالادست حاوی رسوب است. بخشی از این رسوبات وارد حفره‌ی آبشستگی می‌شوند و در نتیجه عمق آبشستگی نسبت به زمان کم و زیاد می‌شود (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷). همان‌طور که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است در جریان‌های حاوی رسوب عمق آبشستگی حول یک مقدار میانگین (تعادلی) نوسان می‌نماید (نشریه شماره ۵۴۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۰).



شکل (۲-۲) - تغییرات عمق آبشستگی با زمان در شرایط آب زلال و گل‌آلود

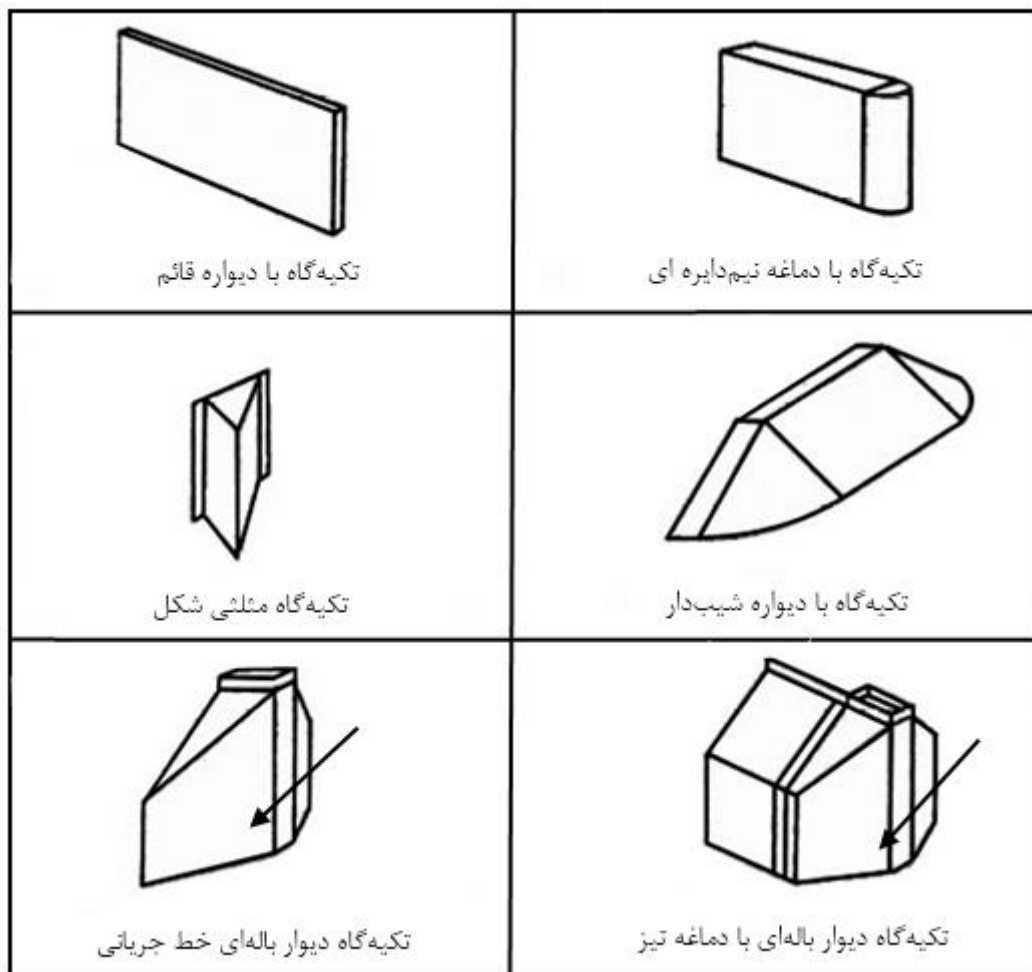
اگر u سرعت متوسط جریان و u_c سرعت بحرانی در آستانه حرکت رسوبات باشد، آبشستگی موضعی برای رسوبات یکنواخت در شرایط آب زلال در حالت $u/u_c < 1$ و در شرایط حمل رسوب در $u/u_c > 1$ و مقدار حداکثر عمق آبشستگی در $u/u_c = 1$ رخ می‌دهد (کوتیاری و همکاران، ۱۹۹۲).

¹ - Clear Water

² - Live Bed

۲-۶ تکیه‌گاه‌ها

تکیه‌گاه‌های پل یا کوله‌های پل، پایه‌های پل چسبیده به ساحل رودخانه می‌باشند. معمولاً می‌توان بین تکیه‌گاه‌های با شکل خطوط جریانی^۱ و تکیه‌گاه‌های با دماغه تیز^۲ تفاوت قائل شد. انواع شکل‌های دماغه تکیه‌گاه، از قبیل دیوار باله‌ای، دیوار شیب‌دار و دیوار قائم در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳) - انواع شکل‌های دماغه تکیه‌گاه

^۱ - Stream Lined

^۲ - Blunt

۷-۲ الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه‌ها

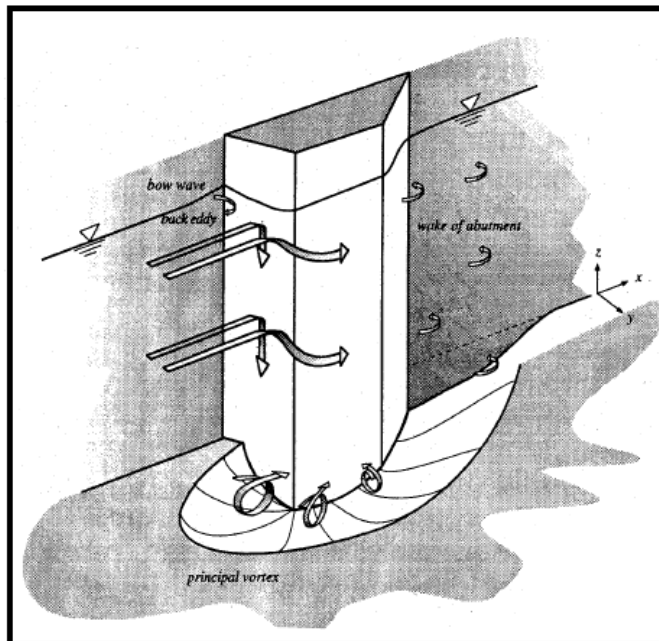
تکیه‌گاه پل بخشی از مقطع رودخانه را محدود می‌کند و بر روی ساختار حرکتی جریان در مجاورت آن تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. سرعت متوسط و دبی در واحد عرض در محل سازه افزایش می‌یابد و باعث آشفتگی بیشتر جریان در اطراف سازه می‌شود. الگوی جریان در اطراف سازه و شکل‌گیری گردابه‌ها بر روی مصالح بستر، دلایل اصلی آبستگي اطراف تکیه‌گاه پل می‌باشند.

در اثر برخورد جریان بالادست به دیواره سازه، جریانی به وجود آمده که در اثر ترکیب جریان با جریان اصلی یک جریان چرخشی نیمه نعل اسبی نسبتاً بزرگ با محور افقی در اطراف تکیه‌گاه به وجود می‌آورد. در پایین‌دست تکیه‌گاه، جریان‌های چرخشی با محور قائم که به گرداب‌های ون کارمن^۱ معروف هستند ایجاد می‌شوند. این سیستم چرخشی به وسیله چرخش لایه‌های برشی بین جریان اصلی و یک گرداب با محور قائم ایجاد می‌شود. گرداب‌های ون کارمن با مکیدن رسوبات به درون حفره‌های کم فشار، مشابه گردباد عمل می‌کنند. ساختار حرکتی جریان در اطراف تکیه‌گاه‌ها به میزان زیادی تحت تأثیر طول نسبی آن‌ها، شکل (خصوصاً شکل دماغه و پهلوها) و محل قرارگیری آن‌ها می‌باشد.

هنگامی که جریان به یک تکیه‌گاه قرار گرفته در مسیر رودخانه می‌رسد، الگوی جریان به دلیل کاهش عرض مقطع تغییر می‌کند و در نتیجه آن توزیع تنش برشی در اطراف تکیه‌گاه دست‌خوش تغییر می‌شود. میدان جریان در اطراف تکیه‌گاه به دو ناحیه تقسیم می‌شود. در ناحیه اول از بالادست تا مقطعی که بیشترین تنگ‌شدگی را دارد، جریان دارای یک شتاب تند شونده می‌باشد و در ناحیه دوم از مقطعی که بیشترین تنگ‌شدگی را دارد تا پایین‌دست، جریان با یک شتاب کند شونده دنبال می‌شود و نقطه جدایی جریان در رأس تکیه‌گاه قرار دارد. در پایین‌دست تکیه‌گاه جریان اصلی از یک گردابه‌ی بزرگ به وسیله‌ی یک مسیر گردابه‌ای جدا شده و نقطه‌ی اتصال مجدد جریان نرمال، برقرار

¹ - Von Karmen

می‌شود. شکل (۲-۶) الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل را نشان می‌دهد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه شماره ۵۴۹).



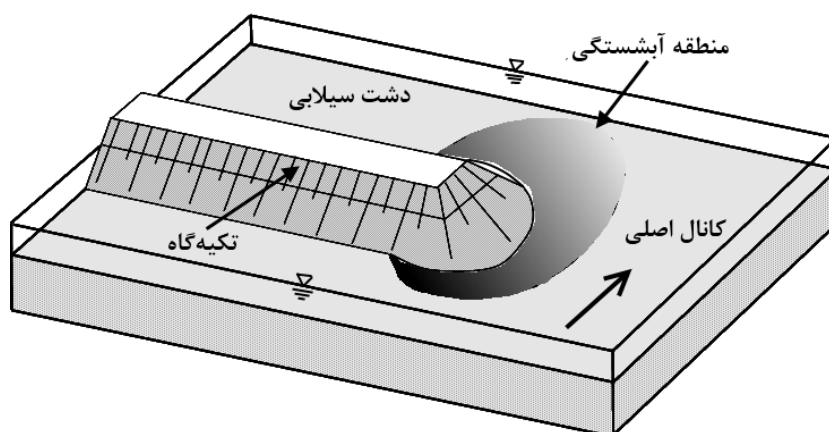
شکل (۲-۴) - الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه

۲-۸ انواع آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها بر اساس محل حفره

انواع آبشستگی تکیه‌گاه را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

نوع ۱: تکیه‌گاه در یک کانال (بدون سیلاب‌دشت) قرار دارد.

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

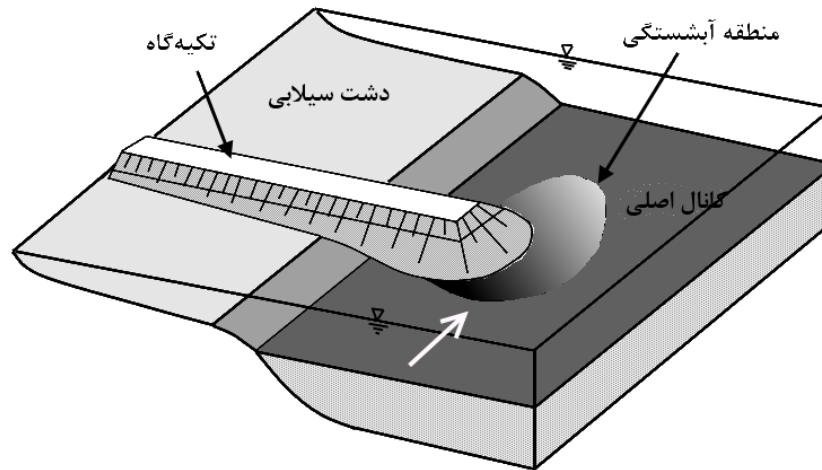


شکل (۲-۵) - تکیه‌گاه نوع ۱-الف - آبشستگی تکیه‌گاه در کانال اصلی بدون سیلاب‌دشت

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

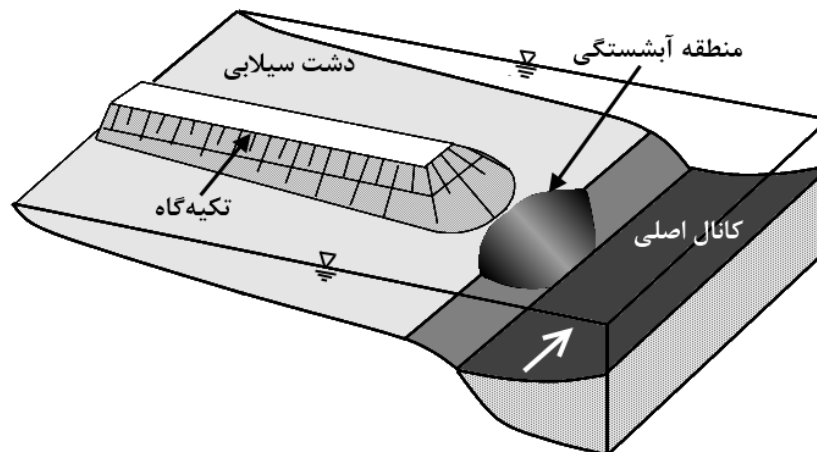
نوع ۲: تکیه‌گاه با طول‌های مختلف در سیلاب‌دشت قرار دارد.

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



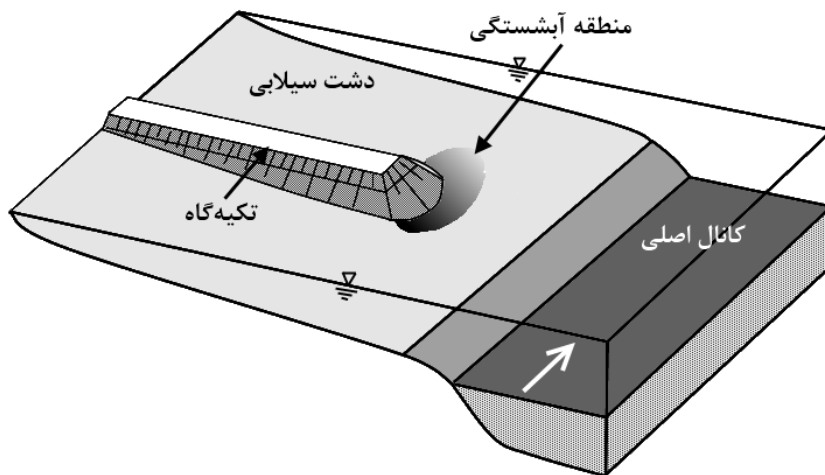
شکل (۲-۶) - تکیه‌گاه نوع ۲-الف - تکیه‌گاه امتداد یافته به درون کانال اصلی

۲-ب: تکیه‌گاه در معرض خطر شکست ساحل کانال اصلی که منتج از آبشستگی است، می‌باشد.



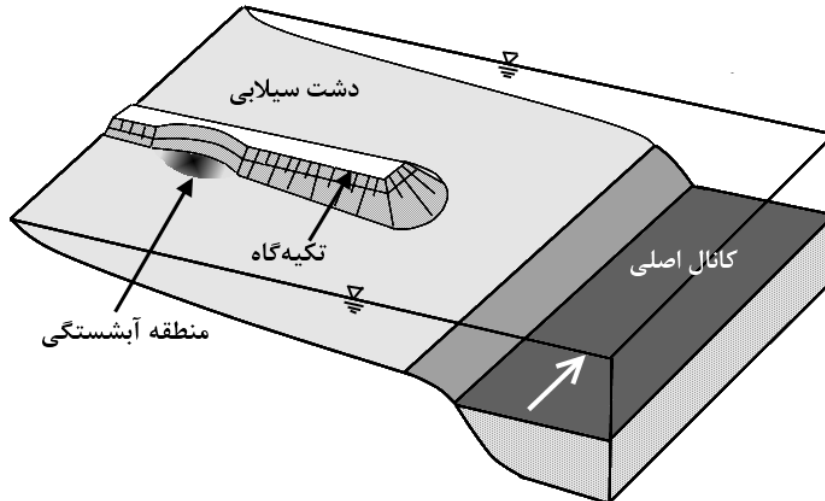
شکل (۲-۷) - تکیه‌گاه نوع ۲-ب - تکیه‌گاه نزدیک لبه کانال اصلی

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



شکل (۸-۲) - تکیه‌گاه نوع ۲-پ- تکیه‌گاه و حفره آبشستگی در سیلاب‌دشت

۲-ت: تکیه‌گاه در معرض فرسایش ساحلی قرار دارد. این حالت در شرایط که بدنه تکیه‌گاه از مصالح فرسایش‌پذیر باشد ایجاد می‌شود.



شکل (۹-۲) - تکیه‌گاه نوع ۲-ت- آبشستگی کناره تکیه‌گاه و سیلاب‌دشت

۹-۲ روش‌های بررسی آبشستگی تکیه‌گاه

عمق نهایی آبشستگی ایجاد شده در مجاورت یک تکیه‌گاه پل برابر مجموع عمق‌های فرسایش ناشی از آبشستگی عمومی، تنگ شدگی و موضعی می‌باشد. تخمین عمق آبشستگی عمومی کار

ساده‌ای نیست زیرا این نوع فرسایش بر اثر سیلاب به وجود می‌آید و میزان آن به شدت و بزرگی سیلاب مربوطه بستگی دارد. روابط پیشنهاد شده در این زمینه اکثراً میزان فرسایش موضعی در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل‌ها را با دقت زیاد بیان می‌کند.

به طور کلی چهار روش برای تعیین و تخمین عمق آبشستگی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در زیر شرح داده می‌شود.

۲-۹-۱ رفتارنگاری آبشستگی

این روش بر اساس استفاده از وسایل ویژه و مجهز به منظور رفتارنگاری آبشستگی ایجاد شده در محل تکیه‌گاه و پایه قرار گرفته در معرض آبشستگی استوار است. این روش، روش دقیقی است که بیشتر برای پل‌های ساخته شده مناسب می‌باشد. تا بدین طریق مشکلات موجود شناسایی شده و طرح مورد نظر در برابر تهدیدهای ناشی از آبشستگی، محافظت یا تقویت گردد. نتایج این روش همچنین می‌تواند برای طراحی و اجرای پل‌های مشابه که در شرایط مشابه ساخته خواهند شد مورد استفاده قرار گیرند. این روش به علت به کارگیری دستگاه‌های پیشرفته و مجهز که بتواند در زیر آب عمل رفتارنگاری را با دقت انجام دهند، بسیار گران و پرهزینه می‌باشد.

۲-۹-۲ مدل‌سازی فیزیکی

با استفاده از این روش می‌توان رفتار آبشستگی را هم برای پل‌های در دست احداث و هم برای پل‌های ساخته شده بررسی نمود. این روش هزینه‌های قابل توجه برای تهیه مدل آزمایشی پل مورد بررسی به همراه داشته و همچنین مشکلات مربوط به تطبیق شرایط واقعی با مدل را نیز دارد. در هر صورت این روش به علت مشاهده‌ای بودن و دقت قابل قبول نتایج آن، راه حل خوبی جهت بررسی رفتار آبشستگی می‌باشد.

۳-۹-۲ مدل سازی عددی و کامپیوتری

استفاده از مدل های عددی و کامپیوتری روشی نسبتا دقیق و سریع برای تعیین عمق آبشستگی می باشد. این روش اساسا مبتنی بر تئوریه ها و روابط ریاضی بوده، به طوری که در ابتدا با استفاده از روابط مربوط به فرسایش بستر رودخانه و تئوری های ارایه شده در رابطه با هیدرولیک پل ها و آبشستگی آن ها، یک مدل عددی تهیه می گردد. پس از این مرحله و با توجه به مدل عددی تهیه شده، برای پل مورد نظر یک مدل کامپیوتری که قابل انطباق با شرایط و حالات مختلف باشد، ساخته می شود.

۴-۹-۲ کاربرد روابط تحلیلی - تجربی

استفاده از روش تحلیلی - تجربی ساده ترین، سریع ترین و ارزانه ترین روش برای تخمین آبشستگی می باشد. هر چند که دقت این روش از دیگر روش ها کمتر است. اساس این روش بر استفاده از روابط تحلیلی - تجربی که توسط محققین در طول سالیان زیاد به دست آمده استوار می باشد. در واقع این روابط، برازش نتایج تعداد زیادی تحقیقات آزمایشگاهی و مطالعات موردی بر روی پل های ساخته شده است (نشریه شماره ۳۰۲ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۴).

۱۰-۲ پارامترهای موثر بر آبشستگی تکیه گاه

پارامترهای موثر بر پدیده آبشستگی تکیه گاه به صورت زیر تقسیم بندی می شوند:

- عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض، شکل سطح مقطع و شیب
- عوامل مربوط به هندسه تکیه گاه: 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 دانه بندی، چگالی، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی
- عوامل مربوط به خواص سیال: دانسیته، ویسکوزیته، شتاب ثقل و درجه حرارت

➤ عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت متوسط جریان، سرعت متوسط جریان،

عمق جریان، سرعت برشی و زبری.

زمان آبشستگی نیز عامل دیگری است که برای تخمین حفره آبشستگی باید در نظر گرفته شود.

۱۱-۲ روش‌های کاهش آبشستگی تکیه‌گاه

روش‌های زیادی برای کاهش میزان آبشستگی و مهار آن مورد استفاده قرار گرفته است این

روش‌ها به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند:

۱- افزایش مقاومت بستر با ریختن ریپرپ^۱ و یا مصالح مقاوم دیگر در اطراف تکیه‌گاه

۲- تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل با تغییر در هندسه تکیه‌گاه و ایجاد موانع در مسیر

از جمله روش‌هایی که برای تغییر در الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه بکار برده می‌شود احداث

آبشکن در بالادست تکیه‌گاه می‌باشد. در ادامه به معرفی انواع آبشکن و کاربرد آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱۲-۲ آبشکن‌ها

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که به صورت عرضی از ساحل رودخانه بطرف محور آن و با زوایای

مختلف نسبت به کناره رودخانه برای انحراف آب از نقاط بحرانی، جلوگیری از فرسایش ساحل، تولید

آبراهه‌ای مناسب و کنترل آبشستگی احداث می‌شوند (مسجدی و همکاران، ۱۳۸۸).

۱۳-۲ انواع آبشکن

آبشکن‌ها از لحاظ ساختمان، شکل ظاهر و نحوه تأثیر گذاری بر جریان رودخانه دارای انواع

مختلفی هستند، معمولاً آبشکن‌ها را بر اساس چهار ویژگی زیر طبقه‌بندی می‌کنند (نشریه شماره

۴۱۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۷):

– شکل دماغه آبشکن

¹ - Riprap

- زاویه قرار گیری آبشکن نسبت به امتداد جریان

- نفوذ پذیری آبشکن

- استغراق آبشکن

۲-۱۳-۱ انواع آبشکن از نظر شکل دماغه

۲-۱۳-۱-۱ آبشکن تیغه‌ای

آبشکن‌های ساده‌ای هستند که با زاویه θ نسبت به ساحل رودخانه ایجاد می‌شوند. دماغه انتهایی این آبشکن‌ها جهت کاهش آبشستگی موضعی معمولاً به صورت گرد می‌باشد. در بسیاری از موارد زاویه θ برابر ۹۰ درجه انتخاب می‌شود.

۲-۱۳-۱-۲ آبشکن سرکج

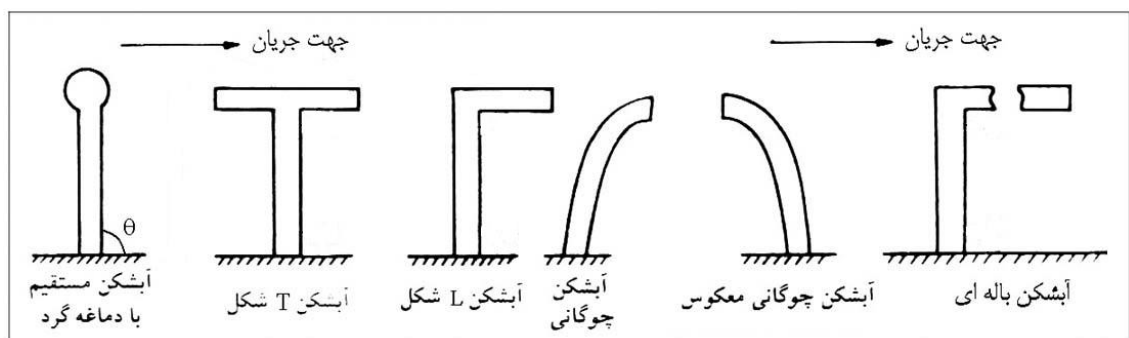
این نوع آبشکن دارای یک زبانه بوده و بصورت L شکل می‌باشد. وجود زبانه در این آبشکن‌ها موجب رسوبگذاری بیشتر در بین آبشکن‌ها و کاهش میزان آبشستگی موضعی می‌شود. به‌علاوه حفاظت کناره رودخانه توسط این آبشکن‌ها به خوبی صورت می‌گیرد و گسترش گودال آبشستگی در دماغه آن‌ها نیز خفیف‌تر است.

۲-۱۳-۱-۳ آبشکن سرخم (چوگانی)

این گونه آبشکن‌ها شباهت زیادی به آبشکن‌های سرکج داشته با این تفاوت که زائده دماغه آن‌ها قوسی شکل می‌باشد. قسمت محدب قوس می‌تواند به سمت ساحل بالا و یا ساحل پایین متمایل باشد که به حالت دوم، سرخم برگشته (چوگانی معکوس) نیز گفته می‌شود (نشریه شماره ۴۱۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۷).

۲-۱۳-۴ آبشکن سرسپری

این نوع آبشکن‌ها دارای دو زبانه به سمت بالادست و پایین‌دست بوده و بصورت T شکل می‌باشند. آبشکن T شکل یا سرسپری نقش موثری در کنترل مرز ساحلی و هدایت جریان به سمت مجرای اصلی داشته و نیز از جمله آبشکن‌هایی است که در شرایط یکسان هیدرولیکی از عمق آبستگي نسبی کمتری نسبت به بقیه آبشکن‌ها برخوردار است (مختاری و همکاران، ۱۳۹۰). در بعضی از موارد کاربرد این نوع از آبشکن، مشاهده شده که دماغه دچار شکستگی و در نتیجه فرسایش زیادی در نزدیک دیواره رخ داده و جزیره‌ای در وسط رودخانه نیز ایجاد نموده است. در شکل (۲-۱۰) تقسیم‌بندی آبشکن‌ها بر اساس شکل هندسی آن‌ها نشان داده شده است (نشریه شماره ۴۱۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۷).



شکل (۲-۱۰) - انواع شکل‌های هندسی آبشکن

۲-۱۳-۲ انواع آبشکن از نظر نفوذپذیری

بر اساس اهدافی که از احداث آبشکن‌ها در شرایط خاص وجود دارد و به لحاظ نوع مواد مصرفی در آن‌ها، این سازه‌ها به دو دسته‌ی نفوذپذیر یا نفوذناپذیر تقسیم می‌شوند. آبشکن‌های نفوذناپذیر یا صلب از نظر نوع مصالح و ساختار، قابلیت آبگذری جریان اصلی رودخانه را نداشته و با انحراف مسیر آب از دیواره‌ها به میانه رودخانه باعث توسعه جریان گردابی در کناره‌ها می‌گردند. از این رو آبشکن‌های

نفوذناپذیر در گروه سازه‌های انحراف‌دهنده به شمار می‌آیند. در آبشکن‌های نفوذپذیر جریان‌های گردابی به گونه‌ای که در آبشکن‌های صلب متداول است مشاهده نمی‌گردد. آبشکن‌های نفوذپذیر همچنین به دلیل نداشتن بدنه صلب در مقابل تغییر شکل‌های محدود به صورت انعطاف‌پذیرتر عمل می‌کنند (نشریه شماره ۵۱۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۸).

۲-۱۳-۳ انواع آبشکن از نظر استغراق

آبشکن‌ها بر اساس اهداف و شرایط رودخانه، ممکن است به صورت مستغرق یا غیر مستغرق باشند. معمولاً آبشکن‌های نفوذناپذیر را به صورت غیرمستغرق طراحی می‌کنند زیرا عبور جریان از روی این نوع سازه منجر به فرسایش شدید تاج و تخریب احتمالی بدنه آبشکن می‌گردد. در مقایسه، آبشکن‌های نفوذپذیر چون تأثیر کمتری بر جریان عمومی رودخانه دارند، ممکن است به صورت مستغرق طراحی گردند (یاسی و کلر، ۱۹۹۸).

۲-۱۳-۴ انواع آبشکن از نظر قرارگیری نسبت به راستای عمومی جریان

آبشکن‌ها بر حسب حالت قرارگیری نسبت به امتداد جریان و تأثیر آن‌ها بر جریان رودخانه به سه گروه آبشکن‌های جذبی، آبشکن‌های دفعی و آبشکن‌های عمودی تقسیم می‌گردند. آبشکن‌های جذبی به سمت پایین‌دست جریان رودخانه متمایل بوده، جریان را به سمت خود جذب نموده و مانع از انحراف جریان به سمت دیواره مقابل می‌شوند. از سوی دیگر، این نوع تأثیر کمتری در حفاظت دیواره سمت آبشکن داشته و ممکن است باعث حمله جریان به سمت دیواره پایین‌دست و یا ریشه آبشکن پایین‌دست گردد. آبشکن‌های عمودی، عمود بر راستای عمومی جریان رودخانه یا دیواره‌ها احداث شده، سبب تغییر جهت جریان از سمت کناره رودخانه گردیده و در عین حال مانع از انحراف شدید جریان به سمت دیواره مقابل می‌شوند. در آبشکن‌های دفعی، محور آبشکن به سمت بالادست جریان رودخانه متمایل دارد. در این حالت غالباً جریان آب از محدوده آبشکن به سمت ساحل مقابل رانده شده و آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

ساخت تکیه‌گاه‌های پل و آبشکن‌ها اهداف متفاوتی دارد. اما به علت مشابه بودن شکل ظاهری و نیز تشابه مکانیسم آبشستگی اطراف تکیه‌گاه‌ها و آبشکن‌های بسته (نفوذ ناپذیر)، آبشستگی در اطراف این سازه‌ها با هم مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. با این حال این سازه‌ها تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند، از جمله این‌که تکیه‌گاه‌ها معمولاً بتنی هستند، در صورتی که آبشکن‌ها بیشتر از مصالح رودخانه‌ای، توری سنگی و یا شمع کوبی ساخته می‌شوند. تکیه‌گاه‌ها معمولاً منفرد و در دو طرف رودخانه ساخته می‌شوند، اما آبشکن‌ها، بسته به هدف ساخت، در یک سمت رودخانه، در دو سمت رودخانه، به صورت ردیفی با طول‌ها و فواصل مختلف ساخته می‌شوند (نشریه شماره ۵۱۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۸).

۲-۱۴ بر تحقیقات انجام شده در زمینه آبشستگی تکیه‌گاه پل

از اواخر دهه ۵۰ میلادی مطالعات زیادی در زمینه آبشستگی موضعی اطراف آبشکن‌ها 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 (بصیرت، ۱۳۸۸).

۲-۱۴-۱ تعیین پارامترهای موثر بر آبشستگی تکیه‌گاه پل

مطالعات پایه آبشستگی، به مطالعاتی مربوط می‌شود که با استفاده از تئوری باکینگهام و علل فیزیکی پارامترهای موثر در عمق آبشستگی تکیه‌گاه را به اشکال بی بعد ترکیب کرده‌اند. گارده^۱ و همکاران (۱۹۶۱)، عوامل بی‌بعد را برای آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها و آبشکن‌ها به صورت زیر ارائه داده‌اند:

$$\frac{(d_s + y_1)}{y_1} = f(\alpha, \theta_a, F_1, C_D) \quad (۲-۱)$$

^۱ - Garde

$$\alpha \quad C_D = \frac{4\Delta g d}{(3\rho\omega_s^2)} \quad (2-2)$$

نسب

$$ت \quad \Delta = s - 1 \quad (3-2)$$

$$تنگ \quad s = \rho_s / \rho \quad (4-2)$$

شد

گی عرض آبراهه، θ_a زاویه‌ای که آبشکن با جریان اصلی می‌سازد، F_1 عدد فرود جریان، g شتاب ثقل، d قطر ذرات، ρ دانسیته سیال، ρ_s دانسیته رسوب و ω_s سرعت سقوط ذره می‌باشد.

ملویل^۱ (۱۹۹۲)، با صرف نظر از اثر ویسکوزیته، رابطه بی‌بعد زیر را ارائه داد:

$$\frac{d_s}{L} = f\left(\frac{u^2}{gd}, \frac{h}{L}, \frac{d}{L}, \sigma_g, K_S, K_\theta, K_G\right), \quad \sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)^{0.5} \quad (5-2)$$

u سرعت متوسط جریان، L طول تکیه‌گاه، K_S, K_θ, K_G به‌ترتیب ضرایب مربوط به شکل، زاویه قرارگیری و هندسه آبشکن هستند.

استرم و جانجوا^۲ (۱۹۹۴)، نسبت دبی در مقطع سیلاب‌دشت را به جای نسبت عرض کانال، در تحلیل آبشستگی در تکیه‌گاه با دیوار عمودی مورد استفاده قرار دادند. آنان رابطه بی‌بعد زیر را پیشنهاد داده‌اند:

$$\frac{d_s}{h} = f(F_1, Fr_c, M) \quad (6-2)$$

$$Fr_c = u_c / (gh)^{0.5} \quad (7-2)$$

M نسبت دبی در مقطع سیلاب‌دشت به دبی کل کانال است.

¹ - Melvill

² - Sturm & Janjua

۲-۱۴-۲ تغییرات زمانی آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها

تغییرات زمانی آبشستگی توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است، با این حال برای تخمین عمق آبشستگی با زمان، معادلات محدودی موجود است.

موسسه هیدرولیک دانشگاه آیووا^۱ (۱۹۹۸)، رابطه زیر را برای به‌دست آوردن تغییرات زمانی عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پیشنهاد داده است، این رابطه برای تمام مراحل آبشستگی (مرحله ابتدایی، توسعه، تثبیت و تعادل) معتبر است:

$$\frac{d_{st}}{d_s} = 1 - e^{\ln\left(1 - \frac{y}{y_s}\right)\left(\frac{t}{t_1}\right)^\gamma} \quad (۸-۲)$$

t : زمان بر حسب ثانیه

t₁ : زمان مشخصه بر حسب ثانیه هنگامی که d_{st} = y₁

d_{st} : عمق آبشستگی در زمان t

d_s : حداکثر عمق آبشستگی

γ : ضریب ثابت برابر ۰/۴ می‌باشد.

تغییرات عمق آبشستگی در مرحله توسعه آبشستگی (زمانیکه t < t₁) توسط بروسز^۲ (۱۹۶۶)، به صورت زیر ارائه شده است:

$$\frac{d_{st}}{y_1} = \left(\frac{t}{t_1}\right)^\gamma \quad (۹-۲)$$

بروسز با استفاده از آزمایش‌های متعدد، رابطه زیر را برای محاسبه زمان مشخصه t₁ به‌دست آورده است:

$$t_1 = \frac{K(y_1)^2(s-1)^{1.7}}{(\alpha u - u_c)^{4.3}} \quad (۱۰-۲)$$

^۱ - Iowa Institute of Hydraulic Research

^۲ - Breusers

ضریب K برابر با ۳۳۰، t_1 زمان مشخصه، u_c سرعت بحرانی آستانه حرکت ذرات بستر، u سرعت متوسط، α ضریب وابسته سرعت جریان و شدت آشفتگی، S چگالی نسبی رسوبات بستر ($s = \rho_s/\rho$)، ρ_s چگالی رسوبات بستر و ρ چگالی آب می‌باشد.

برای تکیه‌گاه‌ها، پارامتر α بستگی به نسبت تنگ‌شدگی مقطع دارد. مقادیر α توسط وان‌دروال^۱ (۱۹۹۱)، برای تکیه‌گاه‌های با دیوار قائم و تکیه‌گاه‌های باله‌ای در جدول (۱-۲) ارائه شده است.

جدول ۱-۲- پارامتر α برای تکیه‌گاه‌های با دیواره قائم و باله‌ای

نوع تکیه‌گاه	b/y_1	α
تکیه‌گاه‌های با دیوار قائم	$1 - 7/5$	$4 - 9$
تکیه‌گاه‌های باله‌ای	$1 - 3$	$2 - 7$

کاردوزو و بتس^۲ (۱۹۹۹)، تخمین زمانی عمق آبشستگی در تکیه‌گاه عمودی درون کانال‌های مرکب با جریان یکنواخت دائمی را بررسی کرده‌اند. رابطه پیشنهادی ایشان به شرح زیر است (نقل از صانعی، ۱۳۸۶):

$$\frac{d_{st}}{d_s} = 1 - \exp\left(-1.025\left(t/T^*\right)^{0.35}\right) \quad (11-2)$$

که d_{st} عمق آبشستگی در زمان t ، d_s عمق حداکثر آبشستگی و T^* برابر با زمانی است که 0.623 عمق حداکثر آبشستگی رخ داده باشد.

کلهی و هگر^۳ (۲۰۰۱)، آزمایش‌هایی برای مطالعه اثر زمان آزمایش بر عمق آبشستگی در تکیه‌گاه عمودی واقع در دشت سیلابی انجام دادند و عدد فرود ذرات بستر را بر عمق آبشستگی موثر دانستند. آن‌ها تابعی لگاریتمی از تغییرات زمانی عمق آبشستگی پیشنهاد کردند.

¹ - Vander Meullen

² - Cardoso & Bettess

³ - Koli & Hager

$$d_{st} = \left(\frac{F_d^2}{10}\right) \left(\frac{y_1 l}{\cos \theta_a}\right)^{0.5} \log \left[\frac{t(\Delta g d_{50})^{0.5}}{10 y_1} \right] \quad (12-2)$$

که $F_d = u/\sqrt{\Delta g d}$ عدد فرود ذره، d_{50} قطر متوسط ذرات بستر، y_1 عمق جریان در بالادست، l طول تکیه‌گاه در جهت عمود بر جریان، θ_a زاویه حمله جریان، g شتاب ثقل و $\Delta = S - 1$ که S چگالی نسبی ذرات می‌باشد.

۲-۱۴-۳ تخمین حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل

احمد^۱ (۱۹۵۳)، با استفاده از تجربیات صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی پارامترهای موثر بر عمق آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها را تعیین کرد و رابطه زیر را پیشنهاد نمود:

$$d_s + y_1 = K_A K'_A \left(\frac{q}{1-m} \right)^{2/3} \quad (13-2)$$

که d_s عمق تعادلی آبشستگی، y_1 عمق جریان در بالادست تکیه‌گاه، q دبی در واحد عرض، m طول تکیه‌گاه تقسیم بر طول رودخانه، مقدار $K'_A = \frac{2.14}{g^{1/3}}$ و K_A نیز ضریب تصحیح می‌باشد که به شکل سازه و تخلخل مواد بستر بستگی دارد.

لارسن^۲ (۱۹۵۳)، دو رابطه برای حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه‌های قائم پیشنهاد کرده است، یکی از این روابط برای شرایط بستر زنده ($\tau_0 > \tau_c$) است که به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{d_s}{y_1} = 1.5 \left(\frac{L}{y_1} \right)^{0.48} \quad (14-2)$$

رابطه‌ی (۲-۱۵) نیز برای شرایط آب زلال ($\tau_0 < \tau_c$) می‌باشد.

¹ - Ahmad

² - Laursen

$$\frac{L}{y_1} = 2.75 \left(\frac{d_s}{y_1} \right) \left[\frac{(d_s / (11/5 d_o) + 1)^{7/6}}{(\tau_o / \tau_c)^{0.5}} - 1 \right] \quad (15-2)$$

که L طول تکیه گاه و τ_o و τ_c به ترتیب عبارتند از تنش برشی بستر رودخانه‌ی بالادست محل پل و تنش برشی بحرانی مواد بستر رودخانه. لارسن همچنین پیشنهاد کرد چنانچه دیواره قائم نباشد و به صورت شیب‌دار باشد در آن صورت d_s محاسبه شده از روابط فوق در ضریب 0.8 ضرب شود تا مقدار عمق آبشستگی در دیواره‌های شیب‌دار به دست آید.

لیو^۱ (۱۹۶۱)، و همکاران به انجام آزمایش‌هایی بر روی تکیه‌گاه‌های با دیواره قائم و دیواره شیب‌دار پرداختند و نتایج زیر را ارائه دادند:

۱. سرعت جریان به طور محسوسی بر روی آبشستگی موثر است.
۲. زمانی که جریان با حرکت بار بستر باشد، نسبت بازشدگی تاثیر محسوسی بر عمق آبشستگی ندارد، ولی زمانی که جریان فاقد بار بستر می‌باشد حداکثر عمق آبشستگی تابع نسبت بازشدگی است.

لیو رابطه زیر را به منظور تعیین عمق آبشستگی ارائه کرده است:

$$d_s = K_L y_1 \left(\frac{B}{y_1} \right)^{0.4} Fr_1^{1/3} \quad (16-2)$$

Fr_1 عدد فرود بالادست و K_L ضریبی ثابت است (برای تکیه‌گاه‌های با دیواره شیب‌دار $K_L = 1.1$ و برای تکیه‌گاه‌های دماغه تیز $K_L = 2.15$).

چانگ^۲ (۱۹۶۱)، تئوری لارسن را برای آبشستگی در آب زلال و بستر زنده به کار گرفت. او پیشنهاد کرد ضریب سرعت تنگ‌شدگی K_V برای توزیع سرعت غیریکنواخت در مقطع تنگ‌شده اعمال شود و ضریب جریان چرخشی K_f در پنجه تکیه‌گاه را وابسته به عدد فرود جریان تقرب در نظر

¹ - Liu

² - Chang

بگیرند. مقدار K_V بر اساس تئوری پتانسیل جریان و K_f از مجموع نتایج آزمایش‌های آبشستگی تکیه‌گاه در کانال مستطیلی تعیین می‌شود. معادله آبشستگی ارائه شده عبارت است از:

$$\frac{y_1}{y_2} = K_f \left[\frac{K_V q_2}{q_1} \right]^\theta \quad (17-2)$$

y_1 عمق جریان تقرب، y_2 عمق جریان در مقطع کانال بعد از آبشستگی، q_1 دبی واحد عرض جریان در مقطع تقریب، q_2 دبی واحد عرض جریان در مقطع تنگ‌شده و $\theta = 0.857$ برای آب زلال لحاظ می‌گردد. مقدار $K_V = 0.8(q_1/q_2)^{1.5} + 1$ و $K_f = 0.1 + 4.5F_1$ برای آب زلال و $F_1 = V_1/(gy_1)^{0.5}$ می‌باشد. عدد فروید $0.35 + 0.25f_1$ برای بستر متحرک می‌باشد. عدد فروید $0.35 + 0.25f_1$ برای بستر متحرک می‌باشد.

معادله (۱۷-۲) تأثیر اندازه رسوبات را در آبشستگی آب زلال در اطراف تکیه‌گاه را در بر نگرفته است. این تأثیر از رابطه زیر لحاظ می‌شود:

$$y_2 = K_f (K_V)^{0.857} y_{sc} \quad (18-2)$$

y_2 عمق کلی جریان با در نظر گرفتن عمق آبشستگی تکیه‌گاه و y_{sc} عمق جریان با در نظر گرفتن عمق آبشستگی به تنهایی می‌باشد. K_f و K_V از تعاریف قبلی بدون تغییر لحاظ می‌شوند. مقدار y_{sc} از رابطه q_2/V_c محاسبه می‌شود، که q_2 دبی واحد عرض در مقطع تنگ‌شده و V_c سرعت بحرانی می‌باشد. در مقاطع مرکب تعیین مقدار q_2 به سادگی امکان‌پذیر نیست.

انگلس^۱ (۱۹۶۵)، رابطه زیر را برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی در تکیه‌گاه پل ارائه نمود (نقل از نشریه شماره ۵۴۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۰):

$$d_s + y_1 = 2.32 \left(\frac{q^{\frac{2}{3}}}{B} \right)^{0.78} \quad (19-2)$$

¹ - England

گیل^۱ (۱۹۷۲)، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رابطه زیر را برای محاسبه عمق آبستگی تکیه‌گاه‌ها ارائه داده است:

$$d_s = 8.375 \frac{D_{50}^{0.25}}{(1-n)^{0.857}}, \quad n = \frac{L}{B} \quad (20-2)$$

D_{50} قطر متوسط ذرات بستر، L طول تکیه‌گاه و B عرض تکیه‌گاه می‌باشد.

تی^۲ (۱۹۸۴)، در آزمایش‌های مقایسه‌ای برای مطالعه میزان تأثیر عمق جریان بر آبستگی آب زلال در اطراف تکیه‌گاه‌ها ضریب ثابتی از تنش برشی تقرب به تنش برشی بحرانی با مقدار 0.9 ارائه داد. طول تکیه‌گاه، عمق جریان و شکل تکیه‌گاه بر مقدار این ضریب ثابت موثر می‌باشند. نتایج نشان دادند که با افزایش عمق جریان، عمق آبستگی افزایش می‌یابد. طول تکیه‌گاه نیز با توجه به جریان تقرب و شکل تکیه‌گاه بر عمق آبستگی تأثیرگذار است. تکیه‌گاه‌های بلندتر و شکل‌های لبه‌دار (مانند مستطیل) باعث ایجاد چاله‌های آبستگی عمیق‌تر می‌شوند.

فروهلچ^۳ (۱۹۸۸)، نیز روابطی را با استفاده از رگرسیون و بر مبنای داده‌های آزمایشگاهی برای حداکثر عمق آبستگی تکیه‌گاه‌ها در دو حالت آب زلال و بستر زنده پیشنهاد نموده است. آب زلال:

$$\frac{d_s}{y_1} = 0.78 K_1 K_2 \left(\frac{L}{y_1} \right)^{0.63} F_1^{1.16} \left(\frac{y_1}{D_{50}} \right)^{0.43} \sigma^{-1.87} + 1 \quad (21-2)$$

بستر زنده:

$$\frac{d_s}{y_1} = 2.27 K_1 K_2 \left(\frac{L}{y_1} \right)^{0.43} F_1^{0.61} + 1 \quad (22-2)$$

¹ - Gill

² - Tey

³ - Froehlich

که K_1 فاکتور شکل هندسی تکیه‌گاه، K_2 فاکتور عدم تقارن تکیه‌گاه، F_1 عدد فرود بالادست و σ انحراف معیار توزیع ذرات رسوب می‌باشد. فروهلیچ پیشنهاد می‌کند ضریب اطمینان برابر ۱ به مقدار d_s/y_1 به‌دست آمده، اضافه شود.

ملویل (۱۹۹۲)، مطالعات گسترده‌ای که در دانشگاه آکلند کشور نیوزلند در رابطه با آبشستگی تکیه‌گاه پل‌ها صورت گرفته را جمع بندی و روابطی برای عمق حداکثر آبشستگی ارائه نموده است. بر اساس مطالعات ملویل عمق آبشستگی تکیه‌گاه بستگی به نسبت L/y_1 دارد. وی تکیه‌گاه‌ها را به سه نوع تکیه‌گاه‌های کوتاه ($L/y_1 < 1$)، متوسط ($1 \leq L/y_1 \leq 25$) و بلند ($L/y_1 > 25$) تقسیم‌بندی کرده است.

$$d_s = 2K_s L \quad L/y_1 < 1 \quad (23-2)$$

$$d_s = 2K_s^* K_\theta^* (y_1 L)^{0.5} \quad 1 \leq L/y_1 \leq 25 \quad (24-2)$$

$$d_s = 10K_\theta y_1 \quad L/y_1 > 25 \quad (25-2)$$

K_s فاکتور شکل تکیه‌گاه^۱، K_θ فاکتور جهت چیدمان تکیه‌گاه^۲، K_s^* فاکتور شکل تعدیل شده و K_θ^* فاکتور جهت چیدمان تعدیل شده می‌باشند. برای تکیه‌گاه‌های بلند اثر شکل تکیه‌گاه ناچیز بوده، در حالی که برای تکیه‌گاه‌های کوتاه اثر جهت چیدمان ناچیز می‌باشد. برای تکیه‌گاه‌های متوسط فاکتور شکل تعدیل شده و فاکتور جهت تعدیل شده استفاده می‌شود.

هافمن و گیجز^۳ (۱۹۹۵)، آبشستگی موضعی در سازه‌های هیدرولیکی و مراحل مختلف آبشستگی را بررسی کرده‌اند. آن‌ها عمق حداکثر آبشستگی را ملاک بررسی قرار داده و رابطه‌هایی برای حداکثر عمق آبشستگی ارائه و روابط را با نمونه واقعی کنترل کردند.

¹ - Abutment Shape Factor

² - Abutment orientation factor

³ - Hoffmans & Gijss

لیم^۱ (۱۹۹۷)، معادله‌ای برای محاسبه عمق آبشستگی تکیه‌گاه در آب زلال ارائه کرده است:

$$\frac{d_s}{y_1} = K_s^* (0.9X - 2) \quad (26-2)$$

مقدار X با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$X = \frac{F_1^{0.75} \left(\frac{d_{50}}{y_1} \right)^{0.25}}{\tau_c^{*0.375}} \left[0.9 \left(\frac{L}{y_1} \right)^{0.5} + 1 \right] \quad (27-2)$$

F_1 عدد فرود جریان تقرب، τ_c^* مقدار پارامتر شیلدز بحرانی، d_{50} قطر متوسط ذرات بستر و L طول تکیه‌گاه می‌باشد. لیم این معادلات را با استفاده از رابطه پیوستگی قبل و بعد از آبشستگی به‌دست آورده است.

کوتیاری و رانگاراچو^۲ (۲۰۰۱)، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی محققانی مانند ملویل، لیم، گیل و گارده که بر روی آبشستگی تکیه‌گاه پل در شرایط آب زلال و بستر متحرک انجام شده بود، رابطه زیر را برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی در شرایط آب زلال و بستر متحرک ارائه دادند:

$$\frac{d_s}{d \times \xi} = 0.074 \left(\frac{L}{d} \right)^{2.7} \left(\frac{u}{\sqrt{gd_{50} \frac{\Delta \rho_s}{\rho_w}}} \right) + .46 \quad (28-2)$$

d عرض پایه استوانه‌ای، ξ فاکتور شکل تکیه‌گاه و $\Delta \rho_s = \rho_s - \rho_w$ می‌باشد. (ρ_s چگالی ذرات بستر و ρ_w چگالی آب).

با استفاده از رابطه (۲۸-۲) پس از تعیین عمق آبشستگی در پایه پل، آبشستگی ناشی از تکیه‌گاه پل محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از این رابطه برای تعیین عمق آبشستگی آبشکن و تکیه‌گاه پل با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده و نتیجه حاصله رضایت‌بخش بوده است.

^۱ - Lim

^۲ - Kothyari & Ranga Raju

۲-۱۴-۴ بررسی آبشستگی تکیه‌گاه واقع در دشت سیلابی

اکثر تکیه‌گاه پل‌ها در دشت سیلابی قرار گرفته‌اند، جایی که توزیع سرعت و تنش برشی بستر در مقطع عرضی به طور قابل ملاحظه‌ای غیریکنواخت است. دشت‌های سیلابی نسبت به مجرای اصلی رودخانه‌ها دارای ضریب زبری زیادتری هستند، به همین دلیل سرعت جریان در آن نواحی معمولاً آهسته‌تر از مجرای اصلی است. هنگامی که اعماق جریان در دشت‌های سیلابی کم است، اختلاف بین سرعت مجرای اصلی و دشت سیلابی باعث انتقال شدید اندازه حرکت می‌شود. ظهور و زوال ردیف گرداب‌های با محور قائم که در امتداد محل اتصال دشت سیلابی به مجرای اصلی دیده می‌شوند، سازو کار انتقال جانبی اندازه حرکت را تشکیل می‌دهند. جدا کردن جریان مجرای اصلی از سیلاب‌دشت باعث حذف انتقال جانبی اندازه حرکت شده و سرعت جریان را در محل اتصال مجرای اصلی به سیلاب‌دشت کاهش می‌دهد، در نتیجه سرعت برشی در سیلاب‌دشت کاهش می‌یابد. (کوچک‌زاده، ۱۳۸۰).

اغلب مطالعات آزمایشگاهی عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل‌ها در گذشته، در کانال‌هایی با مقطع مستطیل انجام شده است، در حالی که این روش مناسب مطالعه تکیه‌گاه پل‌هایی است که در مجرای اصلی جریان قرار گرفته‌اند و نمی‌توان نتایج آن را برای تکیه‌گاه‌هایی به کار برد که در سیلاب‌دشت قرار می‌گیرند، به خصوص زمانی که اثر انتقال جانبی اندازه حرکت قابل توجه باشد، اهمیت این موضوع مضاعف می‌شود. بنابراین، می‌بایست اثر انتقال جانبی اندازه حرکت و الگوی توزیع جریان بین مجرای اصلی و دشت سیلابی در روابط پیش‌بینی آبشستگی لحاظ گردد. با توجه به این که اکثر تکیه‌گاه‌ها در دشت سیلابی قرار گرفته‌اند لزوم مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی تکیه‌گاه پل‌ها در مقاطع مرکب به خوبی روشن است (رمضانی، ۱۳۹۰). در ادامه به بررسی و مقایسه مطالعات انجام گرفته در زمینه آبشستگی تکیه‌گاه پل در مقطع مرکب پرداخته می‌شود.

میرز و الساوی^۱ (۱۹۷۵)، اثر پدیده تداخل جریان را مورد بررسی قرار دادند. به عبارت دیگر، اثر انتقال جانبی اندازه حرکت را بر مقدار و نحوه توزیع تنش برشی بستر در مجرای اصلی و سیلابدشت یک فلوم نامتقارن به صورت کمی ارائه کرده‌اند. این دو پژوهشگر در مطالعات خود مقادیر مشاهده تنش برشی را در شرایط جریان متداخل^۲ و جریان نامتداخل^۳ مورد مقایسه قرار داده‌اند. آن‌ها نشان دادند که برای کوچک‌ترین عمق مورد بررسی در سیلابدشت، مقدار حداکثر و متوسط تنش برشی سیلابدشت به ترتیب ۲۶۰ و ۲۰۰ درصد نسبت به جریان نامتداخل افزایش داشته است. بدیهی است که در میدان جریان در آبراهه مرکب، انتقال جانبی اندازه حرکت میزان تنش برشی بستر و توزیع آن را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو نادیده گرفتن اثر این عامل در جریان‌های مرکب ممکن است به برآوردهای غیر واقعی عمق آبشستگی منجر شود.

کوچک‌زاده و تاونسند^۴ (۱۹۹۷)، در آزمایش‌های خود دریافتند که در اعماق کوچک جریان در سیلابدشت، تفاوت سرعت جریان در مقطع اصلی و سیلابدشت باعث انتقال شدید مومنوم شده که خود را به شکل گرداب‌هایی با محور عمودی در محل پیوستن مقطع اصلی به سیلابدشت نشان می‌دهد. این شرایط جریان حتی در حالتی که تکیه‌گاه در آزمایش‌ها مورد آزمایش قرار نگرفت نیز مشاهده شد. آن‌ها دریافتند که با افزایش نسبت طول تکیه‌گاه به عرض سیلابدشت L/L_f از ۰/۲۴ به ۰/۵۵، تنش برشی و عمق آبشستگی در جلوی تکیه‌گاه افزایش می‌یابد. این موضوع هم در جریان متداخل و هم در جریان نامتداخل مشاهده گردید. برای ایجاد جریان نامتداخل آن‌ها از یک صفحه برای جدا کردن جریان بین مقطع اصلی و سیلابدشت در حد فاصل این دو مقطع در راستای جریان استفاده کردند. برای تکیه‌گاه‌هایی که در محل اتصال مقطع اصلی آبراهه و سیلابدشت خاتمه می‌پذیرند، تحت شرایط اندرکنش قوی جریان، انتقال جانبی مومنوم می‌تواند ۳۰-۱۵ درصد

¹ - Myers & Elsayy

² - Interacting Flow

³ - Non-Interacting Flow

⁴ - Kouchakzadeh & Townsend

آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه را افزایش دهد. بنابراین، در جریان نامتداخل عمق آبشستگی کمتری مشاهده شد.

کاردوسو و بتیس (۱۹۹۹)، پس از انجام آزمایش‌های خود دریافتند بجز تکیه‌گاه پل‌هایی که در لبه ساحل مقطع اصلی خاتمه می‌یابند، اندرکنش کمی بین جریان در مقطع اصلی و سیلاب‌دشت وجود دارد. آن‌ها نشان دادند که وقتی نسبت L/L_f از مقداری کوچکتر از ۱ به سمت ۱ میل کند، افزایش عمق آبشستگی در تکیه‌گاه مشاهده نمی‌شود. بالعکس، داده‌های آن‌ها روند کاهشی را برای $L/L_f > 0.8$ نشان داد. این یافته‌ها با نتایج کوچک‌زاده و تاونسند (۱۹۹۷)، متناقض است.

ملویل (۱۹۹۲)، فاکتور K_G را برای بیان اثر هندسه آبراهه روی آبشستگی پیشنهاد کرد. فاکتور K_G به اندازه، شکل و زبری مقطع اصلی و سیلاب‌دشتی آبراهه مرکب و همچنین به نسبت طول تکیه‌گاه نسبت به عرض سیلاب‌دشت بستگی دارد.

دانگل^۱ (۱۹۹۴)، تأثیر شکل آبراهه را بر روی عمق آبشستگی در تکیه‌گاه بالی شکل^۲ و در طول ثابت تکیه‌گاه تحت شرایط آب صاف و در یک مقطع مرکب ایده‌آل مطالعه نمود. او از رسوب یکنواخت استفاده نمود و تکیه‌گاه در حالت عمود نسبت به جهت جریان قرار داشت. او K_G را در برابر y_m/y_f برای مقادیر مختلف L_f/L ترسیم نمود که y_m عمق جریان اصلی، y_f عمق جریان در سیلاب‌دشت و L_f طول سیلاب‌شدت می‌باشد. در اینجا K_G به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_G = \sqrt{1 - \frac{L_f}{L} \left[1 - \left(\frac{y_f}{y_m} \right)^{5/3} \left(\frac{S_f}{S} \right)^{1/2} \left(\frac{n}{n_f} \right) \right]} \quad (29-2)$$

با فرض یکی بودن شیب در مقطع اصلی و سیلاب‌دشت $S_f = S$ ، فاکتور K_G به صورت رابطه (۳۰-۲) ساده‌سازی می‌شود.

¹ - Dongol

² - Wing Wall

$$K_G = \sqrt{1 - \frac{L_f}{L} \left[1 - \left(\frac{y_f}{y_m} \right)^{5/3} \left(\frac{n}{n_f} \right) \right]} \quad (30-2)$$

با فرض یکی بودن زبری در مقطع اصلی و سیلابدشت $n_f = n$ ، فاکتور K_G به صورت زیر ساده‌سازی می‌شود:

$$K_G = \sqrt{1 - \frac{L_f}{L} \left[1 - \left(\frac{y_f}{y_m} \right)^{5/3} \right]} \quad (31-2)$$

او نشان داد که K_G و عمق آبشستگی با افزایش L_f/L و y_m/y_f (سیلابدشت کم عمق) مقدار K_G مستقل از y_m/y_f است.

با فرض فقط یک شیب معادل، ملویل (۱۹۹۷)، معادله را ترسیم کرد. شکل مورد نظر نشان داد تغییرات K_G تابعی از L_f/L و y_m/y_f به ازای $n_m/n_f = 1, 0.2$ است. همچنین دریافت مقدار کمی افزایش زبری در سیلابدشت (در مقایسه با مقطع اصلی جریان) باعث کاهش K_G و افزایش عمق آبشستگی، خصوصاً در مقادیر کم y_m/y_f می‌شود. برای مقادیر بزرگ y_m/y_f ، $L_f/L = 1$ و n_m/n_f کوچک (بیانگر شرایطی که تکیه‌گاه در لبه ساحل مقطع اصلی بوده و سیلابدشت دارای عمق کم و زبری زیاد می‌باشد) عمق آبشستگی حدود ۱۰ درصد کوچکتر از آبراهه مستطیل متناظر می‌شود. مقادیر K_G که به این روش پیش‌بینی می‌گردند لازم است توسط داده‌های آزمایشگاهی تایید گردند.

استورم و جانجوا (۱۹۹۳)، مطالعه آزمایشگاهی در یک فلوم عریض که در آن مجرای اصلی به دشت سیلابی با بستر فرسایش‌پذیر متصل شده بود انجام دادند. تکیه‌گاه پل مورد نظر کاملاً در سیلابدشت مقطع مرکب قرار گرفته شده بود. رابطه پیشنهادی برای تعیین عمق آبشستگی تکیه‌گاه پس از آنالیز ابعادی پیشنهاد شد. در رابطه پیشنهادی با استفاده از آنالیزهای رگرسیونی نشان داده شد که داده‌های آزمایشگاهی با عدد فرود جریان نزدیک شونده و نسبت دبی در مقطع انقباض به

خوبی متناسب می‌باشد. این نتایج را برای تکیه‌گاه‌هایی که در ساحل یا درون آبراهه اصلی امتداد پیدا کرده‌اند نمی‌توان به کار گرفت.

بیگلری و استورم (۱۹۹۸)، شبیه‌سازی عددی جریان پیرامون تکیه‌گاه پل‌هایی که در سیلاب‌دشت قرار گرفته‌اند را با استفاده از یک مدل عددی دو بعدی ارائه کردند. مدل از روش تفاضل محدود استفاده کرده و از شبکه‌بندی شطرنجی^۱ برای حل معادلات حاکم بر جریان و انتقال تلاطم به روش صریح^۲ استفاده می‌کند. نتایج مدل عددی در سرعت و عمق جریان با مشاهدات آزمایشگاهی مقطع مرکب در یک شیب ثابت مورد مقایسه قرار گرفته است. همبستگی خوبی بین داده‌های آزمایشگاهی و جریان یکنواخت ماندگار و همچنین جریان غیریکنواخت ماندگار پیرامون تکیه‌گاه پل‌ها مشاهده شد. کاردوسو و بتیس (۱۹۹۹)، آزمایش‌های خود را در فاصله‌های مختلف تکیه‌گاه از ساحل مقطع اصلی برای مطالعه اثر زمان و هندسه آبراهه روی آبشستگی تکیه‌گاه انجام دادند. آزمایش‌ها در حالتی انجام گرفت که جریان در سیلاب‌دشت در وضعیت بحرانی باشد. او به این نتیجه رسید که عمق تعادلی آبشستگی در شرایط آب صاف به طور متوسط پس از ۶۸ ساعت و عمق تعادلی آبشستگی در شرایط بستر زنده به طور متوسط پس از ۱۰ ساعت به دست می‌آید. هر چند، زمان مورد نیاز برای رسیدن به عمق تعادلی تحت شرایط آب صاف با اندازه رسوبات متغیر است.

مطالعات دیگری نیز توسط محققان هیدرولیک خارجی و داخلی انجام گرفته و روابط تجربی متعددی نیز ارائه شده است که هر چند از نظر اصول ظاهری و نوع متغیرهای در نظر گرفته شده با همدیگر تفاوت دارند ولی از نظر اصول و مبانی با روابطی که اشاره شده تفاوتی ندارند، به عبارتی پیشرفت قابل توجهی در رابطه با چگونگی عمل آبشستگی صورت نگرفته است (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷).

^۱ - Staggered

^۲ - Explicit

۲-۱۴-۵ بررسی آزمایشگاهی روش‌های کاهش آبشستگی

روش‌های جلوگیری از آبشستگی تکیه‌گاه به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند (بصیرت، ۱۳۸۷):

➤ روش‌هایی که با مقاوم سازی بستر میزان حرکت ذرات را کاهش می‌دهند، مانند سنگ‌چین،

آرمورینگ (قطعات بتنی پیش ساخته) و گابیون.

➤ روش‌هایی که با تغییر الگوی جریان باعث دور شدن جریان از تکیه‌گاه و کاهش آبشستگی

می‌شوند. مانند استفاده از آبشکن محافظ، طوقه، صفحه مدفون و شکاف.

جانسون (۱۹۹۲)، با استفاده از صفحات مستغرق در کانال اصلی، کاهش آبشستگی تکیه‌گاه قائم

واقع در سیلاب‌دشت را مورد بررسی قرار داد.

چو^۱ (۲۰۰۴)، کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل در دو حالت آب زلال و بستر متحرک بررسی نمود.

نتایج آزمایش‌های چو نشان می‌دهند که برای زمان بیش از ۲۴ ساعت عمق آبشستگی تغییرات

چشمگیری ندارد. قراردادی ریپرپ در اطراف پایه می‌تواند شرایط تعادلی را ایجاد کند.

کایاتورک^۲ (۲۰۰۵)، تاثیر طوق را در کاهش آبشستگی اطراف دیواره جانبی پل‌ها (تکیه‌گاه قائم

پل) بررسی کرد. نتایج آزمایش‌های وی نشان داد، کاربرد طوق‌ها در دیواره‌های جانبی پل‌ها برای

کاهش توسعه عمق آبشستگی موثر بوده و نرخ آبشستگی را کاهش می‌دهد.

لی و همکاران (۲۰۰۶) از دیواره‌های موازی برای کاهش آبشستگی تکیه‌گاه استفاده کردند.

تکیه‌گاه در سیلاب‌دشت واقع شده و تا ابتدای کانال اصلی ادامه پیدا کرده است. دیواره موازی از

دماغه تکیه‌گاه در کانال اصلی شروع شده و موازی دیواره کانال به سمت بالادست ادامه پیدا می‌کند.

طول دیواره، درصدی از طول تکیه‌گاه در نظر گرفته شده است. این روش حداکثر عمق آبشستگی را از

کنار تکیه‌گاه به جلوی دیواره منتقل می‌کند $D_{50} = 0.8 \text{ mm}$

لی (۲۰۰۶)، برای کاهش آبشستگی، آزمایش‌هایی با آب زلال و بستر متحرک در کانال مرکب با

استفاده از دو نوع دیواره موازی را انجام داده است. نوع اول از صفحه چوبی صلب باریک و نوع دوم از

¹ - Chiew

² - Kayaturk

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 دیوار تکیه‌گاه در جهت جریان قرار گرفتند. سه سرعت مختلف برای حرکت اولیه به منظور ایجاد جابه‌جایی ناگهانی بستر مورد استفاده قرار گرفت. مصالح بستر ماسه با $d_{50} = 0.8 \text{ mm}$ و $\sigma_g = 1.37$ بوده است. همه صفحه‌ها در زیر شیب کناره کانال مرکب و نزدیک دیواره تکیه‌گاه قرار گرفته‌اند. مشاهده شد که صفحه‌های مقاوم‌سازی وقتی که اشباع می‌شوند قابلیت حرکت چاله آبشستگی از گوشه بالادست تکیه‌گاه را دارند، همچنین وقتی که طول صفحه افزایش می‌یابد، آبشستگی در تکیه‌گاه کاهش می‌یابد. دیواره‌های سنگی موازی با طول‌های مختلف و طول پیش‌آمدگی در کانال اصلی مورد آزمایش قرار گرفتند، مشاهده شد دیواره‌ای که به داخل کانال اصلی نیامده و طولی به اندازه 0.5L دارد، حداقل آبشستگی تکیه‌گاه را برای هر سه ضریب سرعت دارد.

محققان داخلی نیز کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل را مورد بررسی قرار داده‌اند، که در ادامه به ذکر مختصری از آن پرداخته شده است.

عالم و قمشی (۱۳۹۱)، در فلومی با عرض ۱ متر و طول ۹ متر شامل یک سیلاب‌دشت به طول ۲ متر و عمق ۳۰ سانتی متر به مطالعه اثر قرارگیری طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه مستطیلی پل در مقطع مرکب را پرداختند. این محققان آزمایش‌ها را در شرایط آب زلال با جریان متلاطم زیربحرانی و اعداد فرود ۰/۱۷ تا ۰/۲۳ انجام دادند. آنها به منظور بررسی اثر ارتفاع قرارگیری طوق بر آبشستگی تکیه‌گاه، طوق را در سه حالت ۴ سانتی‌متر بالای بستر، ۲ سانتی‌متر بالای بستر و روی بستر قرار داده و به نتایج زیر دست یافتند:

۱- کمترین میزان آبشستگی در حالت طوق روی بستر اتفاق افتاده است. دلیل این امر را می‌توان عدم امکان تشکیل گرداب نعل اسبی در جلوی تکیه‌گاه پل به دلیل نبود فاصله بین طوق و بستر عنوان کرد.

۲- در حالت طوق روی بستر، علاوه بر این که کمترین میزان آبشستگی تکیه‌گاه اتفاق افتاده است، حداکثر آبشستگی نسبت بقیه حالت‌ها از اطراف تکیه‌گاه به منطقه‌ای دورتر انتقال یافته است.

۳- برای حالت طوق ۴ سانتی‌متر بالای بستر، به دلیل تشکیل جریان نعل اسبی زیر طوق و کاهش قدرت گردابه‌ای، کارایی طوق پایین آمده و میزان آبشستگی با حالت بدون طوق تفاوت چندانی نکرده است.

بصیرت و همکاران (۱۳۸۸)، در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور تحقیقاتی را در مورد بررسی اثر آبشکن از جهت فاصله با دماغه و طول آن بر میزان آبشستگی دماغه تکیه‌گاه پل در کانال مرکب پل انجام داده‌اند. آن‌ها در انجام مطالعات لازم برای بررسی پدیده آبشستگی موضعی از فلومی به طول ۱۴، ارتفاع ۰/۵ و عرض ۱/۵ متر، شامل کانال اصلی در خط مرکزی با عرض ۲۱ و ارتفاع ۰/۸ سانتی‌متر و شیب طولی ثابت ۰/۰۰۱ استفاده کردند. طول تکیه‌گاه ۲۰ سانتی‌متر بوده و آبشکن‌های محافظ در طول‌های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ سانتی‌متر، در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر از کناره تکیه‌گاه مورد استفاده قرار گرفتند. این محققان از رسوبات غیرچسبنده‌ی یکنواخت با قطر متوسط ۱ میلی‌متر استفاده کردند. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که استفاده از آبشکن محافظ تاثیر مثبتی در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه دارد به نحوی که با افزایش طول آبشکن محافظ آبشستگی کاهش پیدا می‌کند. همچنین، در فواصل بین ۱.۵L تا ۲.۵L بیشترین کاهش در آبشستگی تکیه‌گاه رخ می‌دهد. آن‌ها با استفاده از آنالیز ابعادی و روش‌های تجزیه تحلیل رگرسیونی بر اساس داده‌های آزمایشگاهی رابطه‌ای زیر برای حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه در حالتی که آبشکن محافظ در بالادست تکیه‌گاه قرار دارد، ارائه دادند:

$$\frac{d_s}{x} = 0.317 \left(Q^2 y_1^{-5} g^{-1} \right)^{3.6} \left(\frac{L}{y_1} \right)^{-6.75} \left(\frac{L'}{y_1} \right)^{-0.59} \left(\frac{x}{L} \right)^{-1.26} \quad (32-2)$$

که L طول تکیه‌گاه، L' طول آبشکن محافظ و X فاصله آبشکن از دیواره تکیه‌گاه می‌باشد. رابطه

(۳۲-۲) به عنوان رابطه تعیین عمق آبشستگی آبشکن محافظ جهت طراحی ارائه شد:

$$\frac{d_{sp}}{x} = 284.3 \left(\frac{Q}{A\sqrt{gy_1}} \right)^{3.15} \left(\frac{L}{y_1} \right)^{-4.56} \left(\frac{L'}{y_1} \right)^{2.87} \quad (33-2)$$

d_{sp} حداکثر عمق آبشستگی آبشکن محافظ می‌باشد.

سعادت و همکاران (۱۳۸۹)، نیز در کانال مرکب به طول ۱۰ و عرض ۱/۵ متر با کانال اصلی به عرض ۲۰ سانتی‌متر و سیلاب‌دشتهایی به عرض ۶۵ سانتی‌متر اثر زاویه آبشکن بر کاهش آبشستگی دماغه تکیه‌گاه پل را مورد بررسی قرار داده‌اند. در دو طرف کانال دماغه‌هایی به عرض ۱۰ سانتی‌متر و طول ۲۰ سانتی‌متر نصب شد. این محققان فواصل آبشکن با دماغه تکیه‌گاه را به صورت ضربی از طول تکیه‌گاه انتخاب کرده و ۵ فاصله نسبت به طول ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ را مورد ارزیابی قرار دادند. در هر یک از این پنج فاصله، پنج زاویه مختلف از قرارگیری آبشکن نسبت به دیواره کانال نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. زوایای مختلف آبشکن عبارتند از ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه. نتایج این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- در کاهش آبشستگی پایه‌های کناری پل، آبشکن با زاویه ۹۰ و ۱۲۰ درجه عملکرد بسیار

مطلوب‌تری نسبت به زوایای ۳۰، ۶۰ و ۱۵۰ درجه داشتند.

۲- از جهت فاصله آبشکن با دماغه پل، در فاصله بین ۲ الی ۲/۵ برابر طول دماغه پل کمترین

آبشستگی در ۲ زاویه ۹۰ و ۱۲۰ درجه رخ داده است.

۳- با افزایش زاویه از ۳۰ به ۹۰ درجه، حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه کاهش می‌یابد و نیز با

افزایش زاویه از ۹۰ تا ۱۵۰ درجه، حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه افزایش می‌یابد.

۴- با افزایش زاویه از ۳۰ به ۹۰ درجه، حداکثر عمق آبشستگی آبشکن افزایش می‌یابد و نیز با

افزایش زاویه از ۹۰ تا ۱۵۰ درجه، حداکثر عمق آبشستگی آبشکن کاهش می‌یابد. البته قابل

ذکر است که پایداری سازه دماغه تکیه‌گاه پل بسیار مهم‌تر از پایداری آبشکن می‌باشد.

۵- این محققان رابطه‌ی زیر برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی دماغه تکیه‌گاه پل، در حالتی

که یک آبشکن محافظ با زاویه θ در بالادست تکیه‌گاه قرار دارد، پیشنهاد کردند:

$$\frac{d_s}{x} = 0.0101(Re)^{0.817}(Fr)^{2.446}(f(\theta))^{-1.297} \quad (34-2)$$

پارامترهای رابطه (۳۴-۲) با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شوند:

$$Re = \frac{Uy}{\nu} \text{ و } Fr_1 = \frac{U_{ave}}{\sqrt{gX}}, F(\theta) = 0.586 + .0046(\theta) \quad (35-2)$$

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱ مقدمه

امروزه جهت بررسی و یا تکمیل معادلات تئوری به دست آمده از تحلیل‌های ریاضی، رفتار یک سازه هیدرولیکی با استفاده از مدل فیزیکی و نتایج آزمایشگاهی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. به بیان دیگر به دلیل پیچیده بودن روابط ریاضی و یا نبودن روابط کافی برای حل بسیاری از مسائل هیدرولیکی و فرموله کردن پدیده‌های هیدرولیکی مانند آبشستگی، مجبور به استفاده از نتایج آزمایشگاهی می‌باشیم.

۳-۲ مدل آزمایشگاهی

به منظور انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌های لازم، کانال و تجهیزات مورد نیاز در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود طراحی و ساخته شد. مدل آزمایشگاهی طراحی شده از چند بخش مختلف تشکیل شده است. این بخش‌ها عبارتند از:

۳-۲-۱ استخر ذخیره آب

به منظور تأمین آب مورد نیاز برای مدل آزمایشگاهی، استخری به مساحت سطح ۱۲ متر، عمق بیشینه ۲ متر و حجم ۱۸ متر مکعب در بیرون آزمایشگاه و در کنار ایستگاه پمپاژ ساخته شد. دیواره‌های استخر با استفاده از ورق ژئوممبران عایق بندی شده است. آب استخر از ایستگاه پمپاژ مرکزی دانشکده کشاورزی و به وسیله یک لوله ۲ اینچی تأمین می‌شود.

۳-۲-۲ ایستگاه پمپاژ

آب موجود در استخر به وسیله یک لوله ۵ اینچی و با استفاده از یک دستگاه پمپ سانترفیوژ با الکتروموتوری به قدرت ۲۰ کیلووات به مخزن بالادست فلوم آزمایشگاهی منتقل می‌شود. دبی‌های مورد نظر برای انجام آزمایش‌ها به وسیله‌ی یک عدد شیر فلکه نصب شده بر روی لوله رانش تنظیم شده‌اند.



شکل (۱-۳) - نمایی از پمپ و الکتروموتور مورد استفاده در مدل آزمایشگاهی

به منظور قرائت دبی یک دستگاه دبی سنج الکترومغناطیسی مدل PMAG ساخت شرکت اس جی ام لکترا^۱ ایتالیا، بر روی لوله رانش نصب و مورد استفاده قرار گرفت. این دبی سنج قادر خواهد بود دبی عبوری از لوله رانش را با دقت ۰/۱ لیتر بر ثانیه اندازه گیری کند.



شکل (۲-۳) - دبی سنج الکترومغناطیسی

۳-۲-۳ کانال آزمایشگاهی

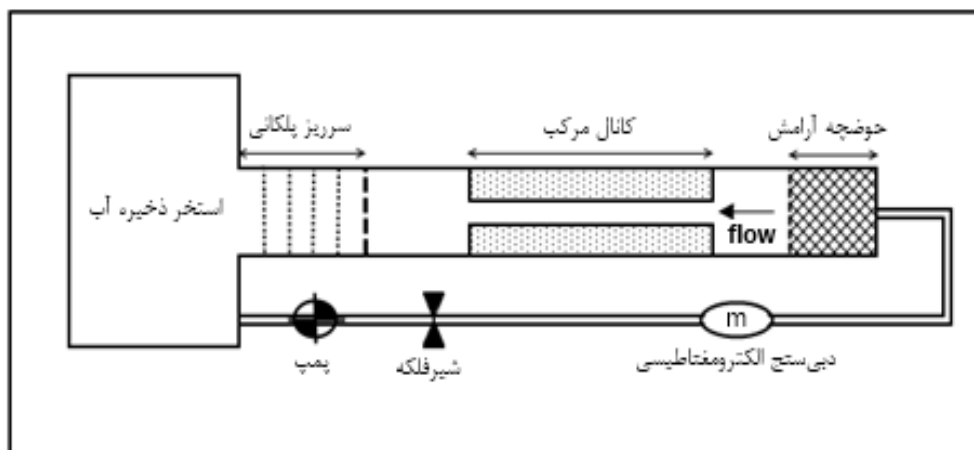
کانال مورد استفاده دارای طول ۱۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر می باشد. دیواره های کانال از جنس شیشه بوده، که امکان مشاهده بهتر جریان را فراهم می نماید. برای ساخت کف کانال نیز از ورق فلزی به ضخامت ۱ میلی متر استفاده شد. به منظور آرام نمودن جریان ورودی به کانال یک

^۱ - SGM Lektra

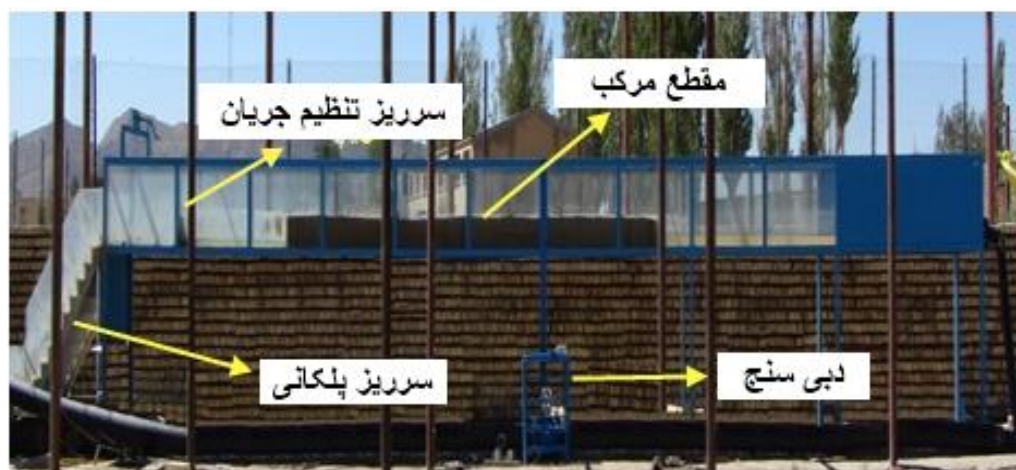
صفحه مشبک فلزی در فاصله یک متری از ابتدای فلوم به صورت عمودی نصب گردیده است (شکل ۳-۳). فاصله بین دیواره‌ی بالادست کانال و صفحه مشبک نیز به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از قطعات سنگی با قطر متوسط ۵ سانتی‌متر پوشیده شده است. آشفته‌گی جریان آب که از پمپ سانترفیوژ وارد می‌شود با ورود به این محفظه و برخورد با قطعات سنگی و صفحه مشبک گرفته شده و جریان به آرامی وارد فلوم می‌شود. شکل‌های (۳-۴) و (۳-۵) نمای کلی مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهند.



شکل (۳-۳) - صفحه مشبک نصب شده در ابتدای کانال



شکل (۳-۴) - اجزای مختلف مدل آزمایشگاهی (پلان)



شکل (۳-۵) - اجزای مختلف مدل آزمایشگاهی

عمق آب در کانال نیز با استفاده از تیرک‌های سدکننده چوبی^۱ نصب شده در انتهای کانال تنظیم می‌گردد. با عبور جریان از روی تیرک‌های چوبی، این تیرک‌ها به صورت یک سرریز لبه‌پهن مستطیلی عمل می‌نمایند. با قرار دادن تیرک‌هایی با ارتفاع مختلف، امکان تنظیم عمق مورد نظر برای انجام آزمایش‌ها فراهم می‌آید. جریان آب پس از عبور از تیرک‌های تنظیم کننده عمق، با استفاده از یک سرریز پلکانی ساخته شده از چوب ضد آب وارد استخر ذخیره می‌شود.



شکل (۳-۶) - تیرک‌های سدکننده و سرریز پلکانی نصب شده در انتهای فلوم

^۱ - Stop Logs

۳-۲-۴ مقطع مرکب

طول مقطع مرکب ۵ متر می‌باشد که در فاصله ۴ تا ۹ متری از ابتدای کانال نصب گردیده است. کانال اصلی مقطع مرکب از جنس شیشه بوده و دارای عرض ۲۰ و عمق ۸ سانتی‌متر می‌باشد. دو طرف کانال اصلی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از رسوبات درشت‌دانه و به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بر روی آن‌ها از رسوبات ریزدانه یکنواخت با قطر متوسط $D_{50} = 1 \text{ mm}$ و شیب طولی ۰/۰۰۱ پوشیده شده است.



شکل (۳-۷) - کانال اصلی و دشت‌های سیلابی در مقطع مرکب

۳-۲-۵ رسوبات مورد نیاز

رسوبات مورد نیاز برای استفاده در مقطع مرکب پس از خریداری طی دو مرحله الک شده تا دانه‌بندی مورد نظر به دست آید. برای اطمینان از غیرچسبنده بودن رسوبات، مصالح الک شده یک بار شسته شدند تا از عدم وجود سیلت و رس در آن‌ها اطمینان حاصل شود. سپس رسوبات به داخل مقطع مرکب انتقال داده شدند. با انجام آزمایش دانه‌بندی بر روی رسوبات مشخصات دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده به دست آمده است. جدول (۳-۱) مشخصات رسوبات ریزدانه را نشان می‌دهد.

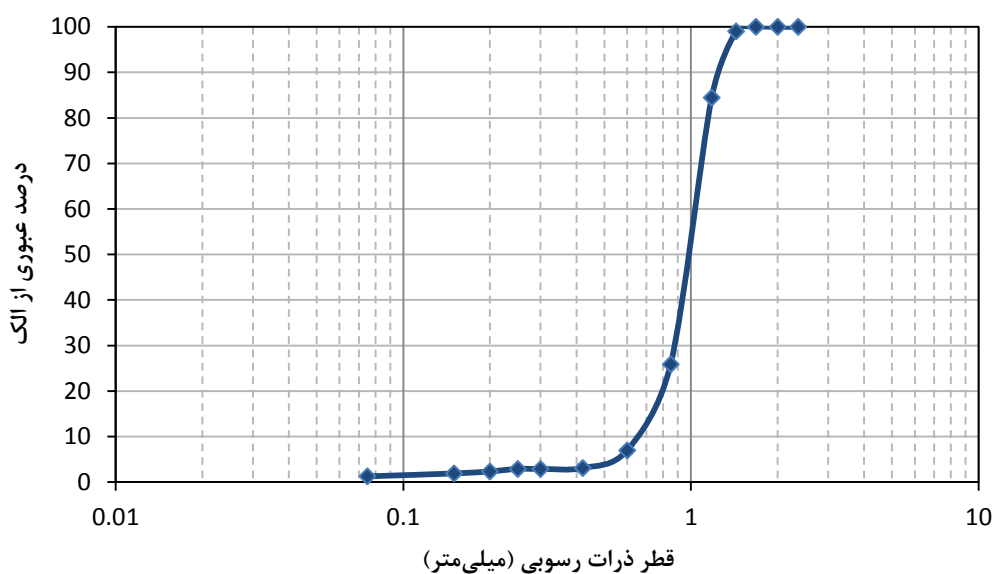
σ_g بیانگر ضریب یکنواختی رسوبات می‌باشد که به صورت $\sigma_g = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}}$ ارائه شده است. در

صورتی که درجه یکنواختی رسوبات از ۱/۳ کوچکتر باشد می‌توان رسوبات را یکنواخت در نظر گرفت.

جدول ۱-۳- مشخصات رسوبات بستر سیلابدشت

نوع مصالح	ρ_s (gr/cm ³)	D ₅₀ (mm)	σ_g
ماسه شکسته	۲/۶۷	۱	۱/۲

منحنی دانه‌بندی ذرات بستر سیلابدشت در شکل (۸-۳) ارائه شده است.



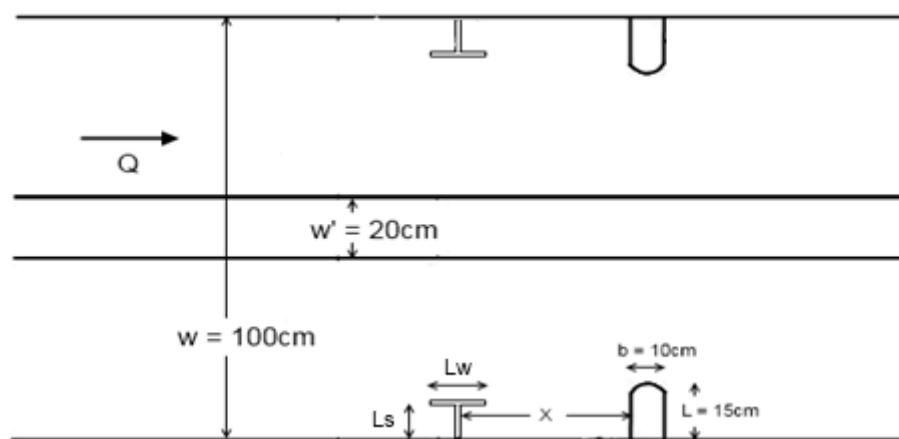
شکل (۸-۳)- منحنی دانه‌بندی رسوبات ریزدانه مورد استفاده

۳-۲-۶ تکیه‌گاه‌ها و آبشکن‌ها

تکیه‌گاه‌های به کار رفته در انجام آزمایش‌ها از جنس ورق گالوانیزه و با شکل دماغه نیم‌دایره‌ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر ساخته شده‌اند. طول تکیه‌گاه‌ها ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. آبشکن‌های مورد استفاده نیز نفوذناپذیر بوده و از جنس شیشه با ضخامت ۱۰ میلی‌متر به ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و طول متغیر ساخته شدند. در هر آزمایش آبشکن‌ها توسط چسب آکواریوم به جداره کانال محکم و آب‌بندی می‌شدند.

۳-۳ نحوه انجام آزمایش‌ها

قبل از شروع هر آزمایش ابتدا بستر کاملا مسطح شد و ترازها در فاصله نیم‌متری کنترل شد تا شیب مشخص ۰/۰۰۱ در تمامی آزمایش‌ها به طور یکسان برقرار باشد. موقعیت تکیه‌گاه و آبشکن‌ها طوری تعیین گردید که تلاطم و نوسانات سطح آب ناشی از ورود آب به مقطع مرکب و نیز عبور آب از روی سرریز انتهایی به محل سازه منتقل نشود. در نتیجه تکیه‌گاه در فاصله ۳/۵ متری از ابتدای مقطع مرکب و آبشکن در فواصل مختلف در بالادست تکیه‌گاه نصب شد، برای ساخت تکیه‌گاه از آهن عمق در کانال نیز به وسیله سرریز لبه‌پهن نصب شده در انتهای کانال تنظیم می‌شد. تمامی آزمایش‌ها در سرعت آستانه حرکت ذرات اجرا شد. بنابراین با تغییر عمق آب در پایین‌دست بایستی به سرعت حرکت ذرات رسید (در این تحقیق شروع حرکت بدون توقف ذره به عنوان ملاک آستانه حرکت ذرات در نظر گرفته شده است). آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و شرایط ثابت هیدرولیکی انجام شده است. انتخاب شرایط آب زلال به این دلیل می‌باشد که اصولا حداکثر عمق آبشستگی در شرایط آب زلال بیشتر از شرایط بستر متحرک می‌باشد. از این رو در جهت ضریب اطمینان و البته به خاطر سهولت بیشتر، اکثر مطالعات آزمایشگاهی در خصوص آبشستگی در شرایط آب زلال انجام می‌شوند (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷). در شکل‌های (۳-۹) و (۳-۱۰) نمای کلی از مقطع مرکب و موقعیت قرارگیری تکیه‌گاه و آبشکن نشان داده شده است.



شکل (۳-۹) - نمای کلی کانال مرکب (پلان)



شکل (۳-۱۰) - موقعیت قرارگیری تکیه‌گاه‌ها و آبشکن در سیلاب‌دشت

پس از آماده شدن بستر آب به صورت تدریجی و دبی محدود از داخل کانال اصلی جریان پیدا می‌کند تا حوضچه آرامش انتهایی (فاصله بین انتهای مقطع مرکب و تیرک‌های سدکننده) پر شود. به این ترتیب آب از بالادست و پایین‌دست به آرامی وارد سیلاب‌دشت شده تا روی رسوبات به ارتفاع تقریبی ۱۵ سانتی‌متر از آب پوشانده شود. سپس با استفاده شیرفلکه قابل تنظیم نصب شده بر روی پمپ و با مشاهده دبی‌سنج الکترومغناطیسی به آهستگی به دبی مورد نظر رسانده می‌شد. در این حالت ارتفاع تیرک‌های انتهایی تا اندازه‌ای بود که رسوبات موجود در سیلاب‌دشت در این دبی به حرکت در نیاید. حال یک بار دیگر دبی ورودی به کانال را توسط دبی‌سنج کنترل نموده و پس از اطمینان از ثبات دبی و به حالت دائمی رسیدن جریان، با کاهش ارتفاع تیرک‌های انتهایی عمق مورد نظر تنظیم و آزمایش شروع می‌شد. پس از اتمام زمان آزمایش (۹۰ دقیقه) پمپ خاموش شده و آب به آرامی تخلیه شد. پس از تخلیه کامل آب با استفاده از دستگاه عمق‌سنج پروفیل آبشستگی و عمق حداکثر آبشستگی برداشت شد. آبشستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه و آبشکن در شکل (۳-۱۱) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل (۱۱-۳) - چاله آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه و آبشکن

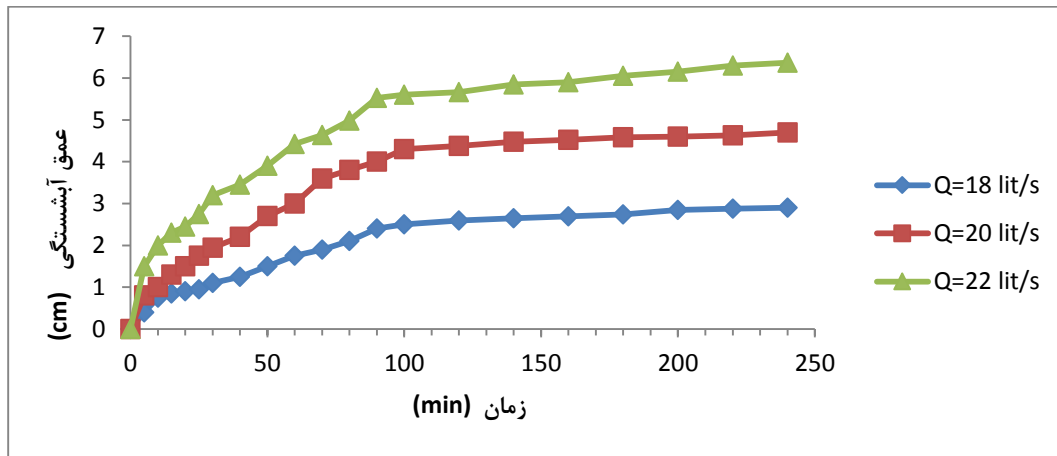
۳-۴ تعیین زمان لازم برای انجام هر آزمایش

آبشستگی و حرکت ذرات بستر در محل قرارگیری تکیه‌گاه وابسته به زمان هستند. آبشستگی در طی زمان دارای مراحل 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 فونداسیون 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 نامحسوس شدن تغییرات عمق آبشستگی برای افزایش ضریب اطمینان است.

برای تعیین زمان انجام هر آزمایش در ابتدا آزمایش‌هایی برای رسیدن به عمق ثابت (تعادل) آبشستگی بدون حضور آبشکن محافظ بر روی تکیه‌گاه ۱۵ سانتی‌متری انجام شد. با توجه به نتایج آزمایش‌های اولیه به مدت ۶ ساعت برای هر آزمایش، مطابق آنچه در شکل (۳-۱۲) ملاحظه می‌شود،

برای تمامی ۳ دبی انتخابی، پس از ۹۰ دقیقه، عمق آبشستگی به حدود ۸۵ درصد حداکثر عمق آبشستگی رسید، بنابراین زمان اجرای آزمایش‌ها ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد.



شکل (۳-۱۲) - تغییرات زمانی عمق آبشستگی برای دبی‌های مورد آزمایش

۳-۵ تعداد آزمایش‌های انجام شده

قبل از شروع آزمایش‌های اصلی با انجام چند آزمایش ابتدایی به بررسی مشخصات هیدرولیکی جریان و شرایط آستانه حرکت رسوبات پرداخته شد. با توجه به آستانه حرکت رسوبات مورد استفاده، عمق کانال اصلی و نیز عمق آب بر روی سیلاب‌دشت ۳ دبی ۱۸،۲۰ و ۲۲ برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شدند.

برای تعیین زمان لازم برای هر آزمایش برای هر ۳ دبی تکیه‌گاه بدون حضور آبشکن محافظ در زمان طولانی مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش‌های طولانی مدت تا زمانی که تغییرات محسوسی در عمق آبشستگی و ادامه حفره آبشستگی مشاهده نشود ادامه پیدا کرد که این زمان حدود ۶ ساعت به طول انجامید، در ۹۰ دقیقه اول ۸۵ درصد عمق آبشستگی حداکثر ایجاد شد.

با توجه مطالعات انجام شده توسط صانعی و همکاران (۱۳۸۵)، و مولیناس (۱۹۹۸)، و با توجه به الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه در سیلاب‌دشت و مشخصات منطقه سکون جریان در بالادست و پایین‌دست تکیه‌گاه، همچنین توزیع تنش برشی در اطراف تکیه‌گاه، در شروع کار آبشکن سرسپری در

فاصله 0.8L (L طول تکیه‌گاه)، به سمت بالادست و سپس این فاصله افزایش یابد. در آزمایش‌های انجام شده و با توجه به الگوی جریان در پایین‌دست آبشکن‌ها، مشاهده شد که اگر میزان فاصله آبشکن از 1.6L بیشتر شود تأثیر آن بر روی سازه پایین‌دست کاهش می‌یابد، به همین دلیل حداکثر فاصله آبشکن سرسپری از تکیه‌گاه به 1.6L محدود شد.

برای تعیین طول جان آبشکن‌های سرسپری (L_s) پس از مشاهده الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه و محل شکل‌گیری جریان چرخشی حداقل طول برابر $\frac{2}{5}L$ در نظر گرفته شد. حداکثر طول جان آبشکن محافظ با توجه به این که هدف از استفاده آبشکن سرسپری کاهش هزینه‌های ساخت تکیه‌گاه و استفاده از سازه‌ای مقرون به صرفه می‌باشد، به $\frac{4}{5}L$ محدود شد.

یکی از مهم‌ترین پارامترها در طراحی آبشکن‌های سرسپری طول بال این نوع از آبشکن‌ها می‌باشد. طول بال در آبشکن‌های سرسپری با توجه به طول جان آبشکن تعیین می‌شود. با توجه به طول جان آبشکن‌ها حداقل طول بال برای آبشکن‌های مورد آزمایش برابر $\frac{2}{5}L$ در نظر گرفته شد. در طول آزمایش‌ها ابتدا ثابت بودن طول جان در هر آزمایش طول بال به اندازه‌ای برابر با $\frac{1}{10}L$ افزایش می‌یابد تا جایی که طول بال برابر با طول جان شود، سپس طول جان به اندازه $\frac{1}{10}L$ افزایش پیدا کرده و مراحل افزایش بال تکرار می‌گردد. تمام این مراحل در ۳ فاصله از تکیه‌گاه و در ۳ دبی تکرار شده‌اند. پارامترهای متغیر در طول آزمایش‌ها در جداول (۲-۳) و (۳-۳) قابل مشاهده می‌باشند.

جدول ۲-۳- پارامترهای متغیر در طول آزمایش‌ها

پارامتر	مقدار				
دبی Q (lit/s)	۱۸	۲۰	۲۲		
فاصله آبشکن از تکیه‌گاه X (cm)	۱۲	۱۸	۲۴		
طول جان آبشکن L_s (cm)	۶	۷/۵	۹	۱۰/۵	۱۲
طول بال آبشکن L_w (cm)	متغیر در هر طول جان (ارائه شده در جدول ۳-۳)				

جدول ۳-۳- طول متغیر بال آبشکن به ازای هر طول جان

طول جان آبشکن L_s (cm)					طول بال آبشکن L_w (cm)				
۶					۶				
۷/۵					۶ ۷/۵				
۹					۶ ۷/۵ ۹				
۱۰/۵					۶ ۷/۵ ۹ ۱۰/۵				
۱۲					۶ ۷/۵ ۹ ۱۰/۵ ۱۲				

با توجه به پارامترهای متغیر در آزمایش‌ها، ۴۵ آزمایش در هر دبی انجام شد که با احتساب ۳ آزمایش شاهد در مجموع ۱۳۸ آزمایش برای ۳ دبی انجام شده است.

۳-۶ آنالیز ابعادی طرح

روابط حاکم بر بسیاری از پدیده‌های هیدرولیکی از جمله آبشستگی را نمی‌توان به طور مستقیم از قوانین حاکم بر حرکت سیالات و تئوری‌های موجود نظیر قوانین بقای جرم، انرژی و ممنتوم به دست آورد. در چنین مواردی سعی می‌شود تا برای استخراج رابطه ریاضی حاکم بر این پدیده‌ها، ابتدا کلیه متغیرهایی که در به وجود آوردن این پدیده نقش دارند مشخص شده و سپس با ترکیب این متغیرها، پارامترهای بدون بعد استخراج شوند. با انجام آزمایش‌های لازم بر روی مدل فیزیکی، می‌توان نحوه تأثیر تغییر هر یک از پارامترها را به دست آورد. در ادامه با استفاده از روش‌های کلاسیک مانند رگرسیون، رابطه دقیق ریاضی مورد نظر استخراج می‌گردد.

روش‌های مختلفی به منظور تعیین پارامترهای بدون بعد توسط محققین مورد استفاده قرار می‌گیرد. مهم‌ترین روش‌های تعیین پارامترهای بدون بعد عبارتند از:

۱- روش رالیق

۲- روش باکینگهام

۳- روش ماتریس

قابل ذکر است که صحت تمام این روش‌ها به تعیین صحیح تمام متغیرهای موثر بر پدیده تحت بررسی بستگی مطلق دارد. در مطالعات انجام شده پیرامون پدیده آبشستگی، حداکثر عمق آبشستگی به عنوان معیار سنجش آبشستگی مورد بررسی قرار گرفته است.

در ایجاد پدیده آبشستگی تکیه‌گاه پل پارامترهای مختلفی تأثیرگذار هستند از جمله، سرعت متوسط جریان V (m/s)، عمق جریان y (m)، عرض کل کانال W (m)، عرض کانال اصلی W' (m)، طول تکیه‌گاه L (m)، عرض تکیه‌گاه B (m)، ضخامت آبشکن B_s (m)، طول جان آبشکن L_s (m)، طول بال آبشکن L_w (m)، فاصله آبشکن از تکیه‌گاه X (m)، شیب مواد بستر S ، جرم مخصوص آب ρ ، جرم مخصوص رسوبات بستر ρ_s ، لزجت سینماتیکی آب ν (m²/s)، قطر متوسط ذرات بستر d_{50} (m)، شتاب گرانش g (m²/s).

با توجه به پارامترهای ذکر شده، می‌توان رابطه (۳-۱) را برای حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه و رابطه (۳-۲) را برای حداکثر عمق آبشستگی آبشکن تعریف نمود:

$$F(d_s, V, y, W, W', L, B, B_s, L_s, L_w, X, S, \nu, \rho, \rho_s, d_{50}, g) = 0 \quad (۳-۱)$$

$$F(d_{sp}, V, y, W, W', L, B, B_s, L_s, L_w, X, S, \nu, \rho, \rho_s, d_{50}, g) = 0 \quad (۳-۲)$$

d_s حداکثر عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه و d_{sp} حداکثر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن می‌باشد.

با انتخاب سه پارامتر ρ ، V و y به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش π - باکینگهام، پارامترهای بی‌بعد موثر در آبشستگی تکیه‌گاه به صورت رابطه (۳-۳) و پارامترهای بی‌بعد موثر در آبشستگی آبشکن به صورت رابطه (۳-۴) به دست می‌آید:

$$\left(\frac{d_s}{y}, \frac{Vy}{\nu}, \frac{W}{y}, \frac{W'}{y}, \frac{L}{y}, \frac{B}{y}, \frac{B_s}{y}, \frac{L_s}{y}, \frac{L_w}{y}, \frac{X}{y}, \frac{V^2}{gy}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{y} \right) = 0 \quad (۳-۳)$$

$$\left(\frac{d_{sp}}{y}, \frac{Vy}{v}, \frac{W}{y}, \frac{W'}{y}, \frac{L}{y}, \frac{B}{y}, \frac{B_s}{y}, \frac{L_s}{y}, \frac{L_w}{y}, \frac{X}{y}, \frac{V^2}{gy}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{y}\right) = 0 \quad (4-3)$$

با ترکیب پارامترهای بی‌بعد و در نظر گرفتن دو پارامتر d_s/y و d_{sp}/y به عنوان متغیرهای وابسته، روابط آبشستگی به شکل زیر ساده‌سازی می‌شوند:

$$\frac{d_s}{y} = \left(\frac{Vy}{v}, \frac{W}{W'}, \frac{B_s}{B}, \frac{L_s}{L}, \frac{L_w}{L}, \frac{X}{y}, \frac{V^2}{gy}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{L}\right) \quad (5-3)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = \left(\frac{Vy}{v}, \frac{W}{W'}, \frac{B_s}{B}, \frac{L_s}{L}, \frac{L_w}{L}, \frac{X}{y}, \frac{V^2}{gy}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{L}\right) \quad (6-3)$$

با توجه به این که نسبت B/y برای تمامی دبی‌های مورد استفاده از ۱۰ بیشتر می‌باشد، بنابراین می‌توان کانال را پهن فرض کرد. در کانال‌های پهن شعاع هیدرولیکی و عمق جریان تقریباً برابر می‌باشد. با این فرض پهن بودن کانال، پارامترهای بی‌بعد Vy/v و V^2/gy در روابط آبشستگی بیانگر عدد فرود و عدد رینولدز جریان می‌باشند.

همان‌گونه که در جدول (۴-۳) مشاهده می‌شود مقدار عدد رینولدز در تمامی دبی‌ها از ۵۰۰۰ بیشتر بوده و در نتیجه وضعیت جریان به صورت متلاطم می‌باشد. با توجه به این که در جریان‌های متلاطم عدد رینولدز پارامتری تأثیرگذار نمی‌باشد عدد رینولدز را نیز می‌توان از روابط (۵-۳) و (۶-۳) حذف نمود.

جدول ۴-۳- مقادیر عدد رینولدز در دبی‌های مورد آزمایش

دبی (لیتر بر ثانیه)	عدد رینولدز
۱۸	۱۳۷۰۶
۲۰	۱۵۶۳۸
۲۲	۱۷۵۱۱

با حذف عدد رینولدز و حذف پارامترهای بی بعد ثابت از روابط (۳-۵) و (۳-۶)، روابط زیر برای

حداکثر عمق آبشستگی در تکیه گاه و آبشکن به دست می آیند:

$$\frac{d_s}{y} = \left(Fr, \frac{L_s}{L}, \frac{L_w}{L}, \frac{X}{y} \right) = 0 \quad (۳-۷)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = \left(Fr, \frac{L_s}{L}, \frac{L_w}{L}, \frac{X}{y} \right) = 0 \quad (۳-۸)$$

فصل چهارم

نتایج آزمایش‌ها و تحلیل آن‌ها

۴-۱ مقدمه

در این فصل به ارائه مشاهدات آزمایشگاهی و پارامترهای اندازه‌گیری شده پرداخته و نتایج حاصل از آزمایش‌ها ارائه خواهد شد.

۴-۲ نتایج

مقادیر اعداد فرود سرعت جریان و عمق جریان در دبی‌های مختلف در جدول (۴-۱) ارائه شده است:

جدول ۴-۱- مقادیر عدد فرود در دبی‌های مورد آزمایش

Fr	V(m/s)	y (cm)	Q (lit/s)
۰/۶	۰/۳۵۶	۳/۸۵	۱۸
۰/۵۵	۰/۳۶۲	۴/۳۲	۲۰
۰/۵۴۴	۰/۳۷۱	۴/۷۲	۲۲

همان‌طور که در فصل سوم اشاره شد حداکثر عمق آبشستگی d_s می‌تواند پارامتری مناسب برای سنجش میزان آبشستگی باشد. در ادامه حداکثر عمق آبشستگی ایجاد شده در آزمایش‌های مختلف به عنوان نتایج اولیه حاصل از آزمایش‌ها ارائه شده است. با کمک این نتایج می‌توان روند کلی تغییرات عمق آبشستگی در طول آزمایش‌ها و همچنین میزان تأثیر پارامترهای مختلف بر آبشستگی را مورد بررسی قرار داد. در بخش‌های بعدی به تجزیه و تحلیل دقیق نتایج آزمایش‌ها پرداخته می‌شود.

حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه در آزمایش‌های شاهد (بدون حضور آبشکن سرسپری) در جدول (۴-۲) ارائه شده است. در آزمایش‌های شاهد آبشکن سرسپری در بالادست تکیه‌گاه حضور نداشته، و داده‌های ارائه شده در این جدول به عنوان داده‌های شاهد برای بررسی میزان تأثیر آبشکن سرسپری بر آبشستگی تکیه‌گاه مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

جدول ۲-۴- مقادیر d_s بر حسب سانتی متر در آزمایش های شاهد

d_s (cm)	Q (m^3/s)
۳	۱۸
۸/۷۵	۲۰
۱۰/۹	۲۲

در جدول (۳-۴) تا جدول (۱۱-۴) مقدار d_s در آزمایش های اصلی (با حضور آبشکن سرسپری) ارائه شده است. مقدار دبی و همچنین فاصله آبشکن از تکیه گاه در هر جدول ثابت می باشد.

جدول ۳-۴- مقادیر d_s بر حسب سانتی متر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۲ سانتی متری آبشکن از تکیه گاه

L_w (cm) / L_s (cm)	۶	۷/۵	۹	۱۰/۵	۱۲
۶	۱/۴۳				
۷/۵	۱/۰۹	۰/۸۴			
۹	۰/۸۹	۰/۶۷	۰/۵۴		
۱۰/۵	۰/۷۳	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۳۸	
۱۲	۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۲۸

جدول ۴-۴- مقادیر d_s بر حسب سانتی متر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۸ سانتی متری آبشکن از تکیه گاه

L_w (cm) / L_s (cm)	۶	۷/۵	۹	۱۰/۵	۱۲
۶	۲/۱۴				
۷/۵	۱/۶۳	۱/۲۶			
۹	۱/۳۱	۱/۰۱	۰/۸۲		
۱۰/۵	۱/۰۹	۰/۸۴	۰/۶۸	۰/۵۷	
۱۲	۰/۹۳	۰/۷۲	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۴۱

جدول ۵-۴- مقادیر d_s بر حسب سانتی متر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و فاصله ۲۴ سانتی متری آبشکن از تکیه گاه

۱۲	۱۰/۵	۹	۷/۵	۶	$L_w(cm)$ $L_s(cm)$
				۲/۸۵	۶
			۱/۶۸	۲/۱۸	۷/۵
		۱/۰۹	۱/۳۵	۱/۷۵	۹
	۰/۷۶	۰/۹۱	۱/۱۲	۱/۴۵	۱۰/۵
۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۷۷	۰/۹۵	۱/۲۴	۱۲

جدول ۶-۴- مقادیر d_s بر حسب سانتی متر در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۲ سانتی متری آبشکن از تکیه گاه

۱۲	۱۰/۵	۹	۷/۵	۶	$L_w(cm)$ $L_s(cm)$
				۴/۲۹	۶
			۲/۵۳	۳/۲۸	۷/۵
		۱/۶۵	۲/۰۳	۲/۶۳	۹
	۱/۱۴	۱/۳۷	۱/۶۹	۲/۱۹	۱۰/۵
۰/۸۳	۰/۹۷	۱/۱۶	۱/۴۴	۱/۸۶	۱۲

جدول ۷-۴- مقادیر d_s بر حسب سانتی متر در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۸ سانتی متری آبشکن از تکیه گاه

۱۲	۱۰/۵	۹	۷/۵	۶	$L_w(cm)$ $L_s(cm)$
				۶/۴۴	۶
			۳/۸	۴/۹۲	۷/۵
		۲/۴۷	۳/۰۵	۳/۹۵	۹
	۱/۷۱	۲/۰۵	۲/۵۳	۳/۲۸	۱۰/۵
۱/۲۵	۱/۴۶	۱/۷۴	۲/۱۵	۲/۷۹	۱۲

جدول ۴-۸- مقادیر d_s بر حسب سانتی متر در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و فاصله ۲۴ سانتی متری آبشکن از تکیه گاه

۱۲	۱۰/۵	۹	۷/۵	۶	$L_w(cm)$ $L_s(cm)$
				۸/۵۹	۶
			۵/۰۶	۶/۵۶	۷/۵
		۳/۲۹	۴/۰۷	۵/۲۵	۹
	۲/۲۸	۲/۷۳	۳/۳۸	۴/۳۷	۱۰/۵
۱/۶۷	۱/۹۴	۲/۳۳	۲/۸۷	۳/۷۲	۱۲

جدول ۴-۹- مقادیر d_s بر حسب سانتی متر در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۲ سانتی متری آبشکن از تکیه گاه

۱۲	۱۰/۵	۹	۷/۵	۶	$L_w(cm)$ $L_s(cm)$
				۵/۳۳	۶
			۳/۱۴	۴/۰۷	۷/۵
		۲/۵۴	۲/۵۲	۳/۲۷	۹
	۱/۴۲	۱/۷	۲/۱	۲/۷۱	۱۰/۵
۱/۰۳	۱/۲۱	۱/۴۴	۱/۸۷	۲/۳۱	۱۲

جدول ۴-۱۰- مقادیر d_s بر حسب سانتی متر در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه و فاصله ۱۸ سانتی متری آبشکن از تکیه گاه

۱۲	۱۰/۵	۹	۷/۵	۶	$L_w(cm)$ $L_s(cm)$
				۷/۹۵	۶
			۴/۷۲	۶/۱۱	۷/۵
		۳/۰۶	۳/۷۹	۴/۹	۹
	۲/۱۳	۲/۵۴	۳/۱۴	۴/۰۷	۱۰/۵
۱/۵۵	۱/۸۱	۲/۱۷	۲/۶۸	۳/۴۷	۱۲

جدول ۴-۱۱- مقادیر d_s بر حسب سانتی‌متر در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه و فاصله ۲۴ سانتی‌متری آبشکن از تکیه‌گاه

L_w (cm) L_s (cm)	۶	۷/۵	۹	۱۰/۵	۱۲
۶	۱۰/۶۶				
۷/۵	۸/۱۵	۶/۲۹			
۹	۶/۵۴	۵/۰۵	۴/۰۹		
۱۰/۵	۵/۴۳	۴/۱۹	۳/۳۹	۲/۸۴	
۱۲	۴/۶۲	۳/۵۷	۲/۸۹	۲/۵۱	۲/۰۷

جدول (۴-۱۲) کمترین عمق آبشستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه ds_{min} و درصد تغییر آن در مقایسه با ds (عمق آبشستگی تکیه‌گاه در آزمایش شاهد)، را نشان می‌دهد. در تمامی دبی‌های مورد استفاده کمترین میزان عمق آبشستگی تکیه‌گاه در حالتی رخ داده است که آبشکنی با طول جان و بال ۱۲ سانتی‌متر در فاصله ۱۲ سانتی‌متری از تکیه‌گاه قرار گرفته است. در این حالت (در بین تمام حالت‌های مورد آزمایش)، آبشکن بیشترین تأثیر را بر آبشستگی تکیه‌گاه داشته و به طور متوسط ۹۰/۵۷ درصد آبشستگی در تکیه‌گاه را کاهش داده است.

جدول ۴-۱۲- کمترین عمق آبشستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه

متوسط درصد تغییر	درصد تغییر	ds_{min} (cm)	ds (cm)	Q (lit/s)
-۹۰/۵۷	-۹۰/۶۶	۰/۲۸	۳	۱۸
	-۹۰/۵۱	۰/۸۳	۸/۷۵	۲۰
	-۹۰/۵۵	۱/۰۳	۱۰/۹	۲۲

در تمامی دبی‌های مورد استفاده، آبشکنی با طول جان و بال ۶ سانتی‌متر که در فاصله ۲۴ سانتی‌متری از تکیه‌گاه قرار گرفته است کمترین تأثیر را بر کاهش تکیه‌گاه داشته است. در این حالت وجود آبشکن باعث کاهش ۳ درصدی آبشستگی در تکیه‌گاه شده است. جدول (۴-۱۳) بیشترین عمق

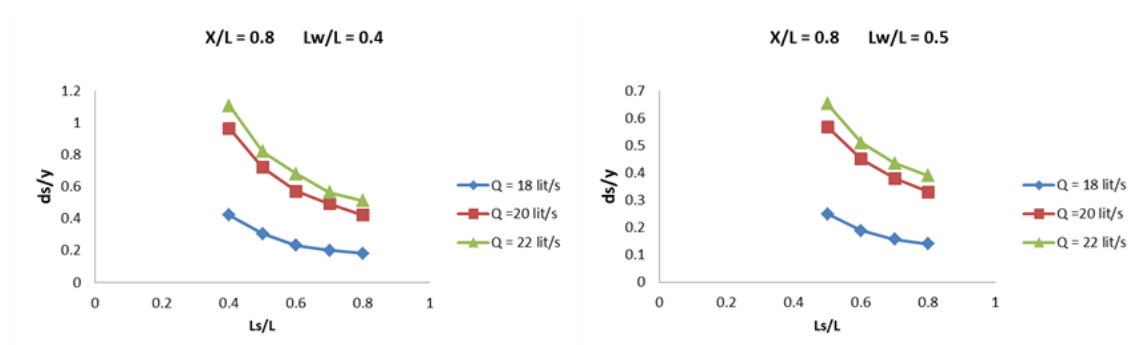
آبشستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه ds_{max} را در حالتی که آبشکن در بالادست تکیه‌گاه قرار گرفته است، نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۳- بیشترین عمق آبشستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه

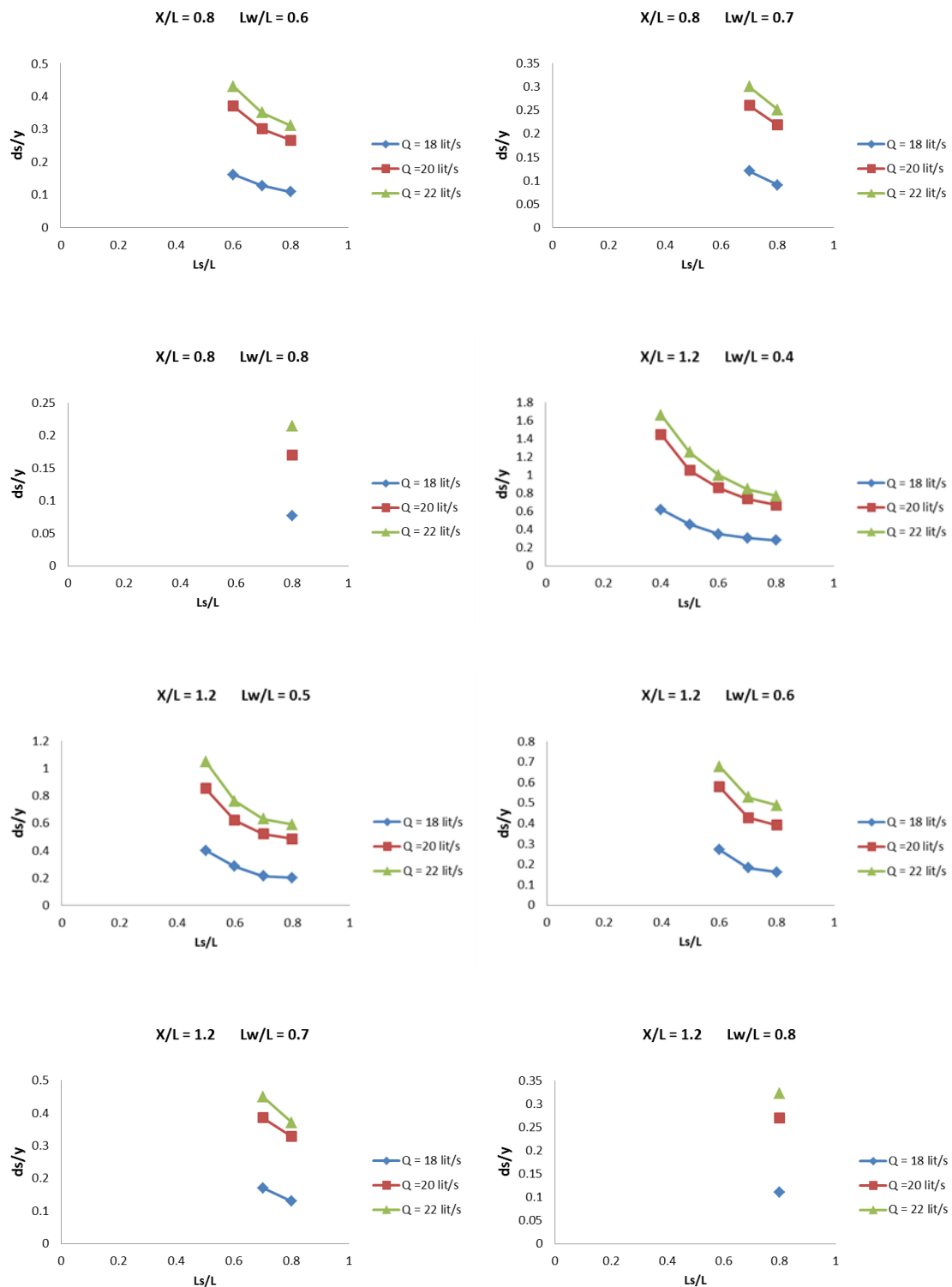
متوسط درصد تغییر	درصد تغییر	ds_{max} (cm)	ds (cm)	Q (lit/s)
-۳	-۵	۲/۸۵	۳	۱۸
	-۱/۸۲	۸/۵۹	۸/۷۵	۲۰
	-۲/۲	۱۰/۶۶	۱۰/۹	۲۲

۴-۳ تحلیل نتایج آزمایش‌ها

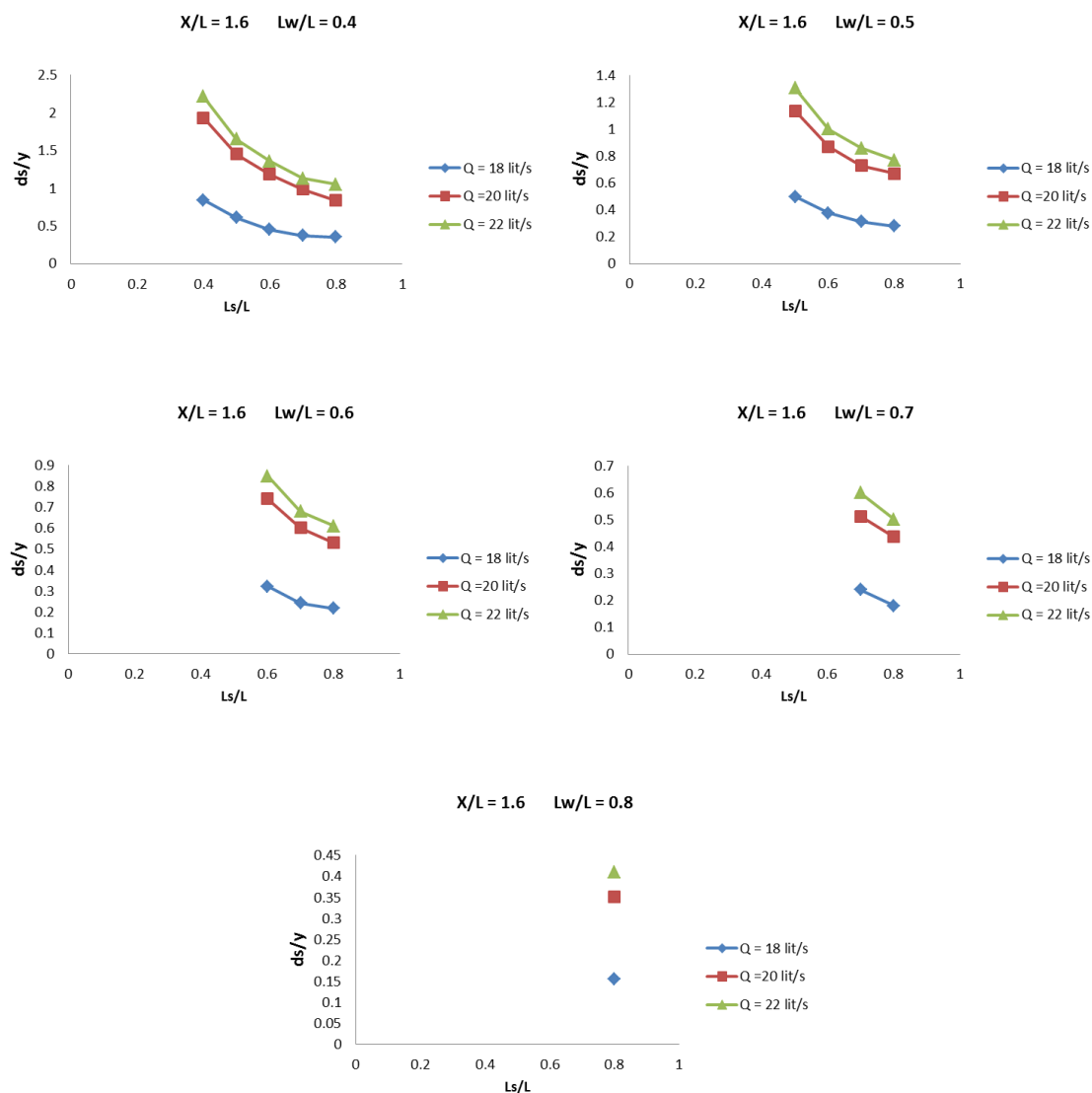
شکل (۴-۱) به ارائه تغییرات عمق آبشستگی تکیه‌گاه با تغییر طول جان آبشکن اختصاص دارد. در هر یک از نمودارهای این شکل طول بال آبشکن و همچنین فاصله آبشکن ثابت بوده و تغییرات نسبت ds/y به ازای تغییر L_s/L نشان داده شده است.



شکل (۴-۱)- تغییرات عمق آبشستگی تکیه‌گاه با تغییر طول جان آبشکن



ادامه شکل (۴-۱)- تغییرات عمق آبستگي تکیه گاه با تغییر طول جان آبشکن



ادامه شکل (۴-۱) - تغییرات عمق آبستگي تکیه‌گاه با تغییر طول جان آبشکن

در جدول (۴-۱۴) درصد کاهش پارامترهای ds/y و ds به ازای درصد افزایش پارامتر Ls/L نشان داده شده است. قابل ذکر است با استفاده از رابطه زیر می‌توان برابر بودن درصد کاهش پارامترهای ds/y و ds (در یک دبی ثابت) را اثبات نمود.

$$\left(\frac{ds_1 - ds_2}{ds_1} * 100 \right) = \left(\frac{\frac{ds_1}{y} - \frac{ds_2}{y}}{\frac{ds_1}{y}} * 100 \right) \quad (۴-۱)$$

مقادیر دبی بر حسب لیتر بر ثانیه در سطر دوم (سطر تیره رنگ) این جدول مشخص شده است.

جدول ۴-۱۴- درصد کاهش پارامتر ds/y به ازای درصد افزایش Ls/L

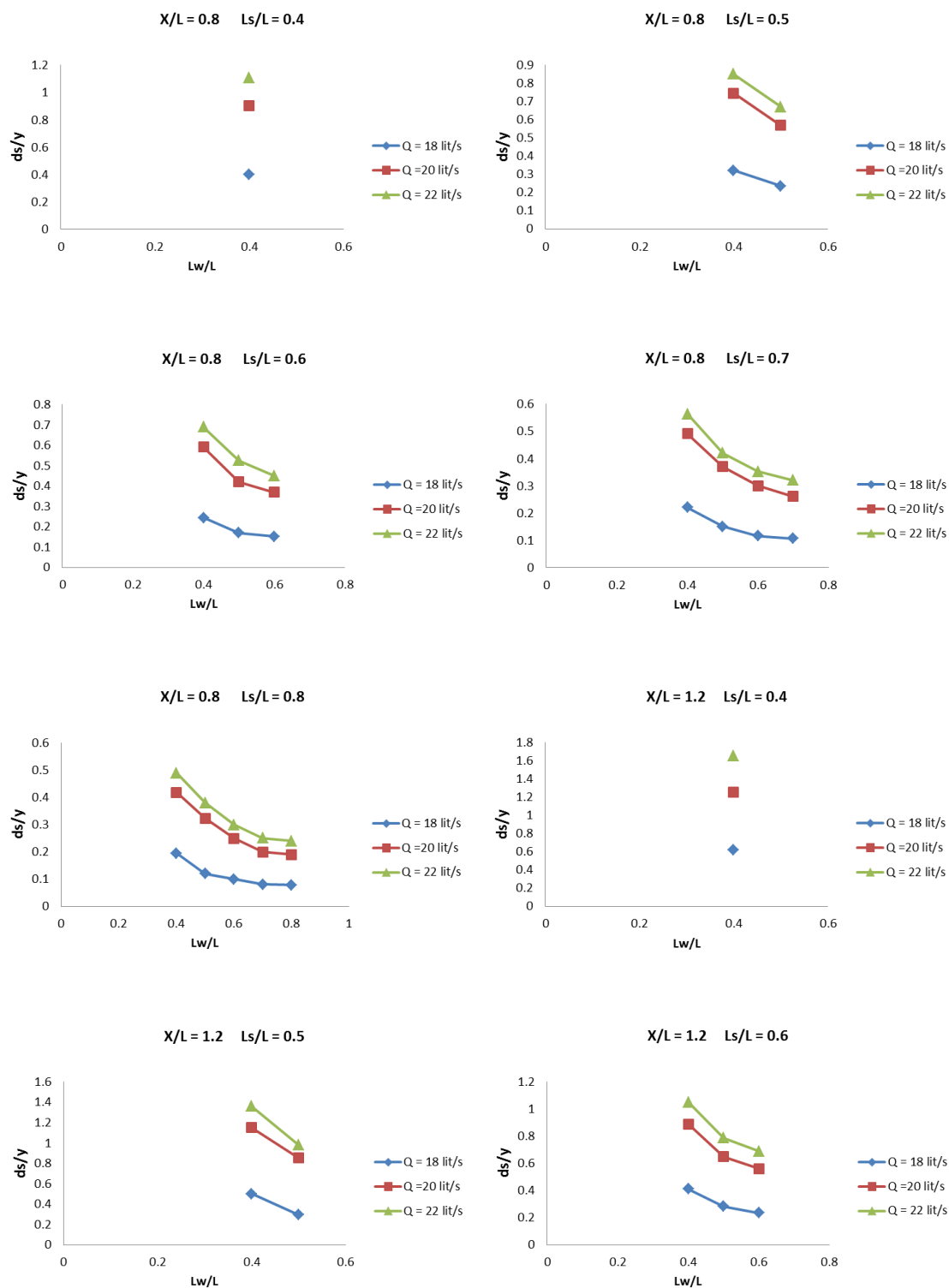
میانگین درصد کاهش پارامتر ds/y				درصد افزایش Ls/L	حالت افزایش Ls/L
میانگین	۲۲	۲۰	۱۸		
۲۳/۵	۲۳/۳۵	۲۳/۴۸	۲۳/۶۹	۲۵	۰/۴ به ۰/۵
۱۹/۷	۱۹/۷۴	۱۹/۸	۱۹/۵	۲۰	۰/۶ به ۰/۵
۱۶/۹	۱۶/۴	۱۷/۲۱	۱۷/۱	۱۶/۶	۰/۷ به ۰/۶
۱۴/۸	۱۴/۷۴	۱۴/۸۷	۱۴/۹	۱۴/۲۸	۰/۸ به ۰/۷

جدول (۴-۱۴) و شکل (۴-۱) بیانگر کاهش نسبت ds/y با افزایش نسبت Ls/L می‌باشند. با توجه به ثابت بودن مقدار دو پارامتر L و y در هر دبی، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش طول جان آبشکن باعث کاهش عمق آبشستگی در تکیه‌گاه می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار اکسل می‌توان رابطه رگرسیونی زیر را بین میزان افزایش پارامتر Ls/L و میزان کاهش پارامتر ds/y به‌دست آورد:

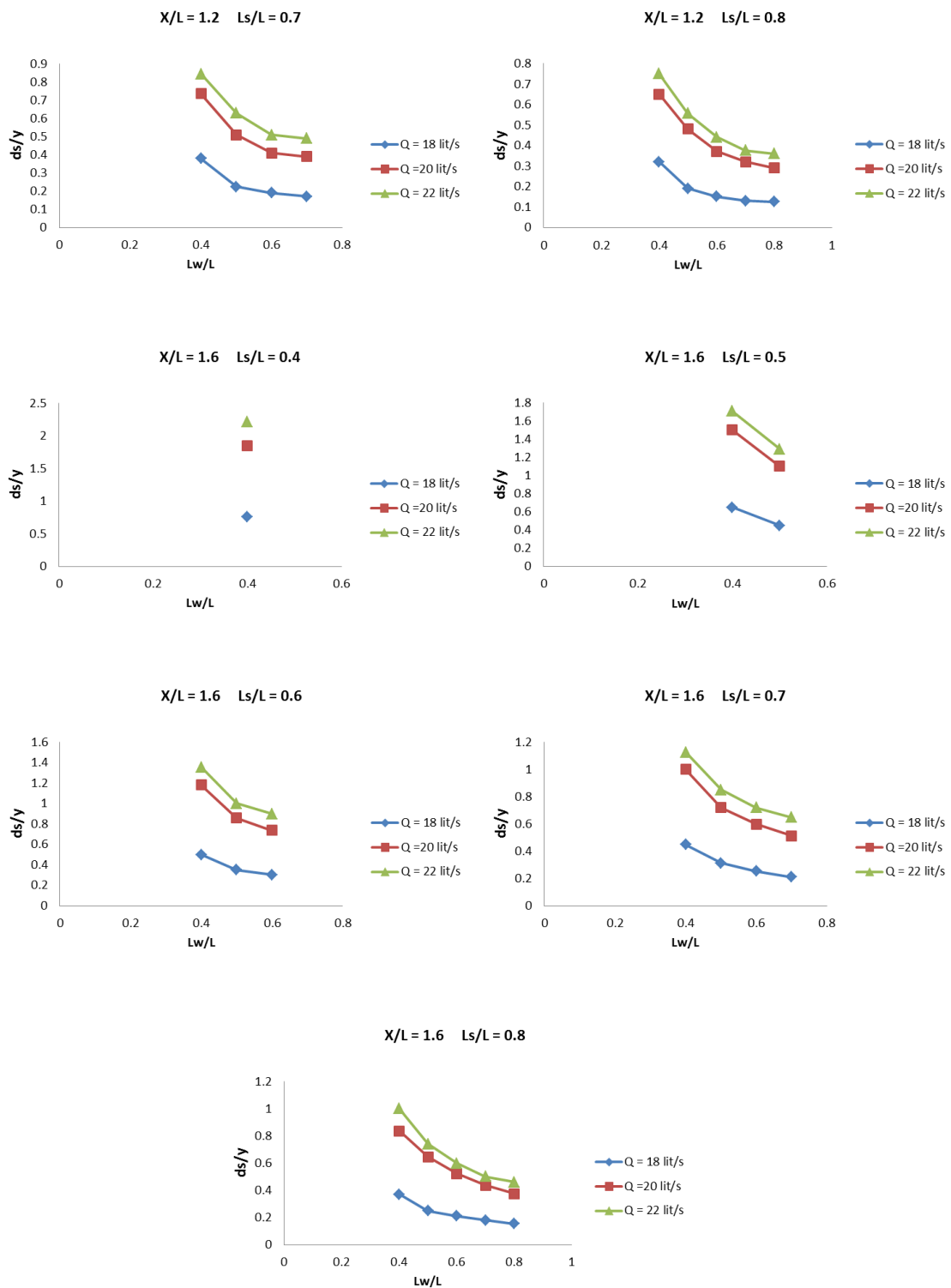
$$(۴-۲) \quad ۳ + (\text{درصد افزایش } Ls/L) \times ۰/۸۰۹۵ = (\text{درصد کاهش پارامتر } ds/y)$$

پارامتر R^2 برای رابطه بالا برابر ۰/۹۵ می‌باشد.

در شکل (۴-۲) به بررسی تغییرات عمق آبشستگی تکیه‌گاه با تغییر طول بال آبشکن پرداخته می‌شود. در هر یک از نمودارهای شکل (۴-۲) نسبت‌های Ls/L و X/L ثابت بوده و تغییرات ds/y به ازای تغییر L_w/L نشان داده شده است.



شکل (۴-۲) - تغییرات عمق آبستگي تکیه گاه با تغییر طول بال آبشکن



ادامه شکل (۴-۲) - تغییرات عمق آبستگي تکیه گاه با تغییر طول بال آبشکن

در جدول (۴-۱۵) درصد کاهش پارامترهای ds/y و ds به ازای درصد افزایش پارامتر Lw/L

ارائه شده است.

جدول ۴-۱۵ - درصد کاهش پارامتر ds/y به ازای درصد افزایش Lw/L

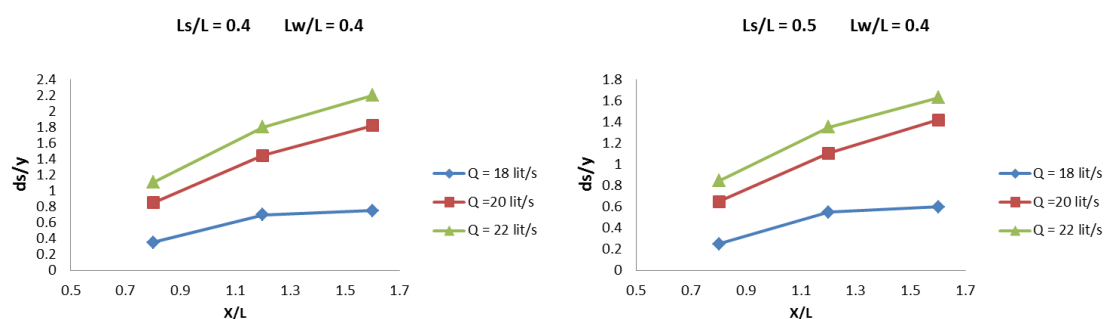
میانگین درصد کاهش پارامتر ds/y				درصد افزایش Lw/L	حالت افزایش Lw/L
میانگین	۲۲	۲۰	۱۸		
۲۲/۸۱	۲۲/۸۳	۲۲/۷۹	۲۲/۸	۲۵	۰/۴ به ۰/۵
۱۹/۰۵	۱۹/۰۱	۱۹/۰۵	۱۹/۱	۲۰	۰/۶ به ۰/۵
۱۶/۳۷	۱۶/۴۳	۱۶/۳۵	۱۶/۳	۱۶/۶	۰/۷ به ۰/۶
۱۴/۳۵	۱۴/۳۱	۱۴/۳۷۵	۱۴/۴	۱۴/۲۸	۰/۸ به ۰/۷

جدول (۴-۱۵) و شکل (۴-۲) کاهش عمق آبستگي در تکیه‌گاه با افزایش طول بال آبشکن را نشان می‌دهند. با استفاده از نرم‌افزار اکسل می‌توان رابطه رگرسیونی زیر را بین درصد کاهش ds/y و درصد افزایش Lw/L به‌دست آورد:

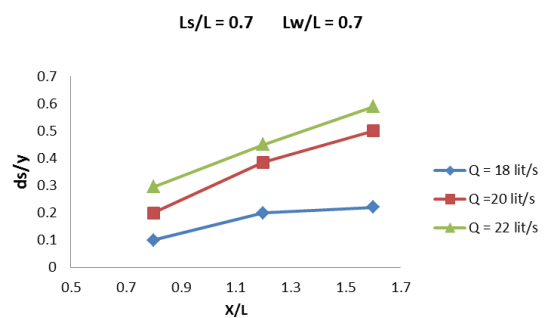
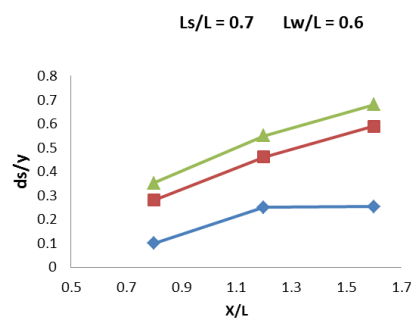
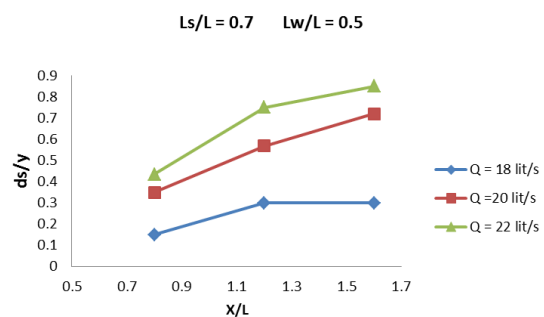
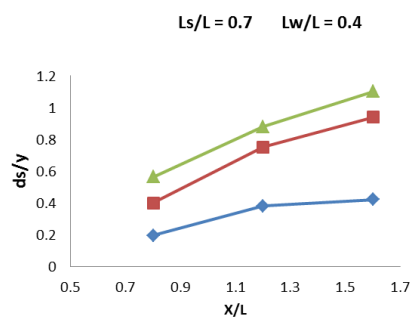
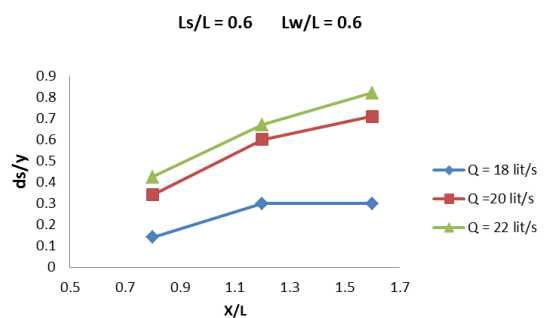
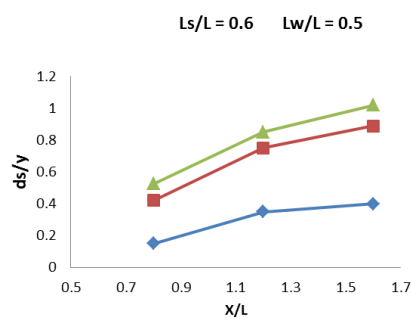
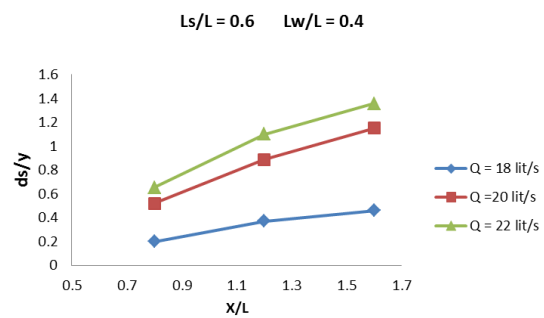
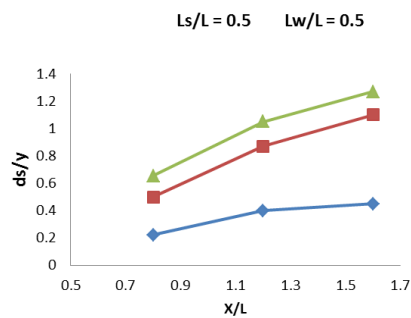
$$(۳-۴) \quad (ds/y \text{ درصد کاهش پارامتر}) = ۰/۷۸۴ \times (Lw/L \text{ درصد افزایش}) + ۳$$

پارامتر R^2 برای رابطه بالا برابر ۰/۹۱ و در حد قابل قبول می‌باشد.

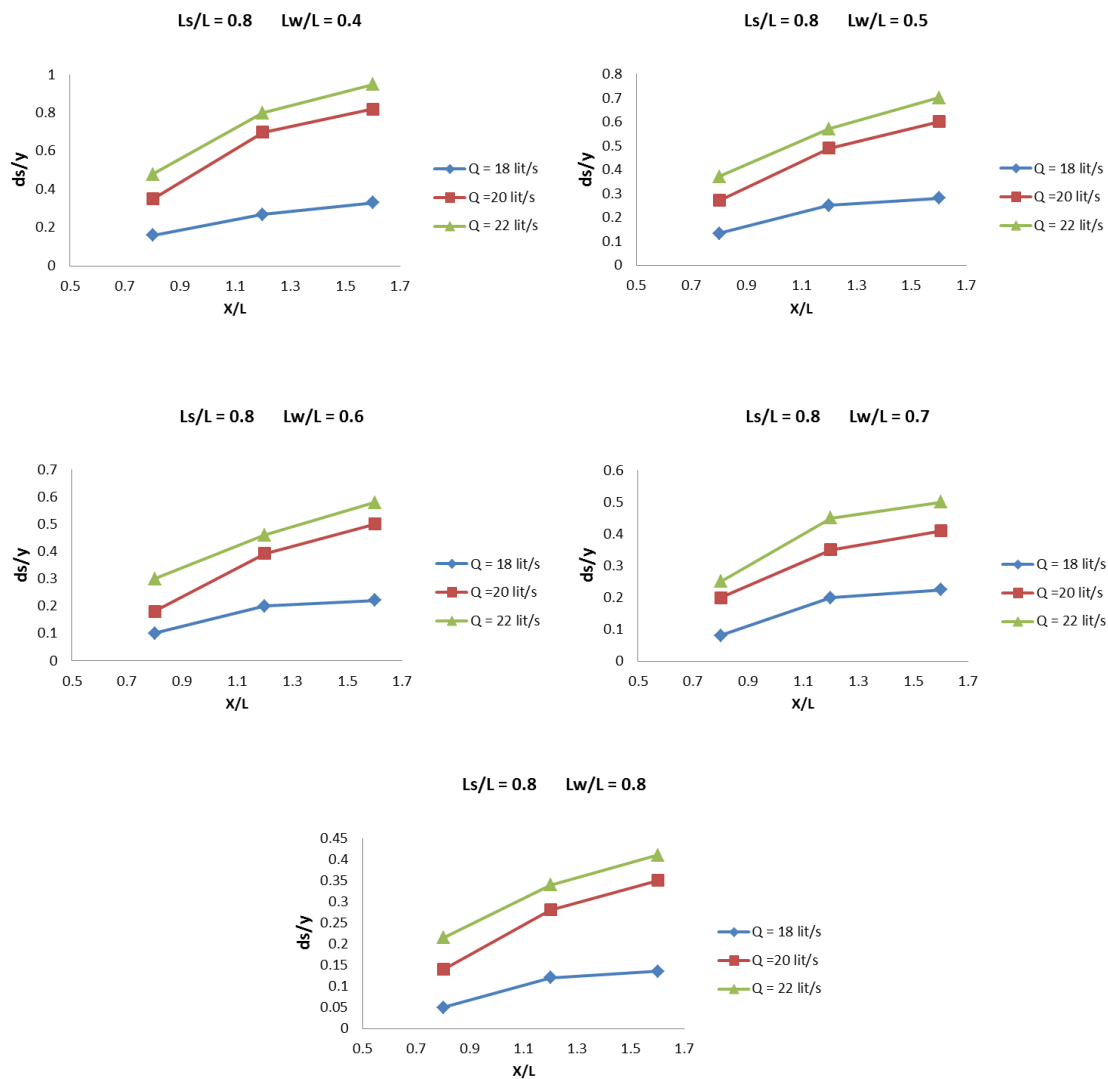
در شکل‌های (۴-۱) و (۴-۲) میزان تأثیر طول بال و جان آبشکن بر آبستگي تکیه‌گاه نمایش داده شد. در شکل (۴-۳) نیز میزان تغییر پارامتر ds/y به ازای تغییر نسبت X/L نشان داده شده است.



شکل (۴-۳) - تغییرات عمق آبستگي تکیه‌گاه با تغییر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه



ادامه شکل (۳-۴) - تغییرات عمق آبشستگی تکیه‌گاه با تغییر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه



ادامه شکل (۴-۳) - تغییرات عمق آبستگي تکیه‌گاه با تغییر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه

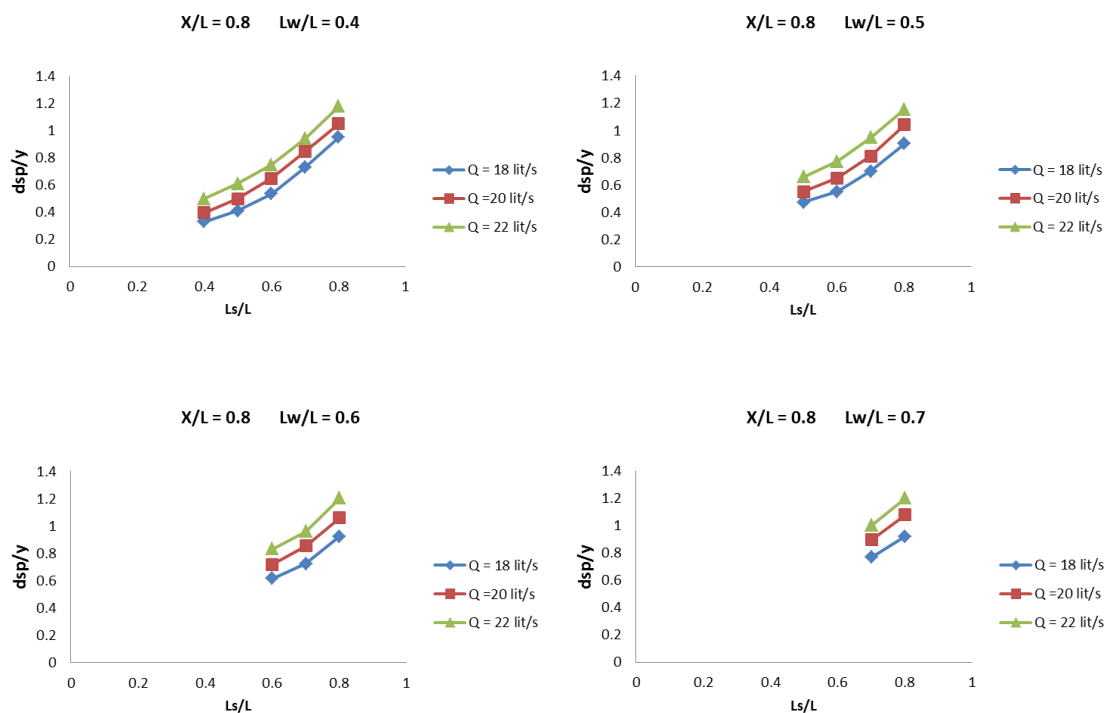
در جدول (۴-۱۶) درصد کاهش پارامتر ds/y به ازای درصد افزایش پارامتر X/L ارائه شده

است.

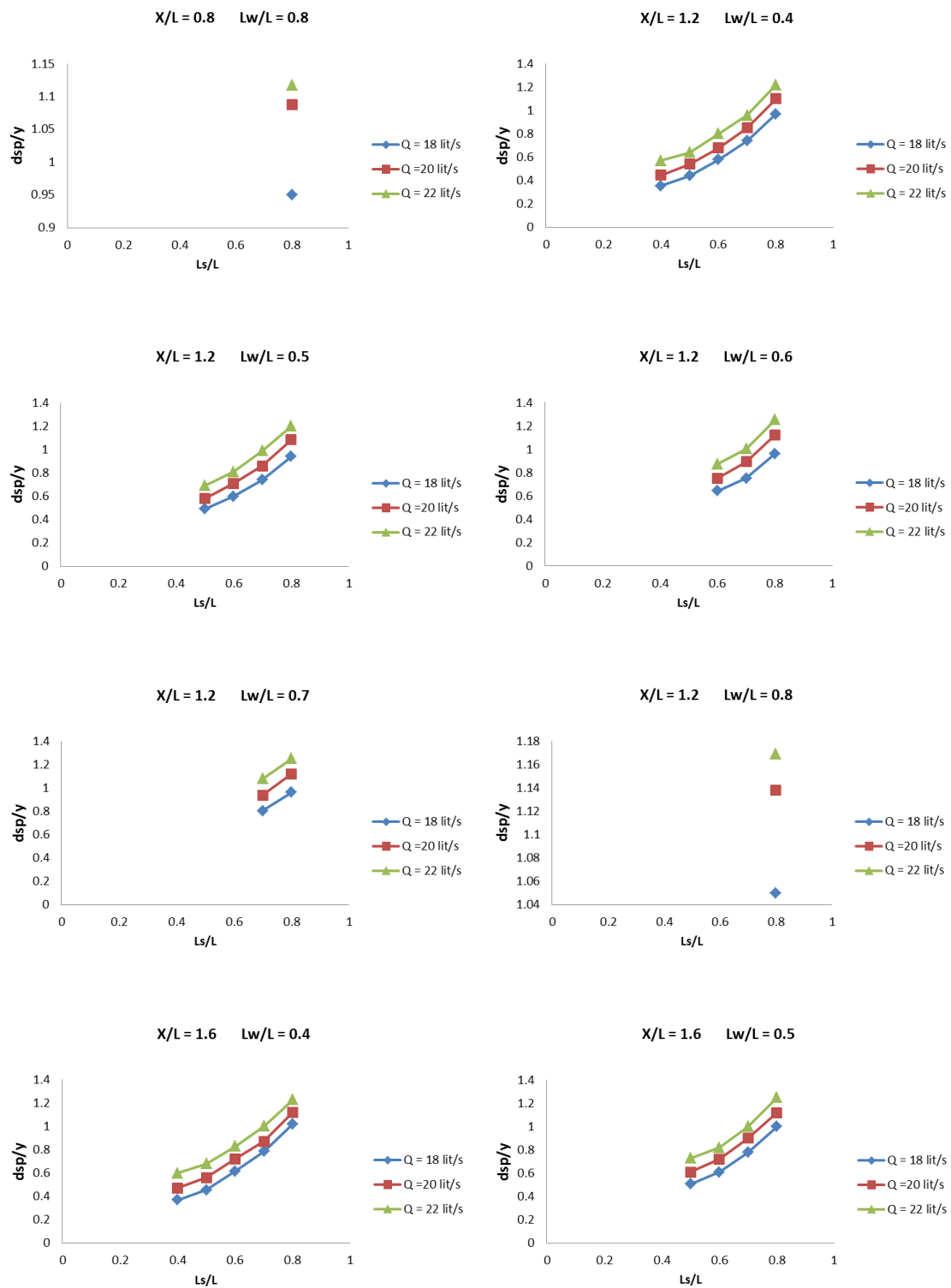
جدول ۴-۱۶ - درصد افزایش پارامتر ds/y به ازای درصد افزایش X/L

میانگین درصد افزایش پارامتر ds/y				درصد افزایش X/L	حالت افزایش X/L
میانگین	۲۲	۲۰	۱۸		
۵۰/۰۴	۴۹/۹۵	۵۰/۰۷	۵۰/۱	۵۰	۰/۸ به ۱/۲
۳۳/۲۹	۳۳/۴۲	۳۳/۳۵	۳۳/۱	۳۳/۳	۱/۸ به ۱/۲

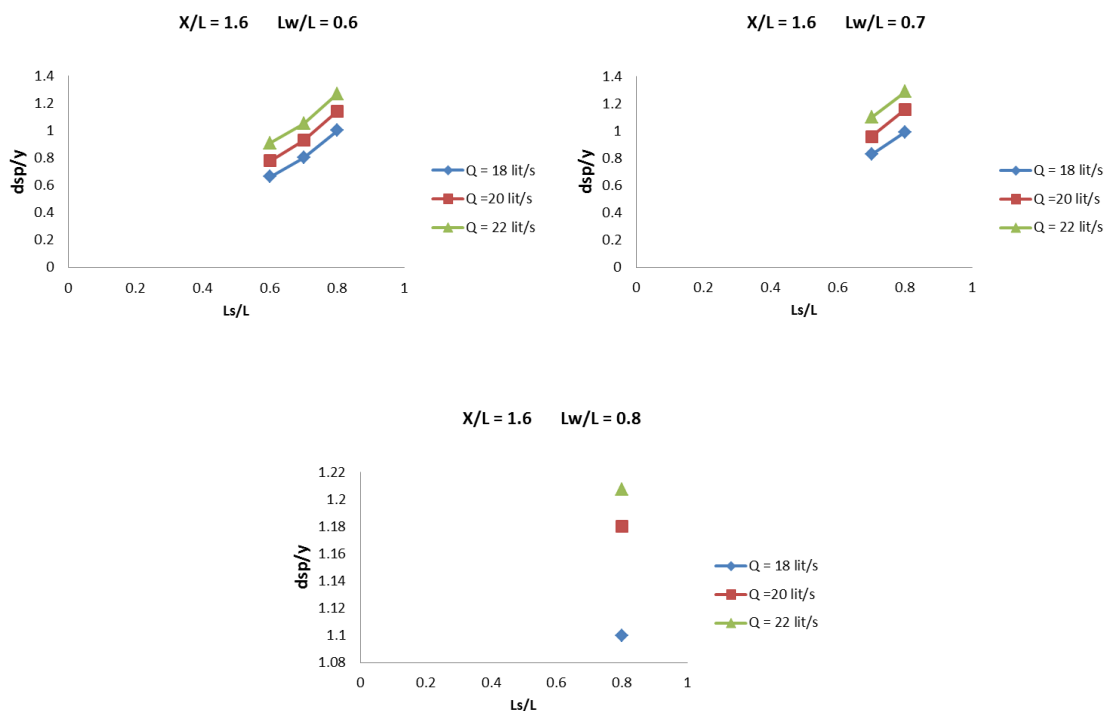
با بررسی شکل (۳-۴) و جدول (۴-۱۶) می‌توان نتیجه گرفت که با دور شدن آبشکن از تکیه‌گاه آبشستگی در تکیه‌گاه افزایش می‌یابد. در فاصله‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها درصد افزایش پارامتر X/L با درصد افزایش پارامتر ds/y برابر می‌باشد، هرچند به علت محدود بودن فاصله‌های مورد استفاده نمی‌توان رابطه‌ای دقیق بین دو پارامتر درصد افزایش X/L و درصد افزایش ds/y ارائه داد. در طراحی آبشکن‌ها باید پایداری آن‌ها را نیز مورد توجه قرار داد، لذا در ادامه تأثیر ابعاد و فاصله آبشکن از تکیه‌گاه بر عمق حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل (۴-۴) تغییرات نسبت حداکثر عمق آبشستگی آبشکن بر عمق جریان d_{sp}/y با تغییرات نسبت طول جان آبشکن به طول تکیه‌گاه L_s/L ارائه شده است.



شکل (۴-۴) - تغییرات عمق آبشستگی آبشکن با تغییر طول جان آبشکن



ادامه شکل (۴-۴) - تغییرات عمق آبستگي آبشكن با تغيير طول جان آبشكن



ادامه شکل (۴-۴) - تغییرات عمق آبشستگی آبشکن با تغییر طول جان آبشکن

همان‌طور که در شکل (۴-۴) مشاهده می‌شود افزایش طول جان آبشکن، حداکثر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن را افزایش داده است. جدول (۴-۱۷) بیانگر درصد افزایش پارامتر dsp/y به ازای درصد افزایش L_s/L می‌باشد.

جدول ۴-۱۷ - درصد افزایش پارامتر dsp/y به ازای درصد افزایش L_s/L

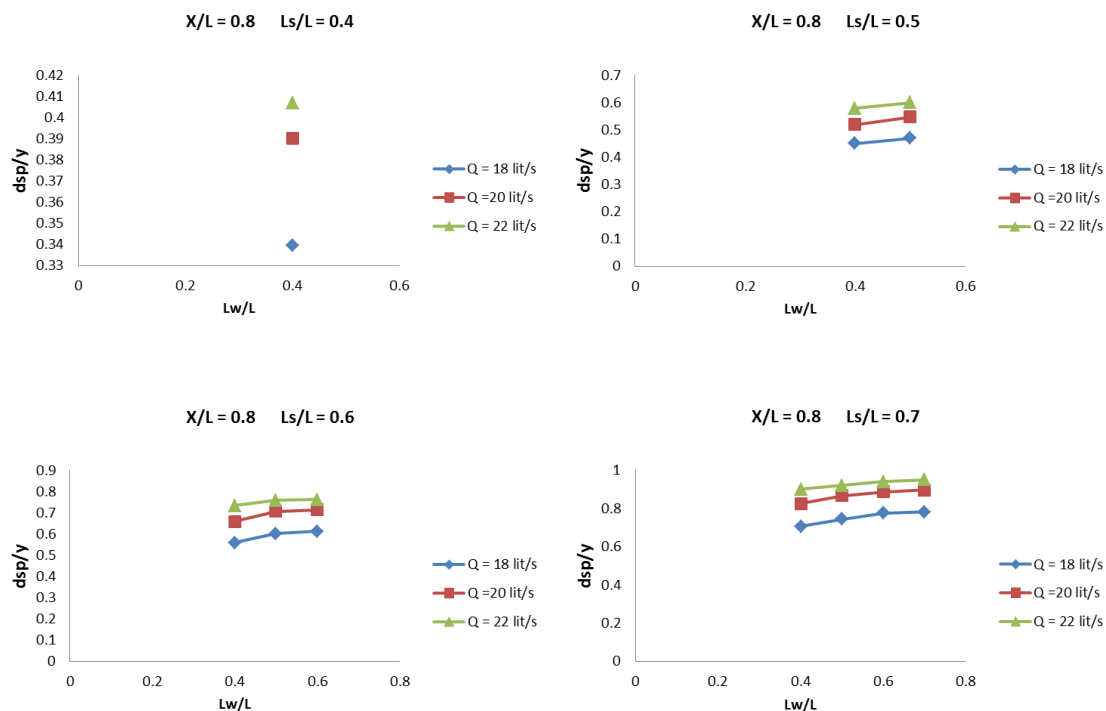
میانگین درصد افزایش پارامتر dsp/y				درصد افزایش L_s/L	حالت افزایش L_s/L
میانگین	۲۲	۲۰	۱۸		
۳۵/۳۶	۳۵/۲۴	۳۵/۴	۳۵/۵۲	۲۵	۰/۴ به ۰/۵
۲۸/۰۷	۲۸	۲۸/۱۵	۲۸/۲	۲۰	۰/۵ به ۰/۶
۲۳/۲۶	۲۳/۲	۲۳/۳۵	۲۳/۱۶	۱۶/۶	۰/۶ به ۰/۷
۱۹/۸۶	۱۹/۶	۱۹/۷۶	۱۹/۸	۱۴/۲۸	۰/۷ به ۰/۸

با استفاده از داده‌های جدول (۴-۱۷) می‌توان رابطه رگرسیونی (۴-۴) را بین درصد کاهش ds/y و درصد افزایش Lw/L به دست آورد:

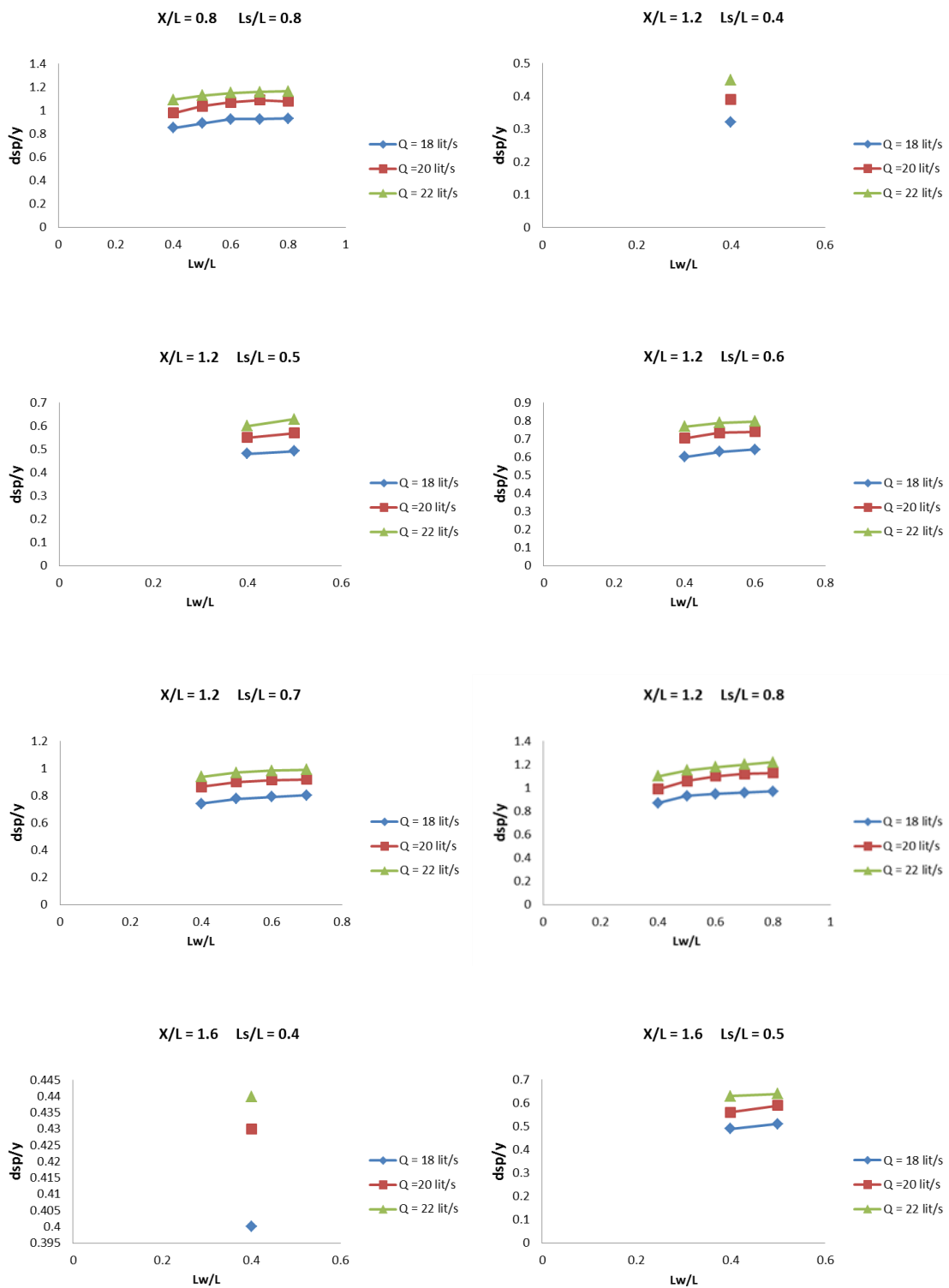
$$(۴-۴) \quad \left(\frac{dsp}{y}\right) = ۰/۷ + (۱/۴۴ \times \left(\frac{Ls}{L}\right) \text{ (درصد افزایش پارامتر)})$$

پارامتر R^2 برای رابطه بالا برابر $۰/۹۱$ و در حد بسیار خوب می‌باشد.

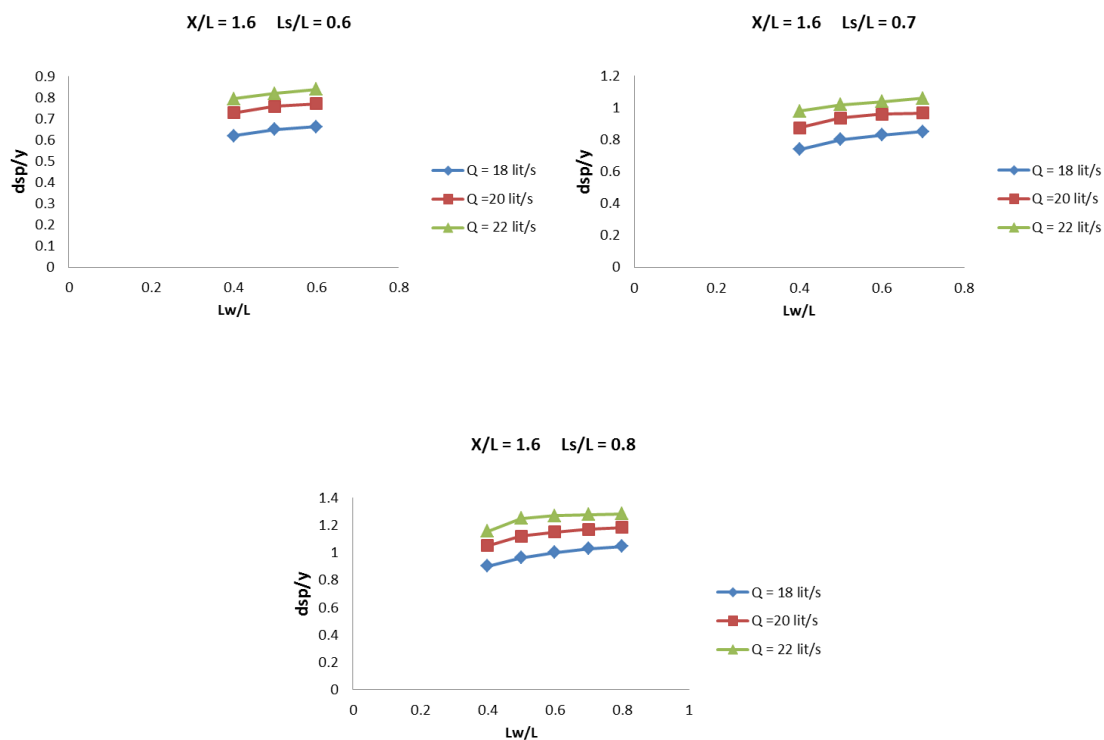
در شکل (۴-۵) روند تغییرات نسبت حداکثر عمق آبستگي آبشکن بر عمق جریان d_{sp}/y با تغییرات نسبت طول بال آبشکن به طول تکیه‌گاه L_s/L ارائه شده است. با توجه به این که طول تکیه‌گاه و همچنین عمق جریان در هر دبی ثابت می‌باشد، شکل (۴-۵) میزان تأثیر اندازه طول بال بر حداکثر عمق آبستگي آبشکن را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل (۴-۵)- تغییرات عمق آبستگي آبشکن با تغییر طول بال آبشکن



ادامه شکل (۴-۵) - تغییرات عمق آبستگي آبشكن با تغيير طول بال آبشكن



ادامه شکل (۴-۵) - تغییرات عمق آبستگی آبشکن با تغییر طول بال آبشکن

بررسی شکل (۴-۱۵) نشان می‌دهد افزایش طول بال نیز عمق آبستگی در آبشکن را افزایش می‌دهد. جدول (۴-۱۸) و رابطه (۴-۵) بیانگر درصد افزایش پارامتر dsp/y به ازای درصد افزایش Lw/L می‌باشند.

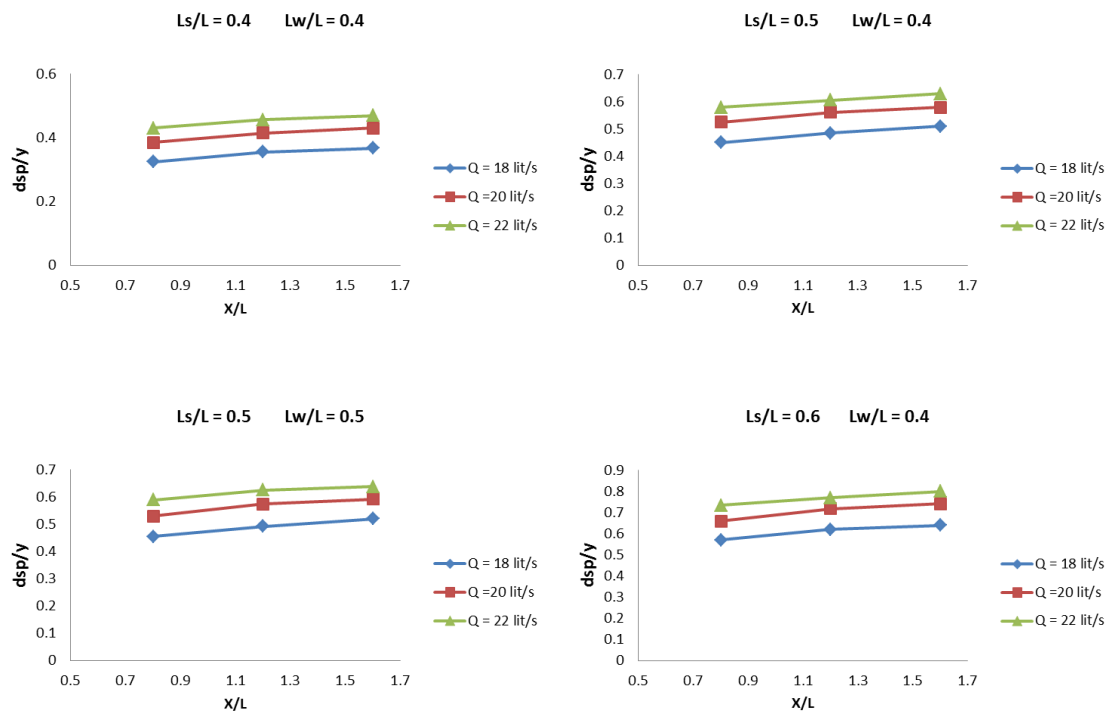
جدول ۴-۱۸ - درصد افزایش پارامتر dsp/y به ازای درصد افزایش Lw/L

میانگین درصد کاهش پارامتر ds/y				درصد افزایش Lw/L	حالت افزایش Lw/L
میانگین	۲۲	۲۰	۱۸		
۲/۲۵	۲/۲۲	۲/۳	۲/۱۸	۲۵	۰/۴ به ۰/۵
۱/۸۴	۱/۷۵	۱/۹۲	۱/۸۷	۲۰	۰/۵ به ۰/۶
۱/۵۵	۱/۷۵	۱/۳۵	۱/۱۴	۱۶/۶	۰/۶ به ۰/۷
۱/۳۴	۱/۵۴	۱/۳	۱/۲۴	۱۴/۲۸	۰/۷ به ۰/۸

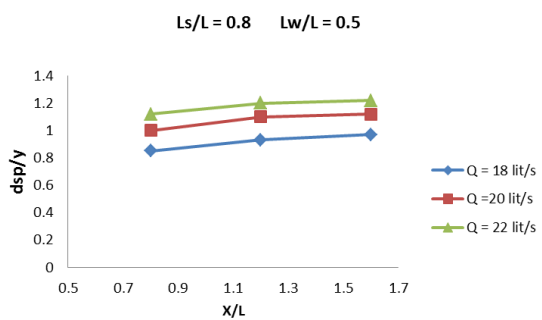
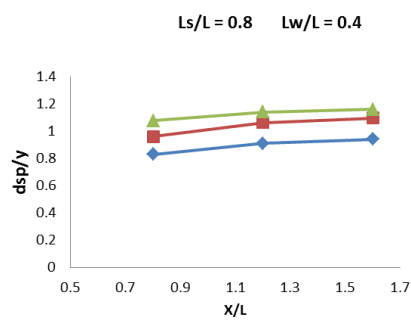
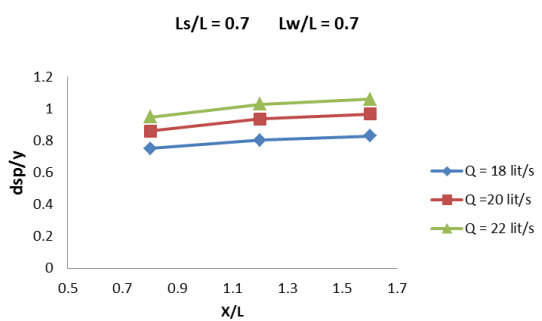
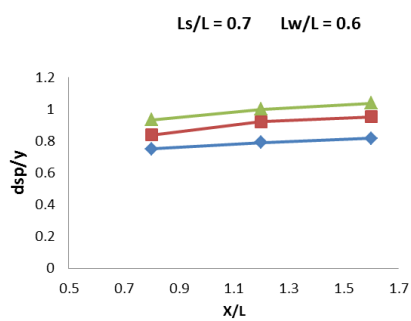
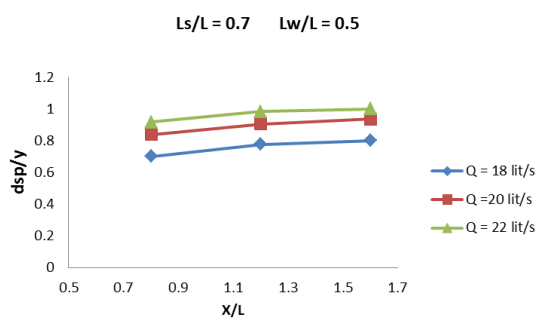
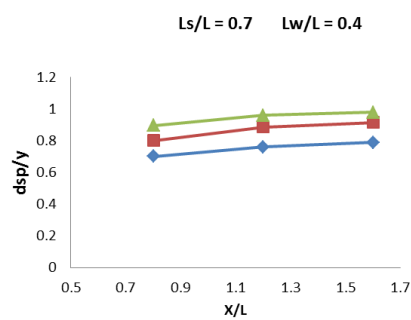
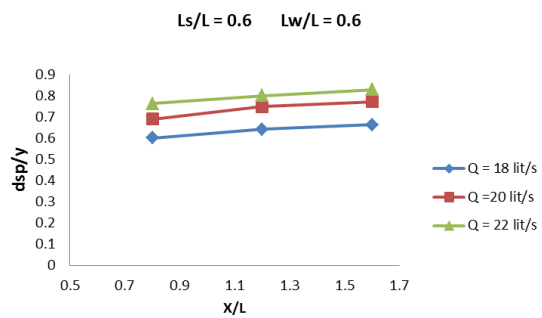
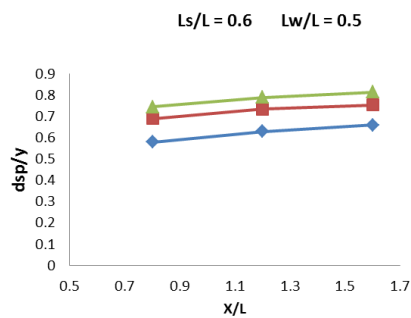
$$(5-4) \quad \left(\frac{dsp}{y}\right) + 0.13 + (\text{درصد افزایش } \frac{Lw}{L}) \times 0.085 - (\text{درصد افزایش پارامتر } \frac{dsp}{y})$$

پارامتر R^2 برای رابطه (۵-۴) برابر ۰/۹۷ می باشد.

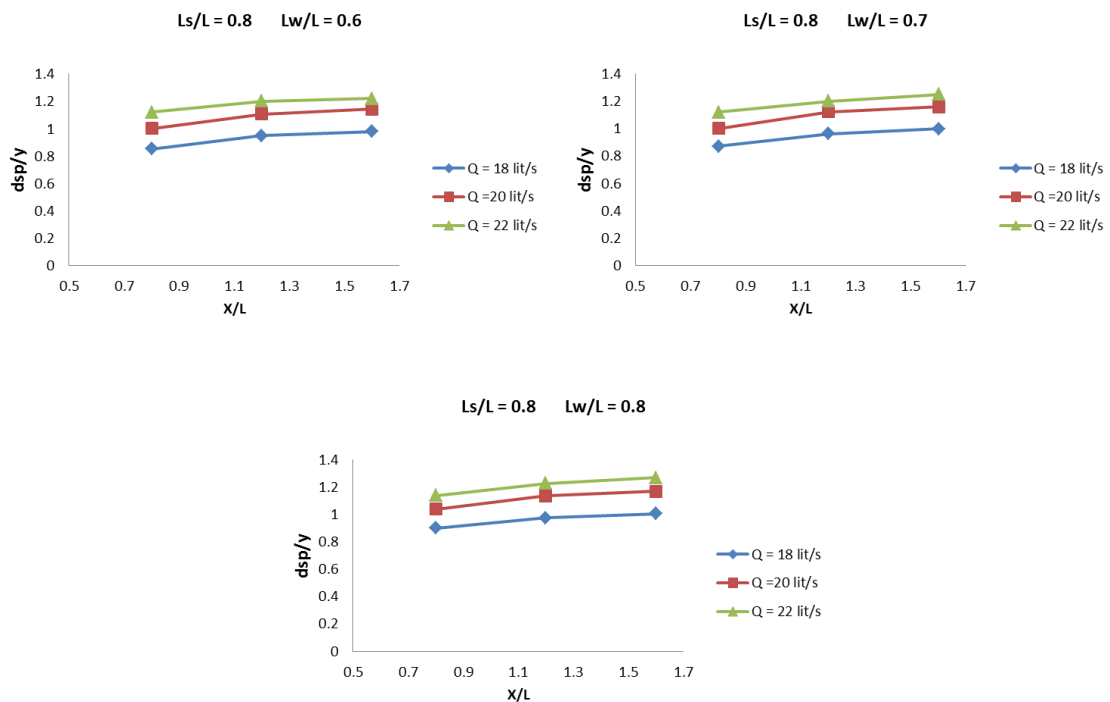
همانطور که در شکل (۳-۴) نشان داده شده است با افزایش فاصله آبشکن از تکیه گاه، عمق آبشستگی در اطراف تکیه گاه افزایش قابل ملاحظه ای می یابد. فاصله آبشکن از تکیه گاه عمق آبشستگی در اطراف آبشکن را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. در شکل (۶-۴) با استفاده از پارامترهای بی بعد میزان تأثیر فاصله بر عمق آبشستگی آبشکن نشان داده شده است.



شکل (۶-۴) - تغییرات عمق آبشستگی در اطراف آبشکن با تغییر فاصله آبشکن از تکیه گاه



ادامه شکل (۴-۶) - تغییرات عمق آبشستگی در اطراف آبشکن با تغییر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه



ادامه شکل (۴-۶) - تغییرات عمق آبشستگی در اطراف آبشکن با تغییر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه

جدول ۴-۱۹ - درصد افزایش پارامتر dsp/y به ازای درصد افزایش X/L

میانگین درصد افزایش پارامتر dsp/y				درصد افزایش X/L	حالت افزایش X/L
میانگین	۲۲	۲۰	۱۸		
۹/۳۴	۹/۱۷	۹/۴۴	۹/۴	۵۰	۰/۸ به ۱/۲
۳/۲۷	۳/۳۷	۳/۲	۳/۰۷	۳۳/۳	۱/۸ به ۱/۲

با بررسی شکل (۴-۶) و جدول (۴-۱۹) مشاهده می‌شود که با دور شدن آبشکن از تکیه‌گاه، حداکثر عمق آبشستگی آبشکن افزایش یافته است. در آزمایش‌های انجام شده، افزایش پارامتر dsp/y به ازای افزایش پارامتر Ls/L بسیار ناچیز می‌باشد، به طوری که با افزایش ۳۳ درصدی نسبت X/L ، نسبت dsp/y تنها ۳ درصد افزایش یافته است، هرچند به علت محدود بودن

فاصله‌های مورد استفاده ارائه رابطه‌ای دقیق بین دو پارامتر درصد افزایش X/L و درصد افزایش ds/y امکان پذیر نمی‌باشد.

۴-۴ جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها

با بررسی جداول (۳-۴) تا (۱۱-۴) مشاهده می‌شود که وجود آبشکن سرسپری در بالادست در تمامی دبی‌ها و ابعاد مورد استفاده، حداکثر عمق آبشستگی در تکیه‌گاه را کاهش می‌دهد. بیشترین کاهش عمق آبشستگی در حالتی مشاهده می‌شود که آبشکن سرسپری با طول جان و بال ۱۲ سانتی‌متر در فاصله ۱۲ سانتی‌متری از تکیه‌گاه قرار گرفته است، در این حالت در تمامی دبی‌های مورد آزمایش عمق آبشستگی تکیه‌گاه به طور متوسط $90/57$ درصد کاهش یافته است. آبشکن با طول جان و بال ۶ سانتی‌متر که در فاصله ۲۴ سانتی‌متری از تکیه‌گاه قرار گرفته است کمترین تأثیر را در میزان کاهش آبشستگی تکیه‌گاه داشته است به طوری که در این حالت تنها ۳ درصد از عمق آبشستگی تکیه‌گاه کاسته شده است. در سایر حالت‌های مورد آزمایش نیز وجود آبشکن موجب کاهش ۳ تا $90/57$ درصدی آبشستگی در تکیه‌گاه شده است.

در شکل (۱-۴) و جدول (۱۴-۴) مشاهده می‌شود در صورتی که طول بال آبشکن و همچنین فاصله آبشکن از تکیه‌گاه ثابت باشند در تمام دبی‌های مورد آزمایش با افزایش طول جان از حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه کاسته می‌شود. با استفاده از رابطه (۱-۴) می‌توان میزان کاهش پارامتر ds/y را به ازای افزایش پارامتر Ls/L محاسبه نمود

با بررسی شکل (۲-۴) و جدول (۱۵-۴) مشاهده می‌شود که در صورتی طول جان و فاصله آبشکن از تکیه‌گاه ثابت باشند با افزایش طول بال آبشکن آبشستگی در تکیه‌گاه تعدیل شده و حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. این کاهش آبشستگی ناشی از تأثیر مثبت بال آبشکن بر انحراف جریان از دیواره تکیه‌گاه و همچنین جلوگیری از بازگشت جریان به سمت دیواره کانال می‌باشد. با مقایسه

جداول (۴-۱۴) و (۴-۱۵) مشاهده می‌شود که افزایش طول جان در مقایسه با افزایش طول بال در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه موثرتر می‌باشد.

شکل (۴-۳) و جدول (۴-۱۶) بیانگر این موضوع می‌باشد که در اندازه ثابت طول بال و جان، با افزایش فاصله جان آبشکن از تکیه‌گاه، از میزان تاثیر آبشکن بر آبشستگی تکیه‌گاه کاسته شده، در نتیجه عمق آبشستگی تکیه‌گاه افزایش می‌یابد. علت این امر را می‌توان باز شدن مجدد جریان به سمت جداره کانال دانست. با افزایش فاصله بین آبشکن و دیواره، جریان مجدد به سمت تکیه‌گاه بر می‌گردد. اگر فاصله به اندازه کافی زیاد شود، به طور کلی جریان به شکل اولیه (بدون وجود آبشکن) بازسازی شده و عملاً نقش آبشکن قابل صرف‌نظر خواهد بود.

عمق آبشستگی در آبشکن نیز تحت تاثیر ابعاد و فاصله آبشکن از تکیه‌گاه می‌باشد. همانگونه که در شکل (۴-۴) و جدول (۴-۱۷) مشاهده می‌شود با افزایش طول جان، حداکثر عمق آبشستگی آبشکن به دلیل کاهش عرض مقطع عبوری جریان و افزایش سرعت جریان، به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند. در مسئله پایداری آبشکن توجه به این افزایش آبشستگی ناشی از افزایش طول جان، بسیار ضروری می‌باشد. به عبارت دیگر با این‌که افزایش طول جان، آبشستگی در تکیه‌گاه را تعدیل می‌کند اما عمق آبشستگی در اطراف آبشکن را افزایش داده و پایداری آن را با مخاطره روبرو می‌سازد لذا پایداری آبشکن نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

شکل (۴-۵) و جدول (۴-۱۸) بیانگر افزایش اندک عمق آبشستگی آبشکن با افزایش طول بال آن می‌باشند. دلیل این افزایش عمق را می‌توان افزایش قدرت جریان پایین‌رونده دانست.

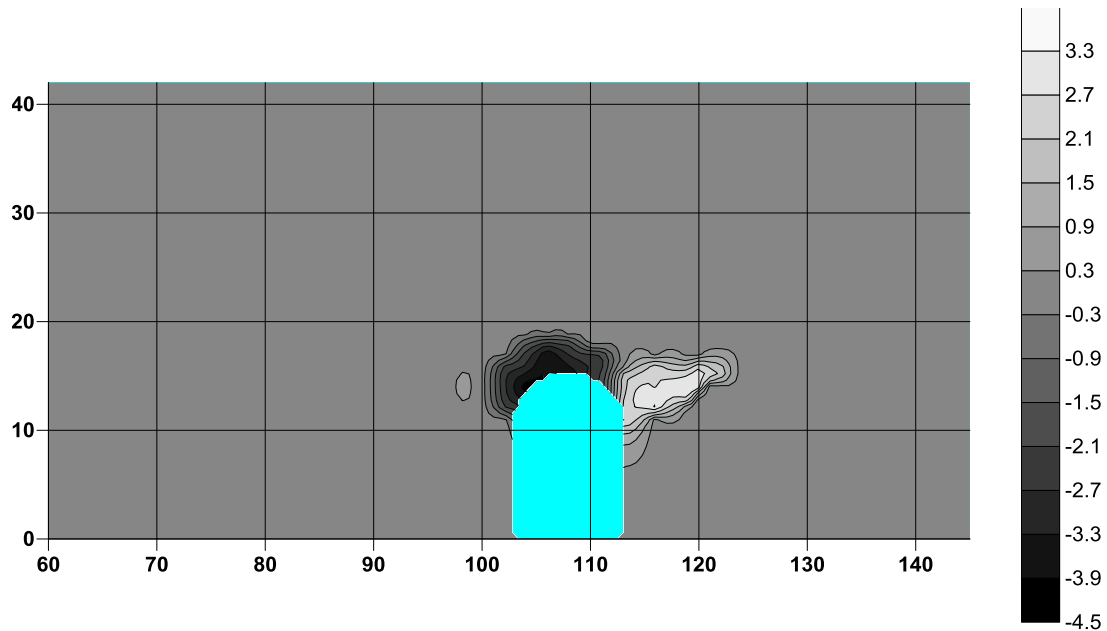
در شکل (۴-۶) و جدول (۴-۱۹) تغییرات حداکثر عمق آبشستگی آبشکن سرسپری با تغییر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه نشان داده شده است. در مقادیر مختلف دبی هر چه آبشکن به تکیه‌گاه نزدیکتر می‌شود، با توجه به این‌که در محدوده منطقه سکون بالادست قرار گرفته و کمتر تحت تاثیر جریان قرار می‌گیرد مقدار آبشستگی در آبشکن کاهش می‌یابد.

با بررسی و مقایسه جداول (۱۷-۴) و (۱۸-۴) مشاهده می‌شود که پارامتر طول جان در مقایسه با پارامتر طول بال در آبشستگی آبشکن موثرتر می‌باشد به این معنی که افزایش طول جان، در مقایسه با افزایش طول بال، عمق آبشستگی در آبشکن را به میزان بسیار بیشتری افزایش می‌دهد. با توجه به اهمیت تخمین عمق آبشستگی در اطراف آبشکن و اطمینان از پایداری این سازه، در قسمت‌های بعد رابطه‌ای برای تعیین عمق آبشستگی آبشکن ارائه خواهد شد.

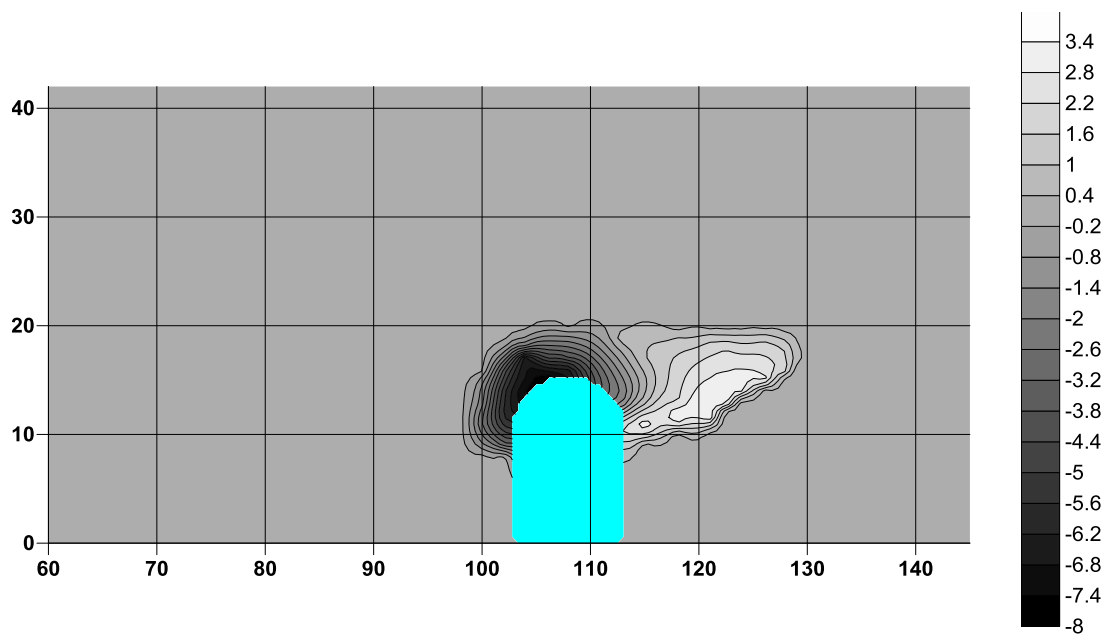
۴-۵ تحلیل گسترش ابعاد حفره آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه

در طراحی تکیه‌گاه در سیلاب‌دشت، گسترش طول و عرض حفره آبشستگی نقش مهمی دارد. با توجه به 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 به‌دست آوردن پروفیل آبشستگی پس از اتمام هر آزمایش، بر روی یک شبکه با گام ۱ در ۱ سانتی‌متر، توپوگرافی حفره آبشستگی با استفاده از شاخص برداشت شد. در آزمایش‌های ابتدایی، برداشت پروفیل آبشستگی به صورت دو طرفه انجام شده و پروفیل آبشستگی در اطراف دو تکیه‌گاه سمت چپ و راست برداشت شد. پس از حصول اطمینان از تشابه آبشستگی ایجاد شده در اطراف دو تکیه‌گاه، با توجه به وجود محدودیت زمانی، برداشت پروفیل آبشستگی در آزمایش‌های بعدی به تکیه‌گاه سمت راست محدود شد. اطلاعات به‌دست آمده وارد برنامه SURFER10 گردید تا با استفاده از روش تخمین Natural Neighbor فایل grid تعریف شود. سپس با استفاده از فرمان blank موقعیت آبشکن و تکیه‌گاه مشخص شد. در انتها نیز با ترسیم نقشه توپوگرافی از حفره آبشستگی ایجاد شده در آزمایش‌های مختلف به بررسی تغییرات طول و عرض حفره و تل آبشستگی پرداخته شد. در شکل‌های (۴-۷) تا (۴-۹) گسترش ابعاد آبشستگی در هر یک از دبی‌های مورد آزمایش به صورت نقشه‌های توپوگرافی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دبی ابعاد حفره آبشستگی افزایش

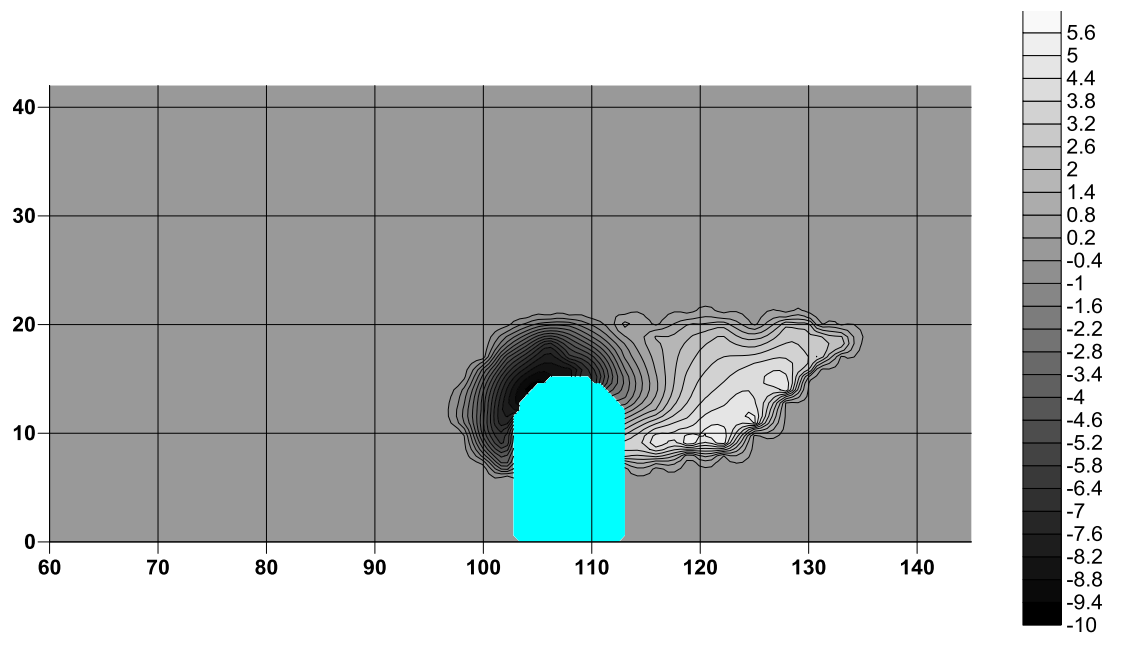
می‌یابد. افزایش مقدار دبی همراه با افزایش پتانسیل حمل رسوب در مقطع تنگ‌شده و افزایش میزان آبشستگی است.



شکل (۴-۷) - توپوگرافی حفره و تل آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه بدون حضور آبشکن

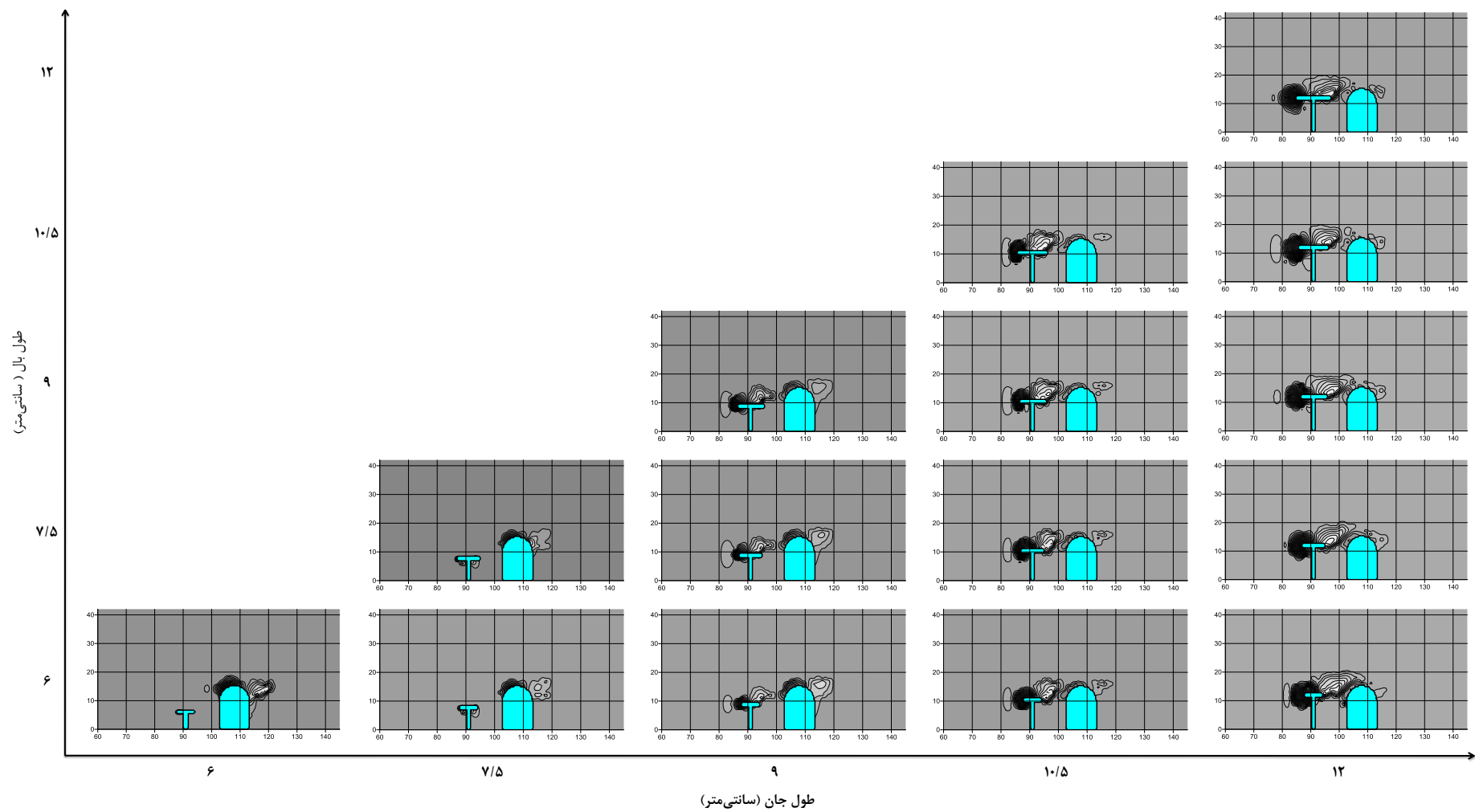


شکل (۴-۸) - توپوگرافی حفره و تل آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه بدون حضور آبشکن

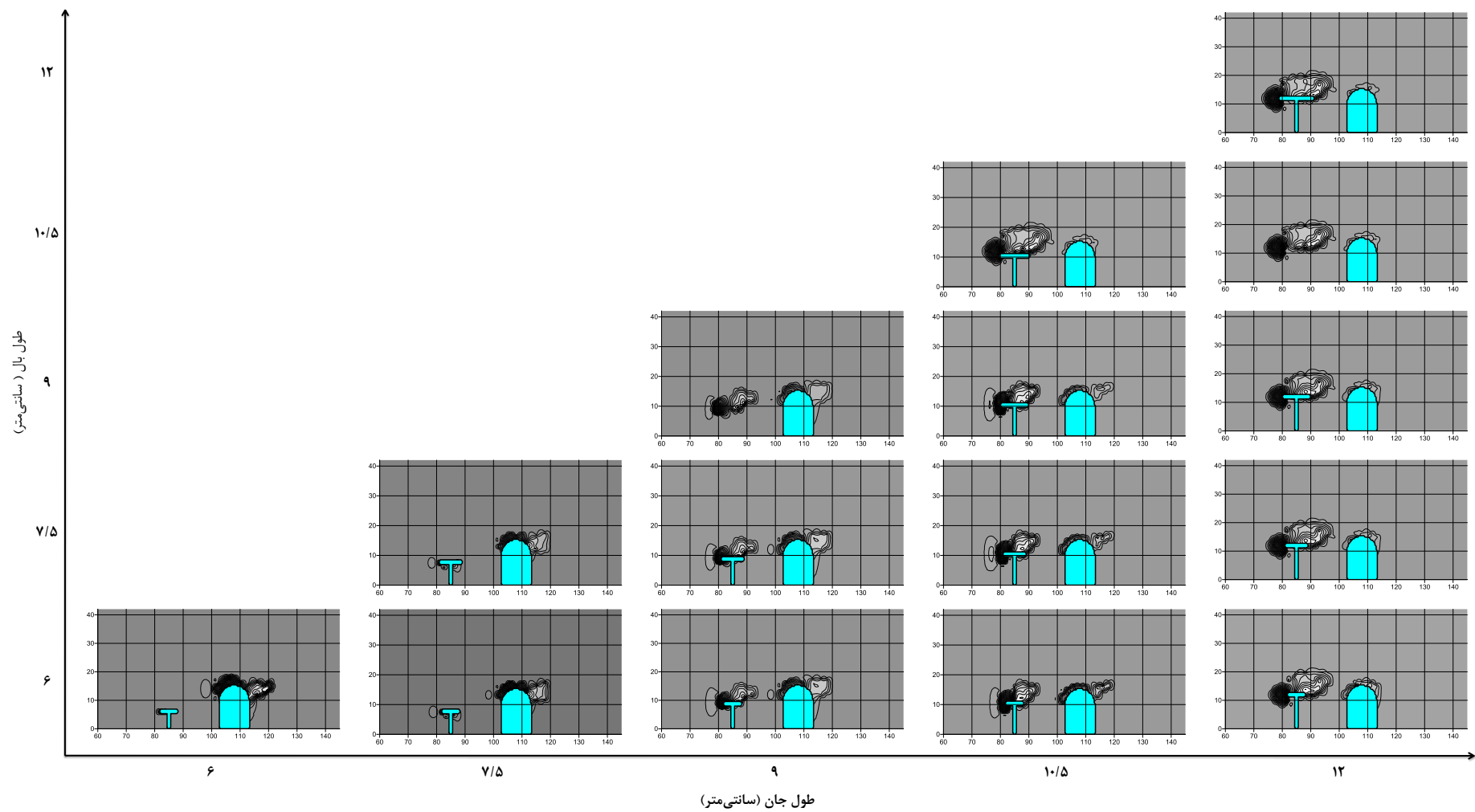


شکل (۴-۹)- توپوگرافی حفره و تل آبستگى در اطراف تکیه‌گاه در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه بدون حضور آبشکن

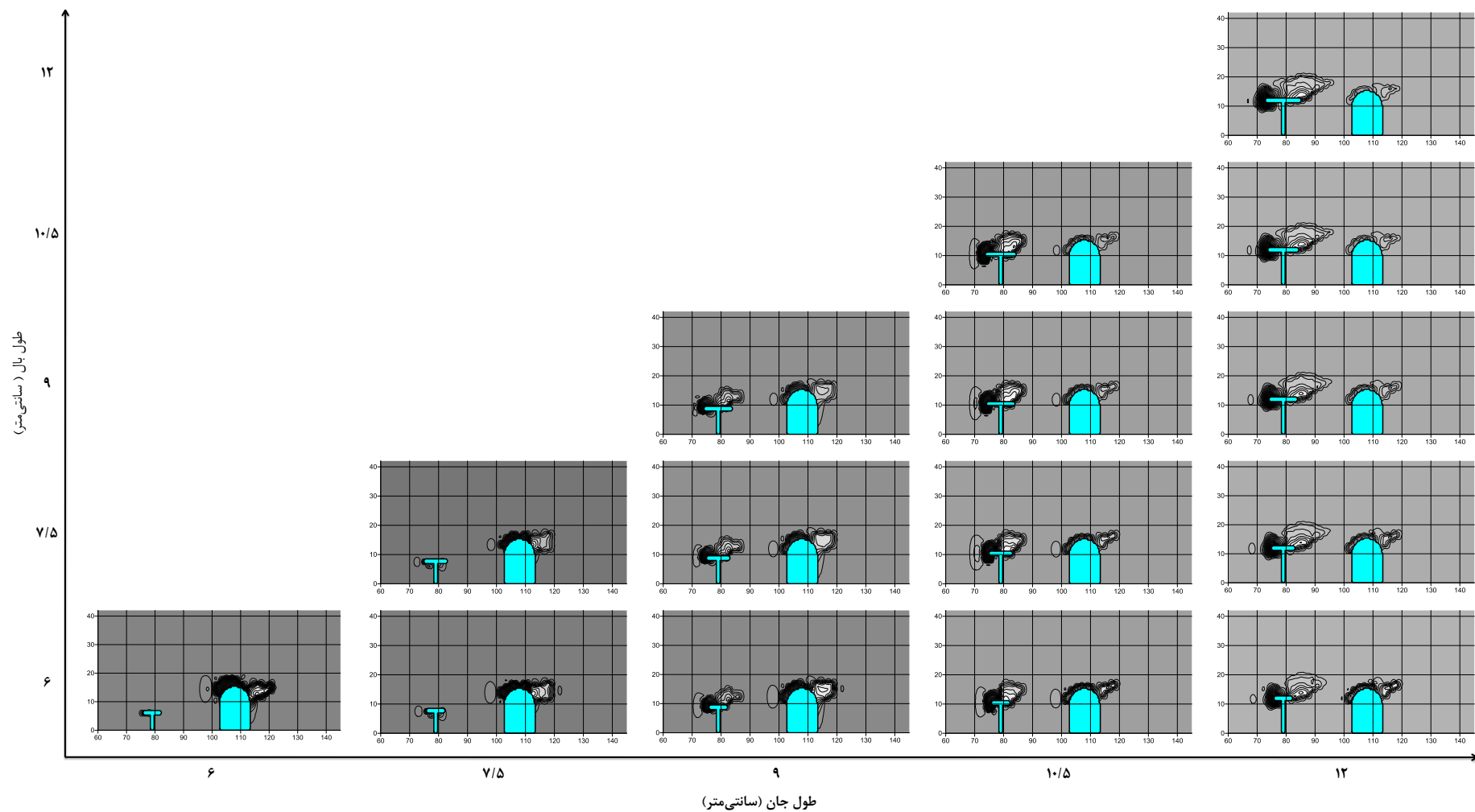
با قرار دادن آبشکن سرسپری در بالادست تکیه‌گاه تغییرات قابل ملاحظه‌ای در توپوگرافی حفره و تل آبستگى ایجاد می‌شود. در شکل‌های (۴-۱۰) تا (۴-۱۸) تغییرات توپوگرافی حفره آبستگى برای دبی‌های مختلف با تغییر ابعاد و فاصله آبشکن ارائه شده است.



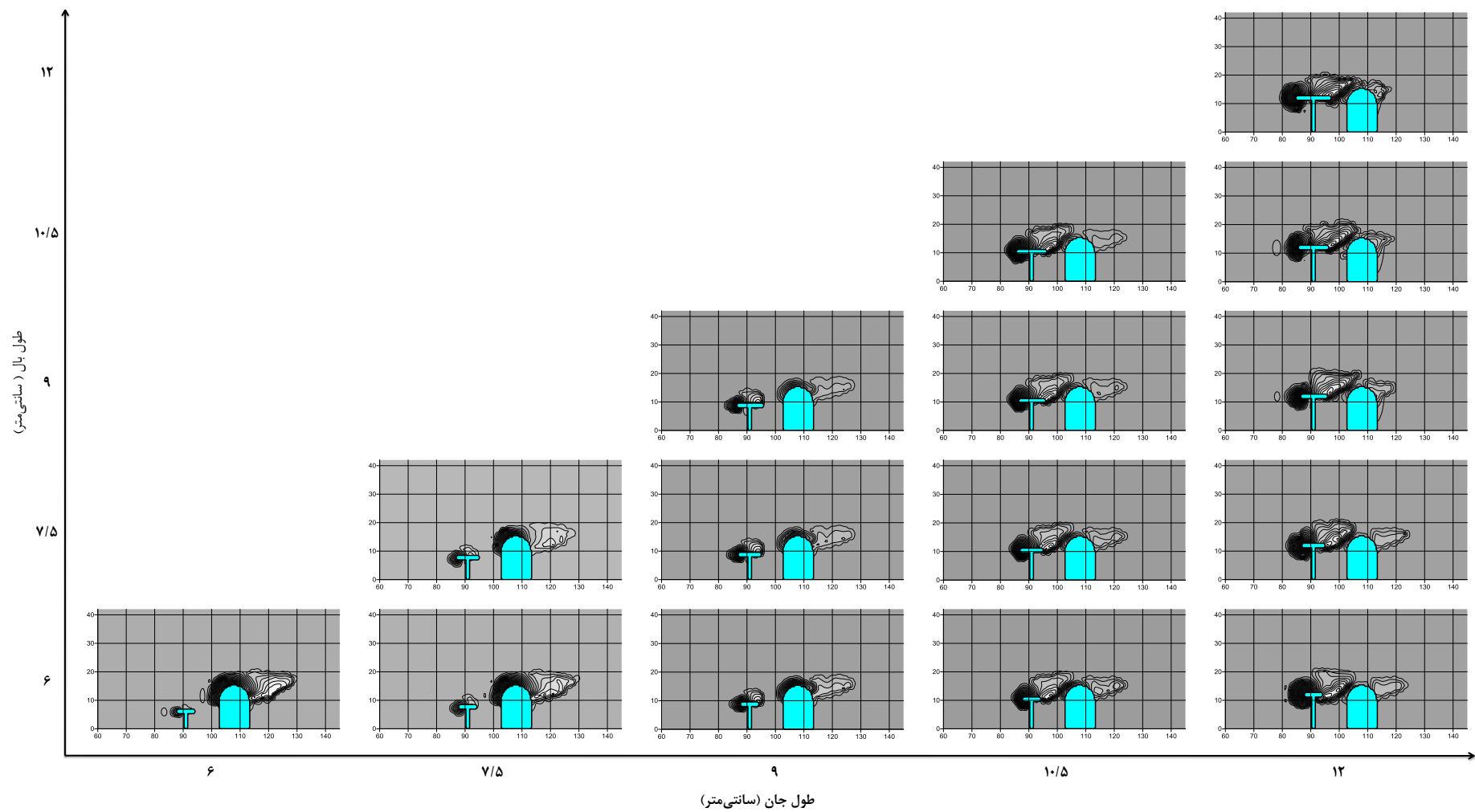
شکل (۴-۱۰) - تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن فرار گرفته در فاصله ۱۲ سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه



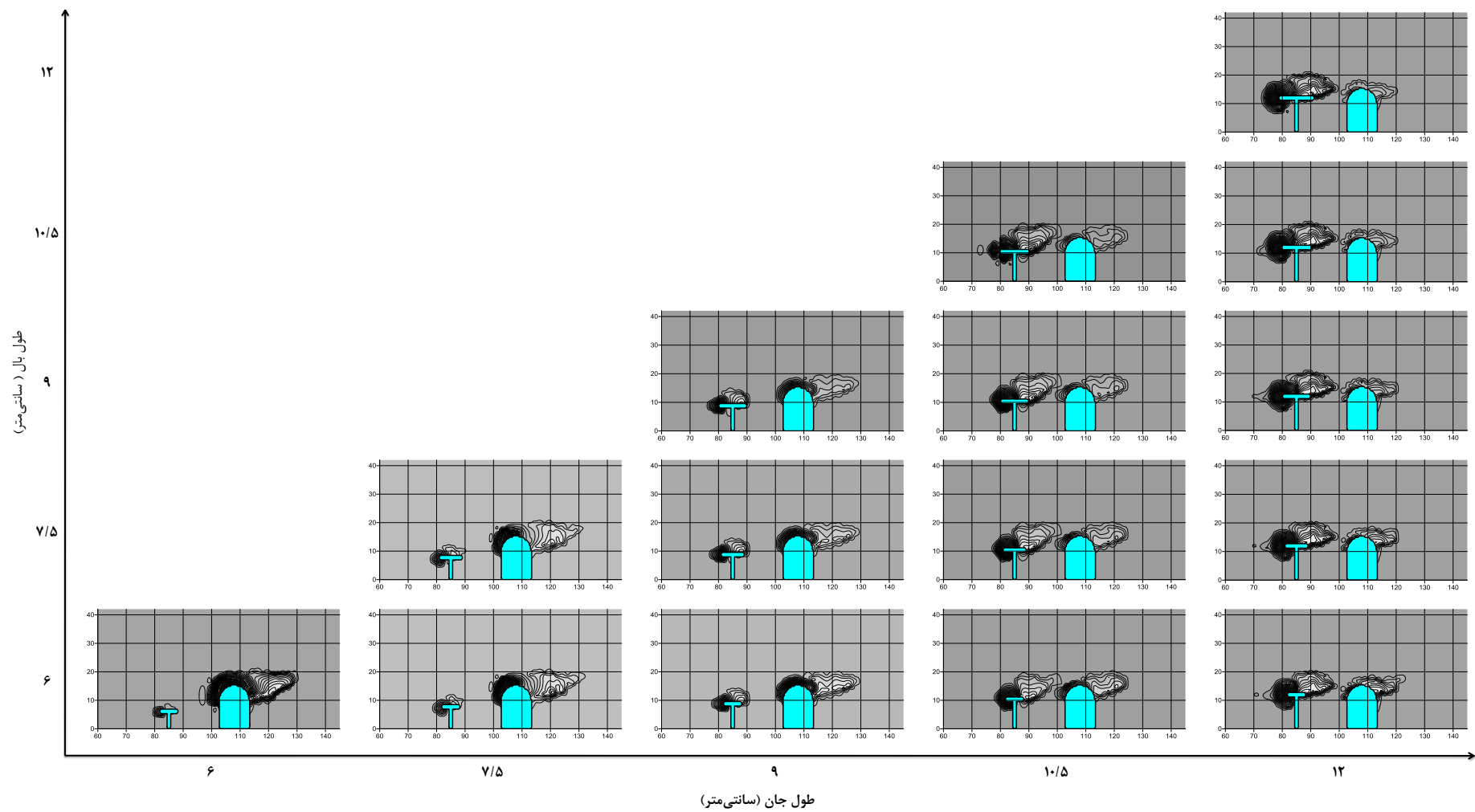
شکل (۴-۱۱)- تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن فرار گرفته در فاصله ۱۸ سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه



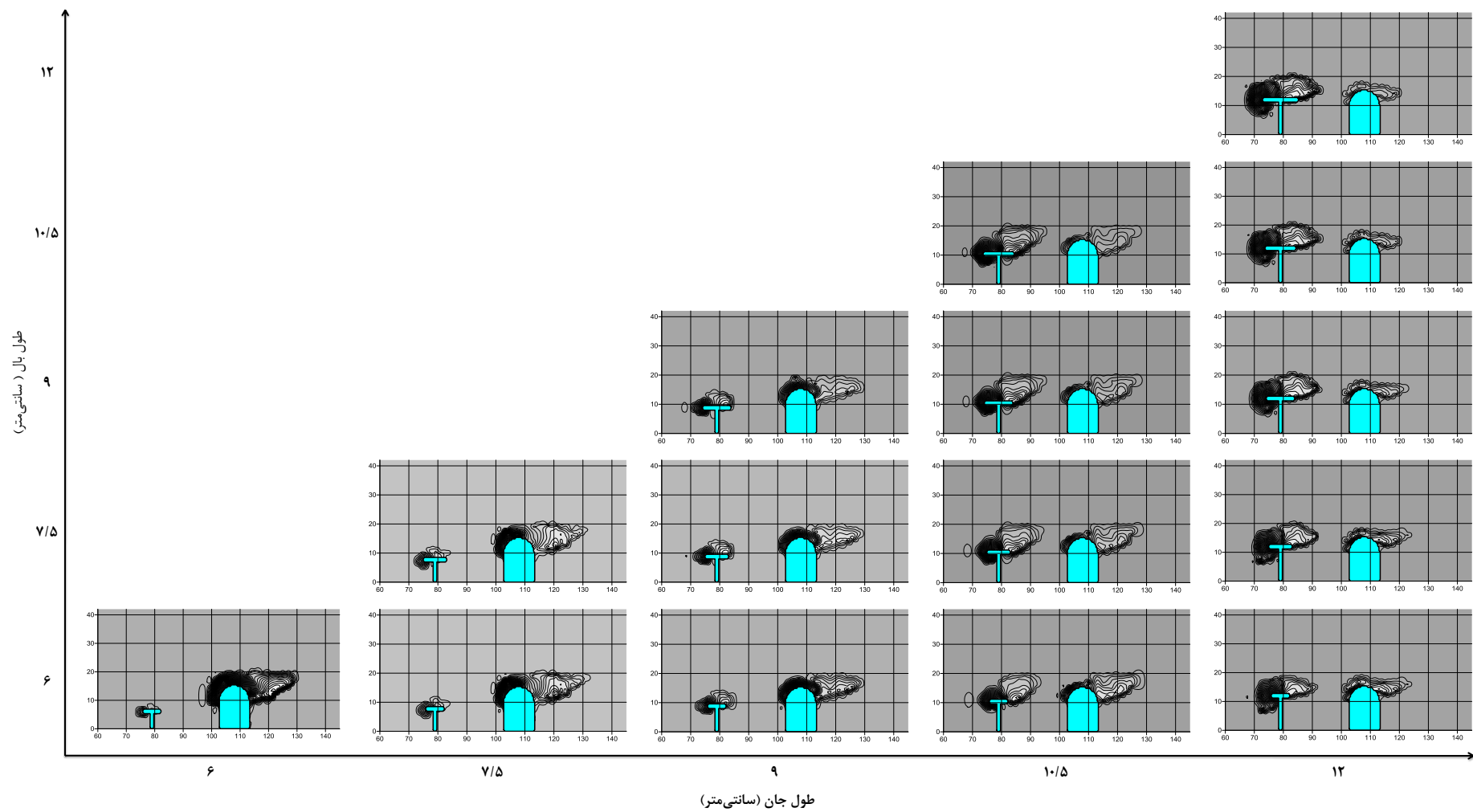
شکل (۴-۱۲)- تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن فرار گرفته در فاصله ۲۴ سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه



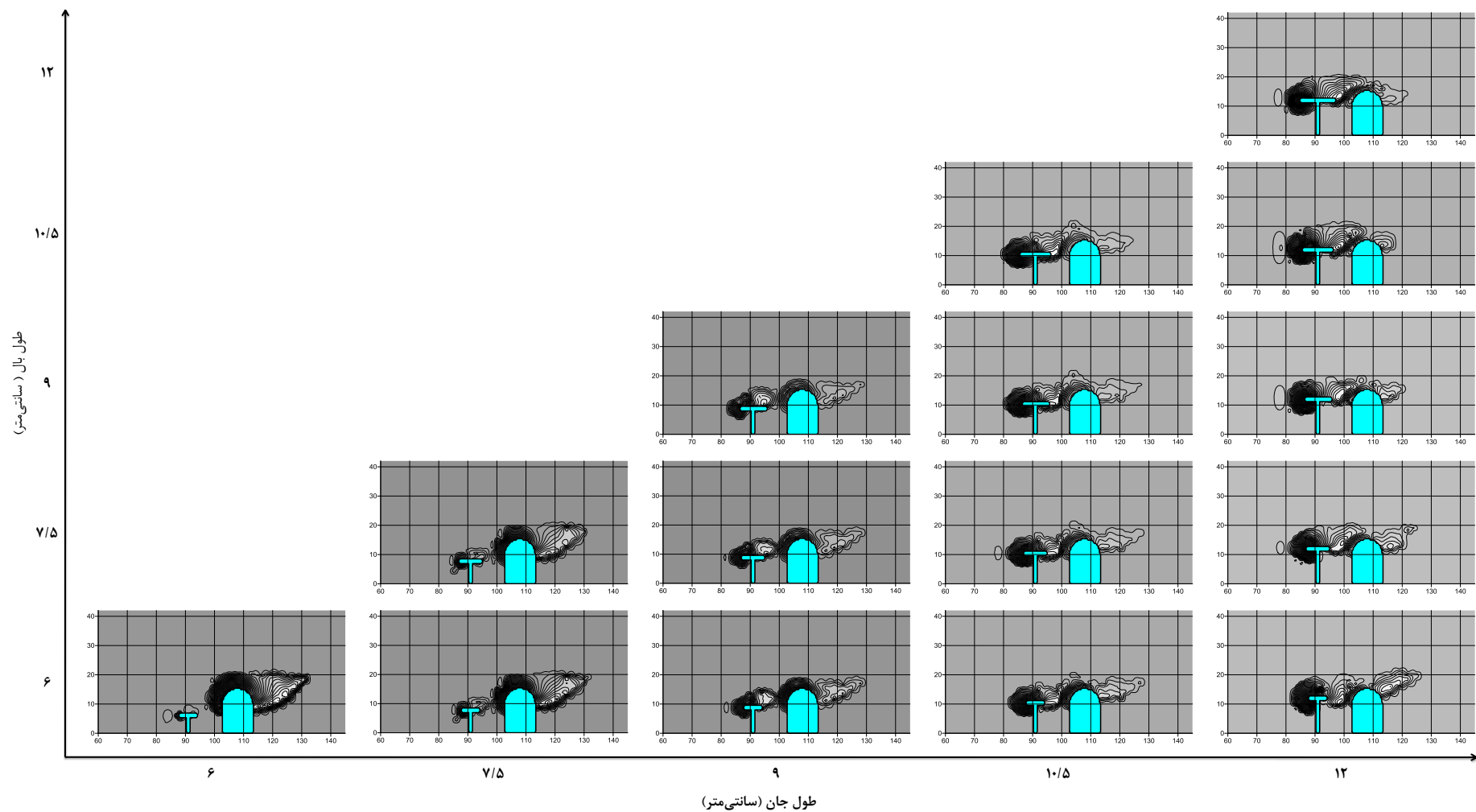
شکل (۴-۱۳)- تغییرات پروفیل آبهستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن فرار گرفته در فاصله ۱۲ سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه



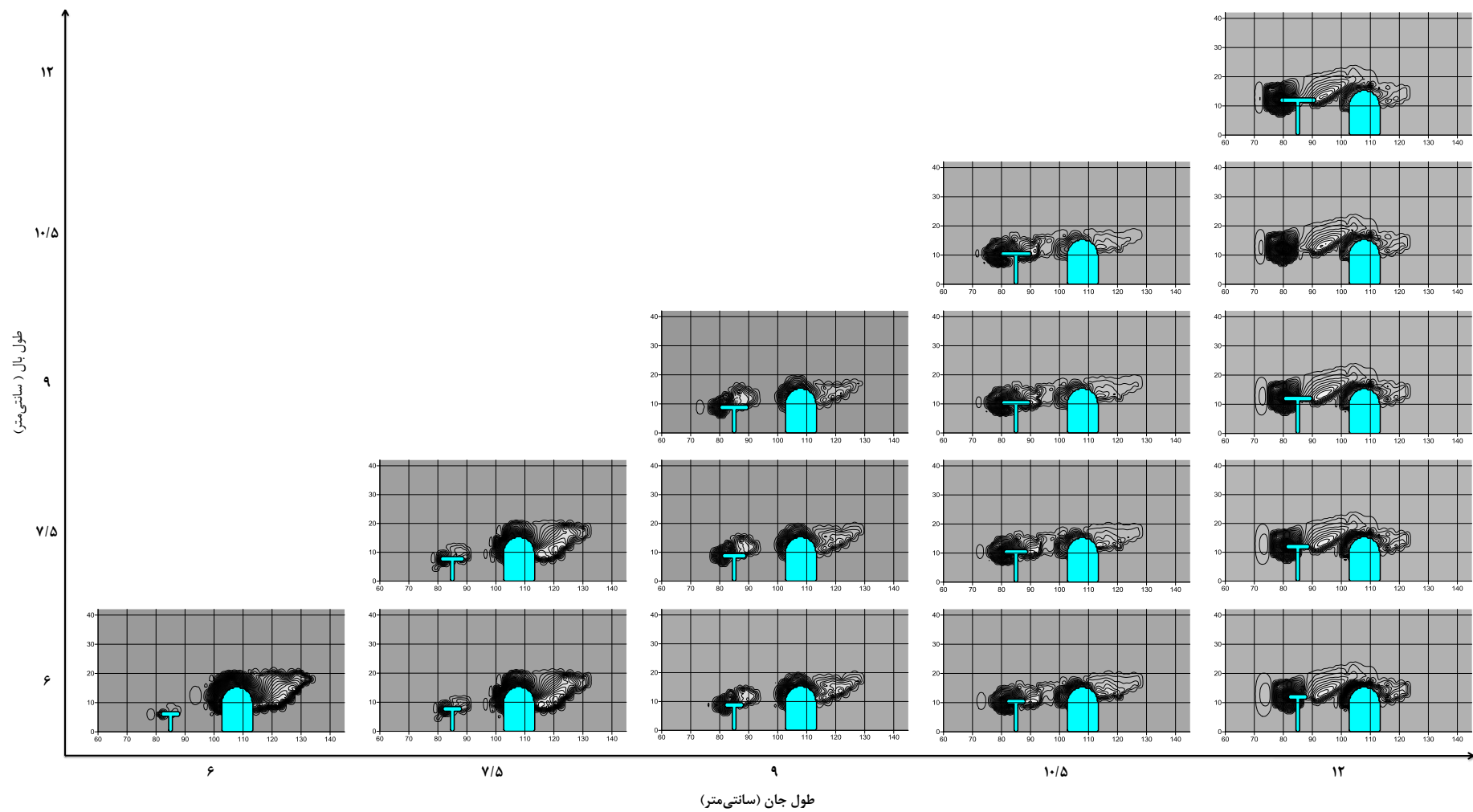
شکل (۴-۱۴)- تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۱۸ سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه



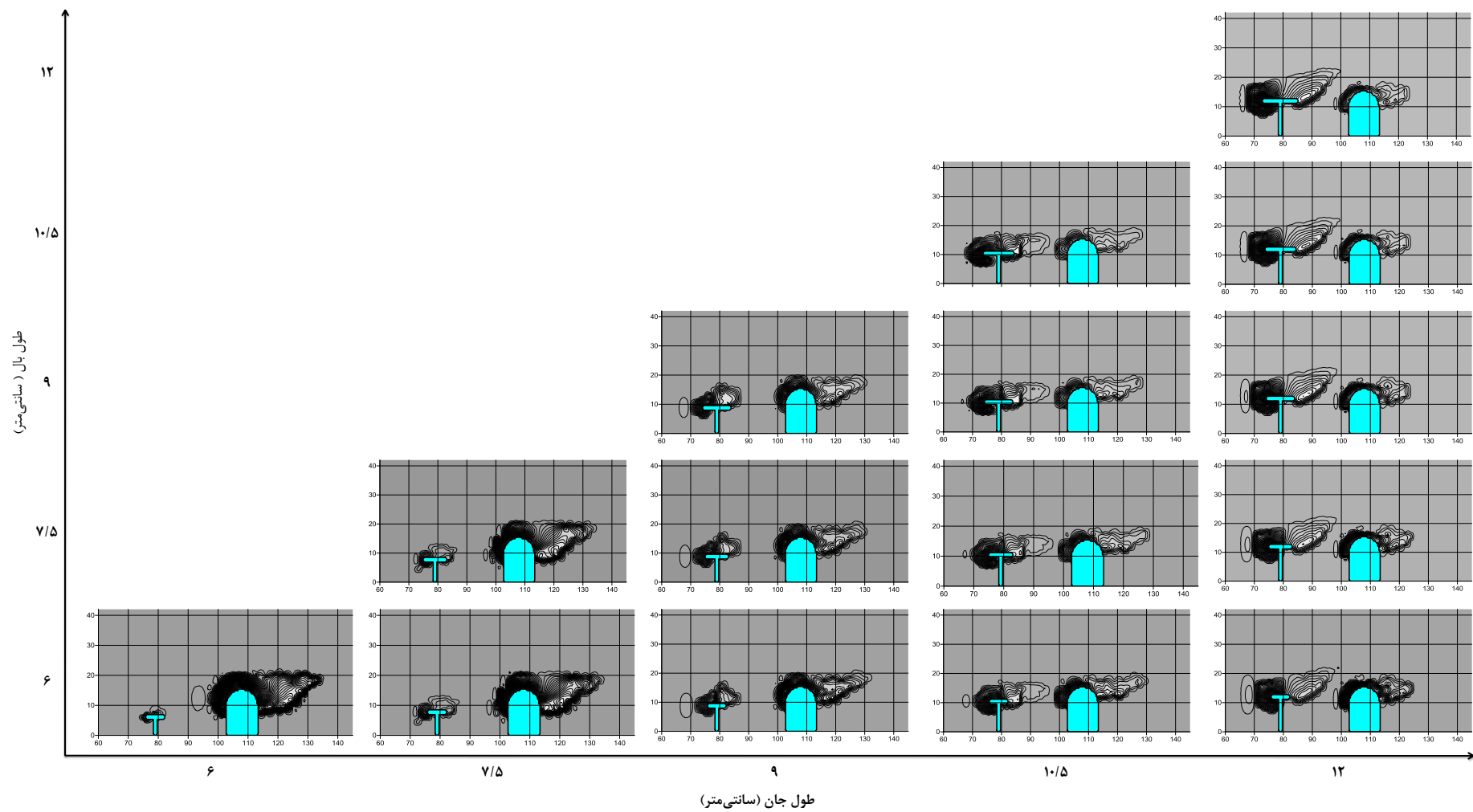
شکل (۴-۱۵)- تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۲۴ سانتی‌متری از تکیه‌گاه تحت دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه



شکل (۴-۱۶)- تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۱۲ سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه



شکل (۴-۱۷)- تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۱۸ سانتی متری از تکیه گاه تحت دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه



شکل (۴-۱۸)- تغییرات پروفیل آبشستگی با تغییر طول جان و بال آبشکن قرار گرفته در فاصله ۲۴ سانتی‌متری از تکیه‌گاه تحت دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه

در هر یک از شکل‌های (۴-۱۰) تا (۴-۱۸) تغییرات توپوگرافی آبشستگی تکیه‌گاه با تغییر طول جان و بال آبشکن در فاصله ثابت از تکیه‌گاه نشان داده شده است. با مطالعه این منحنی‌ها ملاحظه می‌شود:

حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه در کنار قوس بالایی دماغه تکیه‌گاه رخ می‌دهد. با افزایش دبی، محل ایجاد حداکثر آبشستگی تغییر چندانی نکرده و تنها اندکی به سمت دیواره بالادست تکیه‌گاه جابه‌جا شده است.

با افزایش طول جان آبشکن، گسترش آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد با افزایش طول جان، کاهش گسترش آبشستگی در جهت عرضی و طول کاهش می‌دهد. در مقایسه با کاهش همچنین از ارتفاع پشته و عمق چاله آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه کاسته علی‌رغم کاهش آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه، ابعاد چاله آبشستگی در اطراف آبشکن افزایش پیدا می‌کند. افزایش طول جان، آبشستگی در اطراف آبشکن را به سمت بالادست گسترش داده و پشته رسوبی آن را به کانال اصلی نزدیک می‌نماید.

با افزایش طول بال آبشکن از عمق چاله و همچنین ارتفاع تل آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه کاسته می‌شود اما در پروفیل آبشستگی تغییرات چندانی مشاهده نمی‌شود. شکل پروفیل آبشستگی در اطراف آبشکن نیز با افزایش طول بال ثابت مانده و تنها مقداری از عمق چاله آبشستگی کاسته شده است.

با این‌که افزایش فاصله آبشکن از تکیه‌گاه تغییرات قابل ملاحظه‌ای در شکل و پروفیل آبشستگی در اطراف آبشکن ایجاد نکرده است، اما در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه موثر می‌باشد. در دبی‌های بیشتر پشته آبشستگی آبشکن در فواصل کمتر آبشکن از تکیه‌گاه با حفره آبشستگی تکیه‌گاه مخلوط شده و باعث کاهش عمق حفره آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه می‌شود. با افزایش فاصله، پروفیل‌های آبشستگی

از هم جدا می‌شوند. تداخل پروفیل‌های آبشستگی در صورت وجود آبشکن‌های با طول جان بیشتر، باعث امتداد پشته آبشستگی تکیه‌گاه به سمت پایین دست می‌شود.

۶-۴ ارائه رابطه رگرسیونی برای پیش‌بینی عمق آبشستگی

در ادامه این تحقیق رابطه تعیین ابعاد و فاصله مناسب آبشکن سرسپری در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه ارائه شده است. به این منظور با توجه به پارامترهای بررسی شده مشاهدات آزمایش‌ها و آنالیز ابعادی روابط زیر ارائه می‌شوند.

با استفاده از رابطه به دست آمده از آنالیز ابعادی پارامترهای موثر بر آبشستگی تکیه‌گاه و آبشکن، رابطه (۶-۴) برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه و رابطه (۷-۴) برای محاسبه عمق آبشستگی آبشکن به دست آمده است:

$$\frac{d_s}{y} = K \left(\frac{Q}{A\sqrt{gy}} \right)^a \left(\frac{L_s}{L} \right)^b \left(\frac{L_w}{L} \right)^c \left(\frac{x}{y} \right)^d \quad (۶-۴)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = K \left(\frac{Q}{A\sqrt{gy}} \right)^a \left(\frac{L_s}{L} \right)^b \left(\frac{L_w}{L} \right)^c \left(\frac{x}{y} \right)^d \quad (۷-۴)$$

که برای تعیین ضرایب K ، a ، b ، c و d از آنالیز رگرسیونی غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. بر اساس آنالیز انجام شده مقادیر پارامترهای K ، a ، b ، c و d به ترتیب برابر ۰/۰۰۰۰۰۰۰۱، -۸/۹۷، -۱/۲۸۳، -۰/۷۶۷ و ۰/۵۶۷ برای تکیه‌گاه (رابطه ۸-۴) و ۰/۶۷۹، -۱/۲۶۳، ۱/۴۴، ۰/۱۵ و ۰/۰۸۴ برای آبشکن به دست آمده است (رابطه ۹-۴).

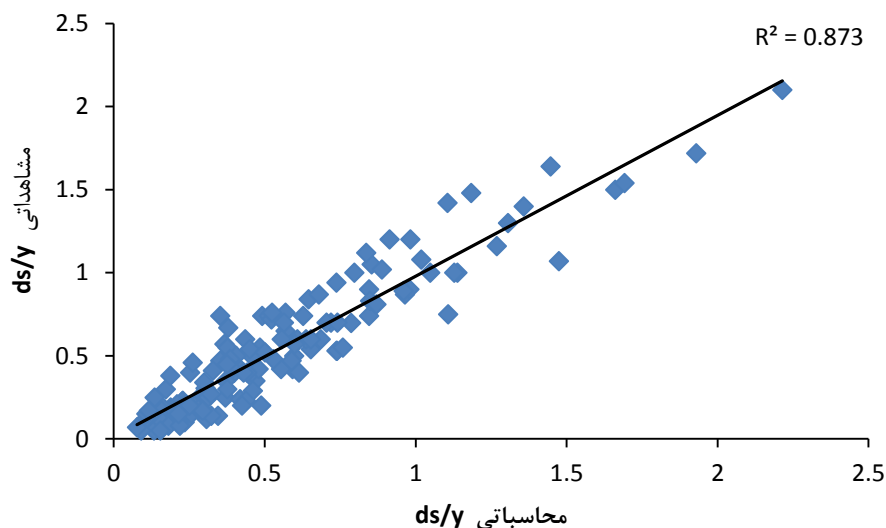
$$\frac{d_s}{y} = 0.0000001 \left(\frac{Q}{A\sqrt{gy}} \right)^{-8.97} \left(\frac{L_s}{L} \right)^{-1.28} \left(\frac{L_w}{L} \right)^{-0.76} \left(\frac{X}{y} \right)^{0.567} \quad (۸-۴)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = 0.68 \left(\frac{Q}{A\sqrt{gy}} \right)^{-1.263} \left(\frac{L_s}{L} \right)^{1.4} \left(\frac{L_w}{L} \right)^{0.15} \left(\frac{X}{y} \right)^{0.084} \quad (۹-۴)$$

پارامترهای به کار رفته در رابطه‌های بالا در بخش (۳-۶) معرفی شده‌اند.

در شکل (۴-۱۹) تغییرات عمق حداکثر محاسباتی و مشاهداتی به دست آمده از رابطه (۴-۳)

نشان داده شده است.



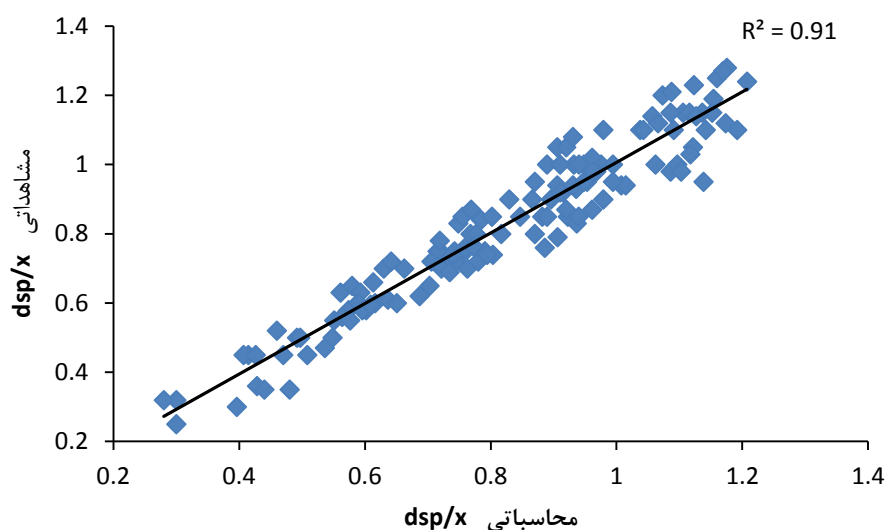
شکل (۴-۱۹) - تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی تکیه‌گاه مشاهداتی و محاسباتی

ضریب همبستگی رابطه (۴-۸)، ۰/۸۷ می‌باشد. که با توجه به عدم حذف داده‌های پرت بسیار عالی

می‌باشد.

با توجه به اهمیت طراحی مناسب ابعاد آبشکن به نحوی که پایداری لازم را در برابر آبشستگی داشته باشد. رابطه (۹-۴) به عنوان رابطه تعیین عمق آبشستگی آبشکن سرسپری متقارن جهت ارائه شده است.

ضریب همبستگی رابطه (۹-۴)، ۰/۹۱ می باشد. نمودار تغییرات آبشستگی آبشکن محاسباتی نسبت به مشاهداتی در شکل (۴-۲۰) آورده شده است.



شکل (۴-۲۰)- تغییرات مقدار عمق حداکثر آبشستگی آبشکن مشاهداتی و محاسباتی

۷-۴ مقایسه نتایج تحقیق با تحقیقات مشابه

همان طور که در فصل دوم اشاره شد تاکنون تحقیقات محدودی بر روی کاهش آبشستگی تکیه گاه های پل واقع شده در دشت های سیلابی انجام شده است. بصیرت و همکاران (۱۳۸۸)، استفاده از آبشکن ساده در بالادست تکیه گاه را به منظور کاهش میزان آبشستگی پیشنهاد دادند تحقیقات آنها نشان می دهد قرارگیری آبشکن ساده در بالادست تکیه گاه، حداکثر عمق آبشستگی در تکیه گاه

را بین ۴ تا ۸۷ درصد کاهش داده است. در تمامی دبی‌های مورد آزمایش، بیشترین میزان کاهش در حالتی رخ داده است که آبشکن با طول $0/8L$ در فاصله $1/5L$ از تکیه‌گاه قرار گرفته باشد.

در تحقیقات بصیرت و همکاران با افزایش دبی به طور قابل ملاحظه‌ای از میزان تأثیر آبشکن بر آبشستگی تکیه‌گاه کاسته شده است به طوری‌که در کمترین دبی مورد آزمایش نصب آبشکن ۹۵ درصد آبشستگی در تکیه‌گاه را کاهش داده است اما با افزایش دبی حداکثر درصد کاهش آبشستگی تکیه‌گاه به $6/61$ درصد رسیده است. مقایسه میزان

سعادت‌نیا و همکاران (۱۳۸۹)، به مطالعه تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن ساده بر کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پرداختند. تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد در صورتی که زاویه قرارگیری آبشکن با جداره ۹۰ درجه باشد آبشکن بیشترین کارایی را در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه دارد. در این حالت، قرارگیری آبشکن به طور متوسط $4/82$ درصد آبشستگی در تکیه‌گاه را کاهش داده است. نتایج آن‌ها نیز مشابه نشان داد با افزایش دبی به طور بسیار زیادی از کارایی آبشکن ساده در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه کاسته می‌شود. به طوری‌که در دبی‌های بالا حداکثر کاهش عمق آبشستگی ناشی از وجود آبشکن به ۵۷ رسیده است.

در انتخاب روش مناسب برای کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل باید ۳ فاکتور میزان کاهش آبشستگی، هزینه و شرایط به‌کارگیری روش و حفظ اثربخشی در دبی‌های مختلف را مورد توجه قرار داد. همان‌طور که اشاره شد تا کنون تنها روشی که برای کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل واقع در سیلاب‌دشت پیشنهاد شده است، قرار دادن آبشکن ساده برای کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پیشنهاد شده است. در این تحقیق نیز کارایی مناسب آبشکن سرسپری در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه به اثبات رسید. مقایسه دو روش پیشنهاد شده استفاده از آبشکن ساده و آبشکن سرسپری نشان می‌دهد که آبشکن سرسپری اثرگذاری بیشتری بر آبشستگی تکیه‌گاه داشته است. نصب آبشکن با ابعاد مناسب، آبشستگی در تکیه‌گاه را تا $6/90$ درصد کاهش داده است. آبشکن ساده با کاهش ۸۷ درصدی

آبشستگی تأثیر کمتری بر کاهش آبشستگی داشته است اما طراحی و ساخت این نوع آبشکن در مقایسه با طراحی و ساخت آبشکن‌های سرسپری و ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌باشد. قابل ذکر است این آبشکن‌های ساده و سرسپری باید به گونه‌ای طراحی و ساخته شوند که حداکثر تأثیر را بر آبشستگی داشته باشند.

برخلاف آبشکن‌های ساده میزان اثربخشی آبشکن سرسپری با افزایش دبی کاهش نیافته است و در تمامی دبی‌های مورد آزمایش تأثیر اولیه خود را حفظ نموده است. اهمیت این موضوع زمانی مشخص می‌شود که بدانیم دبی سیلاب معمولاً متغیر بوده و سازه تعدیل کننده آبشستگی باید با تغییر دبی کارایی خود را دست ندهد. در کل باید با در نظر گرفتن مزایا و معایب هر کدام از روش‌هایی که تا کنون برای کاهش آبشستگی پیشنهاد شده نسبت به انتخاب روش مناسب برای کاهش آبشستگی اقدام نمود.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا به بیان کلی نتایج حاصل از این تحقیق اشاره شده و در ادامه پیشنهاداتی جهت انجام سایر تحقیقات پیرامون استفاده از آبشکن‌ها برای کاهش آبشستگی تکیه‌گاه ارائه شده است.

۵-۲ نتیجه‌گیری

- با بهره‌گیری از مشاهدات آزمایشگاهی انجام شده در این تحقیق، نتایج زیر استخراج شده است:
- ۱- در مقادیر مختلف دبی، وجود آبشکن سرسپری در بالادست تکیه‌گاه به میزان قابل ملاحظه‌ای آبشستگی در تکیه‌گاه را کاهش می‌دهد. آبشکن سرسپری در بهترین حالت از نظر ابعاد و فاصله، آبشستگی در تکیه‌گاه را به طور متوسط $90/5\%$ درصد کاهش می‌دهد.
 - ۲- با افزایش طول جان و طول بال آبشکن، عمق آبشستگی تکیه‌گاه کاهش می‌یابد. مطالعه تأثیر طول بال و جان آبشکن محدود به اندازه حداکثر $0/8L$ شد زیرا با توجه به هدف طرح که ارائه‌ی یک سازه بهینه برای کاهش آبشستگی می‌باشد استفاده از یک آبشکن با طول جان و بال برابر با طول تکیه‌گاه مقرون به صرفه نمی‌باشد.
 - ۳- در اندازه ثابت طول بال و جان، افزایش فاصله جان آبشکن از تکیه‌گاه، از میزان تأثیر آبشکن بر آبشستگی تکیه‌گاه کاسته و عمق آبشستگی در تکیه‌گاه را افزایش می‌دهد. علت این امر باز شدن مجدد جریان به سمت جداره کانال می‌باشد.
 - ۴- تغییرات طول جان آبشکن در مقایسه با تغییرات طول بال و فاصله آبشکن، تأثیر بیشتری بر آبشستگی تکیه‌گاه دارد. این امر بیانگر این موضوع می‌باشد که افزایش طول جان نسبت به دو متغیر دیگر (طول بال و فاصله آبشکن از تکیه‌گاه)، در دور کردن جریان از تکیه‌گاه موثرتر است.
 - ۵- با افزایش طول جان و بال آبشکن، از میزان آبشستگی تکیه‌گاه کاسته می‌شود، ولی آبشستگی آبشکن به طور محسوسی افزایش می‌یابد، لذا در طراحی‌ها لازم است پایداری آبشکن سرسپری مورد بررسی قرار گیرد.

۶- با استفاده از تحلیل داده‌های آزمایشگاهی در این تحقیق، رابطه (۱-۵) برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه در حالتی که آبشکن سرسپری در بالادست تکیه‌گاه وجود داشته باشد، و رابطه (۲-۵) برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی آبشکن سرسپری که در بالادست تکیه‌گاه واقع شده است، ارائه می‌شود:

$$\frac{d_s}{y} = 0.0000001 \left(\frac{Q}{A\sqrt{gy}} \right)^{-8.97} \left(\frac{L_s}{L} \right)^{-1.28} \left(\frac{L_w}{L} \right)^{-0.76} \left(\frac{X}{y} \right)^{0.567} \quad (1-5)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = 0.68 \left(\frac{Q}{A\sqrt{gy}} \right)^{-1.263} \left(\frac{L_s}{L} \right)^{1.4} \left(\frac{L_w}{L} \right)^{0.15} \left(\frac{X}{y} \right)^{0.084} \quad (2-5)$$

d_s حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه و d_{sp} حداکثر عمق آبشستگی آبشکن می‌باشد. ضرایب همبستگی رابطه‌های (۱-۵) و (۲-۵) به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۵ و در حد مطلوب می‌باشد.

استفاده از آبشکن سرسپری راه‌کاری مناسب جهت کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل می‌باشد. با مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات مشابهی که در گذشته انجام گرفته است مشاهده می‌شود که آبشکن سرسپری در مقایسه با آبشکن‌های ساده در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل موفق‌تر عمل می‌نماید، ولی ذکر دو نکته ضروری است، نکته اول این‌که اجرای این نوع از آبشکن در مقایسه با آبشکن‌های ساده مشکل‌تر بوده، دوم این‌که به علت شکل خاص، این آبشکن بیشتر در معرض جریان رودخانه بوده و لذا در ساخت آن باید از مصالح مقاوم‌تری استفاده گردد.

در کل باید در انتخاب این نوع آبشکن (با توجه به محدودیت‌های اجرایی و نگهداری) جانب احتیاط را رعایت نموده و تنها بعد از بررسی تمامی جوانب موضوع، نسبت به استفاده از آبشکن سرسپری اقدام نمود.

۵-۳ پیشنهادها

با مطالعه تحقیقات گذشته نیاز به ارائه روشی برای کاهش آبخستگی تکیه‌گاه پل‌ها به عنوان یک ضرورت شناخته شد و این ضرورت مبنای انجام تحقیق حاضر قرار گرفت، لکن با توجه به امکانات و محدودیت‌های موجود، در این پایان‌نامه سعی شد برخی پارامترهای موثر بر آبخستگی تکیه‌گاه مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا به منظور استفاده موثرتر از نتایج این تحقیق، موارد زیر به عنوان موضوعاتی برای انجام تحقیقات آتی توصیه می‌شود:

۱- در پایان‌نامه حاضر به بررسی اثر ابعاد و فاصله آبشکن‌های متقارن بر آبخستگی تکیه‌گاه پرداخته شده است، توصیه می‌شود تأثیر سایر آبشکن‌ها اعم از آبشکن‌های سرسپری نامتقارن، آبشکن‌های L شکل و ... بر آبخستگی تکیه‌گاه مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- همانطور که در این پایان‌نامه ملاحظه شد، با استفاده از آنالیز داده‌ها می‌توان میزان تأثیر پارامترهای موثر را مورد ارزیابی قرار داد، توصیه می‌شود طرح‌هایی برای آبشکن‌های نفوذپذیر با ضرایب مختلف نفوذپذیری ارائه شود و میزان اثرگذاری آن‌ها در کاهش آبخستگی تکیه‌گاه مورد بررسی قرار گیرد.

۳- تحقیقات صورت گرفته پیرامون آبخستگی تکیه‌گاه محدود به استفاده از رسوبات غیرچسبنده یکنواخت بوده است لذا پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی رسوبات غیرچسبنده غیریکنواخت و رسوبات چسبنده مورد استفاده و بررسی قرار گیرد.

۴- بحث آنالیز داده‌ها و کاربرد روش‌های عددی یکی از مباحث مهم و ضروری در مطالعه پدیده آبخستگی می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود از روش‌های عددی برای شبیه‌سازی آبخستگی در اطراف تکیه‌گاه‌ها استفاده شود.

۵- در پایان نامه حاضر با توجه به امکانات و شرایط موجود، توزیع سرعت و آشفته‌گی جریان مورد بررسی قرار نگرفت. برای شناخت بهتر تأثیر آبشکن سرسپری بر تغییرات جریان و توزیع سرعت در کانال توصیه می‌شود آزمایش‌ها با استفاده از برداشت سرعت در نقاط مختلف در سه جهت انجام شود.

مراجع و منابع

- ۱- بصیرت ش، صانعی م، ساغروانی ف، (۱۳۹۱)، "بررسی آزمایشگاهی اثر فاصله، طول آبشکن، طول تکیه‌گاه و دبی بر مساحت گسترش تل و چاله آبشستگی"، نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۲- بصیرت ش، صانعی م، ساغروانی ف، (۱۳۸۸)، "کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل با استفاده از آبشکن محافظ، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران"، دانشگاه شیراز.
- ۳- ثانی‌خانی ه، حسین‌زاده دلیر ع، فرسادی‌زاده د، (۱۳۸۷)، "عملکرد طوق‌های مربعی شکل در کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌های پل"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
- ۴- حبیب اله ب، (۱۳۷۹)، "اندرکنش سازه‌های آبی و فرسایش"، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- ۵- حسینی م، (۱۳۷۱)، "مباحث بنیادی پل‌های بتنی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.
- ۶- رضانی ی، قمشی م، موسوی جهرمی ح، (۱۳۹۰)، "بررسی و مقایسه مطالعات انجام گرفته در زمینه آبشستگی تکیه‌گاه پل در مقطع مرکب"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.
- ۷- زراتی ا، بدلی مشاهیر م، فتحی هفشجانی ع، (۱۳۸۶)، "کاربرد دیواره هدایت برای کاهش آبشستگی اطراف کوله‌های پل"، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهرکرد.
- ۸- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۴)، "دستورالعمل مطالعات هیدرولیکی و آبشستگی پل" نشریه شماره ۳۰۲.
- ۹- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۷)، "مبانی طراحی سازه‌های کنترل فرسایش در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها"، نشریه شماره ۴۱۷.
- ۱۰- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۸)، "راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای"، نشریه شماره ۵۱۶.

۱۱- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۱)، "فرسایش و رسوب‌گذاری آبشکن‌ها"، نشریه شماره ۲۴۸.

۱۲- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۹۰)، "راهنمای روش‌های محاسبه آبستگي موضعی"، نشریه شماره ۵۴۹.

۱۳- سعادت نیا م، خداشناس س ر، صانعی م، اسماعیلی ک، (۱۳۸۸)، "اثرات زاویه آبشکن بر کاهش آبستگي دماغه تکیه‌گاه پل"، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۴- سعادت نیا م، خداشناس س ر، صانعی م، اسماعیلی ک، (۱۳۸۹)، "تحلیل آزمایشگاهی عملکرد آبشکن بر کاهش عمق و حجم آبستگي اطراف دماغه پل"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۵- شریعتی ح، خداشناس س ر، اسماعیلی ک، (۱۳۹۰)، "بررسی آزمایشگاهی کارکرد با هم طوق و شکاف بر میزان آبستگي موضعی در پایه پل"، نشریه مهندسی عمران، سال بیست و سوم، شماره یک، صفحه ۸۵.

۱۶- شفاعی بجستان م، (۱۳۸۹)، "مبانی و کاربرد مدل‌های فیزیکی-هیدرولیکی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۷- شفاعی بجستان م، (۱۳۸۷)، "هیدرولیک انتقال رسوب"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۸- شیخ‌الاسلامی م، شفاعی بجستان م، کاشفی‌پور م، (۱۳۸۹)، "تخمین عمق آبستگي در محل پایه‌های پل با استفاده از مدل ریاضی Faster"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۱، صفحه ۵۷.

- ۱۹- صانعی م، کرمی ح، شفایی ا، (۱۳۸۴)، "بررسی آزمایشگاهی حداکثر عمق آبشستگی در دماغه‌ی اولین آبشکن"، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران.
- ۲۰- صانعی م، (۱۳۸۶)، "مدل آزمایشگاهی اثر زمان و انسداد بر آبشستگی موضعی، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران"، دانشگاه شهرکرد.
- ۲۱- صانعی م، (۱۳۸۷)، "بررسی آزمایشگاهی تاثیر سرعت بحرانی و دانه‌بندی بر میزان آبشستگی"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
- ۲۲- صدقی اصل م، هنر ت، (۱۳۸۳)، "ارزیابی آبشستگی موضعی پایه پل‌ها"، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، دانشگاه شیراز.
- ۲۳- ظهیری ع، (۱۳۸۹)، "شبیه سازی جریان متغیر تدریجی در مقاطع مرکب"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۴، جلد ۱۷، صفحه ۱۸۱.
- ۲۴- عالم ز، قمشی م، (۱۳۹۱)، "اثر ارتفاع قرارگیری طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل در کانال مرکب"، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه.
- ۲۵- عباسی ع ا، حبیبی م، (۱۳۸۷)، "بررسی آزمایشگاهی عمق آبشستگی دماغه در آبشکن‌های توری سنگی سر کج"، نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۸، صفحه ۱۱۴.
- ۲۶- کرمی ح، اردشیر ع، صانعی م، (۱۳۸۵)، "الگوی آبشستگی اطراف آبشکن‌ها، سیزدهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۲۷- کوچک‌زاده ص، (۱۳۸۰)، "اثر انتقال جانبی اندازه حرکت بر عمق آبشستگی اطراف پایه‌هایی کناری پل‌ها در مقاطع مرکب"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره اول، جلد پنجم، صفحه ۵۱.
- ۲۸- مختاری ن، دهقانی ا، حسام م، فرهادیان اصفهانی ح، (۱۳۹۰)، "بررسی آزمایشگاهی آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل نامتقارن در شرایط مستغرق"، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق‌آبی، تهران.

۲۹- مسجدی ع، غلامزاده محمودی م، روبران م، (۱۳۸۸)، "کنترل آبشستگی اطراف پایه توسط طوقه دایره‌ای در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه‌ها"، دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۳۰- واقفی م، قدسیان م، صالحی نیشابوری ع ا، (۱۳۸۷)، "مطالعه آزمایشگاهی الگوی آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل منفرد مستقر در قوس ۹۰ درجه"، مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۳، صفحه ۵۷.

۳۱- وزرات نیرو، (۱۳۸۹)، "راهنمای روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی" نشریه شماره ۳۱۸.

32- Ahmad, M. (1953). "Experiments and design and behavior of spur dike", proceeding ASCE and IAHR, Univ Minnesota.

33- Biglari, B. Sturm, T.W. (1998). "Numerical modeling of flow around bridge abutments in compound channel", J. Hyd. Eng, ASCE, 124(2): 156-164.

34- Breusers, N.H.C. (1966). "Conformity and time scale in two-dimensional local scour", Symposium on model and prototype conformity, Hydraulic Research Laboratory poona.

35- Breusers, N.H.C. and Raudkivi, A.J. (1991). "Scouring, 2nd Hydraulic Structures Design Manual", IAHR, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

36- Bruce, Melville, M. ASCE. (2006). "scour countermeasures for wing-wall abutments", journal of hydraulic engineering ASCE.

37- Cardoso, A. H. Bettess, R. (1999). "Effects of time and channel geometry on scour at bridge abutments", J. Hydraul. Eng, Am. Soc. Civ. Eng. 125: 388-399 .

38- Chiew, Y. M. (2004). "Local scour and riprap stability at bridge piers in a degrading channel", Journal of hydraulic engineering ASCE.

- 39- Ettema, R. (1980). "Scour at bridge piers, Report No", University of Auckland, New Zeland.
- 40- Froehlich, D. C. (1989). "Local scour at bridge abutments", Proc. Natl. Conf. Hydraulic Engineering (New Orleans, LA: Am. Soc. Civil Eng.) pp 13–18.
- 41- Garde, R. J. Sabramanya, K. Nambudripad, K. D. (1961). "Study of scour around spur-dikes", J.Hydraulic Div, Am. Soc.
- 42- Gijs, J. C. Hoffmans. Krystian, W. (1995). "Local scour downstream of hydraulic structures", Journal of hydraulic engineering ASCE.
- 43- Gill, M.A. (1972). "Erosion of sand beds around spur dikes", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 98(HY9), pp. 1587-1602.
- 44- Hua, Li. Brian, D. (2006). "parallel walls as an abutment scour countermeasure", Journal of hydraulic engineering ASCE.
- 45- IIHR, Technical Report No. (1998). "A Review of international literature of design practice and experience with low-head alluvial-channel grade-control structures", Tatsuaki Nakato, U. S. Army Engineer, Iowa Institute of Hydraulic Research.
- 46- Johnson, P.A. (1992). "Reliability based pier scour engineering", J. Hyd. Eng, ASCE, 118(10): 1344-1357.
- 47- Kayaturk, S. Y. (2005). "Scour and scour protection at bridge abutments", .213 P.
- 48- Kohli, A. Hager, W. H. (2001). "Building scour in floodplains", Water Maritime Eng, Proc. Inst. Civ. Eng. London 148: 61-80.
- 49- Kothyari, U. C. Ranga Raju, K. G. (2001). "Scour Around spur dikes and bridge abutments", Journal of hydraulic research, IAHR. Vol. 39, No. 4, 635-646.

- 50- Kouchakzadeh, S. Townsend, R.D. (1997). "Influence of lateral momentum transfer on bridge abutment scour", Conf Proc. Hydraulic engineering ASCE, p. 190.
- 51- Laursen, E.M. and Toch, A. (1953). "A Generalized Model Study of Scour Around Bridge Piers and Abutments", Proceedings of the International Hydraulics Convention, ASCE and IAHR, University of Minnesota, Minneapolis, MN, pp. 123-131.
- 52- Laursen, E. M. General Report NO. (1980). "Predicting scour at bridge pier and abutment: A study to advance the methodology of assessing the vulnerability of bridges to floods", Arizona Department of Transportation.
- 53- Li, H. (2006). "Parallel walls as an abutment scour countermeasure", Journal of hydraulic engineering ASCE.
- 54- Li, H. et al. (2006). "Parallel walls as an abutment scour countermeasure", Journal of hydraulic engineering.
- 55- Lim, S. Y. (1997). "Equilibrium clear-water scour around an abutment", J. Hydraul. Eng., Am. Soc. Civ. Eng. 123: 237–243.
- 56- Liu, H.K. Chang, F.M. and Skinner, M.M. (1961). "Effect of Bridge Construction on Scour and Backwater", Report CER 60 HKL 22, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- 57- Melville, B. W. and Sutherland, A. J.(1988). "Design method for local scour at bridge piers", J. Hyd. Eng, ASCE, 114(10): 1210-1226.
- 58- Melville, B. W. and Chiew, Y. M.(1999). "Time scale for local scour at bridge piers", J. Hyd. Eng, ASCE, 125(1): 59-65.
- 59- Melville, B. W. (1992). "Local scour at bridge abutment", J. Hyd. Eng, ASCE, 118(4): 615-637.
- 60- Myers, R.C. Elsayy, K.M. (1975). "Boundary shear in channel with floodplain", J. Hyd. Eng, ASCE, 101(7): 933-946.

- 61- Seung Jaeoh. (2007). "The effect of abutment length for abutment scour in cohesive soil", Journal of hydraulic engineering ASCE.
- 62- Siow-Yong Lim. (1997). "Equilibrium clear water scour around an abutment", school of Civ, And struct. Engrg, nanyang technol.univ.
- 63- Sturm, T. W. Janjua, N. S. (1994). "Clear-water scour around abutment in floodplain", J. Hydraulic Eng, Am. Soc. Civ. Eng, 120: 956-972.
- 64- Sturm, Terry, W.(2004). "Enhanced Abutment Scour Studies", FHWA-RD, 99-154.
- 65- Tey, C. B. (1984). "Local scour at bridge abutments", Rep. No. 329, School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.
- 66- Van der Meullen, T. Vinje, J. J. (1975). "Three dimensional local scour in noncohesive sediments", Proc,16th IAHR-Congress, Sao Paulo, Brasil.

Abstract

Scour is the major factors of threatening the stability of the bridge abutment which constructed on rivers. To avoid possible destruction and irreparable damages, it is necessary to accurately assess the scour process and using appropriate methods to control scour phenomena. Bridge abutments change the flood flow patterns and direct it towards the center of the river. In many cases it causes destruction of bridge and made abundant financial and physical damages.

In this research, the experimental study performed to evaluate the scour of bridge abutment on the floodplain. For this purpose, a T-shaped breakwater structures with different dimensions and a certain distance (with respect to the geometry of the flow characteristics on the river) were used. The effectiveness of the parameters such as wing length, web length and the breakwater distance were examined on the scour around abutments.

For carried out of study flume with dimension of 12m length, 1 m width, and 0.60m height, were used. Experiments were done with five discharge 18, 20 and 22 lit/s, one uniform sediment with median diameter of 1mm.

The results of this study showed that using T-shaped breakwater structures on the upstream of bridge abutment reduced the scour 3% to 90.5%. Also, based on statistical analysis using SPSS software, a regression relations was presented for estimating scour around abutments and the breakwater structure.

Also, in order to present the regression relations to estimate scour around the bridge abutment and T-Shape breakwater, dimensional analysis were performed on hydraulic parameters(discharge, velocity, depth of flow), geometric parameters (abutment length, web length, and the breakwater distance), geometric parameters of canal (width and depth of main flume), and also sediment characteristics of bed material were examined.

Key words: Scour - Flood plain - Compound channel - Bridge abutment - T shape breakwater structure - Experimental model



Shahrood University of Technology

School of Agricultural Engineering

**Experimental study of the effect T shape spire dike on scour around
bridge abutment in floodplain rivers**

Amin Nazeri

Supervisors:

Dr. Sammad Emamgholizadeh

Dr. Khalil Ajdari

Date: 07/2014