

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی کشاورزی

گروه آب و خاک

بررسی آزمایشگاهی اثر آبشکن های T و L شکل بر کاهش آبشستگی و تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه گاه پل واقع در سیلابدشت با استفاده از مدل عددی بانرم افزار CCHE2D

دانشجو : محمدرضا رضایی زمان

اساتید راهنما :

دکتر صمد امامقلی زاده

دکتر خلیل اژدری

اساتید مشاور:

دکتر بابک شاهی نژاد

دکتر محمد رستمی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود


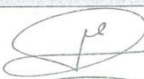


دانشکده : مهندسی کشاورزی


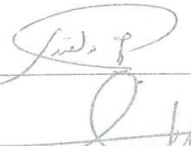

گروه : آب و خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمدرضا رضایی زمان

تحت عنوان: "بررسی آزمایشگاهی اثر آبشکن های T و L شکل بر کاهش آبشستگی و تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه گاه پل واقع در سیلابدشت با استفاده از مدل عددی با نرم افزار "CCHE2D"

در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۸ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر بابک شاهی نژاد		نام و نام خانوادگی : دکتر صمد امامقلی زاده
	نام و نام خانوادگی : دکتر محمد رستمی		نام و نام خانوادگی : دکتر خلیل اژدری

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر علی اصغر نادری		نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی دلقندی
			نام و نام خانوادگی : دکتر روزبه مؤذن زاده

تقدیم بہ خانوادہ سی عزیزم،

کہ وجودشان تجلی مہربانی پیمان الہی است.

تشر و قدردانی

بر خود وظیفه می‌دانم که مراتب سپاس خود را از دکتر صمد امامقلی‌زاده و دکتر اژدری که مسئولیت راهنمایی این پایان‌نامه را پذیرفتند، ابراز دارم. همچنین بدین وسیله از زحمات دکتر محمد رستمی و دکتر بابک شاهی‌نژاد قدردانی می‌نمایم.

محمدرضا رضایی‌زمان

بهمن ۱۳۹۲

تعهدنامه

اینجانب **محمدرضا رضایی زمان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی- سازه‌های آبی دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی آزمایشگاهی اثر آبشکن های T و L شکل بر کاهش آبشستگی و تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه گاه پل واقع در سیلاب‌دشت با استفاده از مدل عددی با نرم افزار **CCHE2D** تحت راهنمایی **دکتر صمد امامقلی زاده** و **دکتر خلیل اژدری** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه 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 پایان نامه 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 پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، 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 جلسه دفاع از پایان نامه: ۱۳۹۲/۱۱/۲۸

امضای دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه‌های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد.

فهرست مقالات مستخرج از پایان نامه

- «بررسی تأثیر فاصله آبشکن T شکل بر آبشستگی تکیه گاه پل با استفاده از مدل عددی CCHE2D»، اولین همایش ملی الکترونیکی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، بهمن ۱۳۹۲.
- «بررسی تأثیر طول دماغه آبشکن T شکل بر آبشستگی تکیه گاه پل با استفاده از مدل عددی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی»، اولین همایش ملی الکترونیکی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، بهمن ۱۳۹۲.

چکیده

یکی از اصلی‌ترین روش‌های جلوگیری از آبشستگی تکیه‌گاه پل، استفاده از آبشکن می‌باشد. طراحی مناسب و بهینه‌ی آبشکن می‌تواند باعث تعدیل شرایط هیدرولیکی، کاهش قدرت فرسایشی آب و توان حمل مواد رسوبی و سرانجام حفاظت کناره رودخانه و تکیه‌گاه پل شود.

در این تحقیق، به بررسی تأثیر مشخصات هندسی و هیدرولیکی آبشکن T شکل در میزان آبشستگی و تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل واقع در سیلاب‌دشت و شبیه‌سازی دو بعدی هیدرولیک جریان و رسوب با استفاده از مدل عددی CCHE2D پرداخته شده است.

ابتدا آزمایش‌ها در دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر در ثانیه در شرایط بدون لحاظ نمودن آبشکن (شاهد) انجام گرفته و سپس با احداث آبشکنی از نوع نفوذناپذیر، صلب، آب‌نگذر، غیر مستغرق، عمودی و T شکل، در فواصل (X) ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۶۰ و ۷۰ سانتی‌متر از تکیه‌گاه، طول جان (L_j) ۶، ۷/۵، ۹، ۱۰/۵ و ۱۲ سانتی‌متر و با طول بال (L_b) ۶، ۷/۵، ۹، ۱۰/۵ و ۱۲ سانتی‌متر در دبی‌های مذکور تکرار شد. در ادامه با استفاده از مدل عددی CCHE2D، الگوی جریان و رسوب اطراف آبشکن T شکل شبیه‌سازی عددی شده و در نهایت نتایج با مدل فیزیکی مقایسه شده است.

برای اجرای هیدرولیک مدل، از مدل آشفتگی طول اختلاط استفاده شد. همچنین برای واسنجی هیدرولیک مدل، ضرایب زبری مختلفی به مدل معرفی و با استفاده از روش سعی و خطا، مقدار آن ۰/۰۱۴۹ به دست آمد. برای مقایسه نتایج مدل و داده‌های اندازه‌گیری، از عمق جریان اندازه‌گیری شده استفاده گردید.

همچنین مشاهدات نشان داد که جریان پس از برخورد با آبشکن منحرف شده و ناحیه چرخشی با تلاطم شدید پیرامون آبشکن ایجاد می‌شود. فرآیند هیدرولیکی این جریان، باعث توسعه ناحیه آبشستگی موضعی در پیرامون آبشکن، ته‌نشست رسوبات به صورت یک بار رسوبی طویل و تغییر فرم بستر در بازه پایین دست آبشکن می‌شود که این فرآیند موجب تثبیت طبیعی تکیه‌گاه می‌گردد.

برای اجرای بخش رسوب مدل نیز از توابع انتقال رسوب انگلوند و هانسن (۲۰۰۰)، وو و همکاران (۲۰۰۰)، SEDTERA (۱۹۹۵) و ایکرز و وایت (۱۹۸۳) استفاده شد. مقدار شاخص RMSE مدل در تخمین عمق آبشستگی با توابع ذکر شده، به ترتیب ۲/۷۸، ۸/۶۸، ۱/۹۸ و ۱/۸۷ میلی‌متر بوده است. نتایج، نشان دهنده تخمین بهتر تابع انتقال ایکرز و وایت (۱۹۸۳) و تخمین نامناسب‌تر تابع انتقال وو و همکاران (۲۰۰۰) نسبت به سایر توابع می‌باشد.

در مجموع، نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که مدل CCHE2D برای تخمین عمق آبشستگی در پروفیل عرضی بستر در شرایط تحقیق حاضر، مناسب می‌باشد.

واژه های کلیدی: آبشکن T شکل، تکیه‌گاه پل، آبشستگی، مدل عددی CCHE2D

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه

۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- ضرورت تحقیق
۳	۳-۱- اهداف پایان نامه
۶	۴-۱- ساختار پایان نامه

فصل دوم: کلیات و پیشینه تحقیق

۸	۱-۲- مقدمه
۸	۲-۲- آبخستگی
۸	۱-۲-۲- مفهوم آبخستگی
۸	۲-۲-۲- مراحل توسعه آبخستگی
۱۰	۳-۲-۲- انواع آبخستگی
۱۰	۱-۳-۲-۲- آبخستگی عمومی
۱۱	۲-۳-۲-۲- آبخستگی ناشی از تنگ‌شدگی
۱۱	۳-۳-۲-۲- آبخستگی موضعی
۱۱	۴-۳-۲-۲- آبخستگی کل
۱۲	۵-۳-۲-۲- آبخستگی در آب زلال و آب حاوی رسوب
۱۳	۶-۳-۲-۲- آبخستگی استاتیکی و دینامیکی
۱۴	۴-۲-۲- تاثیر سازه‌های هیدرولیکی مانند پل و سد بر میزان آبخستگی
۱۵	۵-۲-۲- نکات مهم مطالعه فرسایش عمومی
۱۶	۶-۲-۲- روش‌های مقابله با فرسایش در رودخانه
۱۶	۱-۶-۲-۲- روش حفاظت مستقیم
۱۷	۲-۶-۲-۲- روش‌های حفاظت غیر مستقیم
۱۸	۳-۲- آبخکن
۱۸	۱-۳-۲- تعریف آبخکن رودخانه‌ای
۱۹	۲-۳-۲- اهداف کاربرد آبخکن‌ها

۲۱	.....انواع آبشکن‌ها	۳-۳-۲
۲۱	.....مصالح و روش ساخت آبشکن‌ها	۱-۳-۳-۲
۲۱	.....نفوذپذیری آبشکن	۱-۱-۳-۳-۲
۲۳	.....انعطاف‌پذیری آبشکن	۲-۱-۳-۳-۲
۲۴	.....آبگذری آبشکن	۳-۱-۳-۳-۲
۲۴	.....استغراق آبشکن	۴-۱-۳-۳-۲
۲۵	.....تأثیر آبشکن بر جریان رودخانه	۲-۳-۳-۲
۲۵	.....آبشکن‌های جاذب	۱-۲-۳-۳-۲
۲۶	.....آبشکن‌های عمودی	۲-۲-۳-۳-۲
۲۶	.....آبشکن‌های دافع	۳-۲-۳-۳-۲
۲۷	.....شکل ظاهری آبشکن	۳-۳-۳-۲
۲۷	.....آبشکن‌ها در سطح افق	۱-۳-۳-۳-۲
۲۷	.....آبشکن‌ها در مقطع طولی	۲-۳-۳-۳-۲
۲۸	.....آبشکن در مقطع عرضی	۳-۳-۳-۳-۲
۲۹	.....طول آبشکن	۴-۳-۳-۳-۲
۳۰	.....پارامترهای مهم در طراحی آبشکن‌ها	۴-۳-۲
۳۱	.....مکانیزم کارکرد آبشکن	۵-۳-۲
۳۲	.....ساختار جریان و توپوگرافی بستر پیرامون یک آبشکن منفرد	۱-۵-۳-۲
۳۳	.....ساختار جریان و توپوگرافی بستر در محدوده تأثیر سری آبشکن‌ها	۲-۵-۳-۲
۳۴	.....تکیه‌گاه پل	۴-۲
۳۴	.....کلیاتی از تکیه‌گاه پل	۱-۴-۲
۳۵	.....الگوی جریان در اطراف یک آبشکن یا تکیه‌گاه	۲-۴-۲
۳۸	.....انواع آبشستگی تکیه‌گاه براساس محل حفره آبشستگی	۳-۴-۲
۴۱	.....پارامترهای مؤثر بر آبشستگی تکیه‌گاه	۴-۴-۲
۴۱	.....توسعه آبشستگی با زمان	۵-۴-۲
۴۲	.....بررسی توزیع تنش برشی در اطراف تکیه‌گاه	۶-۴-۲
۴۳	.....مروری بر مطالعات انجام شده	۵-۲
۴۳	.....مطالعات مرتبط به آزمایش	۱-۵-۲
۴۹	.....مطالعات مرتبط با مدل عددی	۲-۵-۲

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۵۳	۱-۳-۱- مقدمه
۵۳	۲-۳-۲- مدل آزمایشگاهی
۵۶	۳-۳-۳- مدل عددی
۵۷	۱-۳-۳-۱- مدل CCHE2D
۵۸	۲-۳-۳-۲- مراحل استفاده از مدل CCHE2D
۵۸	۱-۲-۳-۳-۱- تشکیل شبکه
۶۰	۲-۲-۳-۳-۲- تعیین شرایط اولیه جریان
۶۰	۳-۲-۳-۳-۳- تنظیم پارامترها
۶۰	۴-۲-۳-۳-۴- تعیین شرایط مرزی
۶۰	۵-۲-۳-۳-۵- شبیه‌سازی و مشاهده نتایج
۶۱	۳-۳-۳-۳- معادلات حاکم
۶۱	۱-۳-۳-۳-۱- تنش‌های رینولدز
۶۲	۲-۳-۳-۳-۲- مدل لزجت گردابی
۶۳	۳-۳-۳-۳-۳- مدل دو بعدی $k-\epsilon$
۶۴	۴-۳-۳-۳-۴- انتقال رسوب
۶۴	۱-۴-۳-۳-۳-۱- بار کل
۶۴	۲-۴-۳-۳-۳-۲- انتقال نامتعادل
۶۴	۳-۴-۳-۳-۳-۳- طبقه‌بندی مواد بستر
۶۵	۴-۴-۳-۳-۳-۴- شرایط اولیه
۶۵	۵-۴-۳-۳-۳-۵- فرمول‌های تجربی
۶۶	۶-۴-۳-۳-۳-۶- تعیین زبری بستر به دو روش فان‌راین و وو و وانگ
۶۷	۴-۳-۴-۳-۳-۴- شبیه‌سازی عددی جریان و رسوب حول تکیه‌گاه و آبشکن
۶۸	۱-۴-۳-۳-۴-۱- تشکیل شبکه
۶۸	۱-۱-۴-۳-۳-۴-۱- تهیه مختصات هندسی نقاط فلوم
۶۹	۲-۱-۴-۳-۳-۴-۲- مرزبندی میدان محاسباتی
۶۹	۳-۱-۴-۳-۳-۴-۳- شبکه‌بندی
۷۰	۲-۴-۳-۳-۴-۲- شبیه‌سازی جریان
۷۱	۱-۲-۴-۳-۳-۴-۱- تعریف گزینه‌های مختلف شبیه‌سازی

۷۲	..... ۲-۲-۴-۳- تعریف شرایط اولیه جریان و ضریب زبری در مدل
۷۳	..... ۳-۲-۴-۳- تعریف پارامترهای شبیه‌سازی جریان
۷۵	..... ۴-۲-۴-۳- تعیین شرایط مرزی
۷۵	..... ۳-۴-۳- شبیه‌سازی رسوب
۷۶	..... ۱-۳-۴-۳- تنظیم پارامترهای رسوب

فصل چهارم: نتایج و بحث

۸۳	..... ۱-۴- مقدمه
۸۳	..... ۲-۴- واسنجی بخش هیدرولیک مدل
۸۵	..... ۳-۴- بررسی الگوی جریان و رسوب در اطراف آبشکن T شکل توسط مدل CCHE2D
۹۲	..... ۴-۴- واسنجی بخش رسوب مدل
۹۳	..... ۱-۴-۴- نتایج شبیه‌سازی رسوب در طول‌های مختلف آبشکن T شکل
۹۸	..... ۲-۴-۴- نتایج شبیه‌سازی رسوب در طول‌های مختلف آبشکن T شکل
۱۰۲	..... ۳-۴-۴- نتایج شبیه‌سازی رسوب در فواصل مختل آبشکن T شکل از تکیه‌گاه
۱۰۷	..... ۵-۴- بحث در مورد نتایج
۱۰۷	..... ۶-۴- بررسی اثر تغییرات طول آبشکن بر عمق آبشستگی تکیه‌گاه
۱۰۹	..... ۷-۴- بررسی میزان کاهش عمق آبشستگی تکیه‌گاه در اثر افزایش طول بال آبشکن
۱۱۱	..... ۸-۴- بررسی تأثیر تغییرات فاصله آبشکن بر عمق آبشستگی تکیه‌گاه

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۱۵	..... ۱-۵- نتایج
۱۱۶	..... ۲-۵- پیشنهادات
۱۱۸	..... ۱-۵- فهرست منابع

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۸	جدول ۱-۲- روش‌های حفاظتی مورد استفاده در ساماندهی رودخانه‌ها و پیامدهای فرسایش و رسوب‌گذاری آن [۱۸]
۸۴	جدول ۱-۴- مقادیر عمق و خطای متناظر با ضرایب مانینگ مختلف برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه
۱۰۸	جدول ۲-۴- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر افزایش طول جان آبشکن
۱۰۹	جدول ۳-۴- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر استفاده از آبشکن با طول جان مختلف نسبت به حالت شاهد (بدون آبشکن)
۱۱۰	جدول ۴-۴- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر افزایش طول آبشکن T شکل
۱۱۱	جدول ۵-۴- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر افزایش طول بال آبشکن T شکل نسبت به حالت شاهد (بدون آبشکن)
۱۱۲	جدول ۶-۴- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر کاهش فاصله آبشکن
۱۱۳	جدول ۷-۴- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر استفاده از آبشکن در فواصل مختلف نسبت به حالت شاهد (بدون آبشکن)

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

شکل ۱-۲-۹	مراحل توسعه آبشستگی [۱۳]	۹
شکل ۲-۲-۱۲	اجزای آبشستگی [۱۶]	۱۲
شکل ۳-۲-۱۳	تغییرات عمق آبشستگی در شرایط جریان آب صاف و جریان آب و رسوب [۱۴]	۱۳
شکل ۴-۲-۱۵	طرح کل انواع فرسایش در اطراف تکیه‌گاه و پایه‌های پل [۳]	۱۵
شکل ۵-۲-۱۹	نمایش ساختار عمومی یک آبشکن در پلان [۹]	۱۹
شکل ۶-۲-۲۰	نمایش آبشکن نفوذناپذیر با مصالح رودخانه‌ای و روکش سنگریزه‌ای [۲۰]	۲۰
شکل ۷-۲-۲۵	انواع آرایش آبشکن‌های جاذب، عمودی و دافع [۲۱]	۲۵
شکل ۸-۲-۲۷	انواع شکل ظاهری آبشکن‌ها در پلان [۲۰]	۲۷
شکل ۹-۲-۲۸	انواع شکل مقطع طولی و تاج آبشکن افقی و یا شیب‌دار [۲۰]	۲۸
شکل ۱۰-۲-۲۸	شکل پلکانی مقطع طولی آبشکن از نوع تورسنگی [۹]	۲۸
شکل ۱۱-۲-۲۹	برخی از انواع شکل آبشکن‌ها در مقطع عرضی [۲۴]	۲۹
شکل ۱۲-۲-۳۲	نمایش ساده جریان چرخشی پیرامون یک آبشکن در بستر صاف، تخت [۹]	۳۲
شکل ۱۳-۲-۳۴	ساختار جریان چرخشی در حدفاصل دو آبشکن متوالی در مدل یک بازه مستقیم از رودخانه وال در هلند [۲۲]	۳۴
شکل ۱۴-۲-۳۵	انواع تکیه‌گاه‌ها و آبشکن‌ها [۱۳]	۳۵
شکل ۱۵-۲-۳۶	الگوی جریان در اطراف یک آبشکن [۱۳]	۳۶
شکل ۱۶-۲-۳۷	الگوی جریان در اطراف یک تکیه‌گاه [۲۶]	۳۷
شکل ۱۷-۲-۳۹	شکل کلی قرارگیری تکیه‌گاه و پایه‌های پل در مسیر جریان [۷]	۳۹
شکل ۱۸-۲-۳۹	تکیه‌گاه نوع ۱- الف- آبشستگی کانال اصلی بدون سیلاب‌دشت [۷]	۳۹
شکل ۱۹-۲-۳۹	تکیه‌گاه نوع ۲- الف- امتداد یافته به داخل کانال اصلی [۷]	۳۹
شکل ۲۰-۲-۴۰	تکیه‌گاه نوع ۲- ب- تکیه‌گاه نزدیک لبه کانال اصلی [۷]	۴۰
شکل ۲۱-۲-۴۰	تکیه‌گاه نوع ۲- پ- تکیه‌گاه و حفره آبشستگی در سیلاب‌دشت [۷]	۴۰
شکل ۲۲-۲-۴۱	تکیه‌گاه نوع ۲- ت- آبشستگی کناره تکیه‌گاه و ساحل سیلاب‌دشت [۷]	۴۱
شکل ۱-۳-۵۳	فلوم آزمایشگاهی	۵۳
شکل ۲-۳-۵۴	دبی‌سنج الکترومغناطیسی	۵۴

- شکل ۳-۳-الف- ابعاد تکیه‌گاه؛ ب- ابعاد آبشکن T شکل ۵۵
- شکل ۳-۴- نمایی از آبشکن و تکیه‌گاه T شکل ۵۶
- شکل ۳-۵- طبقه‌بندی لایه‌های بستر در CCHE2D [۵۲] ۶۵
- شکل ۳-۶- نقاط هندسی تولید شده از فلوم مورد آزمایش (ارتفاع اولیه بستر در هر نقطه بر حسب متر) ۶۸
- شکل ۳-۷- مرزبندی میدان محاسباتی ۶۹
- شکل ۳-۸- نمایی از گزینه تنظیم مش محاسباتی ۷۱
- شکل ۳-۹- نمونه‌ای از مش محاسباتی ساخته شده از فلوم ۷۱
- شکل ۳-۱۰- تعیین پارامترهای شبیه‌سازی جریان ۷۳
- شکل ۳-۱۱- تعیین روش مورد استفاده برای تعیین ضریب زبری ۷۴
- شکل ۳-۱۲- الف- پارامترهای منوی Wind؛ ب- پارامترهای منوی Advanced ۷۴
- شکل ۳-۱۳- الف- پارامترهای شرط مرزی ورودی؛ ب، پارامترهای شرط مرزی خروجی ۷۵
- شکل ۳-۱۴- تعریف اندازه کلاس (رتبه) ذرات ۷۷
- شکل ۳-۱۵- تنظیم پارامترهای صفحه انتقال رسوبات ۷۷
- شکل ۳-۱۶- تنظیم پارامترهای صفحه رسوبات ۷۸
- شکل ۳-۱۷- تنظیمات زبری بستر رودخانه ۷۹
- شکل ۳-۱۸- الف- شرایط مرزی رسوب برای بار بستر؛ ب- شرایط مرزی رسوب برای بار معلق ۷۹
- شکل ۳-۱۹- تعیین الگوی دانه‌بندی بستر ۸۰
- شکل ۳-۲۰- نمایی از فلوم ایجاد شده توسط مدل عددی ۸۱
- شکل ۴-۱- درصد خطا برای ضرایب مانینگ مختلف ۸۴
- شکل ۴-۲- الگوی تغییرات جریان حول تکیه‌گاه و آبشکن T شکل ۸۵
- شکل ۴-۳- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای حالت بدون آبشکن (شاهد) ۸۶
- شکل ۴-۴- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۷۵ متر ۸۶
- شکل ۴-۵- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۶۰ متر ۸۷
- شکل ۴-۶- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۳۰ متر ۸۷
- شکل ۴-۷- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۲۴ متر ۸۸

- شکل ۴-۲۴- روند تغییرات عمق آبشستگی در طول بال‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه ۱۰۱
- شکل ۴-۲۵- روند تغییرات عمق آبشستگی در طول بال‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه ۱۰۱
- شکل ۴-۲۶- روند تغییرات عمق آبشستگی در طول بال‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه ۱۰۲
- شکل ۴-۲۷- روند تغییرات عمق آبشستگی در فواصل مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه ۱۰۵
- شکل ۴-۲۸- روند تغییرات عمق آبشستگی در فواصل مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه ۱۰۶
- شکل ۴-۲۹- روند تغییرات عمق آبشستگی در فواصل مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه ۱۰۶
- شکل ۴-۳۰- روند تغییرات عمق آبشستگی در فواصل مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه ۱۰۶

فهرست علائم و نشانه‌های اختصاری به کار رفته در پایان‌نامه

d_s	عمق آبستگي
h_0	عمق متناظر با نقطه عطف نمودار مراحل توسعه آبستگي
t	زمان آبستگي
t_1	زمان متناظر با نقطه عطف نمودار مراحل توسعه آبستگي
d_{s_e}	عمق آبستگي تعادلي
$d_{s_{max}}$	عمق آبستگي ماکزيمم
v	سرعت متوسط جريان در جهت y
v_c	سرعت بحراني در آستانه حرکت
b	طول مؤثر آبشکن
h	عمق متوسط جريان بالادست
Q	دبي
X	فاصله آبشکن از تکیه‌گاه
L_j	طول جان آبشکن T شکل
L_b	طول بال آبشکن T شکل
MDO	حداکثر انحراف عمودي شبکه
ADO	متوسط انحراف عمودي شبکه
MAR	حداکثر نسبت دید (تابع تغيير شکل) شبکه
AAR	متوسط نسبت دید (تابع تغيير شکل) شبکه
u	سرعت متوسط جريان در جهت x
g	شتاب ثقل

Z	تراز سطح آب
h	عمق محلی آب
f_{cor}	پارامتر کوریولیس
τ_{xx}	تنش‌های رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق در صفحه عمود بر راستای x و در جهت x
τ_{xy}	تنش‌های رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق در صفحه عمود بر راستای x و در جهت y
τ_{yx}	تنش‌های رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق در صفحه عمود بر راستای y و در جهت x
τ_{yy}	تنش‌های رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق در صفحه عمود بر راستای y و در جهت y
τ_{bx}	تنش برشی بستر در راستای x
τ_{by}	تنش برشی بستر در راستای y
v_t	ضریب تناسب لزجت گردابه‌ای
A_{xy}	ضریب تعدیل‌کننده لزجت گردابی
k	ثابت فان کارمن
U^*	سرعت برشی
$\frac{\partial \bar{U}}{\partial z}$	ترم گرادبان قائم سرعت
C_m	ضریبی با مقدار ۲/۳۴۳۷۵
k	انرژی کینتیک آشفتگی
ε	نرخ اتلاف انرژی آشفتگی
C_f	ضریب اصطکاک
σ_ε	ضریب ثابت تجربی با مقدار ۱/۳
σ_k	ضریب ثابت تجربی با مقدار ۱
$C_{2\varepsilon}$	ضریب ثابت تجربی با مقدار ۱/۹
$C_{1\varepsilon}$	ضریب ثابت تجربی با مقدار ۱/۴۵

c_{μ}	ضریب ثابت تجربی با مقدار ۰/۰۹
G_s	چگالی نسبی رسوبات
K_s	زبری بستر متحرک
Δ	ارتفاع فرم بستر
ψ	شیب بستر
D_{90}	اندازه‌ای از ذرات بستر که ۹۰٪ ذرات از آن کوچکتر هستند
λ	طول فرم بستر
d_{50}	قطر متوسط ذرات
F_r	عدد فرود
τ_{c50}	تنش برشی بحرانی
τ'_b	تنش برشی ذرات
S_f	شیب خط انرژی
Y	وزن مخصوص آب
B	عرض فلوم
I	خطوط افقی شبکه
J	خطوط عمودی شبکه
n	ضریب مانینگ
e	خطا
$RMSE$	میانگین نسبی انحراف معیار
X_i	مقدار برآورد شده
X_a	مقدار واقعی متغیر مورد نظر
N	تعداد داده‌ها

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

انسان از دیرباز برای برقراری ارتباط از پل استفاده کرده است، به طوری که احداث پل‌های سنگی به دوران قبل از رومیان باز می‌گردد. در خاورمیانه و چین نیز پل‌های سنگی زیادی ساخته شده‌اند. همچنین ساخت پل‌های سنگی در اروپا به حدود ۸۰۰ سال قبل از میلاد مسیح باز می‌گردد. در ایران نیز پل‌سازی از زمان‌های دور رونق داشته و وجود پل‌هایی مانند پل دزفول یا به عبارتی دژپل به زمانی در حدود ۱۷۰۰ سال پیش باز می‌گردد. پل خسرو یا پل ساسانی، سی و سه پل، پل خواجه و پل کرخه نیز از قدمت زیادی برخوردارند. امروزه با توجه به افزایش جمعیت و ارتباطات نیاز به ساختن راه‌های زمینی بیشتری وجود دارد، به طوری که در دهه‌های اخیر پل‌های بسیاری در سراسر جهان احداث شده‌اند. اما پل‌ها همواره در معرض تخریب می‌باشند، که این عارضه علاوه بر خسارات مالی و جانی، تأثیرات اجتماعی زیادی را نیز بر جای می‌گذارد. از عواملی که منجر به تخریب پل‌ها می‌شوند، می‌توان به سیلاب، زلزله، طوفان و گردبادهای شدید، بارگذاری اضافه، حرکت صفحات زمین، طراحی و اجرای نامناسب و در مواردی نیز به استفاده از مواد و مصالح نامرغوب در ساخت و احداث پل اشاره کرد [۱].

بررسی برخی مطالعات نشان می‌دهد که تخریب بیشتر پل‌ها در اثر آبشستگی یا عوامل هیدرولیکی صورت می‌گیرد. در اثر آبشستگی، حفره‌ای در اطراف تکیه‌گاه و پایه‌های پل به وجود آمده و موجب می‌شود که پل در اثر یک سیل بزرگ، یعنی درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها وجود دارد، ویران شوند. به عنوان نمونه، در سال ۱۹۸۷ پل I-90 بر رودخانه چوهاری در نزدیکی آلبانی در ایالت نیویورک آمریکا، به دلیل آبشستگی اطراف فونداسیون پایه‌ها فرو ریخت که منجر به از بین رفتن جان ۱۰ نفر و میلیون‌ها دلار خسارت به پل برای بازسازی شد. در طی سیلاب رودخانه می‌سی‌سی‌پی در سال ۱۹۹۳ بیش از ۲۴۰۰ دهانه پل آسیب دید. در سال ۱۹۹۴ طوفان آلبرتو منجر به تخریب پل‌های زیادی شد که در نتیجه وقوع سیلاب ۱۰۰ ساله‌ای بود که در طول رودخانه‌های اوکمولگی و فلینت در مرکز و شمال جورجیا جاری شد [۲].

این پدیده‌ها در کشور ما نیز خسارات فراوانی بر جا گذاشته است که می‌توان به پل بالارود در محور اندیمشک اهواز در استان خوزستان بر روی رودخانه بالارود اشاره نمود که در سال ۱۳۷۳ تخریب و منجر به خسارات مالی فراوانی شد. پل تالار در استان مازندران در سال ۱۳۶۹ تحت تأثیر آبشستگی قرار گرفت و در بدترین حالت در حدود ۱۰ تا ۱۴ متر آبشستگی ایجاد شد که منجر به نمایان شدن شمع‌ها، معلق شدن بعضی پایه‌ها و در نتیجه برای پل مذکور بسیار خطرناک شد [۳].

۱-۲- ضرورت تحقیق

محققان زیادی آبشستگی پل‌ها را مورد مطالعه قرار داده‌اند ولی بیشتر مطالعات مربوط به پایه‌های میانی بوده و تکیه‌گاه‌ها و روش‌های جلوگیری از آبشستگی در آنها کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است، در صورتی که طبق گزارش‌های منتشر شده مشکل آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها بسیار مهم می‌باشد. طبق مطالعات ملویل (۱۹۹۲)، از ۱۰۸ شکست پل که در فاصله سال‌های ۱۹۸۴-۱۹۶۰ در نیوزیلند رخ داد، ۲۹ مورد آن مربوط به آبشستگی تکیه‌گاه پل بود. ملویل همچنین خاطرنشان می‌سازد که ۷۰٪ هزینه‌های شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است [۴]. ریچاردسون (۱۹۹۳) در بررسی ۳۸۳ مورد تخریب پل گزارش کرده است که ۷۵٪ تخریب پل‌ها در اثر آسیب در تکیه‌گاه‌ها است که این موضوع اهمیت بررسی و پیش‌بینی آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها و راه‌های مقابله با آن را نشان می‌دهد [۵].

۱-۳- اهداف پایان‌نامه

در تحقیق حاضر هدف اصلی، بررسی تأثیر مشخصات هندسی و هیدرولیکی آبشکن در کاهش آبشستگی و تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل می‌باشد که با توجه به مفاهیم زیر، شرایط مدل آزمایشگاهی برای بررسی انتخاب شده است. این مفاهیم در بخش‌های بعدی با جزئیات بیشتری بیان شده‌اند.

آبشستگی در سازه پل شامل همه انواع آن اعم از آبشستگی عمومی، آبشستگی تنگ‌شدگی و آبشستگی موضعی می‌باشد، البته حفره‌ای که در اطراف تکیه‌گاه و پایه‌های پل ایجاد می‌شود از نوع آبشستگی موضعی می‌باشد [۳]. همچنین با توجه به حرکت رسوبات در جریان رودخانه‌ای، آبشستگی به دو دسته آبشستگی آب زلال و آبشستگی بستر متحرک تقسیم می‌شود. طبق تحقیقات ارائه شده حداکثر عمق آبشستگی آب زلال ۱۰٪ بیشتر از حداکثر عمق آبشستگی بستر متحرک می‌باشد [۶]. تکیه‌گاه‌ها از نظر شکل به سه دسته کلی تکیه‌گاه با دیوار قائم، تکیه‌گاه باله‌دار و تکیه‌گاه شیب‌دار تقسیم‌بندی می‌شوند [۷]. از لحاظ شکل دماغه نیز تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای تکیه‌گاه وجود دارد که در اینجا تکیه‌گاه دیواره قائم با دماغه نیم‌دایره‌ای که معمولتر می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته است. تکیه‌گاه‌ها از نظر موقعیت نیز می‌توانند در سه حالت مختلف قرار گیرند، حالت اول مربوط به تکیه‌گاه در کانال اصلی است، حالت دوم تکیه‌گاهی است که از سیلاب‌دشت شروع شده و تا داخل کانال اصلی ادامه پیدا می‌کند، حالت سوم تکیه‌گاه در سیلاب‌دشت واقع شده که این وقوع می‌تواند کاملاً در سیلاب‌دشت باشد یا تا ابتدای کانال اصلی ادامه یابد [۸]. تکیه‌گاه‌ها معمولاً در سیلاب‌دشت ساخته می‌شوند بنابراین بهتر است در بررسی آبشستگی آنها از کانال مرکب استفاده شود تا جریان اطرافشان به واقعیت نزدیک باشد، در این تحقیق از کانال مستطیلی واقع در سیلاب‌دشت استفاده شده تا در هنگام آزمایش‌ها حالت مذکور برقرار باشد.

روش‌های متفاوتی جهت عملیات ساماندهی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که بسته به نوع رودخانه، مورفولوژی مسیر، شرایط آب و هوایی، اهداف طرح و غیره انتخاب می‌شوند. یکی از روش‌های رایج در این زمینه، استفاده از آبشکن می‌باشد [۳]. آبشکن‌ها دیواره‌های عرضی یا مقطعی هستند که به کنار رودخانه متصل شده و گاهی به صورت یک سری متوالی و گاهی به صورت منفرد باعث انحراف آب از محل کناره‌ها می‌شوند. عملکرد مثبت این سازه‌ها از یک سو به ویژگی‌های طبیعی رودخانه و از سوی دیگر به رعایت نکات فنی در حین طراحی و احداث سازه بستگی دارد. آبشکن‌ها از نظر مصالح و روش ساخت، شکل ظاهری و تأثیر آنها بر روی جریان رودخانه‌ای به انواع مختلف تقسیم

می‌گردند، از لحاظ نفوذپذیری به دو نوع «نفوذناپذیر» (بسته یا آب‌نگذر) یا «نفوذپذیر» (باز یا آب‌گذر) تقسیم می‌شوند که در منابع موجود و از دیدگاه فنی عموماً واژه آبشکن به نوع «نفوذناپذیر» و به عنوان سازه انحراف‌دهنده اطلاق می‌گردد. از نظر نوع مصالح، ساختار و قابلیت تحکیم طبیعی، به دو نوع «صلب» و انعطاف‌پذیر تقسیم می‌گردند. از لحاظ نوع مصالح، ساختار و قابلیت تراوش جریان از بدنه، به دو نوع «آبگذر» یا «آب‌نگذر» تقسیم می‌گردند. آبشکن‌ها با توجه به اهداف و شرایط رودخانه، ممکن است مستغرق یا غیرمستغرق باشند، از نظر آرایش و امتداد قرارگیری در رودخانه نیز می‌توانند فرم‌های مختلفی داشته باشند و براساس نمای ظاهری در سطح افق و در مقاطع طولی و عرضی نیز به انواع گوناگون تقسیم می‌گردند. با توجه به تقسیم‌بندی‌های مذکور آبشکنی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته از نوع نفوذناپذیر، صلب، آب‌نگذر، غیر مستغرق، عمودی و T شکل می‌باشد [۹].

در این تحقیق، تأثیر مشخصات هندسی و هیدرولیکی آبشکن T شکل در کاهش آبشستگی و تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل واقع در سیلاب‌دشت مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با توجه به پیچیدگی‌های هیدرولیک جریان و رسوب، بهتر است از روش‌های تئوری و آزمایشگاهی به صورت هم‌زمان بهره گرفته و با در نظر گرفتن اینکه استفاده از مدل‌های فیزیکی مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار بالایی می‌باشد، پس از ارزیابی مدل‌سازی عددی و اطمینان از دقت مناسب نتایج شبیه‌سازی در حالات مختلف، مدل عددی را مبنای طراحی قرار داد. در حال حاضر مدل‌های مختلفی در زمینه شبیه‌سازی هیدرودینامیک در کانال‌های روباز توسعه داده شده است که از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل CCHE2D اشاره نمود که در این تحقیق از آن استفاده شده است. CCHE2D مدلی دوبعدی می‌باشد که برای هر دو حالت جریان ماندگار و غیرماندگار قابل استفاده است. در این مدل از روش المان موثر (نوعی از المان محدود) و حجم کنترل برای حل معادلات حاکم و از روش سطوح خشک برای شبیه‌سازی جریان‌های غیرماندگار و حرکت مرزهای آن استفاده می‌شود [۱۰، ۱۱ و ۱۲].

۱-۴- ساختار پایان نامه

این پایان نامه شامل پنج فصل می باشد که در پی آن مآخذ و منابع ارائه خواهد شد.

در فصل اول مقدمه، ضرورت تحقیق، اهداف تحقیق و خلاصه ای از فصل های مختلف پایان نامه ارائه شده است.

در فصل دوم ابتدا کلیاتی از آبشستگی، آبشستگی در تکیه گاه پل و آبشکن آمده و در ادامه فصل راه های مقابله با آبشستگی در تکیه گاه ها، ساختار تکیه گاه و آبشکن و همچنین مروری بر تحقیقات گذشته ارائه شده است.

فصل سوم شامل دو بخش می باشد، در بخش اول به معرفی مدل آزمایشگاهی پرداخته شده و در بخش دوم مدل عددی مورد استفاده در تحقیق معرفی شده است.

فصل چهارم، مربوط به بررسی و ارائه داده های به دست آمده از مدل عددی خواهد بود. همچنین تأثیرات هر یک از متغیرهای آزمایش مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی مقایسه شده و نمودارها و توپوگرافی بستر تفسیر و تحلیل خواهند شد.

فصل پنجم نیز شامل خلاصه نتایج و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده می باشد.

فصل دوم

کلیات و پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

در این فصل با توجه به مطالعات انجام گرفته و منابع موجود، به تشریح مفاهیم مورد بحث، اعم از آبشستگی، تکیه‌گاه پل و آبشکن‌ها پرداخته شده و در ادامه مروری بر تحقیقات محققان پیشین ارائه شده است.

۲-۲- آبشستگی

۲-۲-۱- مفهوم آبشستگی

آبشستگی در حقیقت جابجایی 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 بیافتد. به طور کلی آبشستگی در اثر اندرکنش نیروهای زیر حاصل می‌شود:

- ۱- نیروهای محرک ناشی از جریان در راستای جدا کردن ذره از بستر عمل می‌کند.
- ۲- نیروی مقاوم ناشی از اصطکاک ذرات و وزن ذره که در برابر حرکت ذره مقاومت کرده و مانع جدایی ذره از بستر می‌شود. حرکت یک ذره هنگامی آغاز می‌شود که نیروهای کشسانی^۱ و بالابرنده^۲ که باعث جدا شدن ذره از بستر می‌شوند، بر نیروی مقاوم ذره غالب آیند [۱۳].

۲-۲-۲- مراحل توسعه آبشستگی

براساس مطالعاتی که توسط محققینی نظیر بروسوز^۳ (۱۹۶۶)، دیتز^۴ (۱۹۶۹) و زنک^۵ (۱۹۷۸) انجام گرفته است، پدیده آبشستگی به طور کلی دارای چهار مرحله، شامل مرحله ابتدایی^۶، مرحله توسعه^۷،

^۱- Drag Force

^۲- Lift Force

^۳- Breusers

^۴- Dietz

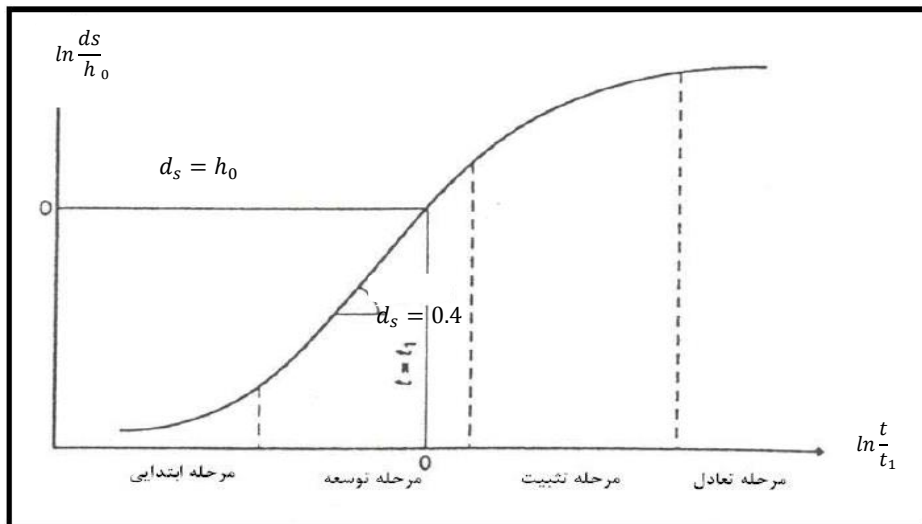
^۵- Zanke

^۶- Initial Phase

^۷- Development Phase

مرحله تثبیت^۸ و مرحله تعادل^۹ می‌باشد.

مرحله ابتدایی ظرفیت بالایی دارد 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. در این مرحله، دیواره پایین دست حفره آبشستگی دچار تغییرات محسوسی می‌شود. 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. هرکدام از مراحل آبشستگی در شکل (۱-۲) نشان داده شده است [۱۴]. در شکل زیر d_s ، h_0 ، t و t_1 به ترتیب عمق آبشستگی، عطف متناظر با نقطه عطف نمودار مراحل توسعه آبشستگی، زمان آبشستگی و زمان متناظر با نقطه عطف نمودار مراحل توسعه آبشستگی می‌باشد.



شکل ۱-۲- مراحل توسعه آبشستگی [۱۳]

^۸-Stabilization Phase

^۹-Equilibrium Phase

۲-۲-۳- انواع آبشستگی

آبشستگی از جنبه‌های مختلف به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- 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، 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 شامل آبشستگی استاتیکی و دینامیکی می‌شود.
- همچنین موارد دیگری از انواع آبشستگی، مانند آبشستگی دریایی و آبشستگی ناشی از قایقرانی وجود دارد [۱۳].

۲-۲-۳-۱- آبشستگی عمومی^{۱۰}

این نوع آبشستگی زمانی رخ می‌دهد که جریان در بازه ای از رودخانه قادر باشد ذرات بستر را در طول مسیر جابجا و با خود حمل کند که باعث کاهش تراز بستر رودخانه در همان بازه می‌شود.

آبشستگی عمومی شامل موارد زیر می‌شود:

- پایین‌افتادگی تراز رودخانه
- جابه‌جایی رودخانه در پلان
- آبشستگی در قوس رودخانه‌ها و پیچانرودها
- آبشستگی در محل اتصال رودخانه‌ها و انشعابات

پدیده‌های فوق به طور مستقیم به مشخصات حوضه آبریز و شکل رودخانه وابسته‌اند [۱۵].

¹⁰-General Scour

۲-۲-۳-۲- آبشستگی ناشی از تنگ‌شدگی^{۱۱}

وجود تنگ‌شدگی مقطع در مسیر جریان باعث افزایش سرعت جریان و بالا رفتن قدرت فرسایشی جریان در این محل می‌شود. به آبشستگی ایجاد شده در این حالت آبشستگی ناشی از تنگ‌شدگی می‌گویند. آبشستگی ناشی از تنگ‌شدگی به‌طور معمول نتیجه محدود کردن عرض رودخانه می‌باشد. به‌عنوان مثال تکیه‌گاه‌های کناری پل‌ها و پایه‌های پل که در وسط آبراهه احداث می‌گردند، باعث کاهش عرض مجرا و در نتیجه آبشستگی می‌شوند [۱۳].

۲-۲-۳-۳- آبشستگی موضعی^{۱۲}

این نوع آبشستگی ناشی از اثر موضعی سازه بر الگوی جریان می‌باشد که به صورت موضعی در پایین‌دست و یا اطراف سازه مورد نظر رخ می‌دهد. این نوع آبشستگی ممکن است به تنهایی یا به همراه آبشستگی‌های دیگر باشد.

آبشستگی موضعی بر اثر ایجاد موانعی مانند پایه‌های پل‌ها، تکیه‌گاه‌های کناری و آبشکن‌ها در مسیر جریان و در اطراف این نوع موانع رخ می‌دهد. این موانع می‌توانند سرعت موضعی جریان و آشفتگی آن را افزایش دهند و بسته به شکل سازه می‌توانند 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 [۱۳].

۲-۲-۳-۴- آبشستگی کل^{۱۳}

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

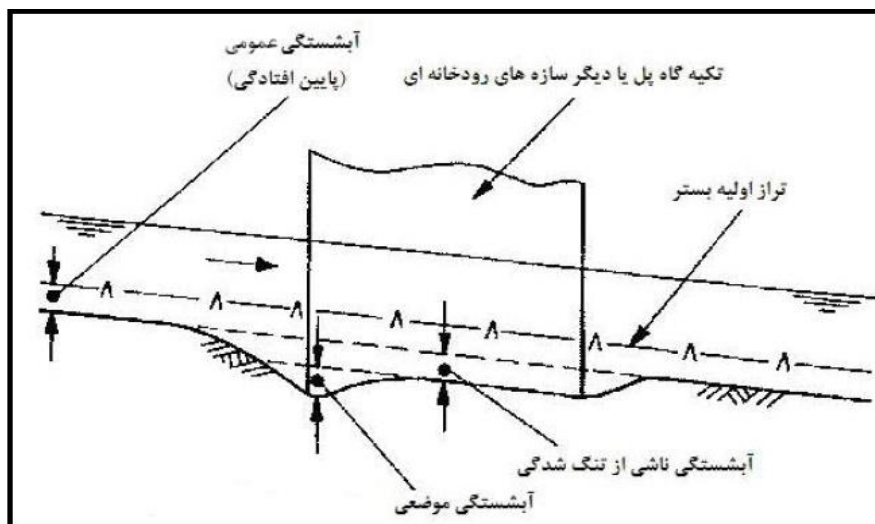
¹¹ -Contraction Scour

¹² -Local Scour

¹³ -Total Scour

- آبشستگی عمومی
- آبشستگی ناشی از تنگ شدگی
- آبشستگی موضعی

تراز عمومی بستر حاصل از هر کدام از آبشستگی‌های فوق، به عنوان شرایط اولیه برای تخمین قسمت دیگر به کار می‌رود. شکل (۲-۲) نمونه‌ای از سه قسمت آبشستگی کل را نشان می‌دهد [۱۵].



شکل ۲-۲- اجزای آبشستگی [۱۶]

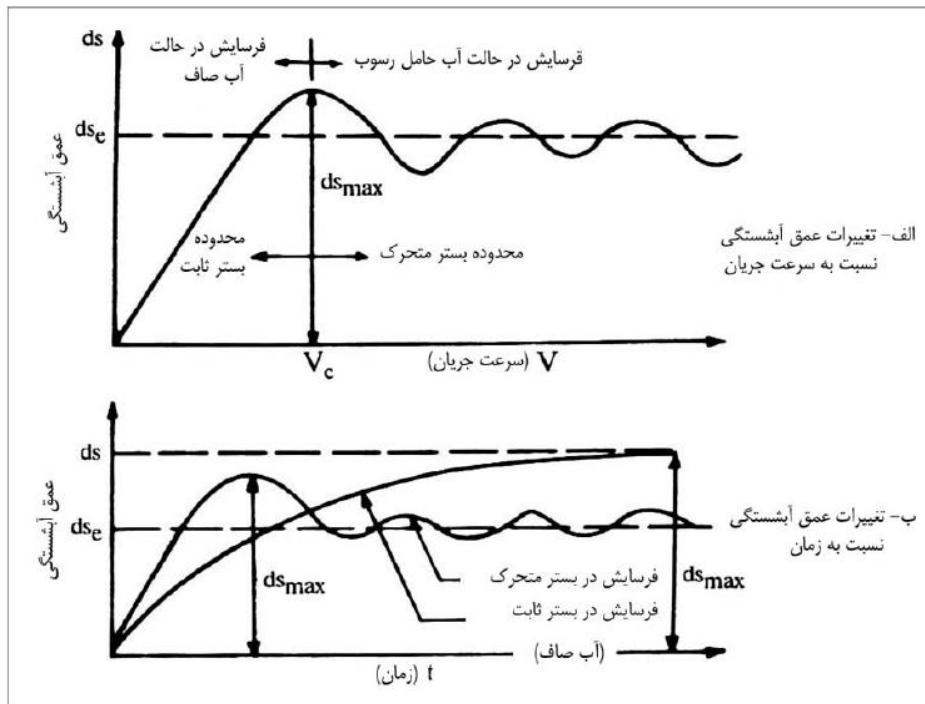
۲-۲-۳-۵- آبشستگی در آب زلال^{۱۴} و آب حاوی رسوب^{۱۵}

آبشستگی در آب زلال در شرایطی اتفاق می‌افتد که مواد بستر در بالادست محدوده آبشستگی در جای خود ثابت باشند و به آستانه حرکت نرسیده باشند. به عبارت دیگر جریان ورودی از بالادست حاوی رسوب نباشد. هنگامی که سرعت جریان افزایش می‌یابد، میزان آبشستگی آب زلال تا زمان آغاز حرکت مصالح بستر افزایش می‌یابد. از این زمان به بعد، تغذیه رسوبات از بالادست آغاز می‌شود. در

¹⁴ -Clear Water Scour

¹⁵ -Live Bed Scour

این حالت جریان از بالادست حاوی رسوب است. شکل (۲-۳) نیز تغییرات عمق آبشستگی در شرایط جریان آب صاف و جریان آب و رسوب را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳- تغییرات عمق آبشستگی در شرایط جریان آب صاف و جریان آب و رسوب [۱۴]

آبشستگی در آب حاوی رسوب سریع‌تر به مقدار حداکثر می‌رسد. در جریان‌های حاوی رسوب عمق آبشستگی حول یک مقدار میانگین (تعادلی) نوسان می‌نماید. آبشستگی موضعی برای رسوبات یکنواخت در شرایط آب زلال در حالت $v/v_c < 1$ و در شرایط حمل رسوب در $v/v_c > 1$ و مقدار حداکثر عمق آبشستگی در $v/v_c = 1$ رخ می‌دهد. در اینجا v سرعت متوسط و v_c سرعت بحرانی در آستانه حرکت است [۱۵۹].

۲-۳-۶- آبشستگی استاتیکی و دینامیکی

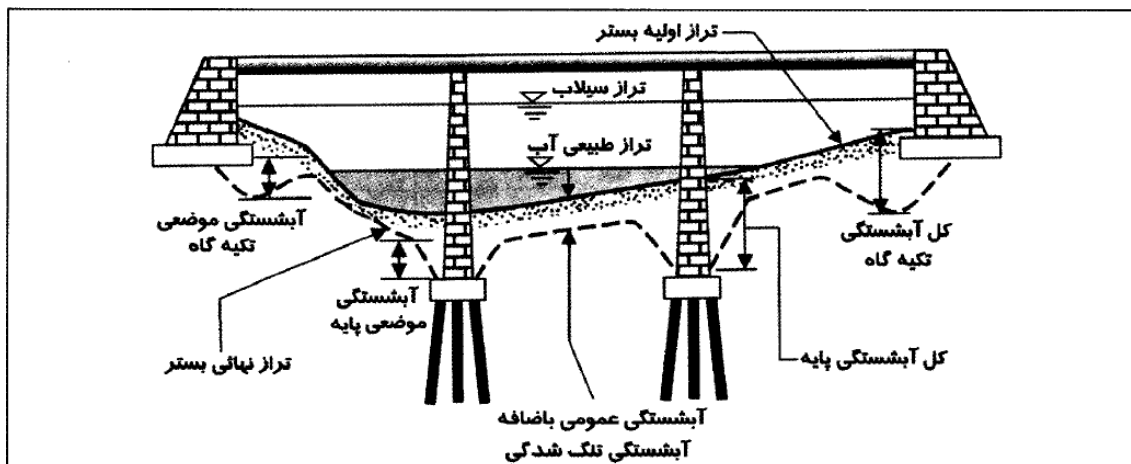
اندازه‌گیری عمق حفره آبشستگی بعد از وقوع سیلاب می‌تواند گمراه‌کننده باشد، زیرا حداکثر عمق

آبشستگی معمولاً در زمان حداکثر سیلاب اتفاق می‌افتد و در خلال فروکش نمودن سیلاب قسمتی از حفره آبشستگی ممکن است پر شود. کاهش عمق آبشستگی ممکن است در اثر ته‌نشینی مصالح معلق شده در حفره آبشستگی یا ریزش شیب‌های دیواره حفره آبشستگی اتفاق افتد. در تحقیقات آزمایشگاهی معمولاً دو نوع آبشستگی در نظر گرفته می‌شود که با عناوین آبشستگی استاتیکی و آبشستگی دینامیکی نامیده می‌شوند. معمولاً عمق آبشستگی استاتیکی را عمق حفره در پایان آزمایش در نظر می‌گیرند، که پس از ته‌نشینی احتمالی ذرات در حفره آبشستگی بر جای می‌ماند و عمق آبشستگی دینامیکی، عمقی است که در هنگام انجام آزمایش و قبل از ته‌نشینی رسوبات در حفره آبشستگی وجود دارد [۱۳].

۲-۲-۴- تاثیر سازه‌های هیدرولیکی مانند پل و سد بر میزان آبشستگی

پوشش یک رودخانه با یک دهانه پل باعث مسدود شدن بخشی از سطح مقطع جریان و بالارفتن تراز سطح آب در بالادست پل می‌گردد. مقدار بالارفتگی تراز آب در بالادست پل و یا پس‌زدگی آب را می‌توان با استفاده از مباحث عمومی هیدرولیک محاسبه کرد. فرسایش عمومی تابع رژیم جریان بوده و تغییرات سریع آن زمانی قابل ملاحظه است که سازه‌ای مانند پل یا سد بر روی مسیر رودخانه احداث شود. در پدیده فرسایش عمومی در زمان سیلاب، تراز بستر رودخانه کاهش پیدا می‌کند که برای طراح محدوده کاهش تراز بستر رودخانه عامل مهمی می‌باشد. اگر تراز و شیب سطح آب معلوم باشد، محاسبه سرعت متوسط و مساحت سطح مقدار فرسایش با فرضیات موجود میسر است. نتایج حاصل از این محاسبات ساده‌شده تنها به عنوان یک تخمین محسوب می‌شوند [۳].

فرسایش کلی اطراف پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های یک پل عبارتست از مجموع سه مورد آبشستگی عمومی، آبشستگی تنگ‌شدگی و آبشستگی موضعی که در شکل (۲-۴) به صورت شماتیک دیده می‌شود. بررسی هر یک از موارد فوق به مقیاس محدوده مطالعاتی و داده‌های خاصی نیاز دارد [۳].



شکل ۲-۴- طرح کل انواع فرسایش در اطراف تکیه‌گاه و پایه های پل [۳]

۲-۲-۵- نکات مهم مطالعه فرسایش عمومی

با توجه به نکات گفته شده، یکی از مهمترین نکات در انتخاب محل پل شناخت کلی رودخانه یا مورفولوژی آن می‌باشد. درک رفتار کف و دیواره‌های رودخانه برای هر طراح سازه هیدرولیکی در رودخانه اهمیت دارد. سؤالات زیر می‌تواند در این راستا مهم تلقی شود.

- آیا عملیات انجام شده در بالادست یا پایین‌دست بر رودخانه، تأثیر خواهد داشت؟
- آیا کاهش ارتفاع عمده‌ای در بستر آبراهه بر اثر یک سیلاب به‌وجود می‌آید؟
- آیا یکی از آبراهه‌های موجود گسترش پیدا خواهد کرد؟
- آیا بار بستری که در مسیر جریان ته‌نشین می‌شود کاهش عمده‌ای در ظرفیت کشش هیدرولیکی آن به وجود می‌آورد؟
- آیا رودخانه در مسیر جریان خود از یک سازه در طول عمر مفید سازه به صورت پیش‌بینی شده عبور خواهد کرد؟

به دلیل اینکه هیچ جواب نهایی و مستقیمی برای این سؤالات در حالت کلی وجود ندارد، طراح می‌تواند به اطلاعات آزمایش با محدوده کاربری محدود و مشاهدات محلی و تغییرات برداشت شده

کنونی از رودخانه مورد نظر اتکا کند [۳].

۲-۲-۶- روش‌های مقابله با فرسایش در رودخانه

روش‌های مقابله با فرسایش از نظر عملکرد سازه‌ها به دو گروه ذیل تقسیم‌بندی می‌شود [۱۷]؛

الف- روش‌های حفاظت مستقیم^{۱۶} (جریان اصلی همواره با کناره‌های رودخانه در تماس می‌باشد)،

استفاده از سازه‌های طولی نظیر دیواره‌های ساحلی، سنگریزی و غیره.

ب- روش‌های حفاظت غیرمستقیم^{۱۷} (جریان اصلی از کناره‌ها دور نگاه داشته می‌شود)، استفاده از

سازه‌های عرضی نظیر آبشکن و غیره.

۲-۲-۶-۱- روش حفاظت مستقیم

در این روش‌ها با احداث سازه‌هایی که مستقیماً روی ساحل پل بستر رودخانه احداث می‌شوند، از فرسایش و آبشستگی بستر و دیواره‌ها جلوگیری به عمل می‌آید. در اینجا تنها به ذکر تعدادی از

زیرشاخه‌های این روش اکتفا می‌کنیم؛

- استفاده از روکش سنگریزه‌ای

- استفاده از روکش توری سنگی^{۱۸}

- استفاده از روکش بتنی مفصل‌دار

- استفاده از روکش کیسه‌ای

- استفاده از روکش آسفالتی

- استفاده از پوشش گیاهی

¹⁶-Direct Methods

¹⁷-Indirect Methods

¹⁸-Gabion Mattress

۲-۲-۶-۲- روش‌های حفاظت غیر مستقیم

در این روش با ساخت سازه‌هایی باعث انحراف خطوط جریان از دیواره‌های فرسایش‌پذیر شده و قابلیت رسوب‌گذاری جریان افزایش می‌یابد. برخی از این روش‌ها عبارتند از:

الف- روکش شبکه‌ای^{۱۹}: این سازه‌ها معمولاً از یک یا دو ردیف شمع کوبیده شده تشکیل شده‌اند که به وسیله شبکه از جنس توری به هم متصل می‌گردند.

ب- آبشکن‌های پره‌ای^{۲۰}: این آبشکن‌ها سازه‌های کوتاهی هستند که با زاویه کمی نسبت به امتداد جریان، در رودخانه و در چند ردیف قرار می‌گیرند. ارتفاع آنها بالاتر از سطح متوسط آب ولی کمتر از آبشکن‌های معمولی است.

ج- دیواره‌های خاکریز طولی^{۲۱}: این سازه‌ها از سرریز شدن سیلاب در داخل دشت سیلابی جلوگیری می‌کنند و باعث می‌شوند جریان در کانال‌های اصلی حرکت کند. ولی این دیواره‌ها در مقابل جریان‌های سیلابی قابلیت فرسایش دارند و ممکن است بخش وسیعی از زمین‌های مجاور را اشغال کنند.

د- آبشکن‌ها: این سازه‌ها دیواره‌های عرضی هستند که در کنار ساحل رودخانه ساخته شده و با دور کردن جریان از ساحل و متمرکز کردن آن در وسط به حفاظت دیواره‌ها کمک می‌کنند. در جدول (۱-۲) نیز انواع روش‌های حفاظتی از دیدگاه فرسایش و رسوب‌گذاری درج شده است.

¹⁹ -Fence

²⁰ -Vane Dike

²¹ -Longitudinal Dikes Levees

جدول ۲-۱- روش‌های حفاظتی مورد استفاده در ساماندهی رودخانه‌ها و پیامدهای فرسایش و رسوب‌گذاری آن [۱۸]

روش حفاظتی	نوع سازه یا اقدامات اصلاحی	پیامدهای اقدامات ساماندهی				هدف از اقدامات ساماندهی		
		فرسایش موضعی	فرسایش عمومی	رسوب‌گذاری موضعی	رسوب‌گذاری عمومی	تثبیت کناره	تثبیت کف	کنترل سیلاب	ایجاد راستای مناسب
سازه‌های عرضی	آبشکن	×		×	×	×		×
	کف بند	×			×		×	
	شیب شکن	×			×		×	
	سرریز	×		×	×		×	
	صفحات مستغرق	×		×	×	×	×	
سازه‌های طولی	گوره (خاکریز)							×
	دیواره سیل بند	×	×				×	×
	پوشش حفاظتی بستر و کناره‌ها	×				×	×	×
اصلاح مسیر	پاکسازی مسیر							×
	ایجاد میان بر							×
پوشش غیرسازه‌ای	پوشش گیاهی	×		×	×			×
	پوشش ژئوتکستایل	×						×

۲-۳- آبشکن

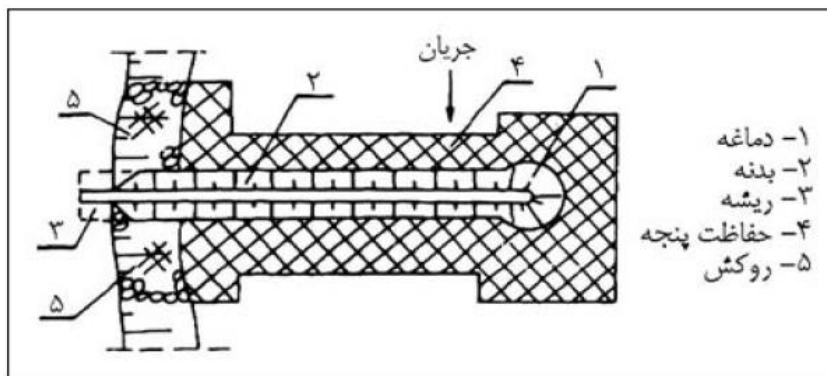
۲-۳-۱- تعریف آبشکن رودخانه‌ای

آبشکن‌ها دیواره‌های عرضی یا متقاطع هستند که به کنار رودخانه متصل شده و گاهی به صورت یک سری متوالی و گاهی به صورت منفرد باعث انحراف آب از محل کناره‌ها می‌شوند و عمدتاً در حفاظت دیواره‌های خارجی پیچ‌ها، طرح‌های اصلاح مسیر و کاهش عرض رودخانه به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند [۹].

آبشکن‌ها معمولاً از جنس سنگ، پاره‌سنگ، شن، خاک، مصالح سنگریزه‌ای، توری‌سنگی و الوار (چوبی یا فلزی) با زاویه مشخص نسبت به کناره رودخانه از طرف ساحل به سمت مرکز جریان، ساخته می‌شوند و باعث دور شدن جریان از بازه بحرانی و نیز موجب تنگ‌شدگی موضعی در داخل جریان می‌شوند. عملکرد مثبت این سازه‌ها از یک سو به ویژگی‌های طبیعی رودخانه و از سوی دیگر به رعایت نکات فنی در حین طراحی و احداث سازه بستگی دارد.

ساختار عمومی یک آبشکن مطابق شکل (۲-۵) شامل اجزای زیر می‌باشد [۹ و ۱۷]:

- ۱- دماغه یا پنجه که به علت مقاومت در برابر جریان و حفاظت در برابر آبشستگی بستر گسترده‌تر ساخته می‌شود؛
- ۲- بدنه یا ساقه و تاج که بدنه اصلی آبشکن را تشکیل می‌دهد؛
- ۳- ریشه یا تکیه‌گاه که نقش پایداری ساقه از طریق اتصال قفل‌شدگی آبشکن به دیواره رودخانه را به عهده دارد؛
- ۴- حفاظت پنجه که جهت ایمنی آبشکن در برابر آبشستگی عمومی و موضعی در دماغه و پیرامون بدنه آبشکن حیاتی می‌باشد؛
- ۵- حفاظت سطحی که پوشش حفاظتی آبشکن و دیواره طبیعی رودخانه از خطر فرسایش و تخریب است.



شکل ۲-۵- نمایش ساختار عمومی یک آبشکن در پلان [۹]

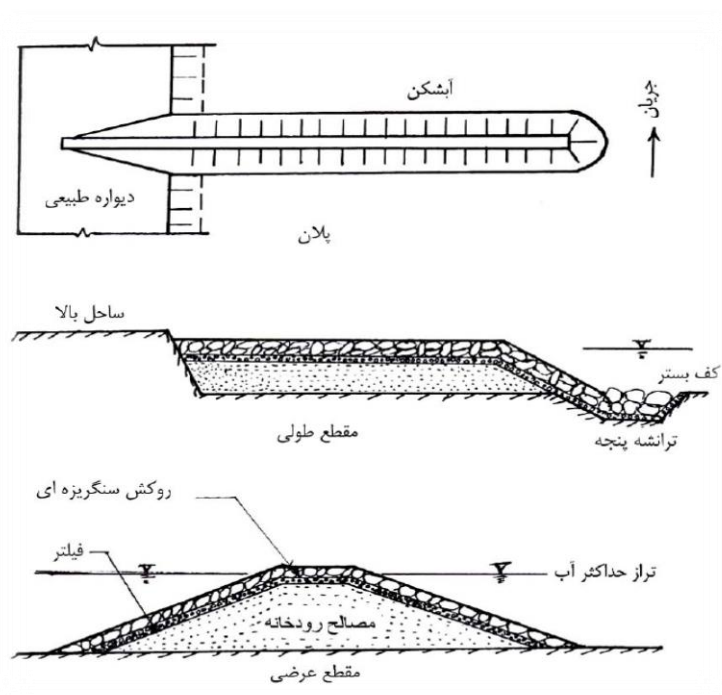
آبشکن‌های رودخانه‌ای از نوع انحراف‌دهنده‌ها هستند و با توجه به کارکرد هیدرولیکی، آبشکن‌ها را می‌توان در گروه روش‌های طبیعی-سازه‌ای به شمار آورد. نمونه سیمای یک آبشکن در پلان و مقاطع طولی و عرضی در شکل (۲-۶) نمایش داده شده است [۹].

۲-۳-۲- اهداف کاربرد آبشکن‌ها

آبشکن‌ها در شرایط مختلف بازه‌های رودخانه‌ای (کوهستانی تا سیلاب‌دشتی، مستقیم، شریانی تا

مارپیچی در مجرای اصلی و یا در بستر سیلابدشت رودخانه، در کناره‌های با راستای مستقیم یا منحنی و در دیواره‌های خارجی یا داخلی پیچ‌ها)، مورد استفاده قرار می‌گیرند. آبشکن‌ها برای اصلاح مسیر رودخانه‌های عریض و شریانی و به ویژه با بار رسوبی کف زیاد (از نوع ماسه، شن و درشت‌تر) و برای شرایط مختلف جریان مناسب و مؤثر هستند. هرچند که برای هدایت جریان در رودخانه‌های مارپیچی (حفاظت دیواره‌های مجرای اصلی و کنترل سیلاب در سیلابدشت رودخانه) نیز به طور گسترده‌ای از آبشکن استفاده می‌گردد [۱۹].

به غیر از رودخانه‌های کوچک و کم‌عرض و در شرایط خاص، کاربرد آبشکن‌ها محدودیت قابل توجهی نداشته و می‌تواند به عنوان یک گزینه در ساماندهی بازه رودخانه در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۶- نمایش آبشکن نفوذناپذیر با مصالح رودخانه‌ای و روکش سنگریزه‌ای [۲۰]

آبشکن‌های رودخانه‌ای برای ترکیبی از اهداف زیر مورد توجه هستند:

- اصلاح مسیر رودخانه به منظور کنترل سیلاب و یا کاهش خطر پیشروی رودخانه به اراضی ساحلی و فرسایش و تخریب دیواره‌ها و تأسیسات جانبی از طریق کاهش و یا تنظیم عرض

رودخانه و تثبیت و حفاظت دیواره‌ها در راستای جدید؛

- حفاظت دیواره‌های خارجی پیچ از طریق تعدیل انحنای نسبی پیچ، بهبود راستای دیواره و انحراف جریان از دیوار خارجی به میانه رودخانه؛
- حفاظت موضعی بازه رودخانه در برابر سازه‌های آبی، تخریب پل‌ها و دیگر خطوط حیاتی تقاطعی (آب، برق، نفت و گاز) از طریق بهسازی راستای بازه و انحراف جریان از نواحی بحرانی؛
- تثبیت دیواره رودخانه در بالادست آبگیرها و یا انحراف جریان به سمت دهانه آبگیر در مسیر مستقیم و یا در قوس خارجی رودخانه (از طریق تشدید جریان ثانویه و افزایش میزان آبگیری)؛
- تأمین قابلیت کشتیرانی رودخانه از طریق تنظیم و تثبیت عرض و عمق کافی، تغییر تراز بستر برای توسعه عمق مناسب و شعاع انحنای لازم؛
- احیای محیط زیستابی رودخانه از طریق کاهش احتمال خطر یخ‌زدگی سطح آب رودخانه، توسعه حوضچه‌های گردابی در گستره دماغه آبشکن‌ها و پالایش طبیعی جریان و هندسه هیدرولیکی مناسب برای حیات آبریان [۹]؛

۳-۳-۲- انواع آبشکن‌ها

آبشکن‌ها از نظر مصالح و روش ساخت، شکل ظاهری و تأثیر آنها بر روی جریان رودخانه‌ای به انواع مختلف تقسیم می‌گردند.

۳-۳-۲-۱- مصالح و روش ساخت آبشکن‌ها

۳-۳-۲-۱-۱- نفوذپذیری آبشکن

آبشکن‌ها ممکن است به دو نوع «نفوذناپذیر» (بسته یا آب‌نگذر) یا «نفوذپذیر» (باز یا آب‌گذر) تقسیم

گردند، ولی ساختار و کارکرد هیدرولیکی این دو کاملاً متفاوت است. در منابع موجود و از دیدگاه فنی نیز عموماً واژه آبشکن به نوع «نفوذناپذیر» و به عنوان سازه انحراف‌دهنده اطلاق می‌گردد [۲۱].

الف- آبشکن‌های نفوذناپذیر: آبشکن نفوذناپذیر 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 می‌گردد. از این‌رو آبشکن‌های نفوذناپذیر (هرچند که از نظر نوع مصالح و ساخت قابلیت تراوش داشته باشند) در گروه سازه‌های انحراف‌دهنده به شمار می‌آیند. با توسعه جریان چرخشی در محدوده تأثیر یک آبشکن یا در حدفاصل بین آبشکن‌های متوالی، کناره رودخانه (در حدفاصل دیواره‌های طبیعی موجود با خط جدایی جریان یا مرز راستای اصلاح شده) با ته‌نشست بار رسوبی کف و معلق به سرعت توسعه یافته و با استقرار تدریجی پوشش گیاهی در درازمدت تثبیت می‌یابد.

این نوع آبشکن از مصالح متنوع سازه‌ای و طبیعی ساخته می‌شود. براساس مصالح و ساختار آبشکن، انواع آن عبارتند از سنگریزه‌ای، تورسنگی از نوع جعبه‌ای، کیسه‌ای با محتوی ماسه و یا مخلوط ماسه-سیمان، واحدهای بتنی سه‌پایه^{۲۲}، مخلوط درشت‌دانه رودخانه‌ای (با روکش سنگریزه‌ای، تورسنگی و یا کیسه‌ای)، دیواره سپری همراه با شمع کوبی از جنس صفحات و پایه‌های فلزی، چوبی، بتنی، و یا ترکیبی، شمع‌های بتنی یا چوبی دو ردیفه همراه با استقرار سنگریزه‌ها در حدفاصل بین دو ردیف، دیواره سپری یا دیواره چوب‌بست دو ردیفه یا بدون استقرار سنگریزه‌ها در حدفاصل بین دو صفحه، الوار چوبی به هم بافته، تنه درختان و شاخ و برگ‌های به هم بافته و یا ترکیبی از مصالح و روش‌های فوق [۲۱ و ۹].

ب- آبشکن‌های نفوذپذیر: آبشکن نفوذپذیر از نظر سازه‌ای، مجموعه‌ای از عناصر مقاومت جریان است که در امتداد عرضی رودخانه آرایش می‌یابد. این نوع آبشکن، عموماً از تیرک یا شمع‌های بتنی، چوبی، یا ساقه‌های بامبو (در یک، دو و یا سه ردیف) ساخته می‌شود. گاهی از مصالح سنگریزه‌ای برای حفاظت پایه‌ها از خطر آبشستگی موضعی استفاده می‌گردد. آرایش ردیف پایه‌ها موجب افزایش

²² -Concrete Tripods

مقاومت بستر همراه با توسعه جریان‌های چرخشی موضعی پیرامون پایه‌های منفرد گردیده و سبب کاهش سرعت جریان، کاهش انتقال رسوبات کف، ته‌نشست مواد رسوبی معلق درشت‌دانه، و جذب مواد شناور می‌گردد.

این نوع سازه در رودخانه‌های کم‌عمق و عریض با راستای نسبتاً مستقیم، با بستر ماسه‌ای یا شن ریز و با بار رسوبی معلق زیاد همراه با مواد جامد شناور مؤثرتر بوده، ولی در رودخانه‌های بزرگ با عمق بیش از ۳ متر، با بار رسوبی کم، با مواد بستری شنی و درشت‌تر (به دلیل مشکل شمع‌کوبی) و نیز در محدوده دیواره خارجی پیچ‌ها (به دلیل قدرت جریان ثانویه) مناسب نخواهد بود. آبشکن‌های نفوذپذیر را باید در گروه سازه‌های آرام‌کننده به شمار آورد. در ادامه بحث، نکات و تقسیم‌بندی‌ها مربوط به آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد [۹].

۲-۳-۱-۲- انعطاف‌پذیری آبشکن

آبشکن‌ها برحسب نوع مصالح و ساختار آن‌ها و از نظر قابلیت تحکیم طبیعی، به دو نوع «صلب» یا انعطاف‌پذیر تقسیم می‌گردند. به طور کلی، آبشکن‌های انعطاف‌پذیر بهتر از انواع صلب هستند. به طور طبیعی بدنه آبشکن بر اثر نیروی «تراوش» و پدیده «زیرشویی» نشست‌های ناهمگونی کرده و یا بستر رودخانه در موقعیت پنجه آبشکن در معرض آبشستگی قرار می‌گیرد. در این صورت، یک آبشکن صلب به سهولت و با سرعت دچار ترک‌خوردگی شده و بخش‌هایی از آن تخریب و سرانجام منجر به گسیختگی کل سازه و تشدید روند تخریبی دیواره رودخانه خواهد شد. در حالیکه آبشکن‌های انعطاف‌پذیر نسبت به تغییرات، قابلیت تنظیم، جابجایی و تحکیم داشته و امکان مرمت و بازسازی مجدد دارند. آبشکن‌های نوع سنگریزه‌ای، تورسنگی و یا متشکل از واحدهای بتنی سه‌پایه از مثال‌های بارز سازه‌های انعطاف‌پذیر به شمار می‌آیند [۲۰].

۲-۳-۳-۱-۳- آبگذری آبشکن

آبشکن‌ها بر حسب نوع مصالح و ساختار آن‌ها و از نظر قابلیت تراوش جریان از بدنه، به دو نوع «آبگذر» یا «آب نگذر» تقسیم می‌گردند. آبشکن‌های آبگذر از نظر هیدرولیکی برترند، زیرا به سهولت و به طور یکنواخت قابلیت زهکشی بدنه و آزادسازی نیروی تراوش و زیرفشار آب را دارند. از سوی دیگر، جذب رسوبات معلق ریزدانه در محیط متخلخل سطح پوششی، قابلیت تثبیت زیستی و بهسازی شرایط زیست‌محیطی را در پیرامون آبشکن فراهم می‌سازد.

به طور کلی آبشکن‌های انعطاف‌پذیر، آبگذر نیز هستند. از این رو از امتیازات پایداری و دوام طبیعی برخوردار بوده و در طرح‌های رودخانه‌ای مورد توجه می‌باشند. آبشکن‌های نوع سنگریزه‌ای، تورسنگی و یا متشکل از واحدهای بتنی سه‌پایه از مثال‌های بارز سازه‌های انعطاف‌پذیر و آبگذر به شمار می‌آیند [۲۰].

۲-۳-۳-۱-۴- استغراق آبشکن

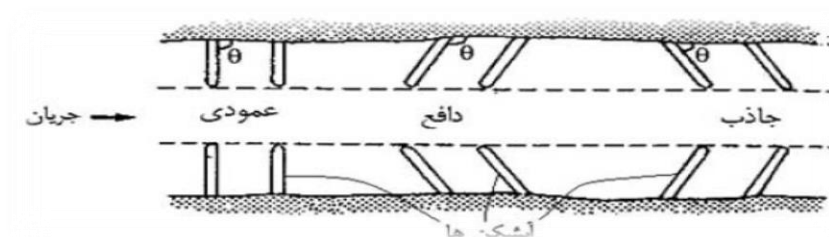
آبشکن‌ها با توجه به اهداف و شرایط رودخانه، ممکن است مستغرق یا غیرمستغرق باشند. عموماً آبشکن‌های نفوذناپذیر را به صورت غیرمستغرق طراحی می‌کنند، زیرا جریان عبوری از روی این نوع سازه منجر به فرسایش شدید تاج و تخریب احتمالی بدنه آبشکن گردیده و یا ممکن است که ناحیه رسوب‌گذاری شده در محدوده حفاظتی آبشکن را در معرض فرسایش قرار دهد. در مقایسه، آبشکن‌های نفوذپذیر چون تأثیر کمتری بر جریان عمومی رودخانه دارند، ممکن است که به صورت مستغرق طراحی گردند [۲۲].

در رودخانه‌های بستر ماسه‌ای و ماریپیچی، برای حفاظت دیواره‌ها در مجرای اصلی معمولاً از آبشکن‌های نفوذناپذیر با ارتفاع تاج در حد تراز دیواره بالای رودخانه اصلی (برای ظرفیت جریان مقطع در حدود سیل متناوب سالانه) استفاده می‌گردد. این آبشکن‌ها در مواقع سیلاب‌های بزرگ‌تر و با گسترش جریان در دشت سیلابی رودخانه، لزوماً مستغرق خواهند شد. در رودخانه‌های شریانی و یا با

مواد بستری درشت‌دانه، به دلیل توان زیاد جریان و ناپایداری رودخانه، آبشکن‌های نفوذناپذیر به کار می‌روند. در این شرایط ارتفاع تاج آبشکن‌ها معادل تراز متوسط دیواره بالای مقطع ساده رودخانه (با ظرفیت جریان سیلابی بزرگ و غیرمتناوب) در نظر گرفته می‌شود، از این رو اغلب به صورت غیرمستغرق عمل می‌نمایند. در ساماندهی رودخانه برای تأمین قابلیت کشتیرانی، شدت جریان متوسط سالانه مورد نظر قرار می‌گیرد. از این رو در مواقع پربابی و سیلابی، آبشکن‌ها لزوماً مستغرق بوده که متعاقب آن نیز مشکلاتی برای کشتیرانی پدید می‌آید [۹].

۲-۳-۳-۲- تأثیر آبشکن بر جریان رودخانه

آبشکن‌ها از نظر آرایش و امتداد قرارگیری در رودخانه و تأثیر آنها بر روی جریان رودخانه‌ای، به سه نوع «جاذب»^{۲۳}، «عمودی»^{۲۴} و «دافع»^{۲۵} تقسیم می‌گردند. شکل (۷-۲) انواع آرایش آبشکن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲- انواع آرایش آبشکن‌های جاذب، عمودی و دافع [۲۱]

۲-۳-۳-۱- آبشکن‌های جاذب

آبشکن‌های جاذب از نظر سازه‌ای، به سمت پایین‌دست جریان رودخانه متمایل بوده و از نظر هیدرولیکی، جریان را به سمت خود جذب نموده و مانع از انحراف جریان به سمت دیواره مقابل

²³ -Attracting/ Declined

²⁴ -Normal/ Deflecting

²⁵ -Inclined/ Repelling

می‌گردند. زاویه تمایل آبشکن به سمت پایین‌دست در حدود ۱۰ درجه پیشنهاد شده است، ولی ممکن است تا ۳۰ درجه نیز باشد. با این آرایش، اگر زاویه تمایل بیش از ۴۵ درجه باشد، آبشکن تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر انحراف جریان نداشته و در شرایط سیلابی نیز ممکن است باعث تخریب دیواره‌ها گردد [۲۱].

۲-۳-۲-۲- آبشکن‌های عمودی

آبشکن‌های عمودی از نظر سازه‌ای، عمود بر راستای عمومی جریان رودخانه یا دیواره‌ها احداث شده و از نظر هیدرولیکی، سبب تغییر جهت جریان از سمت کناره رودخانه گردیده و در عین حال مانع از انحراف شدید جریان به سمت دیواره مقابل می‌گردند. آبشکن‌های عمودی معمولاً کوتاه‌تر از انواع دیگر بوده و در بازه‌های مستقیم و نیز برای حفاظت موضعی در برابر فرسایش به کار می‌روند [۹].

۲-۳-۲-۳- آبشکن‌های دافع

آبشکن‌های دافع از نظر سازه‌ای، به سمت بالادست جریان رودخانه متمایل بوده و از نظر هیدرولیکی، جریان را با قدرت از کناره رودخانه و آبشکن دور نموده و سبب انحراف شدید جریان به سمت دیواره مقابل می‌گردند. با این آرایش، جریان حتی در شرایط سیلاب به میانه رودخانه منحرف می‌گردد [۲۱]. زاویه تمایل آبشکن به سمت بالا دست بین ۱۰ تا ۲۰ درجه پیشنهاد شده است، ولی ممکن است بین ۵ تا ۳۰ درجه نیز باشد [۲۳].

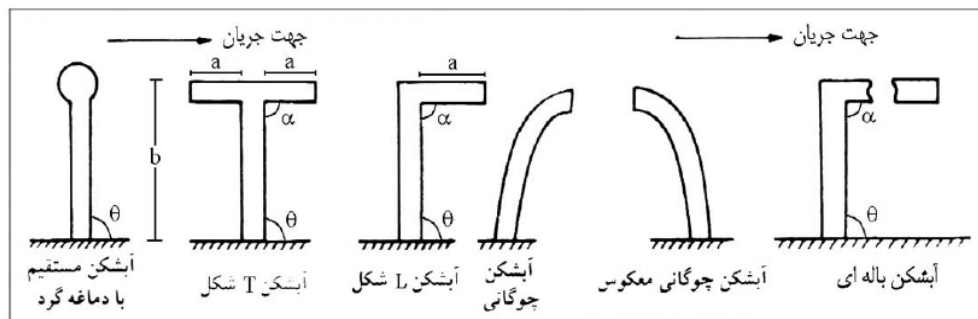
به‌طور کلی، از نظر قدرت انحراف جریان و شدت رسوب‌گذاری در پایین‌دست، آبشکن‌های دافع بهتر عمل می‌کنند. از سوی دیگر، میزان آبستگي پیرامون آبشکن‌های جاذب (که تمایل به پایین‌دست جریان دارند) کمتر بوده و سازه از پایداری طبیعی بیشتری برخوردار خواهد بود [۹].

۳-۳-۳-۲- شکل ظاهری آبشکن

آبشکن‌ها براساس نمای ظاهری در سطح افق و در مقاطع طولی و عرضی به انواع گوناگون تقسیم می‌گردند:

۳-۳-۳-۳-۱- آبشکن‌ها در سطح افق

آبشکن‌ها با شکل و نماهای مختلف در سطح افق ساخته می‌شوند. انواع شکل ظاهری آبشکن‌ها در پلان رودخانه مطابق شکل (۸-۲) به انواع مستقیم، مستقیم با دماغه گرد، تی‌شکل (T)، ال‌شکل (L)، چوگانی^{۲۶} یا قلاب‌شکل یا چنگکی^{۲۷}، چوگانی معکوس و باله‌ای^{۲۸} تقسیم‌بندی می‌شوند. آبشکن مستقیم با راستای مستقیم و زاویه مناسب نسبت به دیواره رودخانه قرار گرفته و عموماً دماغه آن برای حفاظت در برابر آبشستگی موضعی به صورت دایره‌ای و گسترده‌تر می‌باشد [۲۰ و ۲۲].



شکل ۸-۲- انواع شکل ظاهری آبشکن‌ها در پلان [۲۰]

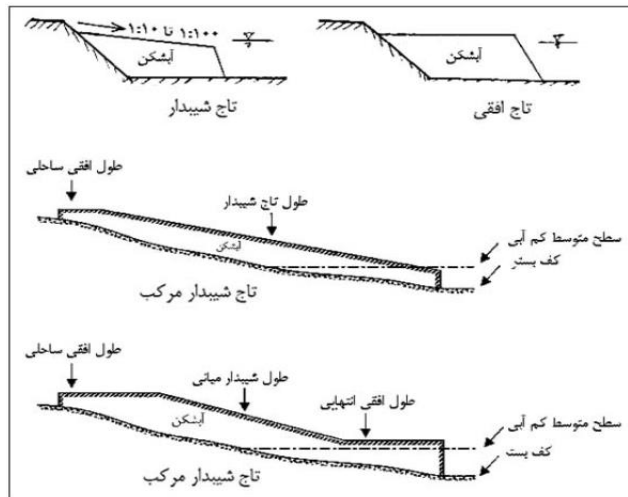
۳-۳-۳-۳-۲- آبشکن‌ها در مقطع طولی

در مقطع طولی، تاج آبشکن ممکن است مطابق شکل (۹-۲)، از دیواره به سمت محور رودخانه به صورت افقی و یا شیب‌دار (به سمت رودخانه) و یا مطابق شکل (۱۰-۲) به صورت پلکانی باشد.

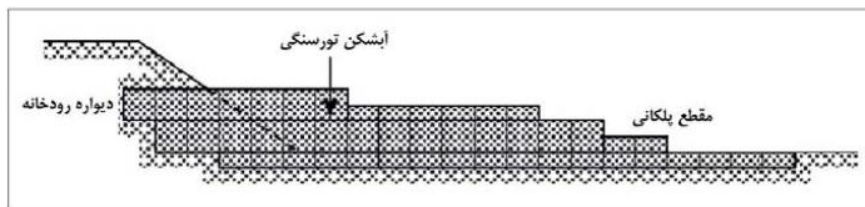
²⁶ -Hockey

²⁷ -Hooked

²⁸ -Wing/ Tail



شکل ۲-۹- انواع شکل مقطع طولی و تاج آبشکن افقی و یا شیبدار [۲۰]



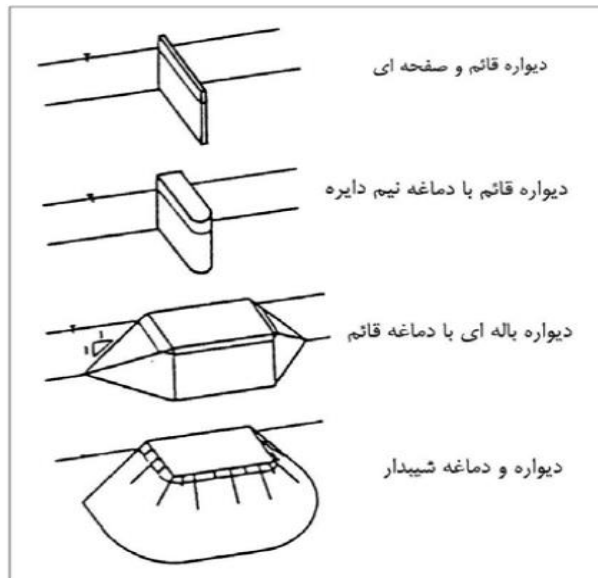
شکل ۲-۱۰- شکل پلکانی مقطع طولی آبشکن از نوع تورسنگی [۹]

در حالت شیبدار و یا پلکانی، سطح مؤثر جریان در بده‌های زیادتر بیشتر بوده و سرعت متوسط و توان جریان کمتر می‌شود. در رودخانه‌هایی که تغییرات بده و سطح آب کم است، آبشکن‌های با تاج افقی، مناسب هستند. وقتی تغییرات جریان خیلی زیاد باشد، تاج شیبدار از نظر ظرفیت انتقال جریان مناسب‌تر بوده اما تأثیر آن در حفاظت دیواره‌ها نیز کمتر می‌شود. شیب تاج آبشکن‌ها در محدوده (4H:1V تا 10H:1V) توصیه شده است، ولی ممکن است با شیب ملایم‌تر در محدوده (10H:1V تا 100H:1V) نیز باشد [۲۰ و ۲۱].

۲-۳-۳-۳- آبشکن در مقطع عرضی

مقطع عرضی آبشکن ممکن است به یکی از سه شکل هندسی سپری (دیواره کم‌عرض و قائم)، جعبه‌ای پلکانی و یا دوزنقه‌ای باشد. شکل عرضی آبشکن تابعی از نوع مصالح و روش ساخت می‌باشد.

آبشکن‌های سپری با مقطع مستطیلی کم‌عرض، آبشکن‌های تورسنگی یا کیسه‌ای با مقطع پلکانی و آبشکن‌های سنگ‌ریزه‌ای با مقطع دوزنقه‌ای ساخته می‌شوند. برخی از انواع مقطع عرضی آبشکن‌ها در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۱- برخی از انواع شکل آبشکن‌ها در مقطع عرضی [۲۴]

۲-۳-۳-۳-۴- طول آبشکن

آبشکن‌ها از نظر طول مؤثر و تأثیر آن بر کارکرد جریان چرخشی، عرض رودخانه و ظرفیت انتقال جریان معمولاً به سه گروه تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی قراردادی بوده و از دیدگاه‌های مختلف کمیت‌های متفاوتی را در بر می‌گیرد. از دیدگاه حفاظت و تثبیت دیواره‌های رودخانه، آبشکن‌های کوتاه با طول مؤثر کمتر از ۳۰ متر و آبشکن‌های بسیار بلند با طول مؤثر بیشتر از یک‌سوم عرض بالای رودخانه هستند. منظور از طول مؤثر، بخشی از طول آبشکن است که در کاهش عرض مجرای اصلی رودخانه تأثیر داشته و شامل طول اضافی برای جبران نامنظمی‌های موضعی دیواره‌ها نمی‌باشد. آبشکن‌های کوتاه‌تر نیاز به فاصله کمتر بین آبشکن‌ها دارند و نه تنها در پدیده رسوب‌گذاری در کناره رودخانه مؤثر نبوده، بلکه در مقایسه با روش‌های حفاظت مستقیم دیواره‌های رودخانه نیز اقتصادی‌تر

نمی‌باشند. همچنین آبشکن‌های بسیار بلند نیز ممکن است علاوه بر آبشستگی زیاد، جهت جریان را متوجه دیواره‌های ساحل مقابل نماید. آبشکن‌های بلندتر منجر به فاصله بیشتر بین آبشکن‌ها شده که ممکن است روند مارپیچی شدن را در رودخانه توسعه بخشد. از آبشکن‌های کوتاه^{۲۹} برای استقرار مواضع تثبیت در کناره‌های رودخانه و اصلاح نامنظمی‌های جزئی در راستای دیواره استفاده می‌گردد. در این حالت کوتاهی آبشکن مانع از توسعه رسوب‌گذاری در کناره‌ها بوده ولی سبب بهبود راستای جریان در مجرای اصلی می‌گردد. آبشکن‌های کوتاه برای توسعه حوضچه گردابی جریان در پیرامون دماغه آن (ناحیه آبشستگی) برای احیای محیط زیست آبریان از دیدگاه حفاظت از تنوع زیستی، مورد توجه است. در رودخانه‌های کوچک، حداقل عرض ۱۰ متر رودخانه باید تأمین شده و یا عرض رودخانه نباید از دو سوم موجود آن کمتر گردد. از دیدگاه آبشستگی، شاخص بلندای آبشکن با نسبت طول مؤثر آبشکن به عمق متوسط جریان بالادست (b/h) بیان گردیده است. در صورتی که ($b/h < 1$) باشد، آبشکن کوتاه است. در صورتی که ($b/h > 25$) باشد، آبشکن بلند تشخیص داده می‌شود. در حدفاصل این دو حد، آبشکن با طول متوسط ارزیابی می‌گردد [۲۴ و ۲۱].

۲-۳-۴- پارامترهای مهم در طراحی آبشکن‌ها

به طور کلی طراحی آبشکن‌ها تابعی از فاکتورهای زیر است:

- ۱- خصوصیات جریان نظیر عمق و سرعت جریان.
- ۲- خصوصیات بار رسوبی جریان رودخانه.
- ۳- پارامترهای مسیر رودخانه نظیر شیب رودخانه، مشخصات هندسی مقطع جریان و خصوصیات مصالح بستر
- ۴- سایر عوامل: جریان‌های واریزه‌ای در طول سیلاب، خسارات ناشی از یخبندان، مصالح قابل دسترسی جهت ساخت ایبی

²⁹ -Mini Groyne/ Hard Points

با در نظر گرفتن عوامل مذکور برای طراحی آبشکن مناسب باید موارد زیر بررسی شوند:

۱- از نظر مصالح مکانی چه نوع آبشکنی باید ساخته شود.

۲- تعیین زاویه آبشکن‌ها نسبت به جریان.

۳- طول و ارتفاع آبشکن چقدر باشد.

۴- انتخاب تعداد و فاصله بهینه بین آبشکن‌ها.

۵- تعیین شکل آبشکن (در پلان).

۶- راه‌کارهای حفاظت آبشکن در مقابل آبشستگی دماغه.

۷- تعیین فرسایش قابل انتظار به منظور حفاظت مناسب و کافی بستر.

۸- تعیین وضعیت رسوب‌گذاری در حدفاصل یا در میان آبشکن‌ها.

به طور کلی عوامل مهم در طراحی آبشکن پارامترهای شکل و پلان، زاویه آبشکن نسبت به دیواره، طول آبشکن، فاصله آبشکن‌ها، ارتفاع تاج، شکل مقطع، مصالح ساختمانی و عمق آبشستگی مورد انتظار هستند که قبلاً توضیحاتی در مورد برخی از آنها ارائه شد [۱۷].

۲-۳-۵- مکانیزم کارکرد آبشکن

نقش اصلی آبشکن‌های نفوذناپذیر، انحراف جریان از کناره به سمت میانه رودخانه است. نتیجه انحراف جریان، توسعه یک ناحیه چرخشی با تلاطم شدید^{۳۰} پیرامون آبشکن است. این ناحیه از فاصله کمتری در بالادست تا فاصله بیشتری در پایین‌دست آبشکن ظاهر می‌گردد. در این ناحیه، مجموعه‌ای از گردابه‌های افقی و عمودی فعالیت داشته، که تلاطم شدیدی را در سطح آب پدید می‌آورد. فرآیند هیدرولیکی این جریان، توسعه ناحیه آبشستگی موضعی^{۳۱} در پیرامون آبشکن، ته‌نشست رسوبات به صورت یک بار رسوبی طویل^{۳۲} در پایین‌دست آن و کناره رودخانه و تغییر فرم بستر در بازه

³⁰ -Recirculating Flow Area

³¹ -Local Scour Hole

³² -Deposition Bar

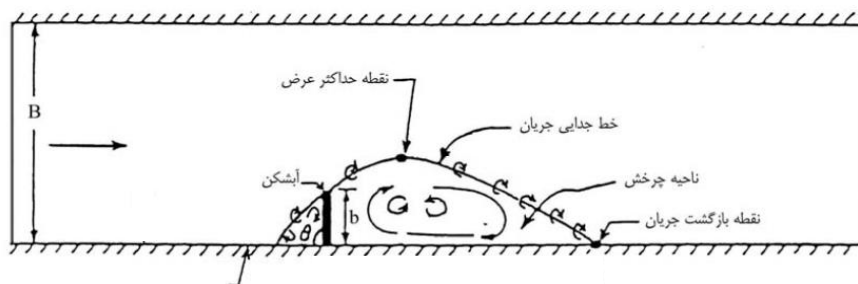
پایین دست رودخانه می‌باشد. درحالی‌که آبشستگی یک خطر موضعی و جدی برای پایداری، دوام و کارکرد سازه آبشکن محسوب می‌شود، پدیده رسوب‌گذاری در کناره پایین دست رودخانه موجب توسعه و تثبیت طبیعی دیواره رودخانه در راستای موردنظر خواهد بود. ساختار جریان‌های چرخشی پیرامون آبشکن‌ها، علاوه بر طول و فاصله آبشکن‌ها، به نوع آبشکن، شکل مقطع عرضی، شیب جانبی آبشکن در طول بدنه و دماغه آن، موقعیت قرارگیری آبشکن (در مسیر مستقیم، دیواره خارجی یا داخلی) و نیز آرایش زاویه‌ای آبشکن نسبت به دیواره‌ها و راستای جریان بستگی دارد. توپوگرافی بستر پیرامون یک آبشکن منفرد و نیز در میدان آبشکن‌های متوالی در یک سمت جریان به ترتیب در زیر ارائه می‌گردد [۱۷ و ۲۲].

۲-۳-۵-۱- ساختار جریان و توپوگرافی بستر پیرامون یک آبشکن منفرد

میدان جریان در پیرامون یک آبشکن منفرد با سری آبشکن‌ها متفاوت است. در شرایط کارکرد آبشکن غیرمستغرق، عرض رودخانه و سطح مقطع جریان محدود گردیده که سبب تغییر در ساختار جنبشی جریان در محدوده تأثیر آبشکن می‌گردد. با انحراف جریان بالادست به میانه رودخانه، سرعت متوسط و بده واحد عرض در مجرای اصلی افزایش می‌یابد. افزایش سرعت متوسط منجر به افزایش در گرادیان سرعت‌ها و توسعه گردابه‌ها و جریان تلاطمی شدید در اطراف آبشکن می‌گردد.

شکل (۲-۱۲) نمایش ساده‌ای از استقرار فیزیکی یک آبشکن را در یک کانال مستطیلی صاف،

تخت و ثابت نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۲- نمایش ساده جریان چرخشی پیرامون یک آبشکن- در بستر صاف و تخت [۹]

۲-۳-۵-۲- ساختار جریان و توپوگرافی بستر در محدوده تأثیر سری آبشکن‌ها

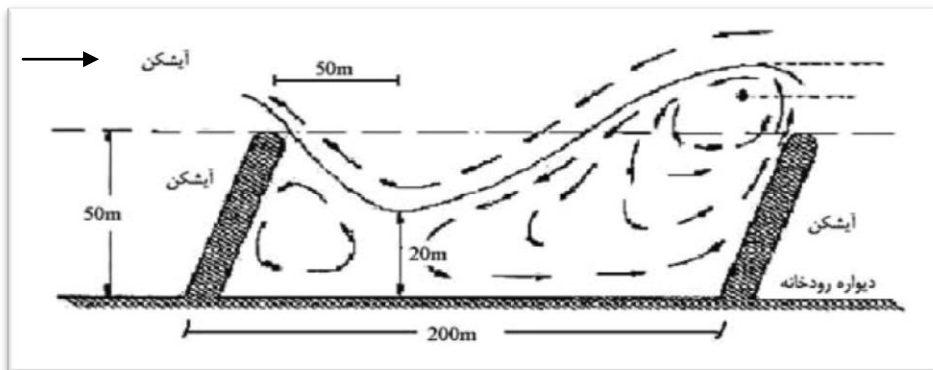
در شرایط کارکرد سری آبشکن‌های غیرمستغرق، میدان آبشکن به عنوان بخشی از سطح جریان اصلی رودخانه به حساب نمی‌آید. بنابراین الگوی جریان در میدان آبشکن به طور مستقیم وابسته به شدت جریان در مجرای اصلی رودخانه نمی‌باشد. از سوی دیگر، کاهش سرعت در میدان آبشکن نیز تأثیر خاصی روی الگوی جریان نداشته، ولی تراز سطح آب در میدان آبشکن، تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی موقعیت و شدت توسعه جریان چرخشی دارد [۲۲].

ساختار جریان چرخشی در میدان آبشکن، تابع هندسه میدان (طول و فاصله بین آبشکن‌ها)، نوع آبشکن و آرایش زاویه‌ای قرارگیری آبشکن (نوع جاذب، عمودی یا دافع و شدت زاویه تمایل)، موقعیت استقرار آبشکن (در مسیر مستقیم یا پیچ، دیواره داخلی یا خارجی)، ارتفاع سطح آب، شرایط استقرار آبشکن، شکل مقطع عرضی و شیب جانبی بدنه و دماغه آبشکن است. مطالعات در این خصوص بسیار محدود می‌باشد [۲۲].

شکل (۲-۱۳) ساختار جریان چرخشی در حدفاصل دو آبشکن متوالی (با نسبت فاصله به طول مؤثر معادل ۴) را در مدل یک بازه مستقیم از رودخانه وال (در هلند) نشان می‌دهد. در این شکل، یک جریان گردابه‌ای بزرگ در محدوده سه‌چهارم پایین‌دست آبشکن اول مشاهده می‌شود. همچنین مرکز گردابه در وسط ناحیه چرخشی جریان نبوده، بلکه متمایل به پایین‌دست دماغه آبشکن اول و به سمت مجرای اصلی رودخانه می‌باشد. در ناحیه پایین‌دست میدان آبشکن، خطوط جریان اصلی وارد میدان آبشکن شده و سبب افزایش عرض جریان مؤثر می‌گردد. دومین جریان چرخشی با گستره کمتری، در بالادست آبشکن دوم توسعه می‌یابد، جایی که جریان اصلی خروجی به وسیله این آبشکن محدود شده است. شرایط جریان در شکل نشانگر کارکرد مناسب آبشکن در انحراف جریان اصلی از دیواره‌ها است [۲۲].

فرسایش کف در بازه آبشکن‌ها به دو صورت آبشستگی عمومی (در مجرای اصلی بازه) و آبشستگی موضعی (در پیرامون آبشکن) ایجاد می‌گردد. قبلاً در مورد انواع آبشستگی توضیحاتی ارائه شده است.

به علت مشابه بودن شکل ظاهری و نیز تشابه مکانیزم آبشستگی اطراف تکیه‌گاه و آبشکن‌های بسته، آبشستگی در اطراف این سازه‌ها با هم مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند [۳].



شکل ۲-۱۳- ساختار جریان چرخشی در حدفاصل دو آبشکن متوالی در مدل یک بازه مستقیم از رودخانه وال در

هلند [۲۲]

۲-۴- تکیه‌گاه پل

۲-۴-۱- کلیاتی از تکیه‌گاه پل

تکیه‌گاه‌ها یا کوله‌های پل^{۳۳}، پایه‌های پل چسبیده به رودخانه می‌باشند. تکیه‌گاه‌ها معمولاً بتنی و منفرد هستند و در دو طرف رودخانه ساخته می‌شوند. در حالت کلی، تکیه‌گاه‌ها به تکیه‌گاه‌های خط جریانی^{۳۴} و تکیه‌گاه‌های با دماغه تیز^{۳۵} تقسیم می‌شوند. هندسه تکیه‌گاه‌ها به انواع مختلفی نظیر دیوار باله‌ای، دیوار شیبدار و دیوار قائم تقسیم می‌شوند. در شکل (۲-۱۴) انواع تکیه‌گاه‌ها و آبشکن‌ها به صورت شماتیک نشان داده شده‌اند [۱۳].

تکیه‌گاه‌های کوله‌ای با اشکال پیچیده‌ای از قبیل تکیه‌گاه‌های کوله‌ای انحنادار که شبیه راکت هاکی و یا عکس راکت هاکی شکل‌دهی شده‌اند، وجود دارد. یک تکیه‌گاه را می‌توان با پارامترهای هندسی نظیر طول، پهنا، زاویه بالادست و زاویه پایین‌دست دیواره کنترل کرد [۲۵].

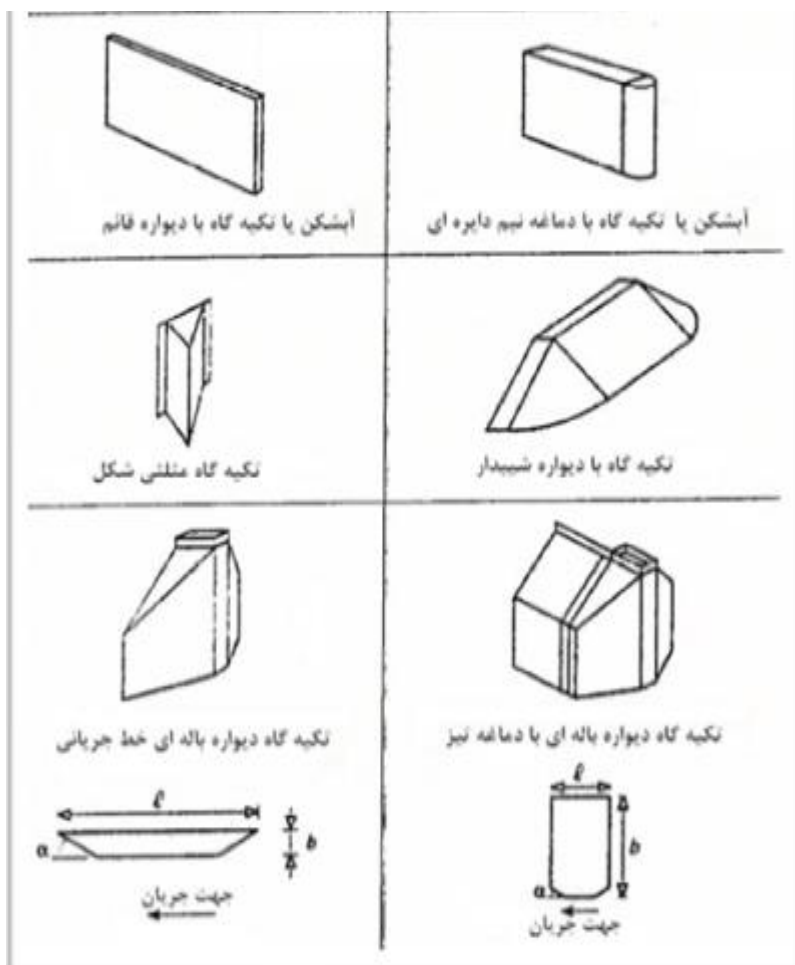
³³ -Abutments

³⁴ -Stream Lined

³⁵ -Blunt

۲-۴-۲- الگوی جریان در اطراف یک آبشکن یا تکیه‌گاه

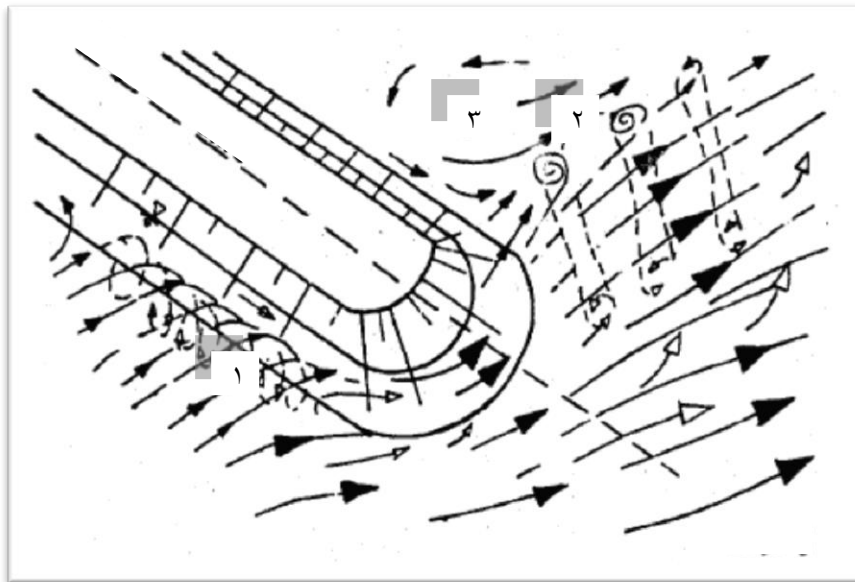
تکیه‌گاه‌ها یا آبشکن، بخشی از مقطع رودخانه را محدود کرده، بر روی ساختار حرکتی جریان تأثیر قابل ملاحظه‌ای گذاشته و با افزایش سرعت متوسط و بده در واحد عرض در محل سازه باعث آشفتگی بیشتر جریان در اطراف سازه می‌شود. الگوی جریان در اطراف سازه و شکل‌گیری گردابه‌ها بر روی مصالح بستر، از دلایل اصلی آبستگي موضعی اطراف آبشکن یا تکیه‌گاه می‌باشند.



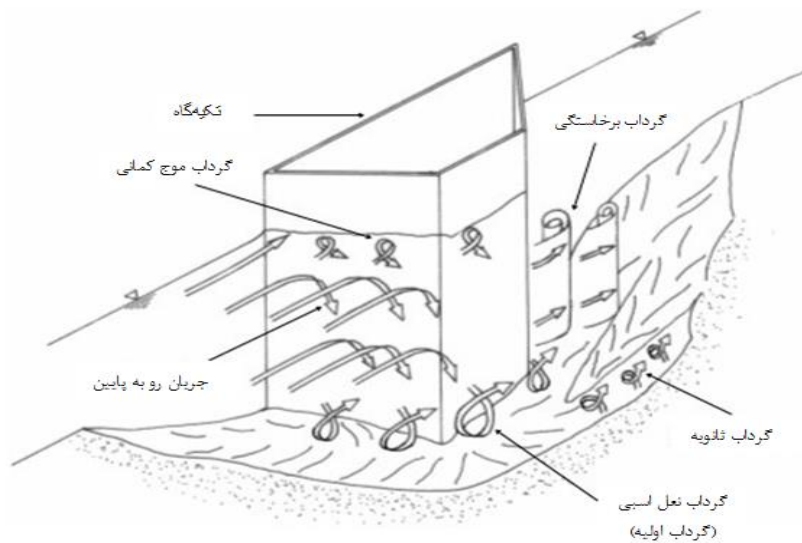
شکل ۲-۱۴- انواع تکیه‌گاه‌ها و آبشکن‌ها [۱۳]

یک جریان چرخشی نیمه نعل اسبی نسبتاً بزرگ با محور افقی در اطراف آبشکن (شماره ۱ در شکل ۲-۱۵) در نتیجه برگشت آب ایجاد می‌شود. فوران‌های انتهایی گردابه از دماغه آبشکن با چرخش آب به طرف جریان اصلی حرکت می‌کند. تغییر جهت جریان و ایجاد نیروهای مرکزی ممکن

است چرخش به سمت راست را ایجاد کند. به عبارت دیگر فوران‌های انتهایی به طرف دماغه آبشکن جریان می‌یابند. این جریان‌های چرخشی متضاد، یکدیگر را خنثی می‌کنند که در نتیجه آن از شدت فرسایش کاسته می‌شود. در پایین‌دست آبشکن، جریان‌های چرخشی با محور قائم (شماره ۲ در شکل ۱۵-۲) که به نام‌های گرداب‌های فون کارمن معروف هستند ایجاد می‌شوند. این سامانه چرخشی به وسیله چرخش لایه‌های برشی بین جریان اصلی و یک گرداب با محور قائم (شماره ۳ در شکل ۱۵-۲) ایجاد می‌شود. گرداب‌های فون کارمن با مکیدن رسوبات به درون حفره‌های کم‌فشار، مشابه گردباد عمل می‌کنند. ساختار حرکتی جریان در اطراف آبشکن‌ها به میزان زیادی تحت تأثیر طول نسبی آنها، شکل (خصوصاً شیب دماغه و پهلوها) و محل قرارگیری آنها (به‌صورت ردیف آبشکن‌هایی که در سواحل محدب، مقعر و یا مستقیم رودخانه قرار می‌گیرند) می‌باشد [۱۳ و ۱۵]. شکل‌های (۲-۱۶) و (۲-۱۷) الگوی جریان ایجاد شده در اطراف یک آبشکن و تکیه‌گاه را نشان می‌دهند.



شکل ۲-۱۵- الگوی جریان در اطراف یک آبشکن [۱۳]



شکل ۲-۱۶- الگوی جریان در اطراف یک تکیه‌گاه [۲۶]

در آبشکن‌های نفوذپذیر، بخشی از جریان از منافذ بین آبشکن‌ها عبور می‌کند که منطقه چرخشی در در پایین دست آبشکن را به وجود نمی‌آورد و یا کاهش می‌دهد [۱۳].

همان‌طور که در شکل (۲-۱۶) ملاحظه می‌کنید، عوامل مؤثر در آبشستگی اطراف تکیه‌گاه عبارتند از:

- جریان روبه پایین^{۳۶}: هنگامی که جریان آب به مانع برخورد می‌کند، سرعت جریان تبدیل به انرژی فشاری بر روی تکیه‌گاه می‌گردد، از آنجا که سرعت جریان به طرف کف کم می‌گردد بنابراین فشار دینامیکی بر روی تکیه‌گاه نیز از بالا به پایین کم می‌شود. گرادیان فشار ایجاد شده باعث ایجاد جریانی به طرف کف می‌گردد، این جریان جریان رو به پایین نامیده می‌شود.
- گرداب نعل اسبی (گرداب اولیه)^{۳۷}: جریان رو به پایین پس از برخورد با بستر آن را حفر کرده و در جهات مختلف پراکنده می‌کند، مقداری از این جریان که به سمت بالادست بازگشت می‌کند در برخورد با جهت عمومی جریان مجبور به حرکت در جهت عمومی جریان می‌شود، این چرخش باعث ایجاد گردابی می‌گردد که این گرداب در پلان شکلی شبیه نعل اسب به

³⁶ -Down Flow

³⁷ -Horseshoe Vortex/ Primary Vortex

خود می‌گیرد و به همین دلیل گرداب نعل اسبی نامیده می‌شود.

- گرداب برخاستگی^{۳۸}: هنگام جدا شدن جریان از انتهای دماغه تکیه‌گاه به دلیل کاهش فشار در پشت دماغه، جریان به سمت پشت تکیه‌گاه منحرف شده و ایجاد گردابی می‌نماید که به آن گرداب برخاستگی می‌گویند. این گرداب با محور عمودی با مرکز کم‌فشار مانند یک گردباد عمل می‌کند و رسوبات بعد از دماغه را پس از جدا کردن از کف در اختیار جریان عمومی گذاشته تا به پایین‌دست حمل شوند. هرچه ابعاد مانع بزرگ باشد، این گرداب اهمیت بیشتری پیدا می‌کند [۱۳ و ۲۶].

- گرداب موج کمانی^{۳۹}

- گرداب ثانویه^{۴۰}

۲-۴-۳- انواع آبشستگی تکیه‌گاه براساس محل حفره آبشستگی

پیچیدگی شبیه‌سازی آبشستگی تکیه‌گاه تخمین منطقی را مشکل می‌سازد. تأثیر شیب و مشخصات مصالح بستر نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. در شکل (۲-۱۷) الگوی کلی قرارگیری تکیه‌گاه در سیلاب‌دشت و پایه‌های پل در مسیر جریان مشاهده می‌شود.

انواع آبشستگی تکیه‌گاه را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:

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

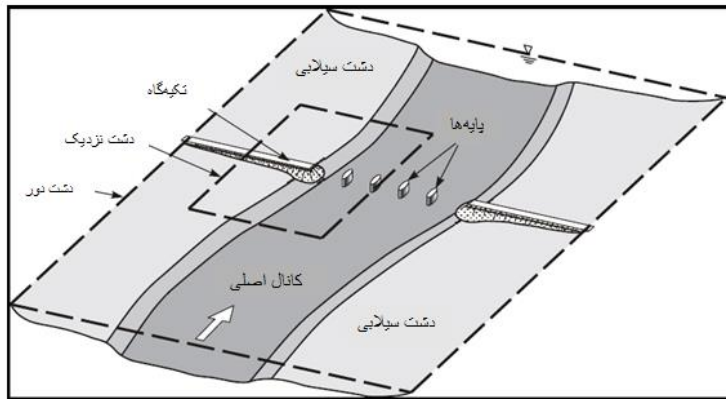
۱- الف: طبق شکل (۲-۱۸)، تکیه‌گاه در معرض آبشستگی موضعی بستر کانال اصلی قرار دارد.

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

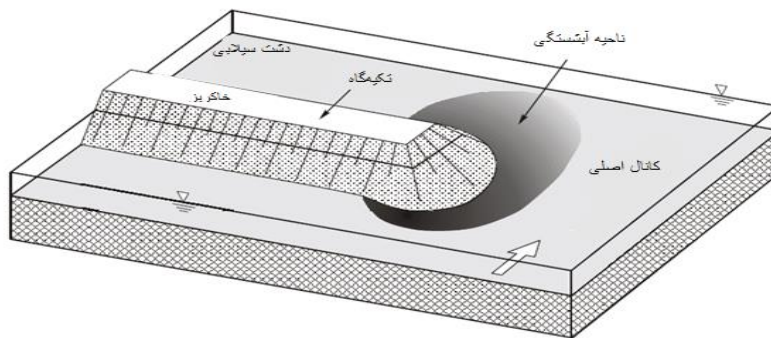
³⁸ -Wake Vortex

³⁹ -Bow Flow

⁴⁰ -Secondary Vortex



شکل ۲-۱۷- شکل کلی قرارگیری تکیه‌گاه و پایه‌های پل در مسیر جریان [۷]

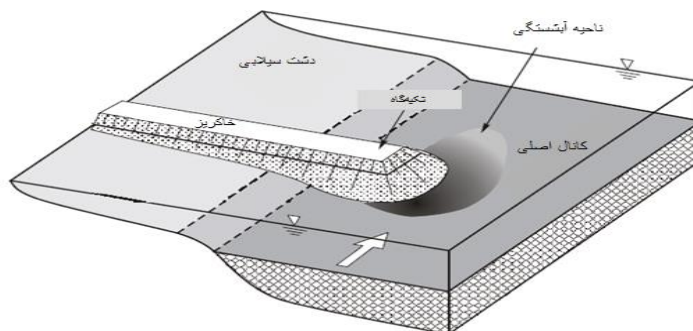


شکل ۲-۱۸- تکیه‌گاه نوع ۱- الف- آبستنگی کانال اصلی بدون سیلاب‌دشت [۷]

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

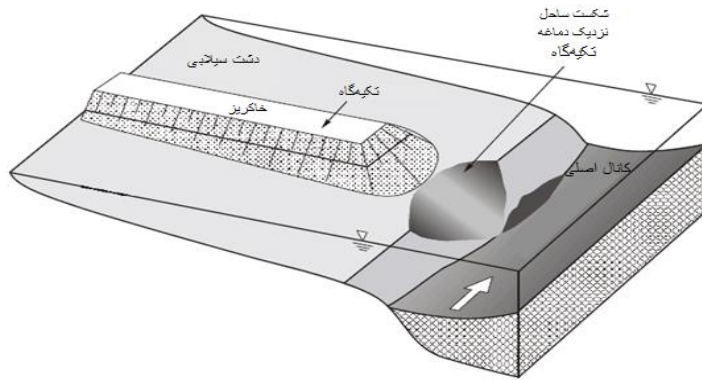
۲- الف: طبق شکل (۲-۱۹)، تکیه‌گاه در معرض آبستنگی کانال اصلی (موضعی و تنگ‌شدگی)

قرار دارد.



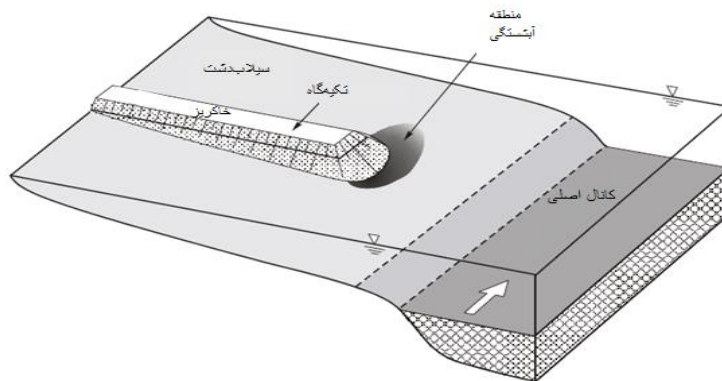
شکل ۲-۱۹- تکیه‌گاه نوع ۲- الف- امتداد یافته به داخل کانال اصلی [۷]

۲- ب: طبق شکل (۲۰-۲)، تکیه‌گاه در معرض خطر شکست ساحل کانال اصلی که منتج از آبشستگی است، می‌باشد.



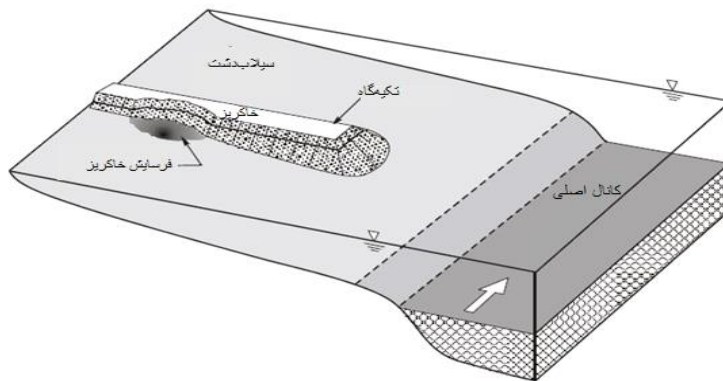
شکل ۲۰-۲- تکیه‌گاه نوع ۲-ب- تکیه‌گاه نزدیک لبه کانال اصلی [۷]

۲- پ: طبق شکل (۲۱-۲)، تکیه‌گاه در معرض آبشستگی سیلاب‌دشت قرار دارد.



شکل ۲۱-۲- تکیه‌گاه نوع ۲-پ- تکیه‌گاه و حفره آبشستگی در سیلاب‌دشت [۷]

۲- ت: طبق شکل (۲۲-۲)، تکیه‌گاه در معرض فرسایش ساحلی قرار دارد. این حالت در شرایطی روی می‌دهد که بدنه تکیه‌گاه از مصالح فرسایش‌پذیر باشد، ایجاد می‌شود [۲۵و۷].



شکل ۲-۲۲- تکیه‌گاه نوع ۲-ت- آبشستگی کناره تکیه‌گاه و ساحل سیلابدشت [۷]

۲-۴-۴- پارامترهای مؤثر بر آبشستگی تکیه‌گاه

پارامترهای مؤثر بر پدیده آبشستگی تکیه‌گاه به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند [۶ و ۲۷]:

- عوامل مربوط به هندسه کانال، عرض، شکل سطح مقطع و شیب
 - هندسه آبشکن یا تکیه‌گاه (اندازه، شکل سطح مقطع، زاویه قرارگیری یا جهت جریان، ارتفاع نسبت به رقوم سطح آب)
 - عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر (قطر متوسط، توزیع دانه‌بندی، چگالی، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی)
 - عوامل مربوط به خواص سیال (دانسیته، ویسکوزیته و درجه حرارت)
 - عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی (سرعت جریان، عمق جریان، سرعت برشی و زبری)
- همچنین با توجه به مطالعات آزمایشگاهی در مورد تأثیر سرعت بحرانی و دانه‌بندی بر میزان آبشستگی، با افزایش اندازه متوسط ذرات بستر در نسبت سرعت بحرانی ثابت عمق آبشستگی افزایش و با افزایش عمق آب در شرایط دبی ثابت عمق آبشستگی کاهش می‌یابد [۲۷].

۲-۴-۵- توسعه آبشستگی با زمان

مدت زمانی که طول می‌کشد تا فرآیند آبشستگی به مرحله تعادل برسد، در تعیین زمان لازم برای انجام آزمایش‌ها ضروری است. در طی دبی طراحی، زمان شاید کوچکتر از زمان رسیدن به تعادل

باشد، اما با در نظر گرفتن زمان تعادل برای انجام آزمایش، آبخستگی منطقه برای نمونه طراحی بیشتر نشان داده می‌شود.

توسعه زمانی آبخستگی برای اولین بار توسط لارسن در تحقیقات اولیه بر روی آبخستگی ناشی از جت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. وی نشان داد که آبخستگی آب زلال هم ارز با روال آبخستگی است یعنی در آن رابطه افزایش عمق آبخستگی با لگاریتم زمان به طور خطی می‌باشد. به طور تئوری آبخستگی تعادلی هیچ‌گاه ایجاد نمی‌شود. بنابراین برای کاربردی بودن مسأله بعضی محدودیت‌های عمق آبخستگی از آزمایش‌ها در طی زمان طولانی، وقتی که سرعت تغییر عمق آبخستگی کم می‌باشد، ایجاد می‌شود. بیشتر آزمایش‌ها بر روی توسعه زمانی آبخستگی، در مورد آبخستگی پایه پل بوده است. کارستنس^{۴۱} روشی کلی برای تعیین زمان آبخستگی با ترکیب دو عامل معادله بقاء رسوب و تابع انتقال رسوب ارائه کرده است. شکل حفره آبخستگی فرضی از نظر هندسی در تمام زمان‌ها ثابت است. کارستنس نشان داد که حل‌های مشابه برای این معادلات توسط نتایج آزمایش‌های لارسن بر روی آبخستگی جت افقی تأیید می‌شود.

ملویل^{۴۲} و چوو^{۴۳} زمان تعادل را به عنوان تابعی از نرخ افزایش عمق آبخستگی کمتر از ۰.۵٪ قطر پایه در ۲۴ ساعت معرفی کرده‌اند [۲۵].

۲-۴-۶- بررسی توزیع تنش برشی در اطراف تکیه‌گاه

توزیع تنش برشی در اطراف دیواره‌های عمودی تکیه‌گاه‌ها به صورت آزمایشگاهی توسط مولیناس^{۴۴} مورد بررسی قرار گرفته است و تنش‌های برشی حداکثر که در کناره‌های بالادست دیواره عمودی اتفاق می‌افتد، مشخص شده است. توزیع‌های تنش برشی برای عدد فرود بین ۰/۳ تا ۰/۹ و برای نسبت بیرون‌زدگی بین ۰/۱ تا ۰/۳ بدست آمده است. تنش برشی در منطقه دماغه تکیه‌گاه می‌تواند به

⁴¹ -Carstens

⁴² -Melville

⁴³ -Chiew

⁴⁴ -Molinas

عنوان جمع تنش‌های ناشی از جمع‌شدگی و ساختمان تکیه‌گاه به تنهایی منظور شود. ضریب شناسایی تنش برشی در دماغه به عنوان نسبت تنش برشی پایین منطقه دماغه به تنش برشی مسیر جریان تعریف می‌شود. طبق نظر مولیانس این تعریف با در نظر گرفتن جمع‌شدگی و وجود اندرکنش در محاسبه تنش‌های برشی کلی بر اثر وجود دیواره تکیه‌گاه عمودی در محل اتصالات کوتاه است. تنش‌های برشی در اطراف دیواره عمودی در ضریبی از ۱۰ ضرب می‌شود و سرعت‌ها در حدود ۵۰٪ بسته به شرایط جریان و نسبت سهم دیواره افزایش می‌یابد و نتایج با آزمایش‌های قبلی و مطالعات عددی در زمینه تنش‌های برشی در اطراف دیواره و تکیه‌گاه مقایسه شده‌اند. آبشستگی موضعی در اثر افزایش سرعت جریان و شدت برش ایجاد می‌شود. با تعیین عوامل برش و مشخص کردن نواحی تنش برشی، مدل ساخته شده می‌تواند برای تعیین اندازه‌های مورد نیاز برای از بین بردن آبشستگی موضعی مورد استفاده قرار گیرد [۲۵].

۲-۵- مروری بر مطالعات انجام شده

در این بخش ابتدا به مرور تحقیقات انجام شده در مورد آبشستگی تکیه‌گاه پل، آبشکن و مطالب مرتبط با این دو در قسمت مطالعات آزمایشگاهی می‌پردازیم و در ادامه مروری بر مطالعات انجام شده با مدل عددی مورد نظر خواهیم داشت.

۲-۵-۱- مطالعات مرتبط به آزمایش

بررسی آبشستگی در اطراف پل از دیرباز مورد توجه متخصصین و دانشمندان بوده و در سالیان اخیر میزان این توجه افزایش یافته است. شاید اولین مرجع در این خصوص به یادداشت‌های لئوناردو داوینچی برگردد. اولین مطالعات پایه‌ای در خصوص آبشستگی، در اوایل قرن بیستم در آزمایشگاه زونر توسط انگلس^{۴۵} (۱۹۲۹) در آلمان انجام شد (روز-اینس^{۴۶} ۱۹۵۷). پس از آن آزمایش‌ها و مطالعات

⁴⁵ -Engels

⁴⁶ -Rouse and Ince

قابل توجهی در آزمایشگاه توسط چاپرت و انگلدینگر^{۴۷} (۱۹۵۶) به انجام رسید که نتایج آنها بیانگر تغییرات میزان آبشستگی در انواع مختلف آب شفاف و سیلاب با بستر متحرک بود. در همان سالها لارسن و همکاران (۱۹۶۵) نتایج تحقیقات خود در زمینه آبشستگی اطراف پایه‌های پل‌ها در مرکز تحقیقات هیدرولیکی آیووا را منتشر کردند. مطالعات دیگری در زمینه آبشستگی در اطراف دیواره‌های کناری کوله پل‌ها در دانشگاه کلرادو توسط شن و همکاران^{۴۸} (۱۹۶۶-۱۹۶۹) و لین و همکاران^{۴۹} (۱۹۶۱) صورت پذیرفت. در سال‌های اخیر بیشتر تحقیقات در خصوص آبشستگی توسط ملویل انجام گردید که مطالعات وی منتج به روابطی برای برآورد حداکثر عمق آبشستگی در حالت‌های مختلف پایه پل شده است [۳].

روابط متنوعی از پیش‌بینی تغییرات و عمق آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها و آبشکن‌ها توسط محققین ارائه شده است. به عنوان مثال گارده و همکاران^{۵۰} (۱۹۶۱)، ملویل (۱۹۹۲)، استرم و جانزو^{۵۱} (۱۹۹۴) و لیم^{۵۲} (۱۹۹۷) پارامترهای مؤثر در عمق آبشستگی تکیه‌گاه‌ها را به اشکال بی‌بعد در آورده‌اند. همچنین گارده و همکاران (۱۹۶۵)، راجاراتنام و زاگلول^{۵۳} (۱۹۸۳)، نوچکو^{۵۴} (۱۹۸۳) و فرولک^{۵۵} (۱۹۸۹) عدد فرود جریان را در تحلیل‌های خود به کار بردند. لارسن (۱۹۵۸، ۱۹۶۰ و ۱۹۶۳)، گیل (۱۹۷۲)، ونگ^{۵۶} (۱۹۸۲)، تی^{۵۷} (۱۹۸۴)، کوان^{۵۸} (۱۹۸۴)، کندسمی^{۵۹} (۱۹۸۹) و ملویل (۱۹۹۲)، (۱۹۹۵ و ۱۹۹۷) در روش‌های خود سرعت برشی را مورد توجه قرار داده‌اند [۲۷]. همچنین از روابط ارائه شده برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها می‌توان به رابطه انگلس (۱۹۲۹)، احمد

47 - Chabert and Engeldinger

48 - Shen et al

49 - Lin et al

50 - Garde et al

51 - Sturm & Janjua

52 - Lim

53 - Rajaratnam & Zaghoul

54 - Nwachkwon

55 - Froehlich

56 - Wong

57 - Tey

58 - Kwan

59 - Kandasamy

(۱۹۵۳)، لیو و همکاران^{۶۰} (۱۹۶۱) و ملویل و کولمن^{۶۱} (۲۰۰۰) اشاره کرد. همچنین خوسلا^{۶۲} (۱۹۳۶)، گارده و همکاران (۱۹۶۱)، گیل^{۶۳} (۱۹۷۲)، نیل^{۶۴} (۱۹۷۳ و ۱۹۸۰)، ریچاردسون^{۶۵} (۱۹۷۵)، لارسن (۱۹۷۵)، بای نگوگ^{۶۶} (۱۹۸۱)، زاگلول (۱۹۸۳)، لیم و همکاران (۱۹۹۲)، استرم و همکاران (۱۹۹۴) و هوفمن^{۶۷} (۱۹۹۵) روابطی برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه و آبشکن‌های بسته ارائه داده‌اند [۱۸ و ۱۳]. ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۵) و چارلتون (۱۹۸۲) به بررسی زاویه آبشکن با دیواره رودخانه پرداخته‌اند و توصیه‌هایی نیز در این زمینه ارائه نموده‌اند. گارده و چاندرا (۱۹۶۹)، راجاراتنام و نواچکو (۱۹۸۳)، ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۵)، چارلتون (۱۹۸۲)، پترسن (۱۹۸۶)، باندرانت (۱۹۷۵)، فرانکو (۱۹۶۷)، کینوری و مووارش (۱۹۸۴) و عباسی و همکاران (۱۳۷۵) فاصله بین آبشکن‌ها را بررسی کرده و نتایج ارائه داده‌اند. مطالعاتی نیز روی پارامترهای دیگر آبشکن، نظیر طول، ارتفاع و... در حدود ۵۰ سال اخیر توسط محققانی از کشورهای مختلف صورت گرفته است [۲۸ و ۱۷].

ساجدی سابق و همکاران (۱۹۹۵) تأثیرات تغییر زاویه قرارگیری آبشکن در رودخانه‌ها را با مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که مقدار آبشستگی با متمایل کردن آبشکن به طرف پایین‌دست کاهش می‌یابد [۲۹]. یواجتوال^{۶۸} در سال ۲۰۰۱ آزمایش‌هایی را با توجه به اثر ژئومتری بر روی میدان جریان در اطراف آبشکن‌ها به منظور بررسی تعداد و کیفیت گردابه‌ها انجام داد. در این مطالعه نشان داده شده است که نسبت طول به عرض میدان جریان، تأثیر مستقیم بر شکل‌گیری و ابعاد گردابه‌ها خواهد داشت [۳۰]. بارباهویا و دی^{۶۹} (۲۰۰۳) به بررسی الگوی جریان داخل چاله آبشستگی حول سه مقطع متفاوت کوله پرداختند و تشکیل جریان‌های رو به پایین و

⁶⁰ -Leo et al

⁶¹ - Melville & Coleman

⁶² -Khosla

⁶³ -Gill

⁶⁴ -Nill

⁶⁵ -Richardson

⁶⁶ -Buy Ngok

⁶⁷ -Hoffman

⁶⁸ -Uijtewaal

⁶⁹ -Barbahuiya & Day

همچنین گردابه نخستین در مجاورت بالادست کوله را نشان دادند [۳۱]. اتما و مستو^{۷۰} (۲۰۰۴) آزمایش‌هایی را در یک کانال با بستر صلب به منظور تعیین اثر آبشکن بر الگوی جریان و تعیین نواحی جدا شدگی در بالادست و پایین‌دست انجام دادند [۳۲]. مک کوی و همکاران^{۷۱} (۲۰۰۵) با بررسی عددی میدان جریان در اطراف و بین دو آبشکن بیان داشتند که جدایی‌های بزرگ، گرادیان فشارهای مخالف و ایجاد گردابه‌های ناپایدار از خصوصیات این جریان است [۳۳]. صانعی (۲۰۰۶) با انجام آزمایش بر روی فلوم آزمایشگاهی به بررسی اثر زمان آبشستگی بر آبشستگی موضعی دماغه آبشکن پرداخت و رابطه‌ای در این زمینه ارائه کرد [۳۴]. جانگ و تمیناگو^{۷۲} (۲۰۰۸) آزمایش‌هایی در رابطه با تأثیر آبشکن در حفاظت کناره رودخانه انجام دادند و نتیجه گرفتند که طول آبشکن تأثیر زیادی در جریان اطراف آن دارد [۳۵]. هاشمی نجفی (۲۰۰۸) آزمایش‌هایی در مورد اثر زاویه بر روی آبشستگی آبشکن L شکل انجام داد. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن L شکل با زبانه به سمت بالادست و زاویه ۶۰ درجه نسبت به حالت‌های دیگر کمتر می‌باشد [۳۶]. قدسیان و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر تغییرات عدد فرود و طول بال و جان آبشکن T شکل مستقر در موقعیت ۷۵ درجه بر الگوی جریان و آبشستگی در یک قوس ۹۰ درجه پرداختند. ایشان در تحقیق انجام گرفته نشان دادند که با افزایش طول آبشکن، طول ناحیه جدایی و گرداب شکل گرفته در این ناحیه افزایش می‌یابد [۳۷]. نوروزی (۱۳۸۲) به بررسی تأثیر طول آبشکن، دبی جریان، عمق جریان و قطر مصالح بستر در میزان حداکثر عمق آبشستگی پرداخت و با نتایج سایر محققین بررسی کرد [۳۸]. حسینی (۱۳۸۵) تأثیر دبی‌های مختلف، طول آبشکن و زاویه قرارگیری آبشکن بر الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه را بررسی کرده و محل‌های احتمالی وقوع فرسایش را شناسایی کرد [۳۹]. فرهادیان اصفهانی (۱۳۸۷) آبشستگی موضعی اطراف آبشکن‌های سرسپری را در شرایط مختلف جریان مورد بررسی قرار داد و نتایج نشان داد که با افزایش طول آبشکن، میزان عمق

⁷⁰ -Ettema & Musto

⁷¹ -Maccoy et al

⁷² -Jong & Taminogo

آبشستگی پیرامون آبشکن افزایش می‌یابد و در نسبت طول بال به طول آبشکن برابر ۰/۵، کمترین عمق آبشستگی مشاهده گردید [۴۰]. دهقانی و همکاران (۱۳۸۸) آزمایش‌هایی روی سری آبشکن‌های L شکل انجام دادند. نتایج نشان داد که در یک دانه‌بندی مشخص، با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی، روند کاهشی دارد [۴۱]. مسجدی و همکارانش (۱۳۸۸) به منظور بررسی اثر طول آبشکن، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه از جنس پلاکسی‌گلاس انجام دادند که نتایج نشان داد هر چه طول آبشکن افزایش یابد باعث افزایش عمق آبشستگی اطراف آن می‌شود، همچنین با افزایش دبی جریان و موقعیت قرارگیری آبشکن در قوس، ابعاد چاله و طول پشته در پایین دست آبشکن نیز افزایش می‌یابد [۴۲]. موسوی و همکاران (۱۳۸۹) برای بررسی تأثیر زاویه آبشکن در حفاظت رودخانه و کاهش فرسایش کناره‌ای آزمایش‌هایی انجام دادند و نتیجه گرفتند که تغییر زاویه آبشکن تأثیر چندانی در کاهش فرسایش کناره ندارد [۴۳]. عباس‌پور (۱۳۸۹) تأثیر طول، موقعیت استقرار و نسبت استغراق آبشکن‌های T شکل را (نسبت ارتفاع آب بالای آبشکن به عمق جریان در محل آبشکن) مستقر در قوس ۹۰ درجه را بررسی کرد و نتیجه گرفت که با افزایش طول آبشکن و افزایش نسبت استغراق، ماکزیمم عمق آبشستگی افزایش می‌یابد [۴۴]. سعادت‌نیا و همکاران (۱۳۸۹) آبشستگی پایه‌های کناری پل و تأثیر فاصله و زاویه آبشکن‌ها را در دو ساحل سیلاب‌دشت کانال مرکب بر کاهش میزان آبشستگی اطراف پایه پل بررسی کردند و نتایج حاصله کاهش محسوس آبشستگی اطراف دماغه‌های کناری پل نسبت به حالت‌های شاهد را نشان داد و رابطه‌ای برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی دماغه تکیه‌گاه پل پیشنهاد شد [۴۵]. نبی‌بخش و همکاران (۱۳۸۹) آبشستگی و الگوی جریان سه بعدی در اطراف آبشکن سرکج را بررسی کردند. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن سرکج با زبانه به سمت پایین دست، در محل اتصال زبانه با محور آبشکن اتفاق می‌افتد [۴۶]. علیزاده و همکاران (۱۳۹۰) سه شکل تکیه‌گاه قائم، باله‌دار و باله مدفون را در شرایط هیدرولیکی مختلف مورد آزمایش قرار دادند. طبق نتایج به دست آمده آبشستگی در تکیه‌گاه با باله مدفون کمتر از دو نوع دیگر می‌باشد و عملکرد

این تکیه‌گاه در کنترل آبشستگی بهتر از نوع قائم و باله‌دار آن است [۸]. بصیرت و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از آبشکن محافظ در طول‌های مختلف و فواصل مختلف از تکیه‌گاه، آبشستگی تکیه‌گاه را بررسی کردند و نتایج به دست آمده به عنوان رابطه‌ای بین پارامترهای مؤثر، برای تعیین محل و طول مناسب آبشکن محافظ بیان شد [۴۷]. موسوی نائینی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تأثیر شعاع انحنای نسبی قوس بر نحوه رفتار جریان و الگوی شکل گرفته پیرامون آبشکن T شکل پرداختند. نتایج حاصله افزایش طول ناحیه جدایی و طول گردابه بالادست در اثر افزایش شعاع انحنای نسبی را نشان داد [۴۸]. مرادپور و همکاران (۱۳۹۱) توسعه زمانی آبشستگی و توپوگرافی حفره آبشستگی در آبشکن‌های نیم‌دایره‌ای را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند و با نتایج محققان دیگر مقایسه کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در آبشکن‌های نیم‌دایره‌ای حداکثر عمق آبشستگی در زاویه بین ۴۵ تا ۶۰ درجه در جهت خلاف جریان ایجاد می‌شود [۴۹]. شهرامی فر و بغلانی (۱۳۹۱) الگوی جریان حول آبشکن‌های L شکل و T شکل در قوس ۹۰ درجه را بررسی و با هم مقایسه کردند. نتایج نشان داد که آبشکن T شکل ناحیه گسترده‌تری از قوس خارجی را از فرسایش محافظت می‌کند ولی آبشکن‌های L شکل در کاهش فرسایش قسمت میانی کانال و نزدیک قوس داخلی مؤثرترند [۵۰].

۲-۵-۲- مطالعات مرتبط با مدل عددی

مدل CCHE2D سال ۱۹۹۷ در مرکز ملی محاسبات مهندسی و علوم آب دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا و توسط آقایان ژیا، وانگ و سام^{۷۳} تهیه گردیده و در پروژه‌های تحقیقاتی گوناگونی در سراسر جهان از جمله کشورهای آمریکا و تایوان مورد استفاده قرار گرفته است [۱۲].

در زمینه تحقیقات انجام شده به وسیله مدل CCHE2D، ژیا و همکاران (۱۹۹۹ و ۲۰۰۶)، لانگدون (۲۰۰۱)، اسکات و همکاران (۲۰۰۵)، ناندا و دوان (۲۰۰۵)، پاپانیکیلا و همکاران (۲۰۰۸)، وایت (۲۰۰۸) و وو (۲۰۰۸) این مدل محاسباتی را ابزاری قوی برای بررسی انتقال رسوب و پروسه‌های

⁷³ -Jia, Wang & Sam

هیدرودینامیکی دانسته‌اند [۵۱]. همچنین ژانگ (۲۰۰۵) برای تحلیل جریان دائمی در رودخانه می‌سی‌سی‌پی آمریکا از مدل CCHE2D استفاده کرد [۵۲]. ابوحسن و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل CCHE2D در بازه‌ای از رودخانه مودا، شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب را مورد بررسی قرار دادند و اظهار داشتند که می‌توان به خوبی از نرم‌افزار CCHE2D برای تحلیل رفتار جریان، هم در رودخانه و هم در سیلاب‌دشت‌ها استفاده نمود [۵۳].

در کشور ما نیز در سال‌های اخیر افراد زیادی در تحقیقات خود از مدل CCHE2D استفاده کرده‌اند. به عنوان نمونه فقیه الاسلام جهرمی و موسوی (۱۳۸۸) الگوی جریان و رسوب حول آبشکن در قوس ۱۸۰ درجه را با نرم‌افزار CCHE2D شبیه‌سازی نمودند. نتایج تحقیق مبین ارجحیت استفاده از مدل آشفتگی طول اختلاط نسبت به مدل لزجت گردابی در شبیه‌سازی جریان در قوس بود [۵۱]. قزل سوفلو و مغربی (۱۳۸۹) با استفاده از مدل CCHE2D اثر شکل آبشکن بر روی مقدار مهاجرت کرانه‌ها در رودخانه اترک را بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که شکل آبشکن می‌تواند بر روی مقدار مهاجرت رودخانه‌ای اثرگذار باشد و این اثرگذاری در کرانه‌های رودخانه‌ای متفاوت است [۵۴]. عزیزیان و همکاران (۱۳۹۰) به منظور بررسی نحوه حرکت گودال‌های برداشت مصالح رودخانه‌ای، از مدل دو بعدی CCHE2D استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل CCHE2D توانایی پیش‌بینی حرکت گودال‌های برداشت مصالح رودخانه‌ای را با دقت قابل قبولی دارا می‌باشد [۵۵]. مغربی (۱۳۹۰) توسط مدل CCHE2D الگوی جریان حول آبشکن T شکل در قوس ۱۸۰ درجه تند را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصله نشان داد که ایجاد آبشکن T شکل در رأس قوس، در توزیع سرعت و تنش برشی به شدت اثر گذاشته و باعث افزایش تنش برشی در دماغه آبشکن می‌شود [۵۶]. کمان‌بدست و بهشتی (۱۳۹۰) با استفاده از مدل CCHE2D و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS اقدام به شبیه‌سازی و بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان در رودخانه کارون (بازه ملاثانی-اهواز) نمودند [۵۷]. موسوی جهرمی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل CCHE2D تأثیر لای‌روبی جزایر تشکیل شده در رودخانه کارون بر کاهش تراز سیلاب بازه شهری اهواز را مورد بررسی قرار دادند [۵۸].

فتحی و همکاران (۱۳۹۰) از مدل CCHE2D برای شبیه‌سازی الگوی جریان در بازه‌ای از پیچان‌رود طبیعی (رودخانه خشکه رود فارسان-ایران) بهره گرفتند. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل با نتایج مشاهداتی حاصل از اندازه‌گیری صحرایی نشان از قابلیت مدل CCHE2D در این زمینه داشت [۵۹]. مرشد بهبهانی و همکاران (۱۳۹۱) الگوی جریان و پارامترهای هیدرولیکی آبشکن‌های احداثی رودخانه شطیپ را با مدل CCHE2D برای سیلاب ۲۵ ساله بررسی کردند. نتایج نشان داد که این نرم‌افزار توانایی بالایی در شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی داشته و می‌تواند در جهت کنترل طراحی آبشکن‌ها و دیگر سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار گیرد [۶۰]. رستمی و همکاران (۱۳۹۱) تحقیقاتی به منظور بررسی کارایی مدل CCHE2D به عنوان یک مدل متوسط‌گیری شده در عمق، برای شبیه‌سازی الگوی جریان، فرسایش و رسوب‌گذاری در محل تلاقی شاخه‌های فرعی با رودخانه اصلی انجام دادند. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی نشان داد که مدل مذکور با خطایی در حدود ۷ و ۱۷ درصد به ترتیب قادر به پیش‌بینی حداکثر ارتفاع و عرض پهنه رسوب‌گذاری در محل تلاقی می‌باشد [۶۱]. میرپنجی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی اثرات متقابل طول آبشکن بر فرآیند آبشستگی کناره رودخانه با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی با مدل CCHE2D پرداختند. نتایج گویای مطابقت مناسب مدل عددی و آزمایشگاهی بود، به نحوی که با افزایش طول آبشکن، فرسایش کناره رودخانه کاهش یافته و کمترین سطح فرسایش در بیشترین طول آبشکن رخ می‌دهد. در مجموع تطابق مناسب نتایج شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، امکان استفاده از این مدل به منظور عملکرد آبشکن‌ها را به خوبی بیان کرد [۶۲].

طبق مطالب فوق، با توجه به این که آبشکن T شکل از انواع مهم آبشکن‌ها می‌باشد و نیز در مورد تاثیر این نوع از آبشکن بر کاهش آبشستگی تکیه گاه پل در دشت سیلابی تحقیقی صورت نگرفته و با توجه به موفقیت مدل CCHE2D در مسائل مربوط به رسوب‌گذاری و فرسایش، ضرورت انجام این تحقیق بیش از پیش آشکار می‌گردد.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا توضیحاتی از مدل آزمایشگاهی مورد استفاده که در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود مستقر است، آورده شده و سپس مدل CCHE2D معرفی شد. در نهایت مراحل مدل‌سازی عددی تحقیق حاضر، اعم از مراحل تشکیل شبکه و شبیه‌سازی جریان و انتقال رسوب بیان شده است.

۳-۲- مدل آزمایشگاهی

در این مطالعه با توجه به تجربیات محققان دیگر و بررسی پارامترهای مؤثر، از فلومی به طول ۱۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۰/۶ متر جهت انجام آزمایش‌ها استفاده گردید [۲۵ و ۶۲]. فلوم موجود دارای اسکلت فلزی بوده که عموماً از نبشی و ورقه‌های آهنی ساخته شده و دیواره‌های آن از جنس شیشه سکوریت با ضخامت ۰/۰۱ متر می‌باشد تا رفتار و خصوصیات جریان به سهولت مشاهده شود. فلوم نیز از جنس صفحه فلزی است. شکل (۳-۱) فلوم مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱- فلوم آزمایشگاهی

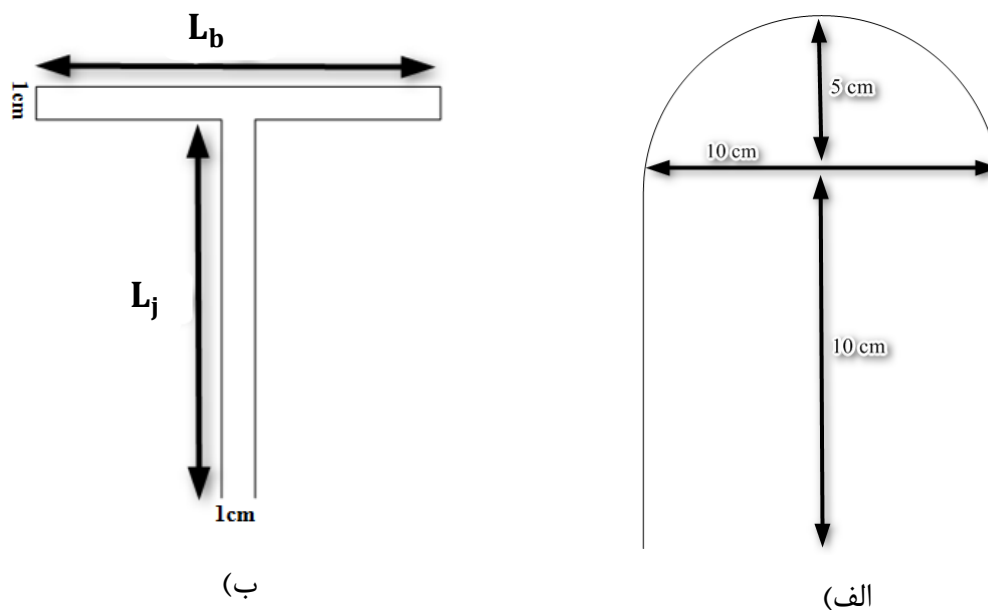
جهت کنترل دبی از دو عدد شیر تنظیم که بر روی پمپ نصب شده استفاده می‌شد و برای آرام نمودن جریان آب در ابتدای فلوم، از دیواره فلزی متخلخلی که در داخل و ابتدای فلوم نصب شده بود، استفاده شد. برای اندازه گیری تراز سطح آب از یک شاخص ثابت در انتهای کانال استفاده شد و برای برداشت عمق کف از شاخص متحرک واقع بر ریل دو طرف کانال که در جهت طولی و عرضی کانال حرکت می‌کرد (عمق‌سنج ریلی)، استفاده گردید. برای اندازه‌گیری دبی‌های مورد آزمایش از دبی‌سنج الکترومغناطیسی (pmag)، ساخت شرکت SGM، دارای محدوده کاری ۰/۲ تا ۳۰۰۰۰ متر مکعب بر ساعت و درصد خطای $\pm 0.5\%$ استفاده شد. شکل (۲-۳) دستگاه دبی‌سنج مورد استفاده را نشان می‌دهد. همچنین به منظور تنظیم سطح آب از صفحات تنظیم کننده استفاده شد.



شکل ۲-۳- دبی‌سنج الکترومغناطیسی

برای انجام آزمایش‌های رسوب، مقطع مرکب به طول ۵ متر در داخل فلوم مذکور ساخته شد. مقطع مرکب متشکل از کانال میانی مستطیلی با عمق ۰/۱ متر و عرض ۰/۱۵ متر، شیب کانال ۰/۰۰۱ و جنس آن از شیشه می‌باشد. همچنین مصالح بستر برای سیلاب‌دشت از نوع ریزدانه

غیرچسبنده به قطر متوسط ۰/۰۰۱ متر استفاده شده است [۶۲ و ۲۵]. همچنین براساس آزمایش‌های مقدماتی زمان پایه ۱/۵ ساعت برای هر آزمایش جهت رسیدن به وضعیت تعادلی اتخاذ گردیده است. تکیه‌گاه مورد مطالعه از نوع دیواره قائم با دماغه نیم‌دایره‌ای دارای طول ۰/۱۵ متر و عرض ۰/۱ متر و از جنس ورق گالوانیزه می‌باشد و در فاصله ۳/۵ متری از ابتدای محدوده رسوب‌گذاری احداث شده است. ابتدا آزمایش‌ها در دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر در ثانیه در شرایط بدون لحاظ نمودن آبشکن به عنوان حالت شاهد انجام گرفته و سپس با احداث آبشکنی از نوع نفوذناپذیر، صلب، آب‌نگذر، غیر مستغرق، عمودی و T شکل، در فواصل (X) ۰/۰۹، ۰/۱۲، ۰/۱۸، ۰/۲۴، ۰/۳۰، ۰/۶۰ و ۰/۷۰ متر از تکیه‌گاه، طول جان (L_j) ۰/۰۶، ۰/۰۷۵، ۰/۰۹، ۰/۱۰۵ و ۰/۱۲ متر و با طول بال (L_b) ۰/۰۶، ۰/۰۷۵، ۰/۰۹، ۰/۱۰۵ و ۰/۱۲ متر در دبی‌های مذکور تکرار شد [۶۲ و ۲۵]. در شکل (۳-۳) و (۴-۳) نما و ابعاد تکیه‌گاه و آبشکن نشان داده شده است. پس از اتمام هر آزمایش، شیر ورودی آب بسته و آب درون فلوم به آرامی تخلیه و زهکش می‌شد و با عمق‌سنج ریلی پروفیل بستر اندازه‌گیری می‌شد.



شکل ۳-۳-الف- ابعاد تکیه‌گاه؛ ب- ابعاد آبشکن T شکل



شکل ۳-۴- نمای از آبشکن و تکیه‌گاه T شکل

۳-۳- مدل عددی

مطالعه تغییرات هیدرولیکی و مورفولوژیکی در رودخانه‌ها با استفاده از مدل‌های فیزیکی مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار بالایی می‌باشد که در بسیاری از موارد از لحاظ اقتصادی توجیه چندانی ندارد، از این رو بررسی درازمدت و یا حتی کوتاه‌مدت این گونه تغییرات بدون استفاده از مدل‌های ریاضی امری تقریباً غیرممکن می‌باشد. براین اساس مدل‌های ریاضی مختلفی توسط محققین مختلف برای مطالعه جریان و رسوب در رودخانه‌ها توسعه یافته است که برخی از آنها جنبه تجاری پیدا کرده

و به دفعات در پروژه‌های متعدد در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفتند که یکی از آنها مدل CCHE2D می‌باشد. CCHE2D، مدلی دو بعدی برای شبیه‌سازی جریان غیردائم در حالت آشفته همراه با انتقال رسوب است، نسخه اولیه این نرم‌افزار در سال ۱۹۹۷ توسط مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی محاسباتی^{۷۴} در دانشکده فنی دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا منتشر شده است و هر سال این مدل با قابلیت جدید، توسط این مرکز به‌روزرسانی می‌شود.

هدف اصلی از توسعه این مدل، استفاده از آن در زمینه‌های مربوط به مدل‌سازی رسوب، فرسایش و مهاجرت رودخانه‌ها می‌باشد. همچنین از این مدل می‌توان برای ارزیابی احداث سازه‌های هیدرولیکی همچون آبشکن، کنترل‌کننده‌های شیب رودخانه و گوره به روی مرفولوژی رودخانه استفاده نمود. مدل CCHE2D توانایی شبیه‌سازی جریان در حالت فوق بحرانی، زیر بحرانی یا در حالت انتقالی را داراست. این مدل به زبان فُرتن ۹۰ نوشته شده و برای حل جابه‌جایی از روش آپویند^{۷۵} استفاده می‌کند [۵۲].

۳-۳-۱- مدل CCHE2D

مدل CCHE2D، یک بسته نرم‌افزاری جامع برای شبیه‌سازی و تحلیل جریان‌های روباز، انتقال رسوبات و پروسه‌های مرفولوژیکی است. این مدل از دو نرم‌افزار جداگانه CCHE2D Mesh Generator و CCHE2D-GUI تشکیل شده است.

نرم‌افزار CCHE2D Mesh Generator قابلیت شبکه‌بندی ساختارهای پیچیده را به وسیله ابزارهای خود مهیا نموده است. به وسیله این نرم‌افزار می‌توان شبکه‌بندی اولیه بر روی منطقه مورد نظر ایجاد و یا بر روی شبکه‌بندی ایجاد شده به وسیله این نرم‌افزار اصلاحاتی شامل تغییر مکان گره، یا حذف و یا ایجاد سلول جدید را انجام داد. به وسیله ابزار ارزیابی می‌توان شبکه ایجاد شده را ارزیابی کرد و معیارهای عمودیت و یکنواختی را در شبکه ایجاد شده، کنترل کرد.

⁷⁴ -National center for computational hydroscience and engineering (NCCHE)

⁷⁵ -Upwind

نرم‌افزار CCHE2D-GUI هسته گرافیکی نرم‌افزار CCHE2D است، که وظیفه تعریف شرایط اولیه و مرزی، تعریف پارامترهای مدل، شبیه‌سازی عددی و اجرای برنامه و نمایش گرافیکی نتایج را داراست.

۳-۳-۲- مراحل استفاده از مدل CCHE2D

برای اجرای شبیه‌سازی در این مدل پنج مرحله وجود دارد که در ادامه هر یک از آنها همراه با توضیحات مختصری آمده است.

۳-۳-۱- تشکیل شبکه

گام اول مدل‌سازی، فراخوانی یک فایل شبکه با پسوند GEO می‌باشد که می‌توان از نرم‌افزار تشکیل شبکه CCHE2D برای ایجاد این فایل استفاده کرد. فایل شبکه شامل اطلاعات هندسی و شرایط اولیه حوضه مورد نظر مانند مختصات (X,Y) ، ارتفاع اولیه بستر، ارتفاع سطح آب، زبری اولیه بستر و مشخصات گره‌ها می‌باشد. در ادامه اطلاعات مختصری در مورد شبکه بندی با این نرم‌افزار آمده است. برای شبکه‌بندی مسائل مربوط به جریان‌های ناپایدار غیرخطی دو نوع شبکه شامل شبکه‌های ساخت‌یافته^{۷۶} و شبکه‌های بی‌ساخت^{۷۷} وجود دارد. در شبکه‌های ساخت‌یافته تمام گره‌های شبکه با دو اندیس (در شبکه‌های دو بعدی) و یا سه اندیس (در شبکه‌های سه بعدی) شناخته می‌شوند و دستیابی به آنها آسان است ولی در شبکه‌های بی‌ساخت این ویژگی وجود ندارد و نیاز به جداول اتصال برای شناسائی ارتباط بین گره‌های شبکه است. اصولاً در شبکه‌های ساخت‌یافته از دو روش تفاضل محدود و حجم محدود استفاده می‌شود ولی در شبکه‌های بی‌ساخت تنها از روش المان محدود استفاده می‌شود. نرم‌افزار تشکیل شبکه CCHE2D برپایه شبکه‌های ساخت‌یافته توسعه یافته است. می‌توان روش‌های به کار رفته در تشکیل شبکه ساخت‌یافته این نرم‌افزار را به دو گروه روش‌های

⁷⁶ -Structured meshes

⁷⁷ -Unstructured meshes

عددی و روش‌های جبری تبدیل کرد. نرم‌افزار تشکیل شبکه CCHE2D دارای شش روش عددی و سه روش جبری برای تشکیل شبکه می‌باشد. روش‌های عددی که از حل معادلات دیفرانسیلی با مشتقات جزئی به دست می‌آیند، برای تعیین توزیع شبکه و ناهمواری‌های شبکه کاربرد دارند. در این روش امکان ایجاد شبکه‌ای با کیفیت بالا محیا می‌گردد ولی زیاد بودن محاسبات تشکیل شبکه و پیچیده بودن فرمول‌های به کار رفته از معایب آن محسوب می‌شود. روش‌های جبری نیز در تشکیل شبکه با استفاده از درون‌یابی کاربرد دارند. محاسبه سریع و کنترل مستقیم گره‌های شبکه دو مزیت عمده روش‌های جبری هستند. کیفیت شبکه به دست آمده از این نرم‌افزار توسط چندین شاخص از قبیل حداکثر انحراف عمودی (MDO^y)، متوسط انحراف عمودی (ADO^y)، حداکثر نسبت دید (تابع تغییر شکل) شبکه (MAR^x) و متوسط نسبت دید (AAR^x) ارزیابی می‌شود. دو شاخص اول معیار راست‌گوشه بودن شبکه می‌باشند و هرچه این دو مقدار کمتر، کیفیت شبکه بالاتر است. دو شاخص بعدی معیار همواری (صاف بودن) شبکه هستند و هرچه این دو مقدار به یک نزدیکتر شوند کیفیت شبکه بالاتر می‌رود. در این نرم‌افزار دو روش برای درون‌یابی بستر با استفاده از پایگاه داده‌ای توپوگرافی وجود دارد. اولی روش وزنی معکوس فاصله (IDW^z)، که بر اساس میانگین وزنی می‌باشد و دومی روش دو وجهی (PIM^z)، که بر اساس یک سطح مثلثی است. در نرم افزار CCHE2D داده‌ها به دو گروه پایگاه داده‌ای تصادفی و پایگاه داده‌ای ساخت‌یافته تقسیم می‌شوند. در این نرم‌افزار دو الگوریتم درون‌یابی برای پایگاه داده‌ای تصادفی شامل الگوریتم درون‌یابی تصادفی و درون‌یابی مثلثی وجود دارد، همچنین یک الگوریتم درون‌یابی برای پایگاه داده‌ای ساخت‌یافته به نام الگوریتم درون‌یابی ساخت‌یافته موجود است.

⁷⁸ -Maximum deviation orthogonality

⁷⁹ -Averaged deviation from orthogonality

⁸⁰ Maximum grid aspect ratio

⁸¹ -Averaged grid aspect ratio

⁸² -Inverse distance weighting method

⁸³ -Planar interpolation method

۳-۲-۲- تعیین شرایط اولیه جریان

مرحله دوم مدل‌سازی عددی تعیین شرایط اولیه است. تعیین نامناسب شرایط اولیه باعث کاهش فرآیند همگرایی، در نتیجه کاهش دقت نتایج شبیه‌سازی می‌شود. شرایط اولیه به دو بخش شرایط اولیه جریان و شرایط اولیه رسوب تقسیم می‌شود، مانند تعیین ارتفاع اولیه بستر، ارتفاع اولیه سطح آب، زبری بستر و ویرایش شبکه (اصلاح مشخصات گره‌های شبکه و ...).

۳-۲-۳- تنظیم پارامترها

مرحله سوم تنظیم پارامترهای مدل است. پارامترهای مدل به دو قسمت پارامترهای جریان و پارامترهای رسوب تقسیم می‌شود. پارامترهای جریان شامل زبری بستر و مشخصات فیزیکی آب است. پارامترهای رسوب نیز شامل تعیین اندازه ذرات رسوب، تعیین معادلات انتقال رسوب، مدل انتقال رسوب و ... می‌باشد. در این نرم‌افزار تعدادی از پارامترهای فیزیکی به صورت پیش‌فرض وجود دارد.

۳-۲-۴- تعیین شرایط مرزی

در مرحله چهارم شرایط مرزی به طور دقیق تعیین می‌شود. برای مدل‌سازی انتقال رسوب، لازم است مشخصات بستر و همچنین مشخصات مقاطع ورودی (تعیین کردن دبی کل ورودی، هیدروگراف دبی ورودی و ...) و خروجی (تعیین کردن ارتفاع سطح آب و منحنی دبی-اشل جریان خروجی و ...) را تعیین کرد.

۳-۲-۵- شبیه‌سازی و مشاهده نتایج

پس از تشکیل شبکه و تعیین شرایط اولیه و مرزی می‌توان شبیه‌سازی را شروع نمود. شبیه‌سازی عددی براساس شرایط اولیه جریان انجام می‌شود. در بعضی از موارد که شرایط اولیه جریان ناشناخته است، می‌توان با حدس زدن شرایط اولیه جریان به نتایج قابل قبولی رسید ولی هنگامی که جریان

ناپایدار است، حدس زدن شرایط اولیه جریان بسیار مشکل است. برای شبیه‌سازی مسائل پیچیده، مانند مسائل مربوط به جریان‌های ناپایدار، لازم است گام‌های زمانی را کوچک در نظر گرفت، زیرا گام‌های زمانی بزرگ ممکن است به نتایج غیرقابل قبولی بیانجامد.

۳-۳-۳- معادلات حاکم

در مدل CCHE2D از معادلات دو بعدی متوسط عمقی استفاده شده است. این روابط شامل معادله پیوستگی، رابطه (۱-۳) و معادله ممنتوم، روابط (۳-۲) و (۳-۳) می‌باشد [۵۲].

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1-3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor} v \quad (2-3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - f_{Cor} u \quad (3-3)$$

که u و v به ترتیب سرعت‌های متوسط در جهات x و y هستند. g شتاب جاذبه، Z تراز سطح آب، ρ جرم مخصوص آب، h عمق محلی آب، f_{Cor} پارامتر کوریولیس، τ_{xx} ، τ_{xy} ، τ_{yx} و τ_{yy} تنش‌های متوسط رینولدز هستند. τ_{bx} و τ_{by} نیز تنش‌های برشی بستر می‌باشند.

۳-۳-۳-۱- تنش‌های رینولدز

در معادلات (۲-۳) و (۳-۳) تنش‌های رینولدز بر اساس فرضیات بوزینسک^{۸۴} به صورت زیر تخمین زده می‌شوند در آن v_t ویسکوزیته گردابی است [۵۲].

⁸⁴ -Boussinesq

$$\tau_{xx} = 2v_t \frac{\partial u}{\partial x} \quad (4-3 \text{ الف})$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = v_t \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (4-3 \text{ ب})$$

$$\tau_{yy} = 2v_t \frac{\partial v}{\partial y} \quad (4-3 \text{ ج})$$

۳-۳-۲- مدل لزجت گردابی

دو مدل آشفتگی صفر معادله‌ای در مدل CCHE2D وجود دارد. اولی مدل پارابولیک متوسط عمقی است که در آن ویسکوزیته گردابی v_t عبارت است از [۵۲]:

$$v_t = \frac{A_{xy}}{6} k U^* h \quad (5-3)$$

که A_{xy} ضریب تعدیل کننده لزجت گردابی، k ثابت فان کارمن و U^* سرعت برشی است. دومین مدل لزجت گردابی، مدل متوسط عمقی طول اختلاط پراندتل می‌باشد. در این مدل v_t به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$v_t = \bar{l}^2 \sqrt{2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial z} \right)^2} \quad (6-3 \text{ الف})$$

$$\bar{l} = \frac{1}{h} \int_0^1 kz \sqrt{\left(1 - \frac{z}{h}\right)} dz = kh \int_0^1 \lambda \sqrt{1 - \lambda} d\lambda \approx 0.267kh \quad (6-3 \text{ ب})$$

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial z} = C_m \frac{U^*}{kh} \quad (6-3 \text{ ج})$$

که در آن C_m ضریبی با مقدار ۲/۳۴۳۷۵ است. بنابراین معادله ۵-۳ همان معادله ۶-۳ با شرایط

جریان یکنواخت بدون گرادیان‌های سرعت افقی می‌باشد.

۳-۳-۳-۳- مدل دو بعدی k-ε

در این مدل، معادلات دیفرانسیل شامل انرژی کینتیک آشفتگی، $k = \frac{1}{2} \overline{u_i' u_i'}$ و نرخ اتلاف انرژی

آشفتگی، $\varepsilon = \mu_t \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \frac{\partial u_i'}{\partial x_j}$ می‌باشد. معادلات حاکم متوسط عمقی برای k و ε عبارتند از [۵۲]:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right] = P - \varepsilon + P_{kv} \quad (۷-۳)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] = c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P - c_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} + P_{\varepsilon v} \quad (۸-۳)$$

که در آن:

$$P = -\overline{u_i' u_j'} u_{i,j} = v_t \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (۹-۳)$$

$$P_{kv} = C_k \frac{U_*^3}{h} \quad P_{\varepsilon v} = C_\varepsilon \frac{U_*^4}{h^2} \quad (۱۰-۳)$$

$$U_* = \sqrt{c_f (u^2 + v^2)} \quad (۱۱-۳)$$

$$c_k = \frac{1}{\sqrt{c_f}} \quad c_\varepsilon = 3.6 \frac{c_{2\varepsilon}}{c_f^{3/4}} \sqrt{c_\mu} \quad (۱۲-۳)$$

c_f نیز ضریب اصطکاک می‌باشد. مقدار لزجت گردابی محلی با توجه به مقادیر k و ε محلی توسط

رابطه زیر به دست می‌آید:

$$v_t = \frac{c_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (13-3)$$

مقادیر تجربی σ_ε ، σ_k ، $c_{2\varepsilon}$ ، $c_{1\varepsilon}$ و c_μ در معادلات بالا، به ترتیب برابر با $1/3$ ، 1 ، $1/9$ ، $1/45$ و $0/09$ می‌باشد.

۳-۳-۴- انتقال رسوب

اطلاعات مختصری در مورد مبحث انتقال رسوب در نرم‌افزار CCHE2D در ادامه آمده است.

۳-۳-۳-۱- بار کل

براساس طبقه‌بندی‌های قراردادی، انتقال رسوبات به دو قسمت بار معلق و بار بستر در جهت عمودی جریان تقسیم می‌شود. بار بستر قسمتی از بار کل است که نزدیک به بستر با چرخش، لغزش یا پرش انتقال می‌یابد. در حالی که بار معلق قسمتی از بار کل است که به صورت معلق در قسمتی از عمق که در بالای بار بستر قرار گرفته است، در حال حرکت می‌باشد. در این مدل برای کاربرد عمومی انتقال رسوب از بار کل یعنی مجموع بار معلق و بستر استفاده شده است.

۳-۳-۳-۲- انتقال نامتعادل

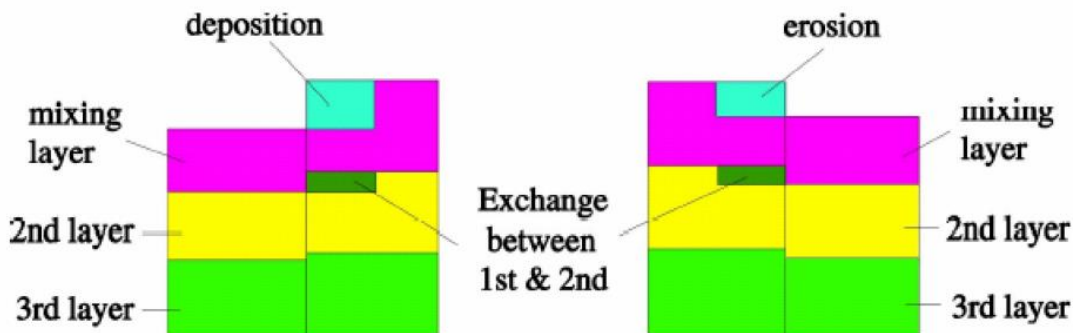
از آن‌جا که عموماً بار معلق وضعیت نامتعادلی در جریان دارد، پس لازم است شبیه‌سازی بار معلق در انتقال رسوب با مدل‌های انتقال نامتعادل^{۸۵} شبیه‌سازی می‌شود. بر خلاف تمام مدل‌های انتقال رسوب موجود که یک تعادل محلی برای بار بستر فرض می‌کنند، CCHE2D یک مدل انتقال رسوب کاملاً

⁸⁵ - Non- equilibrium Transport

نامتعادل، هم برای بار بستر و هم برای بار معلق در نظر می‌گیرد. معادله انتقال-انتشار^{۸۶} متوسط عمقی برای بار معلق و معادله پیوستگی برای بار بستر در مدل CCHE2D حل می‌شود.

۳-۳-۳-۳-۳-۳ - طبقه‌بندی مواد بستر

مواد بستر در راستای عمودی به تدریج تغییر می‌کند. مواد بستر بالای لایه غیر قابل فرسایش به دو قسمت تقسیم می‌شود که در شکل (۳-۵) نشان داده شده است. لایه بالایی، لایه ترکیبی^{۸۷} و لایه زیرین لایه زیرسطحی می‌باشد. تغییر تدریجی مواد بستر در لایه ترکیبی با معادلات دیفرانسیل جزئی نشان داده می‌شود، در حالی که در لایه‌های زیر لایه ترکیبی، تغییرات تدریجی مواد بستر با قانون بقاء جرم بیان می‌شود.



شکل ۳-۵- طبقه‌بندی لایه‌های بستر در CCHE2D [۵۲]

۳-۳-۳-۳-۴-۴ - شرایط اولیه

برای شبیه‌سازی کامل انتقال رسوب، اطلاعات مربوط به خواص رسوب، ظرفیت انتقال رسوب، طول انطباقی بدون تعادل^{۸۸} و زبری بستر متحرک باید داده شود. خواص رسوب شامل اندازه ذرات رسوب، چگالی نسبی ($G_s=2/65$)، فاکتور شکل ذرات (با مقدار پیش فرض ۰/۷) و تخلخل مواد بستر می‌باشد. بقیه موارد توسط فرمول‌های تجربی تعیین می‌شوند.

⁸⁶ -Convection-diffusion

⁸⁷ -Mixing Layer

⁸⁸ - Non-equilibrium adaptation length

۳-۳-۳-۴-۵- فرمول‌های تجربی

تقریباً دوازده فرمول برای انتقال رسوب غیرچسبنده ریزدانه در دسترس است که مدل CCHE2D از چهار فرمول زیر استفاده می‌کند:

۱- فرمول اصلاح‌شده انگلوند و هانسن^{۸۹} (وو و ویرا^{۹۰}، ۲۰۰۰)

۲- فرمول وو^{۹۱} و همکاران (۲۰۰۰)

۳- مدل SEDTERA (گاربرجت^{۹۲} و همکاران، ۱۹۹۵)

۴- فرمول ایگرز و وایت^{۹۳} (پرافیت و سوترلند^{۹۴}، ۱۹۸۳)

در مدل CCHE2D تأثیر جریان‌های ثانویه بر جریان اصلی و انتقال رسوب در کانال‌های منحنی در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳-۳-۴-۶- تعیین زبری بستر به دو روش فان‌راین و وو و وانگ^{۹۵}

فرمول پیشنهادی فان‌راین (۱۹۸۴) برای تعیین زبری بستر به صورت زیر است [۵۲]:

$$K_s = 3D_{90} + 1.1\Delta[1 - e^{-25\Psi}] \quad (۱۴-۳)$$

که در آن K_s زبری بستر متحرک، Δ ارتفاع فرم بستر، Ψ شیب بستر و D_{90} اندازه‌ای از ذرات بستر است که ۹۰٪ ذرات از آن کوچکتر هستند. Ψ در معادله بالا به صورت Δ/λ تعریف می‌شود که λ همان طول فرم بستر می‌باشد.

⁸⁹ -Engelund and Hansen

⁹⁰ -Vieira

⁹¹ -Wu

⁹² -Garbrecht

⁹³ -Ackers and White

⁹⁴ -Proffit and Sutherland

⁹⁵ -Wang

فرمول پیشنهادی وو و وانگ (۱۹۹۹) برای تعیین زبری بستر به صورت زیر است [۵۲]:

$$n = \frac{d_{50}^{1/6}}{A_n} \quad (15-3)$$

که در آن d_{50} قطر متوسط ذرات برحسب متر می‌باشد و A_n از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\frac{A_n}{g^{1/2} F_r^{1/3}} = \frac{8 \left[1 + 0.0235 \left(\frac{\tau_b}{\tau_{c50}} \right)^{1.25} \right]}{\left(\frac{\tau_b}{\tau_{c50}} \right)^{1/3}} \quad (16-3)$$

در فرمول بالا F_r عدد فرود، g شتاب ثقل و τ_{c50} تنش برشی بحرانی است که با استفاده از منحنی شیلدز اصلاحی توسط چین و وان^{۹۶} (۱۹۸۳) به دست می‌آید. τ_b نیز تنش برشی ذرات است که با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\tau_b = \left(\frac{\dot{n}}{n} \right)^{3/2} \tau_b \quad (17-3)$$

که در آن

$$\dot{n} = \frac{d_{50}^{1/6}}{20} \quad (18-3)$$

$$\tau_b = Y R_b S_f \quad (19-3)$$

d_{50} اندازه‌ای از ذرات بستر است که ۵۰٪ ذرات از آن کوچکتر هستند، Y وزن مخصوص آب، S_f شیب خط انرژی و R_b ، شعاع هیدرولیکی جریان که توسط روش ویلیامز^{۹۷} (۱۹۷۰) و با استفاده از

^{۹۶} -Chien and Wan

^{۹۷} -Williams

فرمول زیر به دست می‌آید که در آن h و B به ترتیب عمق جریان و عرض فلوم می‌باشند.

$$R_b = \frac{h}{\left(1 + 0.055 \frac{h}{B^2}\right)} \quad (۲۰-۳)$$

۳-۴- شبیه‌سازی عددی جریان و رسوب حول تکیه‌گاه و آبشکن

در این بخش مراحل مدل‌سازی عددی تحقیق حاضر، اعم از مراحل تشکیل شبکه و شبیه‌سازی جریان و انتقال رسوب بیان شده است. تمام متغیرهای مدل بر اساس میدان محاسباتی که در بخش ۲-۳ بیان شد، انتخاب و محاسبه گردیدند.

۳-۴-۱- تشکیل شبکه

برای انجام عمل شبیه‌سازی در CCHE2D، ابتدا باید مختصات هندسی منطقه مورد آزمایش به نرم‌افزار معرفی گردد، سپس مرزبندی مدل و در انتها مش‌بندی را خواهیم داشت.

۳-۴-۱-۱- تهیه مختصات هندسی نقاط فلوم

نرم‌افزار CCHE2D Mesh Generator توانایی تشکیل شبکه با استفاده از سه نوع فرمت مختلف را دارد:

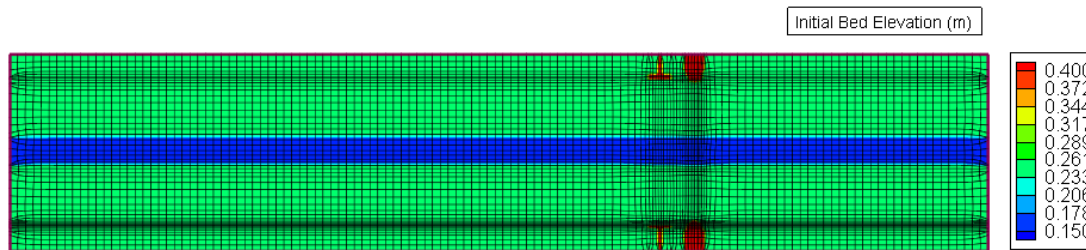
۱- فایل لایه مرزی موجود (*MESH_MB)

۲- نقشه‌های توپوگرافی (*BMP)

۳- پایگاه داده‌های توپوگرافی (*MESH_XYZ)

در این مطالعه از روش سوم استفاده شده است. در ضمن به دلیل این که فلوم دارای شکل هندسی مشخص است، در برداشت مختصات نقاط به جای نقشه‌برداری از محاسبات ریاضی استفاده گردید و

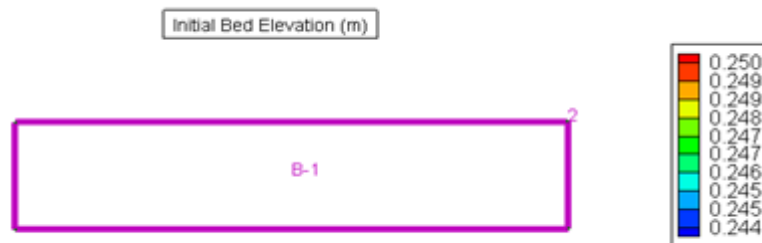
سپس به صورت یک فایل با پسوند mesh_xyz ذخیره شد. این فایل را می‌توان از منوی Import با استفاده از گزینه Topography database در نسخه CCHE2D Mesh Generator باز نمود. نقاط هندسی تولید شده از فلوم مورد آزمایش در شکل (۳-۶) نشان داده شده است.



شکل ۳-۶- نقاط هندسی تولید شده از فلوم مورد آزمایش (ارتفاع اولیه بستر در هر نقطه بر حسب متر)

۳-۴-۱-۲- مرزبندی میدان محاسباتی

برای ایجاد شبکه (مش) به یک مرز مشخص نیاز داریم. جهت انجام مرزبندی گزینه Add Define Block را از منوی Block انتخاب می‌کنیم. به دلیل اینکه محدوده حول تکیه‌گاه و آبشکن جهت بررسی الگوی جریان و رسوب نسبت به بقیه قسمت‌ها مهمتر است، باید مش‌بندی در این قسمت دقیق‌تر و متراکم‌تر از سایر قسمت‌ها بوده تا نتایج ما از دقت بیشتری در این قسمت برخوردار باشد. به این منظور جهت مرزبندی، ابتدا مرز اول (First Boundary) و سپس مرز دوم (Secnod Boundary) را مشخص می‌کنیم. همان‌طور که در شکل (۳-۷) مشاهده می‌کنید، پس از تعیین آخرین نقطه از مرز دوم، محدوده میدان محاسباتی به صورت یک بلوک شناخته می‌شود.



شکل ۳-۷- مرزبندی میدان محاسباتی

۳-۴-۱-۳- شبکه بندی

اصولا شبکه بندی در پروژه های دینامیک سیالات محاسباتی یا CFD یکی از مهمترین بخش های انجام کار می باشد. نرم افزار CCHE2D قابلیت استفاده از دو نوع شبکه بندی را دارد:

۱- شبکه بندی جبری

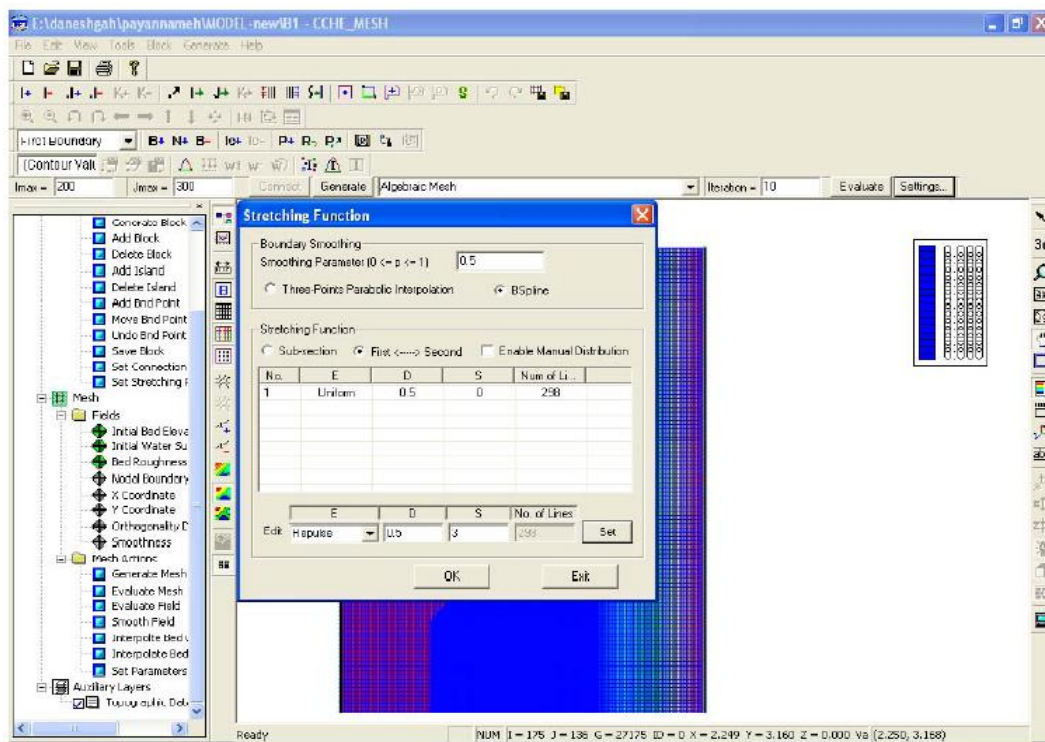
۲- شبکه بندی محاسباتی

در این پروژه به منظور ایجاد یک شبکه محاسباتی دقیق، ابتدا با استفاده از روش های ریاضی (Algebraic Mesh)، یک شبکه اولیه با تعداد I (سطر) و J (ستون) به ترتیب ۵۰ و ۱۵۰ ایجاد گردید که از آن به عنوان پایه و اساس شبکه بندی های بعدی استفاده شد. سپس برای هموارسازی شبکه جبری ساخته شده و انطباق بیشتر آن با مرزها، از مش محاسباتی استفاده گردید. به این صورت که برای همخوانی مرزها با شبکه از گزینه Setting روش BSpline را انتخاب کرده و درجه همخوانی را نیز عددی نزدیک به یک در نظر می گیریم. سپس از قسمت پایین منوی مذکور برای تنظیم یکنواختی و غیر یکنواختی مش در نواحی مختلف، گزینه Repulse را انتخاب می کنیم. طبق شکل (۳-۸)، با انتخاب گزینه مذکور، مش محاسباتی در دیواره ها ریزتر و الگوی فرسایش کناره ها دقیق تر خواهد شد. بر اساس گزارش ارزیابی شبکه تولید شده نیز مقادیر شاخص های ADO و AAR به ترتیب ۰/۰۳۵ و ۱/۲۳۵ به دست آمد که با توجه به نتایج خروجی حاصل از اجرای مدل، دقت و انطباق این شبکه بر هندسه محدوده مورد بررسی، مناسب ارزیابی می شود.

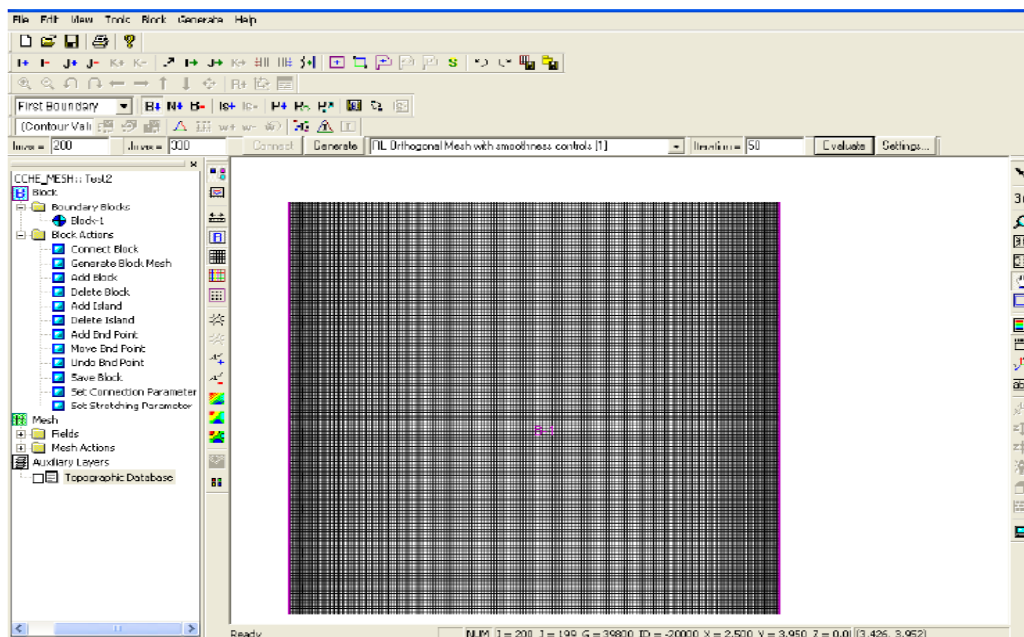
لازم به ذکر است که برای رسیدن به نتایج بهتر می‌توان تعداد I و J را در محدوده تکیه‌گاه و آبشکن بیشتر نمود. پس از انجام تنظیمات فوق، مش محاسباتی را از گزینه Orthogonal Mesh With Smoothness controls انتخاب و اجرا می‌کنیم. در نهایت با روش اینترپله، اطلاعات رقومی را به مش ساخته شده انتقال داده و شبکه‌بندی نهایی را ذخیره می‌کنیم. آبشکن و تکیه‌گاه را نیز با پلیگون‌بندی در فلوم ساخته شده، ایجاد می‌کنیم. شکل (۳-۹) نمایی از مش ساخته شده از فلوم مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۴-۳- شبیه‌سازی جریان

این مرحله از شبیه‌سازی، گام اول را در بخش CCHE2D-GUI ایفا می‌کند و باید قبل از شبیه‌سازی انتقال رسوب، برای تعیین و تنظیم شرایط جریان اجرا شود.



شکل ۳-۸- نمایی از گزینه تنظیم مش محاسباتی



شکل ۳-۹- نمونه‌ای از مش محاسباتی ساخته شده از فلوم

۳-۴-۲-۱- تعریف گزینه‌های مختلف شبیه‌سازی

همان طور که قبلاً گفته شد، در این مطالعه پارامترهای متغیر در شبیه‌سازی‌ها شامل طول بال آبشکن (L_b)، طول جان آبشکن (L_j)، فاصله آبشکن از تکیه‌گاه (X) و دبی جریان ورودی (Q) است. با توجه به این که طول بال آبشکن در مقادیر 0.06 ، 0.075 ، 0.09 ، 0.10 و 0.12 متر، طول جان آبشکن نیز در مقادیر 0.06 ، 0.075 ، 0.09 ، 0.10 و 0.12 متر و مقادیر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه 0.09 ، 0.12 ، 0.18 ، 0.20 ، 0.22 و 0.24 لیتر بر ثانیه، 0.30 ، 0.60 و 0.75 متر می‌باشد و با توجه به مقادیر دبی 18 ، 20 ، 22 و 24 لیتر بر ثانیه، 60 سناریوی مختلف برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. البته، بررسی طول جان، طول بال و فاصله آبشکن از تکیه‌گاه برای همه حالت‌ها انجام نشده است که در بخش‌های بعدی توضیحات بیشتر آورده شده است. سپس برای هر یک از حالت‌های مورد بررسی، دو شبیه‌سازی یکی برای جریان و دیگری برای رسوب انجام شد که در مجموع 120 شبیه‌سازی خواهیم داشت.

۳-۴-۲-۲- تعریف شرایط اولیه جریان و ضریب زبری در مدل

طبق سناریوهای تعریف شده، کار شبیه‌سازی که در واقع همان مدل کردن ریاضی الگوی جریان و رسوب حول آبشکن و تکیه‌گاه می‌باشد، آغاز می‌گردد. با توجه به این که در مدل آزمایشگاهی برای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه به ترتیب عمق‌های ۰/۰۳۶، ۰/۰۴۳، ۰/۰۴۷ و ۰/۰۵۱ متر در تمامی مراحل برقرار بود، در مدل عددی نیز دبی‌های مذکور به عنوان شرایط مرزی ورودی و عمق‌های متناظر با آنها به عنوان شرایط مرزی خروجی جریان لحاظ گردیدند.

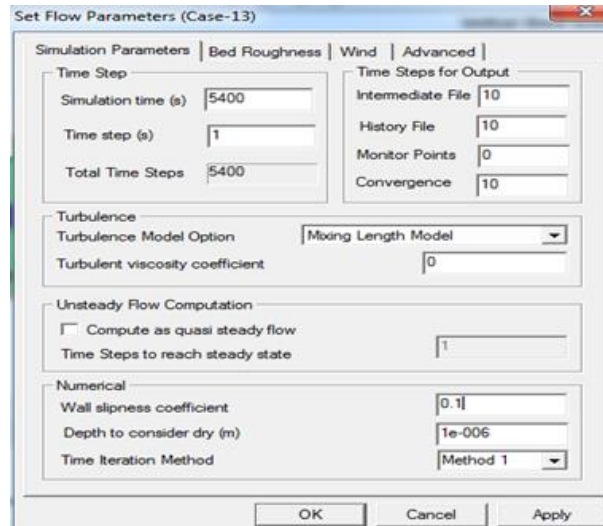
برای به دست آوردن ضریب زبری نیز، با توجه به این که d_{50} ، ۰/۰۰۱ متر می‌باشد، از روش سعی و خطا استفاده شد که نتیجه مشابه ضریب مانینگ به دست آمده از رابطه ساپرامانیا، رابطه (۳-۲۱)، برابر با ۰/۰۱۴۹ به دست آمد [۶۳].

$$n = 0.047d_{50}^{\frac{1}{6}} \quad (۳-۲۱)$$

همچنین در شبیه‌سازی از روش‌های وو و وانگ و فان راین برای محاسبه ضریب زبری استفاده شد.

۳-۴-۲-۳- تعریف پارامترهای شبیه‌سازی جریان

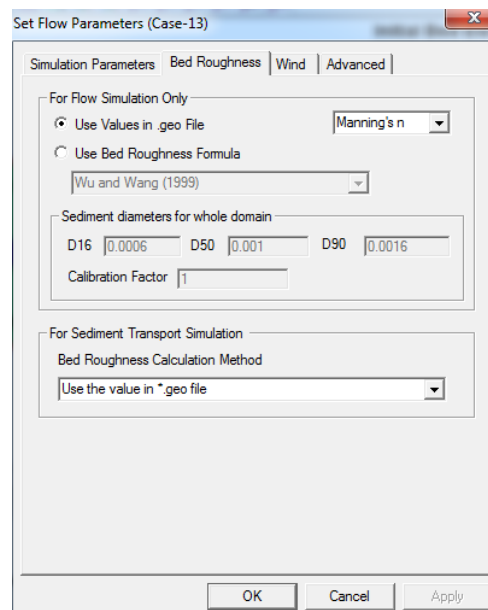
برای تنظیم پارامترهای شبیه‌سازی جریان، باید از گزینه Set Flow Parameters استفاده کرد. این گزینه شامل چهار قسمت Simulation Parameters، Bed Roughness، Wind، و Advanced می‌باشد. در قسمت Simulation Parameters، به منظور تطابق نتایج آزمایشگاهی و مدل عددی، زمان شبیه‌سازی ۵۴۰۰ ثانیه و گام زمانی نیز ۱ ثانیه منظور گردیده است. همچنین در این مطالعه از بین مدل‌های مختلف آشفتگی، مدل طول اختلاط که یکی از مدل‌های پرکاربرد در شبیه‌سازی تلاطم است [۶۲]، انتخاب گردید. شکل (۳-۱۰) جزئیات تعیین پارامترهای جریان را به طور کامل نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۰- تعیین پارامترهای شبیه‌سازی جریان

مطابق شکل (۳-۱۱)، در منوی *Bed Roughness*، برای جریان و رسوب در قسمت *Use Bed*

Roughness Formula، به دلیل یکنواخت بودن مصالح بستر از ضریب مانینگ استفاده گردید.

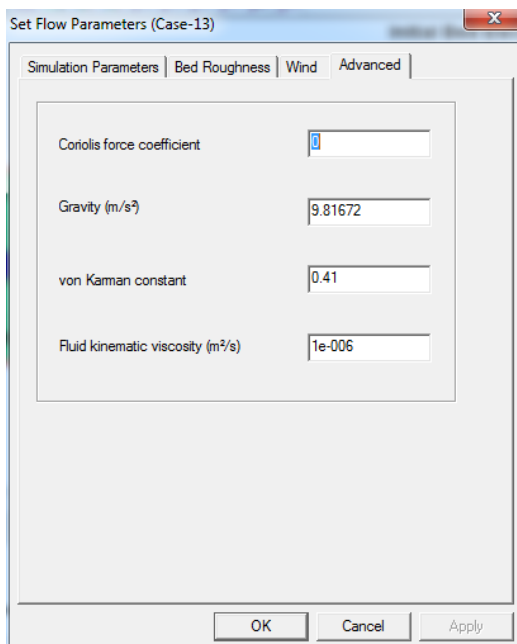


شکل ۳-۱۱- تعیین روش مورد استفاده برای تعیین ضریب زبری

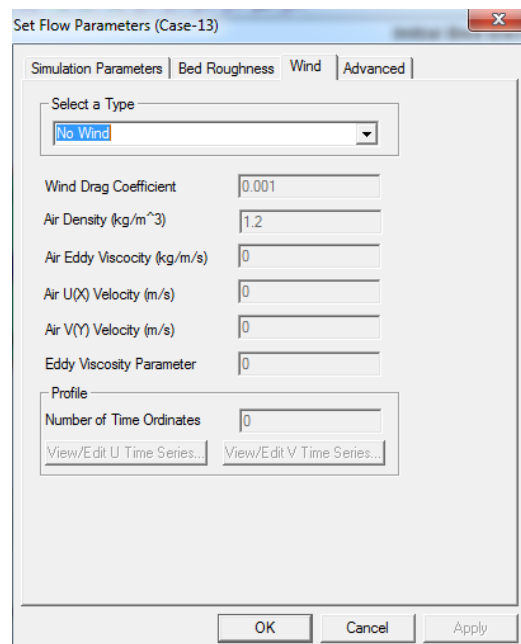
منوهای *Advanced* و *Wind* شامل مقادیر شتاب ثقل، ثابت فان کارمن، ویسکوزیته سینماتیک و

پارامترهای مربوط به وزش باد بوده و دارای مقادیر پیش فرض می‌باشند که در اکثر موارد پاسخگوست.

شکل (۳-۱۲) حاوی تصاویر مربوط به این دو منو می باشد.



(ب)

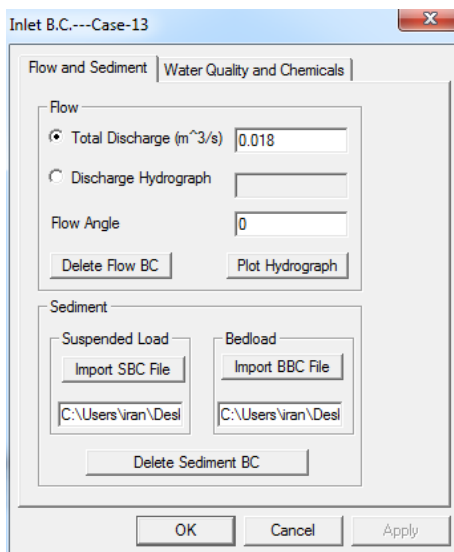


(الف)

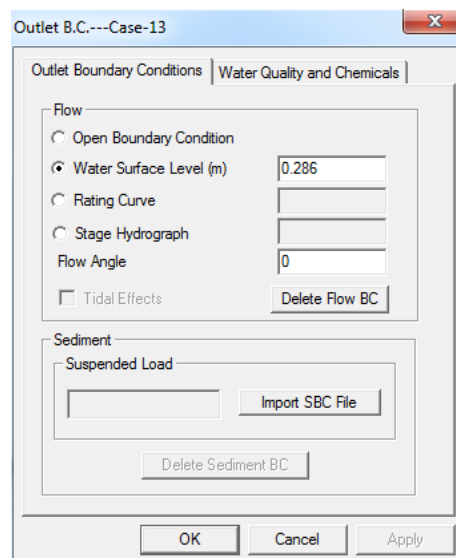
شکل ۳-۱۲ - الف - پارامترهای منوی Wind؛ ب - پارامترهای منوی Advanced

۳-۴-۲-۴ - تعیین شرایط مرزی

مرحله بعد شامل تعیین شرایط مرزی ورودی و خروجی می باشد که توسط گزینه Add Inlet/Outlet Boundary انجام می شود. در این مطالعه همان طور که قبلا ذکر شد، شرط مرزی ورودی، دبی های ثابت ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه و شرط مرزی خروجی، عمق های ثابت ۰/۰۳۶، ۰/۰۴۳، ۰/۰۴۷ و ۰/۰۵۱ متر در نظر گرفته شده است. شکل (۳-۱۳) منوهای مربوط به تعیین شرایط مرزی را نشان می دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۳- الف- پارامترهای شرط مرزی ورودی؛ ب، پارامترهای شرط مرزی خروجی

پس از انجام مراحل فوق می‌توان از گزینه Run Simulation در منوی Simulation، شبیه‌سازی

جریان را انجام داد.

۳-۴-۳- شبیه‌سازی رسوب

پس از شبیه‌سازی جریان و تعیین پارامترهای رسوب، شبیه‌سازی رسوب را نیز می‌توان انجام داد.

البته برای رسیدن به نتایج مطلوب، بایستی پارامترهای جریان و رسوب را با دقت بالایی تعیین و تنظیم نمود.

۳-۴-۳-۱- تنظیم پارامترهای رسوب

برای شبیه‌سازی حمل رسوب، می‌توان پارامترهای رسوب و شرایط مرزی و ابتدایی رسوب را اختصاصی کرد و برای هر ناحیه، شرایط خاصی را اعمال نمود.

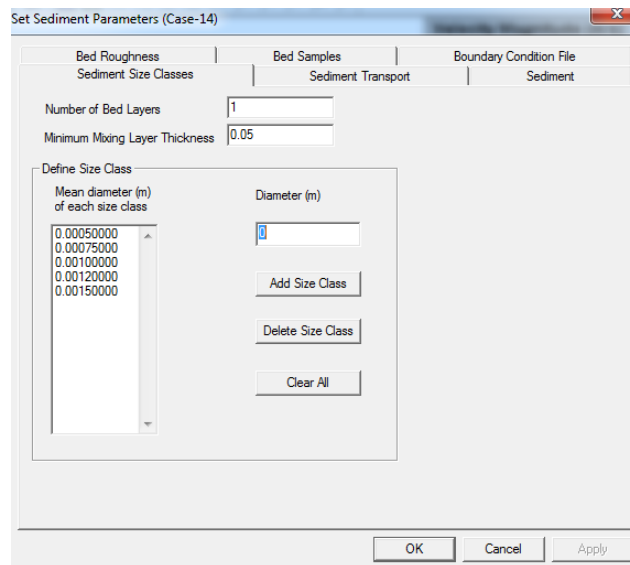
جهت تنظیم پارامترهای شبیه‌سازی جریان، باید از گزینه Set Sediment Parameters استفاده

کرد. این گزینه شامل شش قسمت Bed Roughness، Sediment Size Classes، Bed Sample.

Sediment Transport، Sediment Boundary Condition File و Sediment می‌باشد.

منوی Sediment Size Classes شامل موارد زیر می‌باشد:

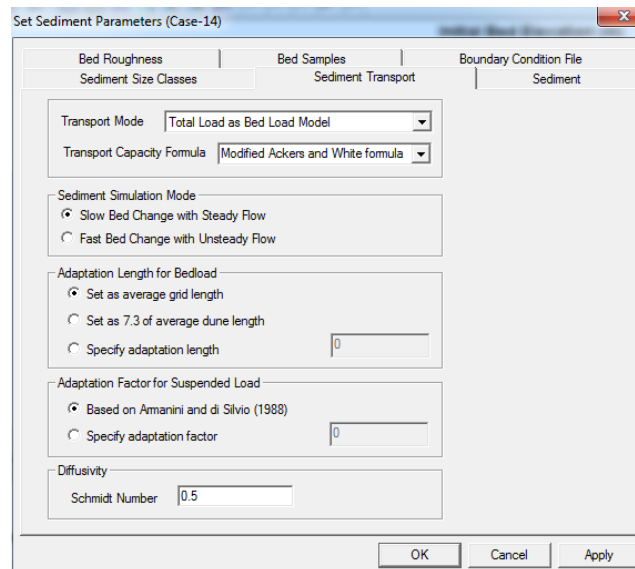
- تعداد لایه‌های بستر رودخانه: این ضریب برای تعریف اشکال بستر رودخانه در جهت عمودی استفاده می‌شود که در این تحقیق مقدار آن ۱ در نظر گرفته شده است.
- ضخامت حداقل لایه ترکیب (اختلاط): پارامتری عددی برای محدود کردن پردازش فرسایش بستر رودخانه است که در این مطالعه مقدار آن برابر پیش‌فرض، یعنی ۰/۰۵ انتخاب گردیده است.
- تعریف اندازه کلاس ذرات: در این گروه می‌توان دانه‌بندی بستر را مشخص کرد. در تحقیق حاضر، پنج کلاس برای اندازه ذرات بستر تعریف شده است که مقادیر آن در شکل (۳-۱۴) مشخص می‌باشد.



شکل ۳-۱۴- تعریف اندازه کلاس (رتبه) ذرات

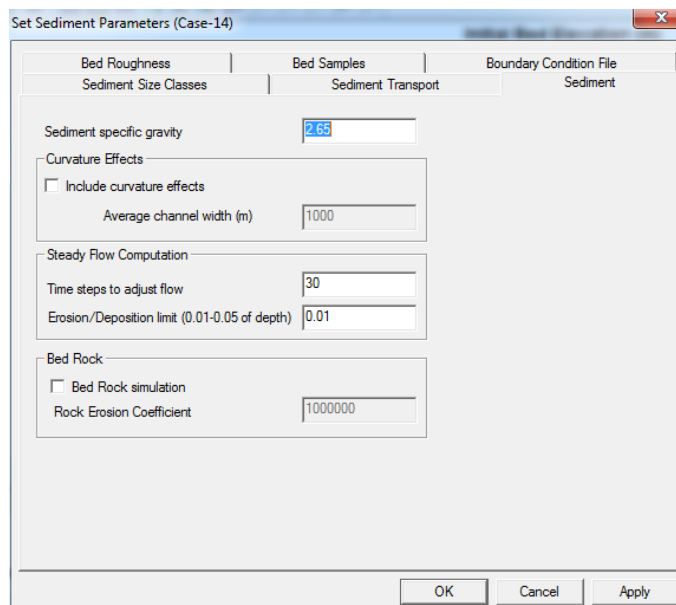
در صفحه انتقال رسوبات، در قسمت Transport Mode، به دلیل این‌که در مدل فیزیکی شرایط جریان زلال برقرار است و حرکت رسوبات فقط به صورت بار بستر صورت می‌گیرد، گزینه Total Load as Bed Load Model انتخاب شده است. در تحقیق حاضر هر چهار فرمول برای محاسبه بار بستر

استفاده شد و به دلیل شرایط جریان به صورت ماندگار، گزینه Slow Bed Change with Steady Flow انتخاب شده است. شکل (۳-۱۵) صفحه انتقال رسوبات را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۵- تنظیم پارامترهای صفحه انتقال رسوبات

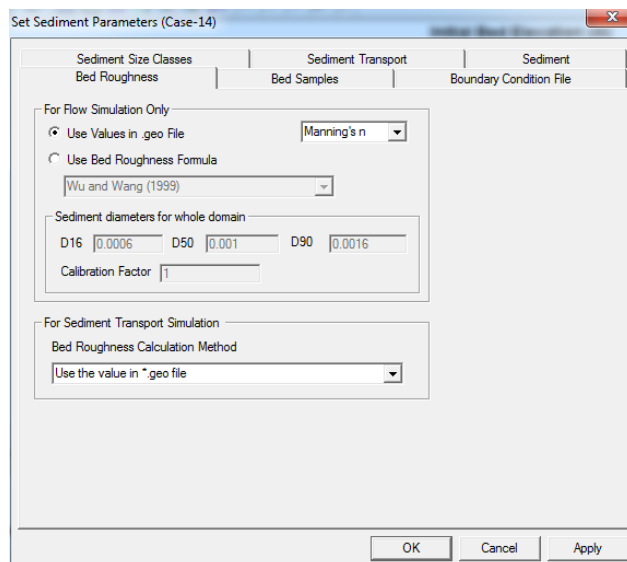
در صفحه رسوبات، چگالی ویژه ذرات همانند حالت پیش فرض $2/65$ در نظر گرفته شد. همچنین در این قسمت از نرم‌افزار، در صورت وجود قوس در مسیر جریان می‌توان اثرات جریان ثانویه را در فرایند شبیه‌سازی حمل رسوبات بروز داد. به این منظور می‌بایست عرض متوسط کانال را وارد کرد. شکل (۳-۱۶) صفحه مربوط به رسوبات را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۶- تنظیم پارامترهای صفحه رسوبات

مطابق شکل (۳-۱۷)، تنظیمات زبری بستر رودخانه در قسمت تنظیم پارامترهای رسوب، مشابه

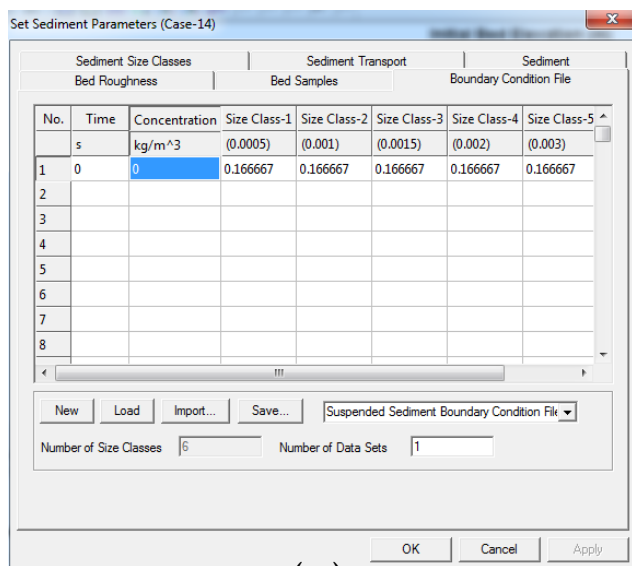
تنظیمات زبری بستر در قسمت تنظیمات جریان می‌باشد.



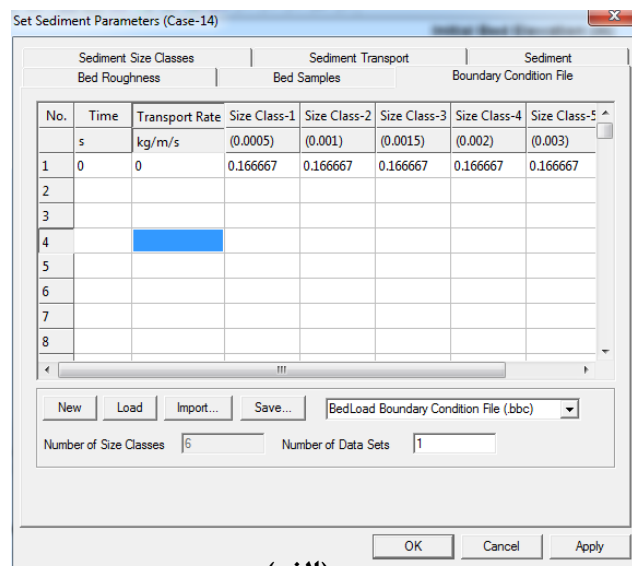
شکل ۳-۱۷- تنظیمات زبری بستر رودخانه

در تنظیم شرایط مرزی رسوب، می‌توان شرایط مرزی رسوب برای بار معلق و بار بستر را وارد کرد.

مطابق شکل (۳-۱۸)، به دلیل این که در ورودی دبی بار بستر و معلق صفر می باشد، در ستون B میزان دبی رسوب را صفر قرار داده شد. با فعال کردن گزینه Add Inlet/Outlet Boundary شرایط مرزی رسوب را وارد می کنیم. برای تعیین شرط مرزی خروجی رسوب تنها دبی بار معلق لازم می باشد که در این تحقیق دبی های ورودی و خروجی رسوب برابر صفر لحاظ گردیدند.



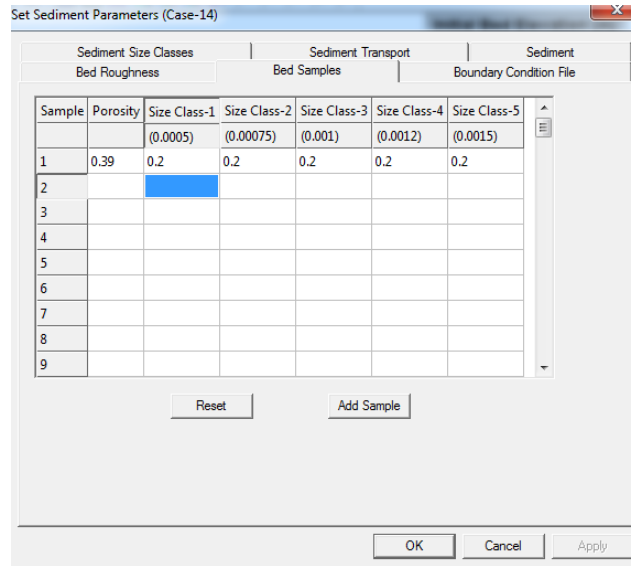
(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۸- الف- شرایط مرزی رسوب برای بار بستر؛ ب- شرایط مرزی رسوب برای بار معلق

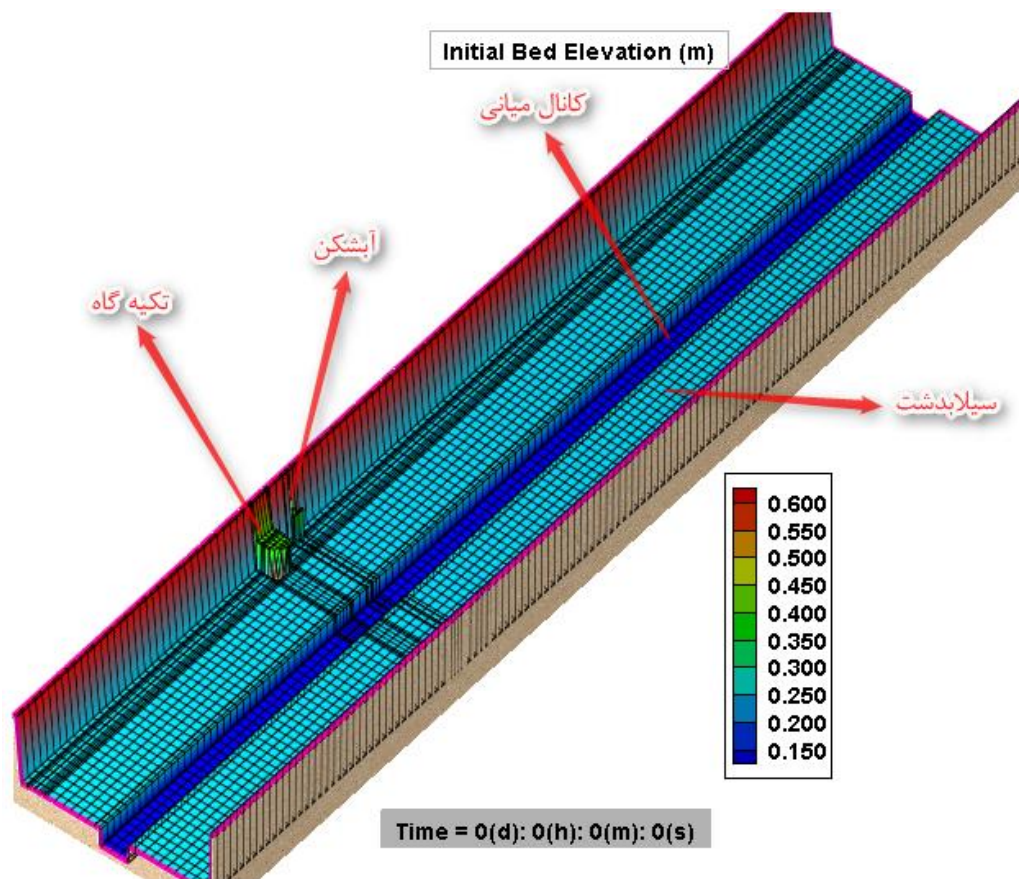
صفحه تنظیم نمونه مواد بستر شامل درصد هرکدام از اندازه های مشخص شده در دانه بندی مواد بستر و تخلخل مربوط به هر نمونه می باشد. با توجه به این که در این تحقیق از مصالح ریزدانه غیرچسبنده به قطر متوسط 0.001 متر برای بستر استفاده شده است، دامنه مقادیر تخلخل 0.31 الی 0.46 می باشد [۶۴]. شکل (۳-۱۹) درصدها و تخلخل لحاظ شده برای مواد بستر موجود در این تحقیق را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۹- تعیین الگوی دانه‌بندی بستر

پس از تعیین نمونه‌های مواد بستر و تعریف تعداد لایه‌های موجود، در قسمت‌های Layer Thickness و Layer Sample می‌توان با جزئیات بیشتر و دقت کافی، شرایط بستر را مانند مدل آزمایشگاهی تنظیم نمود.

در نهایت باید با فعال کردن هر یک از قسمت‌های Bed Erodibility، Maximum Deposition Thickness و Maximum Erosion Thickness به ترتیب مناطق غیرقابل فرسایش، حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری و حداکثر عمق فرسایش را مشخص نمود. شکل (۳-۲۰) نمایی سه‌بعدی از مدل ایجاد شده توسط نرم‌افزار CCHE2D را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۰- نمایی از فلوام ایجاد شده توسط مدل عددی

فصل چہارم

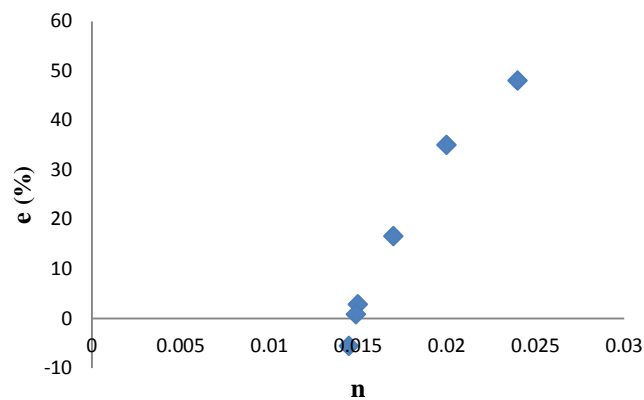
نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

این فصل شامل واسنجی بخش هیدرولیک مدل، بررسی الگوی جریان و رسوب در اطراف آبشکن، واسنجی بخش رسوب مدل، نتایج به دست آمده از حالت‌های مختلف آزمایش اعم از طول بال‌ها (L_b)، طول جان‌ها (L_j) و فواصل آبشکن از تکیه‌گاه (X) در دبی‌های مختلف برای مدل آزمایشگاهی و عددی و مقایسه نتایج شبیه‌سازی رسوب با استفاده از توابع مختلف انتقال رسوب می‌باشد.

۴-۲- واسنجی بخش هیدرولیک مدل

از آنجا که پارامترهای به دست آمده از هیدرودینامیک جریان مبنای محاسبات ریاضی می‌باشند، برای اجرای بخش رسوبی مدل، ابتدا لازم است تا از واسنجی بودن هیدرولیکی مدل اطمینان حاصل شود. در بخش مدل‌سازی هیدرودینامیک از جمله پارامترهایی که باید در مدل‌های ریاضی واسنجی شود، مدل آشفتگی و ضریب مقاومت بستر می‌باشد که این ضریب به صورت ضریب مانینگ یا شزی به مدل معرفی می‌شود. بدین منظور معمولاً از مدل‌های آشفتگی و ضرایب زبری مختلف در مقاطع عرضی استفاده می‌شود تا مشخصات جریان از قبیل دبی یا عمق به اندازه قابل قبولی با مقادیر اندازه‌گیری شده هم‌خوانی داشته باشد. در تحقیق حاضر، برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان ابتدا با استناد به مطالعات پیشین، از بین مدل‌های آشفتگی $k-\epsilon$ ، طول اختلاط و لزجت گردابی، از مدل آشفتگی طول اختلاط استفاده شد [۵۱ و ۶۲]. سپس با توجه به این‌که قطر متوسط رسوب (d_{50})، $0/001$ متر می‌باشد، مدل به ازای ضریب مانینگ $0/024$ طبق جدول پیشنهادی تورنر و چانسوری (۲۰۰۳) اجرا گردید [۶۳] و در ادامه با روش سعی و خطا مشاهده شد که نتایج حاصل از اجرای هیدرولیکی مدل با ضریب زبری مانینگ $0/0149$ که برابر با مقدار به دست آمده از رابطه سابرامانیا می‌باشد، با خطای $0/8$ درصد بهترین برازش را با داده‌های مشاهداتی دارد. در واسنجی مدل، عمق جریان اندازه‌گیری شده در مدل آزمایشگاهی به عنوان مقادیر مشاهداتی جهت مقایسه با مقادیر شبیه‌سازی استفاده شد. شکل (۴-۱) مقادیر خطا برای هر یک از ضرایب مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- درصد خطا برای ضرایب مانینگ مختلف

همچنین از روش‌های وو و وانگ و فان‌راین، روابط (۳-۱۴) و (۳-۱۵)، برای محاسبه ضریب زبری استفاده شد. با توجه به این‌که نتایج شبیه‌سازی با استفاده از ضریب مانینگ دارای شبیه‌ترین الگوی پروفیل عرضی با مدل فیزیکی بود و نیز حداکثر عمق آبستگي در این روش کمترین اختلاف را با مدل فیزیکی نسبت به روش‌های دیگر داشت، نتایج شبیه‌سازی با استفاده از آن لحاظ گردید.

جدول (۴-۱) مقادیر عمق شبیه‌سازی شده توسط مدل و خطای متناظر با ضرایب مانینگ مختلف را برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد. در مدل آزمایشگاهی عمق جریان برای دبی مذکور، ۰/۰۳۶ متر می‌باشد.

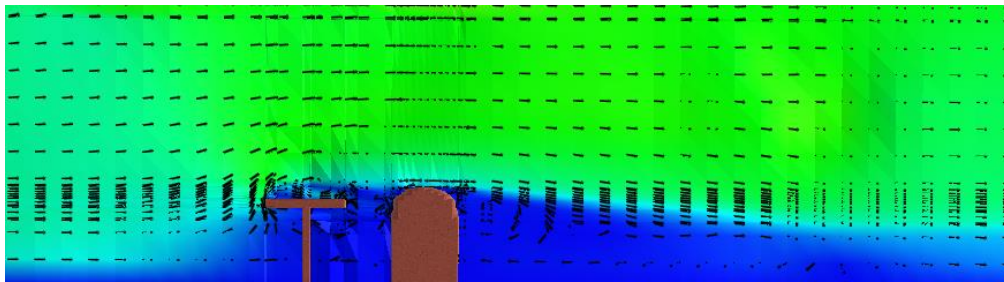
جدول ۴-۱- مقادیر عمق و خطای متناظر با ضرایب مانینگ مختلف برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه

خطا (e)	عمق	ضریب مانینگ (n)
(%)	(mm)	
۴۸	۵۳/۳	۰/۰۲۴
۳۵	۴۸/۶	۰/۰۲۰
۱۶/۶۶	۴۱/۹	۰/۰۱۷
۰/۸۳	۳۶/۳	۰/۰۱۵
۲/۷۷	۳۷/۲	۰/۰۱۴۹

۰/۰۱۴۵	۳۴/۱	-۵/۵۶
روش وو و وانگ	۳۹/۹	۱۱
روش فان راین	۴۲/۵	۱۸

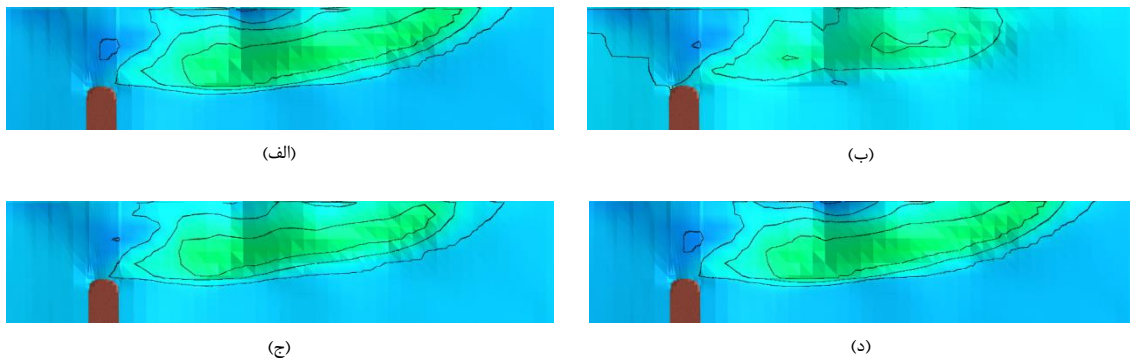
۳-۴- بررسی الگوی جریان و رسوب در اطراف آبشکن T شکل توسط مدل CCHE2D

نقش اصلی آبشکن‌های نفوذناپذیر، انحراف جریان از کناره به سمت میانه رودخانه است. شبیه‌سازی‌های هیدرولیک جریان، انحراف سیال در بالادست آبشکن و تکیه‌گاه (در اثر برخورد به مانع) به سمت میانه کانال را نشان می‌دهد. نتیجه انحراف جریان، توسعه یک ناحیه چرخشی با تلاطم شدید پیرامون آبشکن است. این ناحیه از فاصله کمتری در بالادست تا فاصله بیشتری در پایین‌دست آبشکن ظاهر می‌گردد. در این ناحیه، مجموعه‌ای از گردابه‌ها فعالیت داشته، که تلاطم شدیدی را در سطح آب پدید می‌آورد. فرآیند هیدرولیکی این جریان، توسعه ناحیه آبشستگی موضعی در پیرامون آبشکن، ته‌نشست رسوبات به صورت یک بار رسوبی طویل در پایین‌دست آن و کناره رودخانه و تغییر فرم بستر در بازه پایین‌دست رودخانه می‌باشد. درحالی‌که آبشستگی یک خطر موضعی و جدی برای پایداری، دوام و کارکرد سازه آبشکن محسوب می‌شود، پدیده رسوب‌گذاری در کناره پایین‌دست رودخانه موجب توسعه و تثبیت طبیعی دیواره رودخانه و تکیه‌گاه در راستای مورد نظر خواهد بود. شکل (۲-۴) که از نتایج مدل‌سازی عددی به دست آمده، بردارهای سرعت را نشان می‌دهد. الگویی که مشاهده می‌کنید نشان دهنده شکل صحیح مدل‌سازی جریان در اطراف سازه می‌باشد.

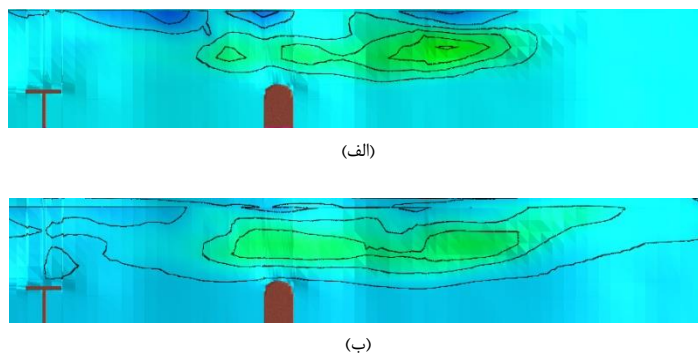


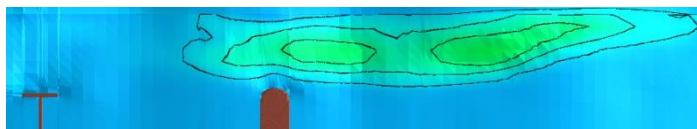
شکل ۲-۴- الگوی تغییرات جریان حول تکیه‌گاه و آبشکن T شکل

با افزایش دبی هر سه نوع آبشستگی، اعم از آبشستگی عمومی، آبشستگی ناشی از تنگ‌شدگی و آبشستگی موضعی بیشتر شده و بستر سیلاب‌دشت فرسایش بیشتری خواهد داشت. همچنین با افزایش دبی، طول ناحیه رسوب‌گذاری در پایین‌دست آبشکن افزایش می‌یابد. هرچه طول آبشکن و طول دماغه آن بیشتر می‌شود، آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه کمتر و در دماغه آبشکن بیشتر می‌شود. با کاهش فاصله آبشکن نسبت به تکیه‌گاه نیز، آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه کاهش می‌یابد. البته این کاهش فاصله مقدار بهینه دارد. در طراحی‌های مهندسی نیز، مقدار فاصله و ابعاد آبشکن باید در حدی انتخاب گردد که هم از لحاظ کاهش آبشستگی و هم از لحاظ اقتصادی اهداف طراحی برآورده شود. شکل‌های (۳-۴) الی (۴-۱۸)، تغییرات طول ناحیه رسوب‌گذاری در بستر را برای دبی‌ها، ابعاد و فواصل مختلف آبشکن نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای حالت بدون آبشکن (شاهد)



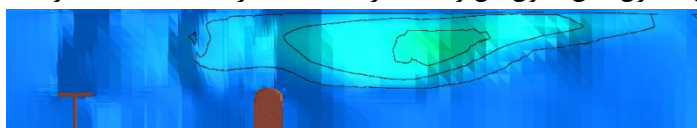


(ج)

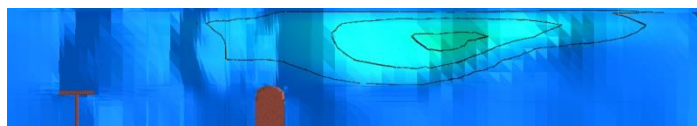


(د)

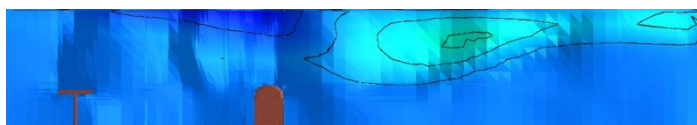
شکل ۴-۴- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۷۵ متر



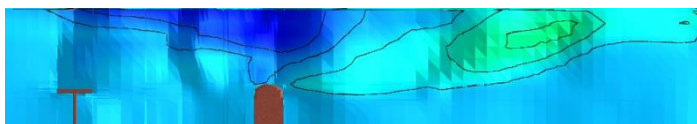
(الف)



(ب)

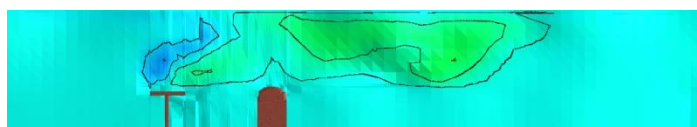


(ج)



(د)

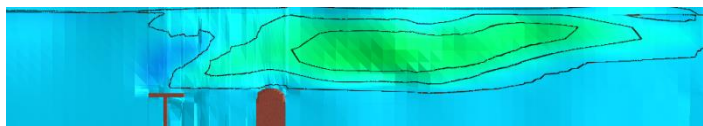
شکل ۴-۵- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۶۰ متر



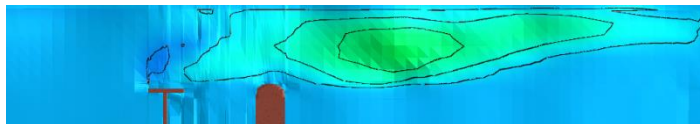
(الف)



(ب)



(ج)

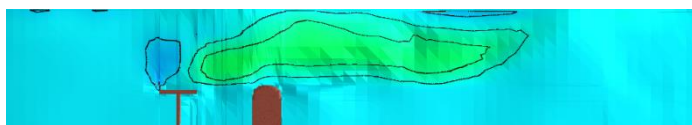


(د)

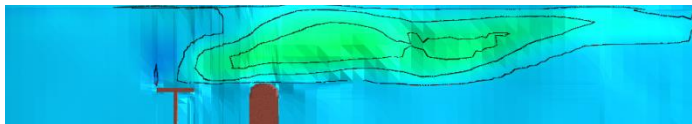
شکل ۴-۶- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۳۰ متر



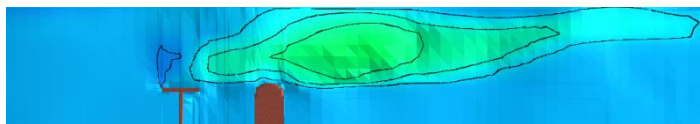
(الف)



(ب)

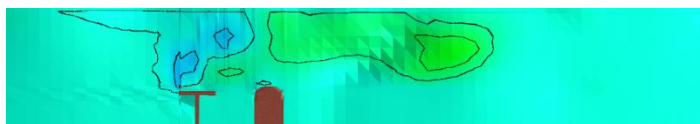


(ج)

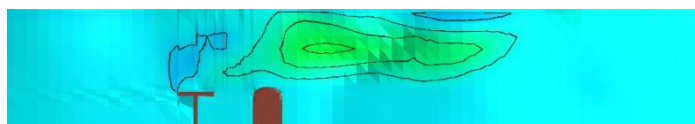


(د)

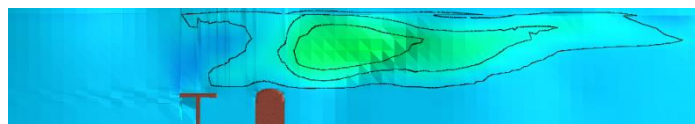
شکل ۴-۷- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۲۴ متر



(الف)



(ب)

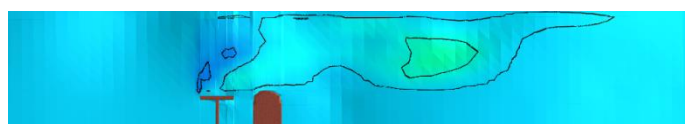


(ج)

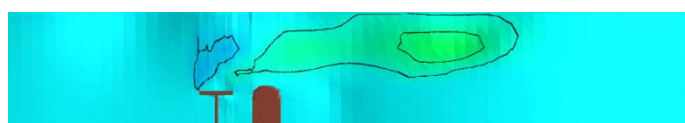


(د)

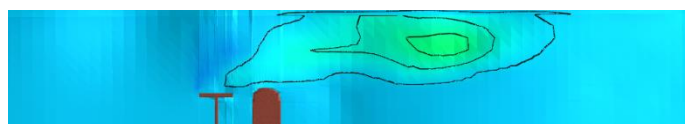
شکل ۴-۸- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۱۸ متر



(الف)



(ب)

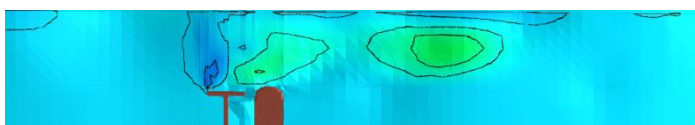


(ج)



(د)

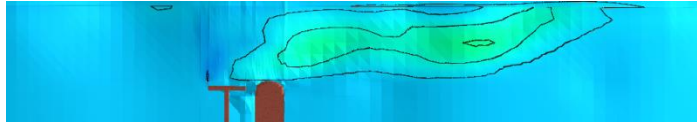
شکل ۴-۹- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه ۰/۱۲ متر



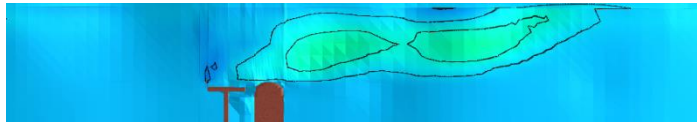
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

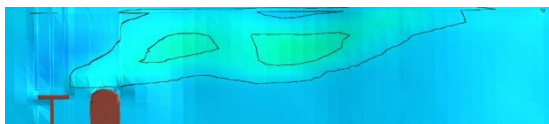
شکل ۴-۱۰- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۲ و ۰/۰۹ متر



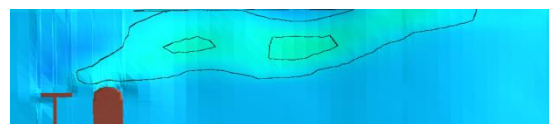
(الف)



(ب)

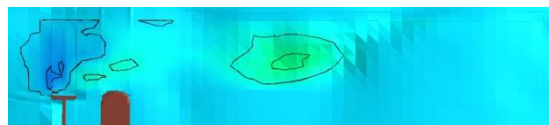


(ج)

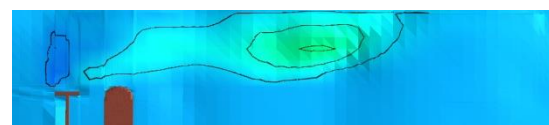


(د)

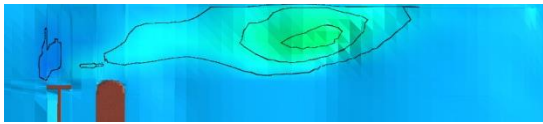
شکل ۴-۱۱- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۰۵ و ۰/۱۲ متر



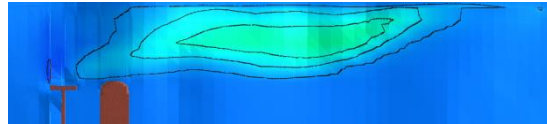
(الف)



(ب)



(ج)

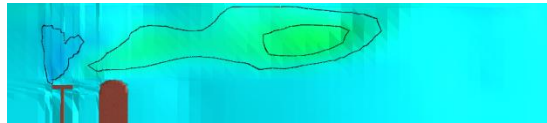


(د)

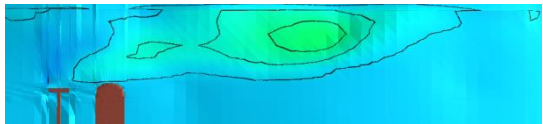
شکل ۴-۱۲- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه به برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۰۹ و ۰/۱۲ متر



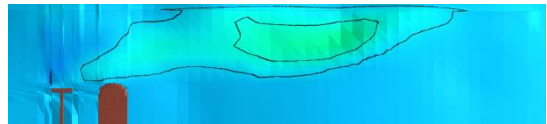
(الف)



(ب)



(ج)

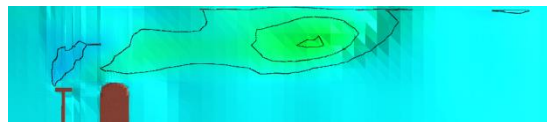


(د)

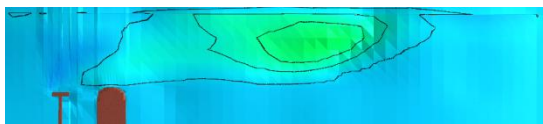
شکل ۴-۱۳- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه به برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۰۷۵ و ۰/۱۲ متر



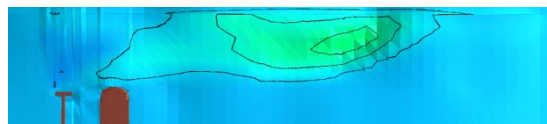
(الف)



(ب)

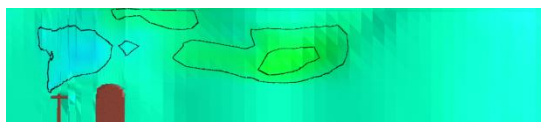


(ج)

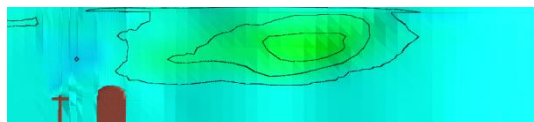


(د)

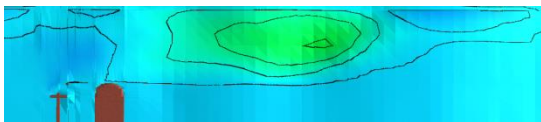
شکل ۴-۱۴- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه به برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۰۶ و ۰/۱۲ متر



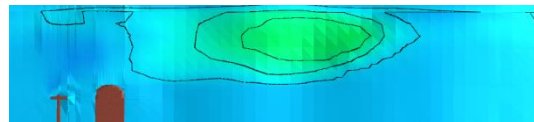
(الف)



(ب)

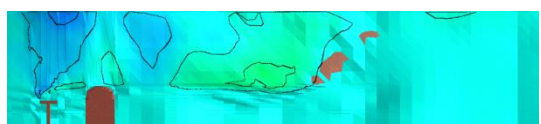


(ج)

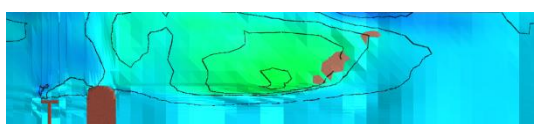


(د)

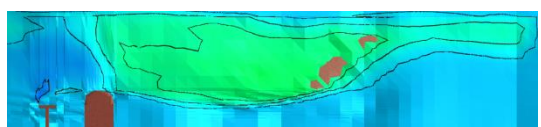
شکل ۴-۱۵- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۱۰۵، ۰/۰۶ و ۰/۱۲ متر



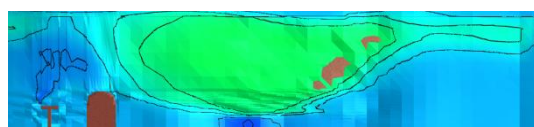
(الف)



(ب)

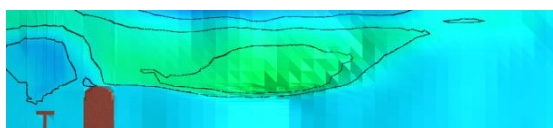


(ج)

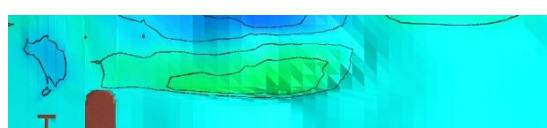


(د)

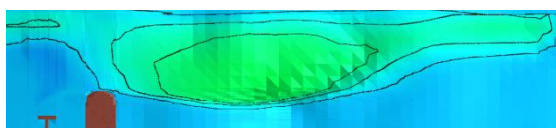
شکل ۴-۱۶- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۰۹، ۰/۰۶ و ۰/۱۲ متر



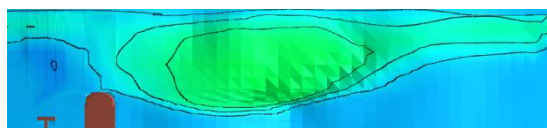
(الف)



(ب)

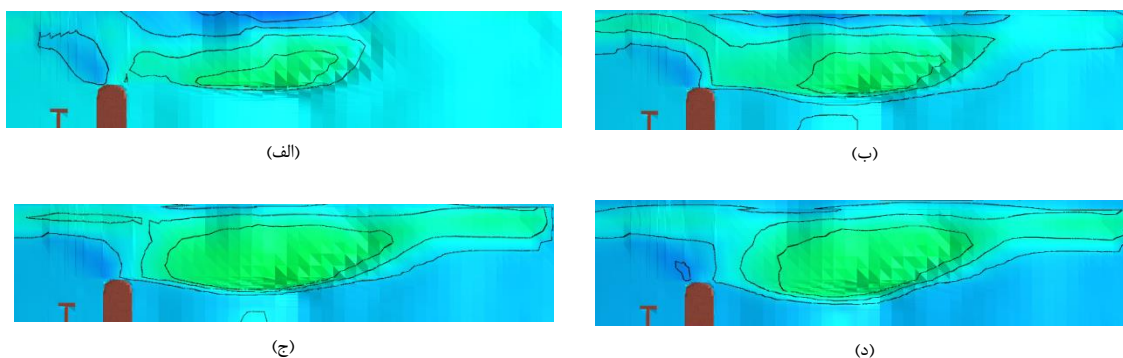


(ج)



(د)

شکل ۴-۱۷- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۰۷۵، ۰/۰۶ و ۰/۱۲ متر



شکل ۴-۱۸- تغییرات پروفیل بستر از شکل (الف) تا (د) به ترتیب به ازای دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول جان، طول بال و فاصله از تکیه‌گاه به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۶ و ۰/۱۲ متر

۴-۴- واسنجی بخش رسوب مدل

جهت کاربرد مدل رسوبی CCHE2D در تخمین عمق آبشستگی در اطراف سازه، ابتدا بایستی مدل مورد نظر برای شرایط مورد مطالعه واسنجی شود. یکی از موارد مهم در این مدل‌سازی تعیین مناسب‌ترین تابع انتقال رسوب می‌باشد. جهت این امر باید از داده‌های اندازه‌گیری شده عمق آبشستگی در اطراف سازه استفاده نمود تا بتوان نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها را با مقادیر به دست آمده از مدل مقایسه کرد. بدین منظور شبیه‌سازی‌ها برای هر چهار تابع انتقال رسوب انگلوند و هانسن، وو و همکاران، SEDTERA و ایکرز و وایت اجرا شد که میزان حداکثر عمق آبشستگی به دست آمده از هر یک از روش‌ها در ادامه آمده است.

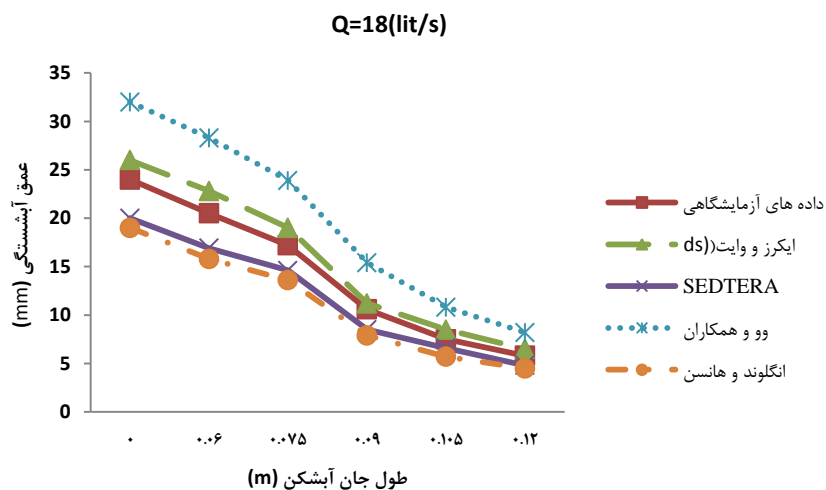
همچنین جهت ارزیابی عملکرد هر یک از روابط، از شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید. طبق تعریف، شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۵۵]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X_a)^2}{N}} \quad (1-4)$$

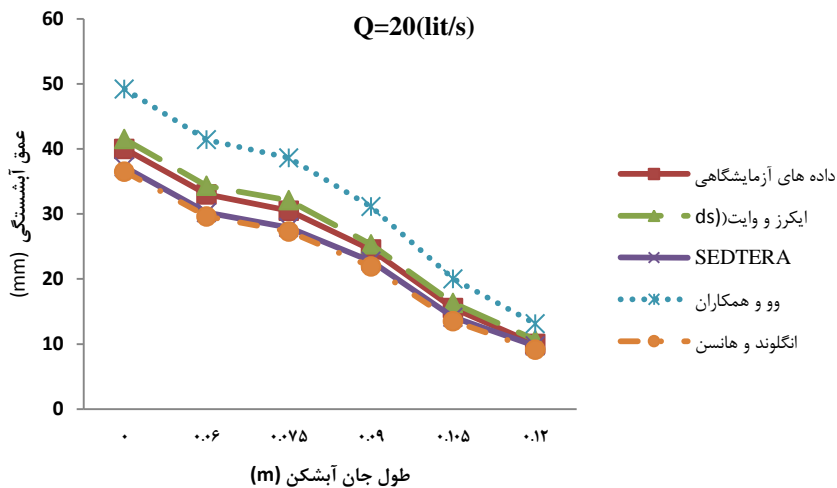
که در آن، X_i مقدار برآورد شده، X_a مقدار واقعی متغیر مورد نظر و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

۴-۴-۱- نتایج شبیه‌سازی رسوب در طول‌های مختلف آبشکن T شکل

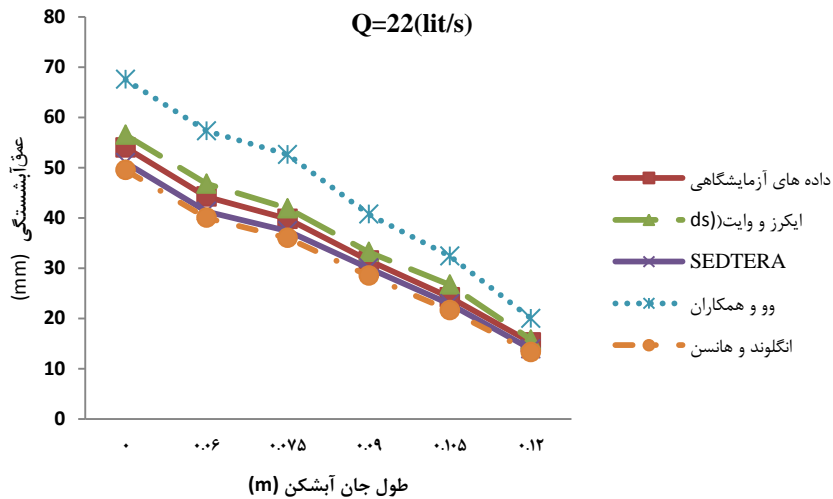
در شکل‌های (۴-۱۹) الی (۴-۲۲) مقادیر حداکثر عمق آبشستگی (d_s) بر حسب میلی‌متر در دماغه تکیه‌گاه برای مدل آزمایشگاهی و توابع مختلف انتقال رسوب مدل عددی به ازای طول جان‌های (L_j) مختلف ارائه شده است. در این بررسی‌ها طول بال آبشکن (L_b) و فاصله آبشکن از تکیه‌گاه (X) ثابت و به ترتیب برابر با ۰/۰۶ و ۰/۱۲ متر و دبی‌ها ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه می‌باشد.



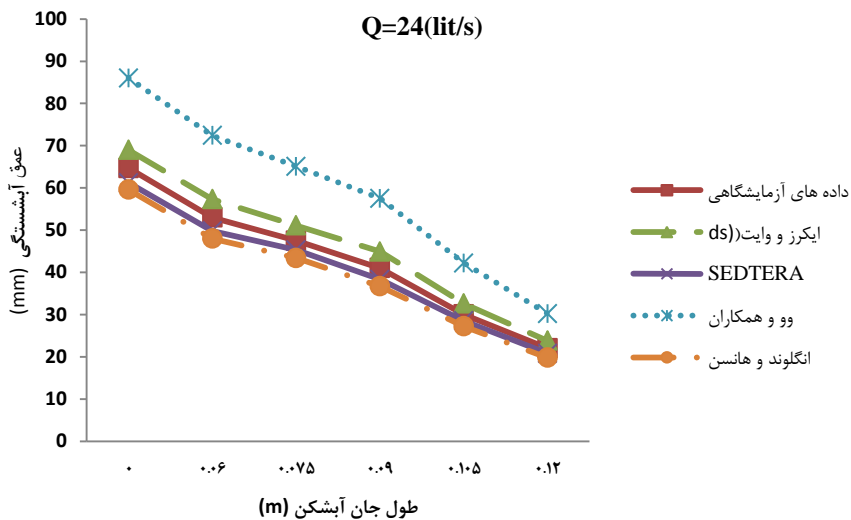
شکل ۴-۱۹- روند تغییرات عمق آبشستگی در طول جان‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه



شکل ۴-۲۰- روند تغییرات عمق آبشستگی در طول جان‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه



شکل ۴-۲۱- روند تغییرات عمق آبشستگی در طول جان‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه



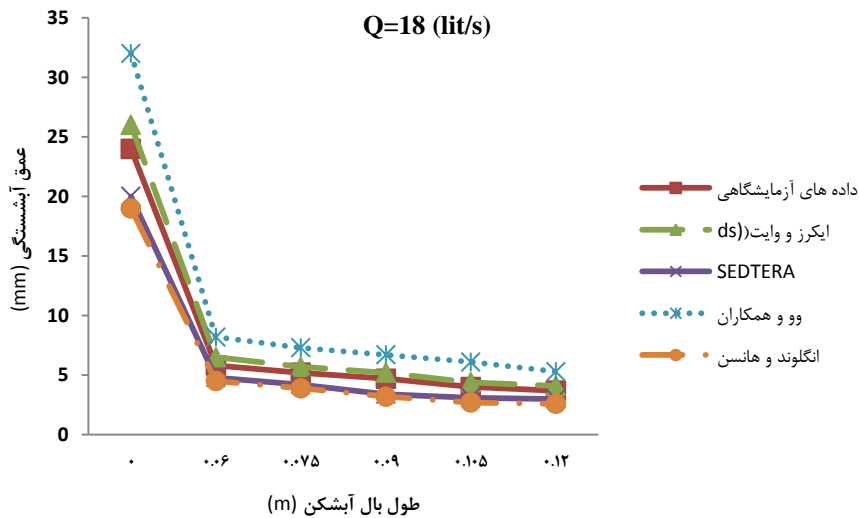
شکل ۴-۲۲- روند تغییرات عمق آبشستگی در طول جان‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه

بر اساس نمودارهای فوق، با افزایش دبی عمق آبشستگی افزایش و با افزایش طول جان آبشکن عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. همچنین شاخص RMSE مربوط به هر یک از روش‌های انگلوند و

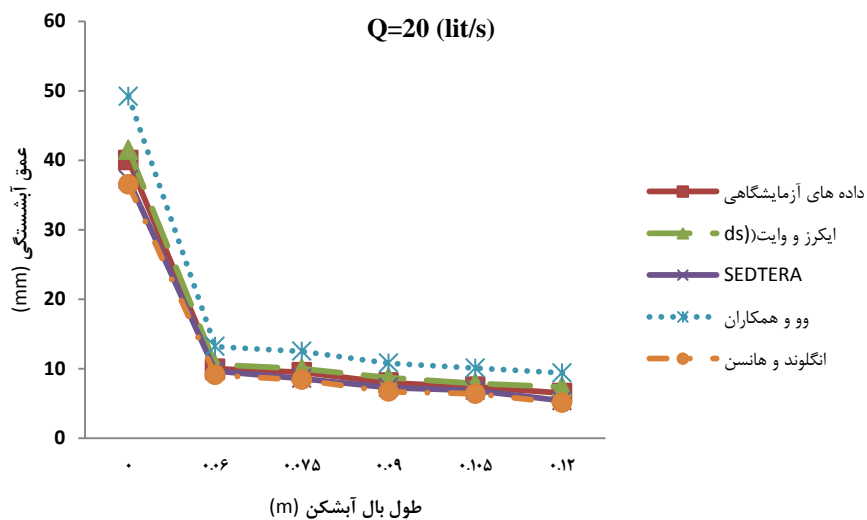
هانسن، وو و همکاران، SEDTERA و ایکرز و وایت برای دبی‌های مورد استفاده به ترتیب برابر با ۳/۴۷، ۱۰/۸۵، ۲/۳۹ و ۲/۲۸ میلی‌متر به دست آمد. شاخص مذکور و نمودارهای فوق نشان دهنده تخمین نزدیک‌تر تابع انتقال ایکرز و وایت و تخمین دورتر تابع انتقال وو و همکاران نسبت به سایر توابع می‌باشد.

۴-۴-۲- نتایج شبیه‌سازی رسوب در طول بال‌های مختلف آبشکن T شکل

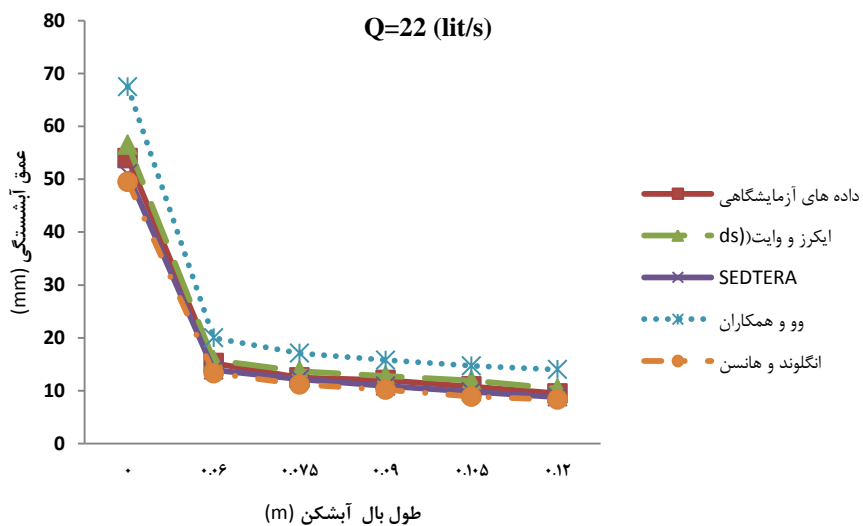
در شکل‌های (۴-۲۳) الی (۴-۲۶) مقادیر حداکثر عمق آبشستگی (d_s) بر حسب میلی‌متر در دماغه تکیه‌گاه برای مدل آزمایشگاهی و توابع مختلف انتقال رسوب مدل عددی به ازای طول بال‌های (L_B) مختلف ارائه شده است. در این بررسی‌ها طول جان آبشکن (L_j) و فاصله آبشکن از تکیه‌گاه (X) ثابت و برابر با ۰/۱۲ متر و دبی‌ها ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه می‌باشد.



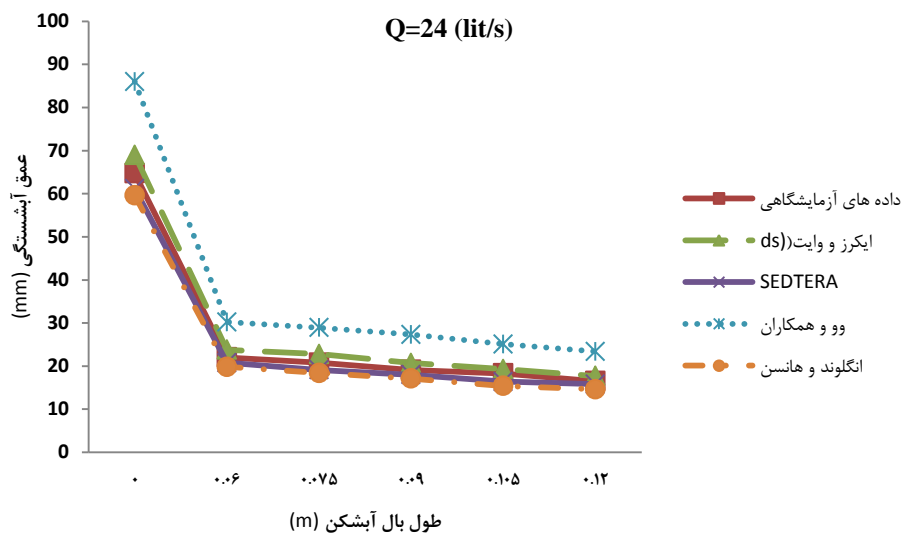
شکل ۴-۲۳- روند تغییرات عمق آبشستگی در طول بال‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه



شکل ۴-۲۴- روند تغییرات عمق آبخستگی در طول بال‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه



شکل ۴-۲۵- روند تغییرات عمق آبخستگی در طول بال‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه

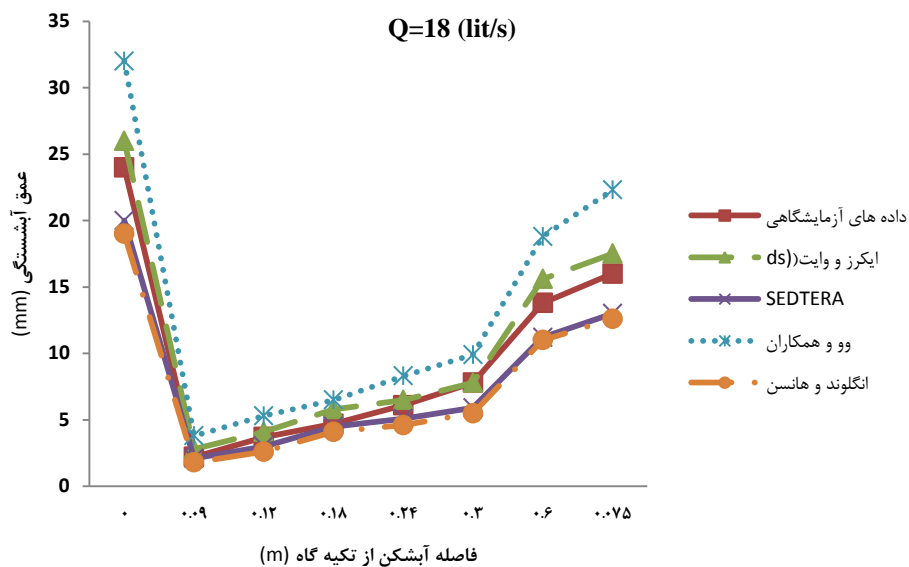


شکل ۴-۲۶- روند تغییرات عمق آبشستگی در طول بال‌های مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه

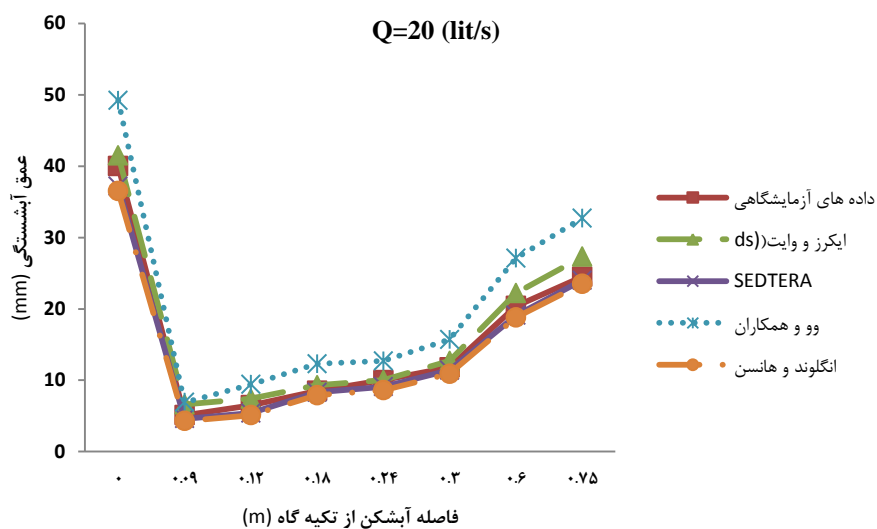
از نمودارهای فوق در می‌یابیم که با افزایش دبی، عمق آبشستگی افزایش و با افزایش طول بال آبشکن عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. شاخص RMSE مربوط به هر یک از روش‌های انگلوند و هانسن، وو و همکاران، SEDTERA و ایکرز و وایت به ترتیب برابر با ۲/۴۱، ۷/۱۸، ۱/۶۷ و ۱/۴۶ میلی‌متر می‌باشد. طبق مقادیر شاخص RMSE و بررسی نمودارهای فوق، تطابق نتایج به دست آمده از تابع انتقال ایکرز و وایت با مدل آزمایشگاهی نسبت به توابع دیگر بیشتر بوده و این تطابق برای تابع انتقال وو و همکاران نسبت به سایر توابع کمتر است.

۴-۴-۳- نتایج شبیه‌سازی رسوب در فواصل مختلف آبشکن T شکل از تکیه‌گاه

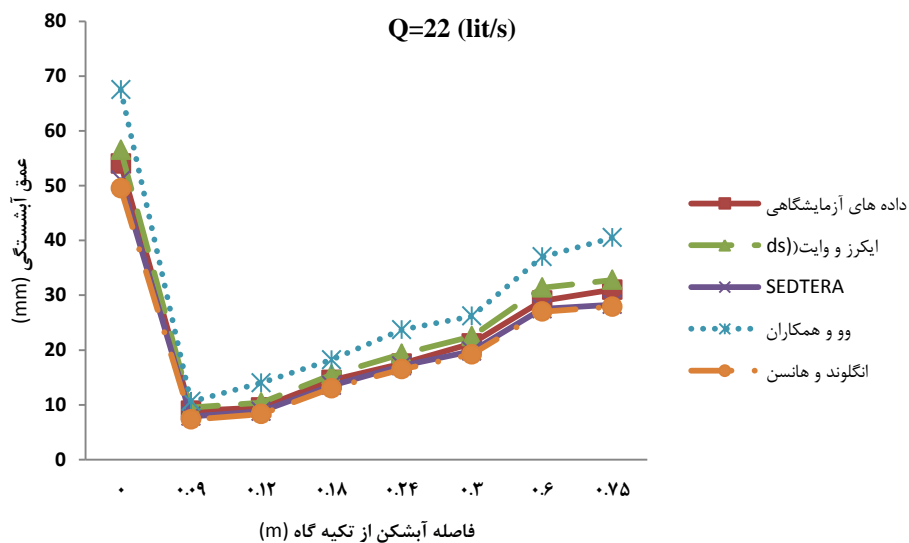
در شکل‌های (۴-۲۷) الی (۴-۳۰) مقادیر حداکثر عمق آبشستگی (d_s) بر حسب میلی‌متر در دماغه تکیه‌گاه برای مدل آزمایشگاهی و برای توابع مختلف انتقال رسوب مدل عددی به ازای فواصل مختلف آبشکن از تکیه‌گاه (X) ارائه شده است. در این بررسی‌ها طول بال (L_b) آبشکن و طول جان (L_j) آبشکن ثابت و برابر با ۰/۱۲ متر و دبی‌ها ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه می‌باشد.



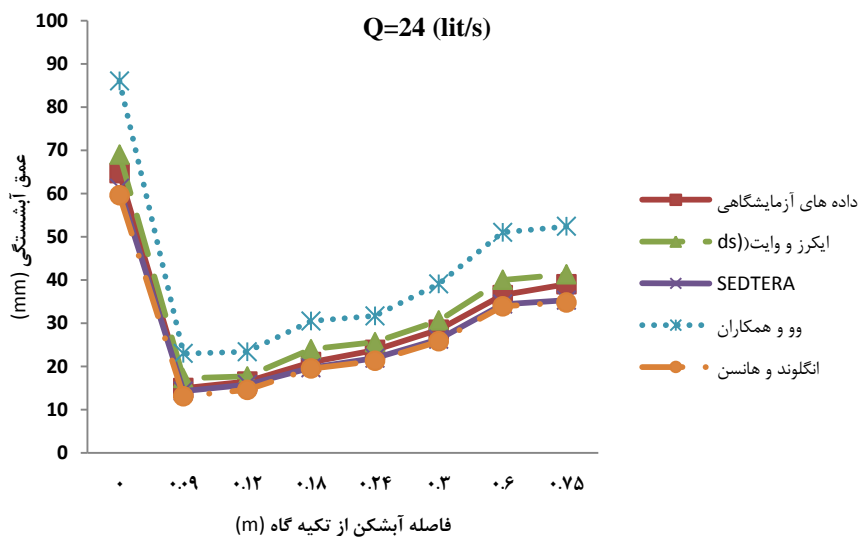
شکل ۴-۲۷- روند تغییرات عمق آبشستگی در فواصل مختلف به ازای هر یک از روش های انتقال رسوب برای دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه



شکل ۴-۲۸- روند تغییرات عمق آبشستگی در فواصل مختلف به ازای هر یک از روش های انتقال رسوب برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه



شکل ۴-۲۹- روند تغییرات عمق آبشستگی در فواصل مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه



شکل ۴-۳۰- روند تغییرات عمق آبشستگی در فواصل مختلف به ازای هر یک از روش‌های انتقال رسوب برای دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه

طبق نمودارهای فوق با افزایش دبی، عمق آبشستگی افزایش و با افزایش فاصله آبشکن از تکیه‌گاه نیز عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. شاخص RMSE مربوط به هر یک از روش‌های انگلوند و هانسن، و و همکاران، SEDTERA و ایکرز و وایت به ترتیب برابر با ۲/۴۶، ۸، ۱/۸۹ و ۱/۸۶ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس مقادیر شاخص RMSE و بررسی نمودارهای فوق، تطابق نتایج به دست آمده از تابع

انتقال ایکرز و وایت و SEDTERA با مدل آزمایشگاهی نسبت به توابع دیگر بیشتر بوده و این تطابق برای تابع انتقال وو و همکاران نسبت به سایر توابع کمتر است.

۴-۵- بحث در مورد نتایج

با توجه به نتایج فوق، در مجموع روش ایکرز و وایت در برآورد هر سه پارامتر مورد بررسی، بهترین تطابق را با مقادیر به دست آمده از مدل آزمایشگاهی داشته و مقادیر شاخص RMSE مربوط به روش SEDTERA را نیز اختلاف چندانی با روش ایکرز و وایت ندارد. با توجه به این که فرمول ایکرز و وایت برای بسترهای ماسه‌ای با دانه‌بندی یکنواخت پیشنهاد شده و این شرایط، تطابق نزدیکی با مدل فیزیکی دارد، نتایج به دست آمده دور از انتظار نیست. همچنین مدول SEDTERA برای بسترهای ماسه‌ای- شنی که مقدار ماسه بیشتر و دانه‌بندی تقریباً یکنواخت باشد، توصیه شده است که از شرایط مدل فیزیکی چندان دور نیست. مدل انگلوند و هانسن نیز برای بسترهای سیلتی- ماسه‌ای به صورت مواد بستر، پیشنهاد شده است. اما مدل وو و وانگ در دانه‌بندی‌های غیریکنواخت به صورت مواد بستر توصیه شده و برای شرایط مدل فیزیکی حاضر مناسب نیست [۶۶و۶۵].

۴-۶- بررسی اثر تغییرات طول آبشکن بر عمق آبشستگی تکیه‌گاه

پس از انجام شبیه‌سازی‌های جریان و رسوب در حالت‌های مختلف، عمق فرسایش تکیه‌گاه برای هر یک از حالت‌های اجرای مدل محاسبه شد. سپس درصد کاهش عمق آبشستگی به ازاء تغییرات طول جان آبشکن به دست آمد. در جدول (۴-۲) مقادیر درصد کاهش عمق آبشستگی تکیه‌گاه در اثر تغییرات طول جان آبشکن ارائه شده است. بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در اثر افزایش طول از ۰/۰۶ متر به ۰/۱۲ متر، در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه، برابر با ۷۱/۷۱ درصد و کمترین این مقدار مربوط به افزایش طول از ۰/۰۶ متر به ۰/۰۷۵ متر، در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه برابر ۷/۵۸ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۲- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر افزایش طول جان آبشکن

Article III. افزایش طول از ۰/۰۶ به ۰/۱۰۵ متر				Article II. افزایش طول از ۰/۰۶ به ۰/۰۹ متر				Article I. افزایش طول از ۰/۰۶ به ۰/۰۷۵ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۴۳/۴۰	۴۵/۲۵	۵۳/۰۳	۶۳/۴۱	۲۲/۶۴	۲۸/۷۳	۲۵/۷۶	۴۸/۲۹	۱۰/۳۸	۹/۹۵	۷/۵۸	۱۶/۱۰
Article VI. افزایش طول از ۰/۰۷۵ به ۰/۱۰۵ متر				Article V. افزایش طول از ۰/۰۷۵ به ۰/۰۹ متر				Article IV. افزایش طول از ۰/۰۶ به ۰/۱۲ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۳۶/۸۴	۳۹/۲۰	۴۹/۱۸	۵۶/۴۰	۱۳/۶۸	۲۰/۸۵	۱۹/۶۷	۳۸/۳۷	۵۸/۴۹	۶۵/۶۱	۶۹/۷۰	۷۱/۷۱
Article IX. افزایش طول از ۰/۰۹ به ۰/۱۲ متر				Article VIII. افزایش طول از ۰/۰۹ به ۰/۱۰۵ متر				Article VII. افزایش طول از ۰/۰۷۵ به ۰/۱۲ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۴۶/۳۴	۵۱/۷۵	۵۹/۱۸	۴۵/۲۸	۲۶/۸۳	۲۳/۱۷	۳۶/۷۳	۲۹/۲۵	۵۳/۶۸	۶۱/۸۱	۶۷/۲۱	۶۶/۲۸
Article XII.				Article XI. افزایش طول از ۰/۱۰۵ به ۰/۱۲ متر				Article X.			
				Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s				

در ادامه درصد کاهش عمق آبشستگی برای حالت‌های مختلف مدل آزمایشگاهی و عددی (ایکرز و وایت) نسبت به حالت شاهد در جدول (۳-۴) آمده است، که بیشترین این مقدار مربوط به طول جان ۰/۱۲ متر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و کمترین آن مربوط به طول جان ۰/۰۶ متر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه می‌باشد.

جدول ۳-۴- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر استفاده از آبشکن با طول جان مختلف نسبت به حالت شاهد (بدون آبشکن)

Article XIII.	Article XIV.	Article XV.	Article XVI.	Article XVII.	Article XVIII.	Article XIX.	Article XX.
اده های عددی (%)	اده های آزمایشگاهی (%)	ول جان (m)	بی (lit/s)	اده های عددی (%)	اده‌های آزمایشگاهی (%)	ول جان (m)	بی (lit/s)
۱۷/۳۱	۱۸/۱۵	۰/۰۶	۲۲	۱۲/۳۳	۱۴/۵۸	۰/۰۶	۱۸
۲۵/۸۵	۲۶/۳۰	۰/۰۷۵	۲۲	۲۶/۷۴	۲۸/۳۳	۰/۰۷۵	۱۸
۴۱/۳۲	۴۱/۶۷	۰/۰۹	۲۲	۵۳/۹۵	۵۵/۸۳	۰/۰۹	۱۸
۵۲/۷۶	۵۵/۱۹	۰/۱۰۵	۲۲	۶۷/۳۲	۶۸/۷۵	۰/۱۰۵	۱۸
۷۰/۰۵	۷۱/۸۵	۰/۱۲	۲۲	۷۵/۱۰	۷۵/۸۳	۰/۱۲	۱۸
۱۶/۹۴	۱۸/۰۸	۰/۰۶	۲۴	۱۷/۳۲	۱۷/۵۰	۰/۰۶	۲۰
۲۵/۸۹	۲۶/۵۸	۰/۰۷۵	۲۴	۲۲/۶۱	۲۳/۷۵	۰/۰۷۵	۲۰
۳۴/۸۷	۳۶/۶۴	۰/۰۹	۲۴	۳۹/۰۰	۳۸/۷۵	۰/۰۹	۲۰

۵۲/۷۶	۵۳/۶۱	۰/۱۰۵	۲۴	۶۰/۷۰	۶۱/۲۲	۰/۱۰۵	۲۰
۶۴/۷۳	۶۶/۰۴	۰/۱۲	۲۴	۷۳/۹۳	۷۵/۰۹	۰/۱۲	۲۰

۴-۷- بررسی میزان کاهش عمق آبشستگی تکیه‌گاه در اثر افزایش طول بال آبشکن

در جدول (۴-۴) مقادیر درصد کاهش عمق آبشستگی تکیه‌گاه در اثر تغییر طول بال آبشکن ارائه شده است. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود با افزایش طول بال آبشکن، از شدت جریان‌های درهم در اطراف تکیه‌گاه کاسته شده و عمق آبشستگی نیز کاهش می‌یابد. بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در اثر افزایش طول بال آبشکن از ۰/۰۶ متر به ۰/۱۲ متر، در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه، برابر با ۳۷/۵ درصد و کمترین این مقدار مربوط به افزایش طول بال آبشکن از ۰/۰۷۵ متر به ۰/۰۹ متر، در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه، برابر با ۴ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۴- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر افزایش طول آبشکن T شکل

افزایش طول از ۰/۰۶ به ۰/۰۷۵ متر				افزایش طول از ۰/۰۶ به ۰/۰۹ متر				افزایش طول از ۰/۰۶ به ۰/۱۰۵ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۱۰/۳۴	۵	۱۷/۷۶	۵/۴۵	۱۸/۹۷	۲۰	۲۱/۰۶	۱۳/۱۸	۱۶/۸۲	۲۸/۹۵	۲۶	۳۱/۰۳
افزایش طول از ۰/۰۶ به ۰/۱۲ متر				افزایش طول از ۰/۰۷۵ به ۰/۰۹ متر				افزایش طول از ۰/۰۷۵ به ۰/۱۰۵ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۳۶/۲۱	۳۵	۳۷/۵	۲۵	۹/۶۱	۱۵/۷۹	۴	۸/۱۷	۱۲/۰۲	۱۳/۶	۲۲/۱۱	۲۳/۰۸
افزایش طول از ۰/۰۷۵ به ۰/۱۲ متر				افزایش طول از ۰/۰۹ به ۰/۱۰۵ متر				افزایش طول از ۰/۰۹ به ۰/۱۲ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۲۸/۸۵	۳۱/۵۸	۲۴	۲۰/۶۷	۱۴/۸۹	۷/۵	۱۰	۴/۱۹	۱۳/۶۱	۲۰/۸۳	۱۸/۷۵	۲۱/۲۸
								افزایش طول از ۰/۱۰۵ به ۰/۱۲ متر			

Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
								۹/۸۴	۱۲/۰۴	۱۲/۱۶	۷/۵

در ادامه درصد کاهش عمق آبستگي برای حالت‌های مختلف مدل آزمایشگاهی و عددی (روش ایگز و وایت) در جدول (۴-۵) آمده است، که بیشترین این مقدار مربوط به طول بال ۰/۱۲ متر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و کمترین آن مربوط به طول بال ۰/۰۶ متر در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد.

جدول ۴-۵- درصد کاهش عمق آبستگي در اطراف تکیه‌گاه در اثر افزایش طول بال آبشکن T شکل نسبت به حالت شاهد (بدون آبشکن)

داده های عددی (%)	داده های آزمایشگاهی (%)	طول بال (m)	دبی (lit/s)	داده های عددی (%)	داده های آزمایشگاهی (%)	طول بال (m)	دبی (lit/s)
۷۲	۷۱/۵۸	۰/۰۶	۲۲	۷۵	۷۵/۸۳	۰/۰۶	۱۸
۷۵/۷	۷۶/۸۵	۰/۰۷۵	۲۲	۷۸/۱۳	۷۸/۳۳	۰/۰۷۵	۱۸
۷۷/۳	۷۷/۷۸	۰/۰۹	۲۲	۸۰	۸۰/۴۲	۰/۰۹	۱۸
۷۸/۹۸	۸۰	۰/۰۱۰۵	۲۲	۸۲/۹۵	۸۳/۳۳	۰/۰۱۰۵	۱۸
۸۲/۵	۸۲/۴۱	۰/۱۲	۲۲	۸۴/۱	۸۴/۵۸	۰/۱۲	۱۸
۶۵/۵	۶۶	۰/۰۶	۲۴	۷۴/۵	۷۵	۰/۰۶	۲۰
۶۷	۶۷/۸۵	۰/۰۷۵	۲۴	۷۵/۹۸	۷۶/۵۲	۰/۰۷۵	۲۰
۶۹/۹۷	۷۰/۴۸	۰/۰۹	۲۴	۷۹/۱	۸۰	۰/۰۹	۲۰

۷۲	۷۱/۷۲	۰/۰۱۰۵	۲۴	۸۱	۸۱/۵	۰/۰۱۰۵	۲۰
۷۵/۱۶	۷۴/۵	۰/۱۲	۲۴	۸۴/۰۹	۸۳/۷۵	۰/۱۲	۲۰

۴-۸- بررسی تأثیر تغییرات فاصله آبشکن بر عمق آبشستگی تکیه‌گاه

در جدول (۴-۶) مقادیر درصد کاهش عمق آبشستگی تکیه‌گاه در اثر تغییرات فاصله آبشکن ارائه شده است. بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در اثر کاهش فاصله آبشکن از ۰/۷۵ متر به ۰/۰۹ متر، در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه، برابر با ۸۶/۲۵ درصد و کمترین این مقدار مربوط به کاهش فاصله آبشکن از ۰/۱۲ متر به ۰/۰۹ متر، در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه برابر ۶/۳۲ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۶- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر کاهش فاصله آبشکن

کاهش فاصله از Article XXIII. ۰/۷۵ به ۰/۱۸ متر				کاهش فاصله از Article XXII. ۰/۷۵ به ۰/۱۲ متر				کاهش فاصله از Article XXI. ۰/۷۵ به ۰/۰۹ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۴۶/۱۵	۵۳/۲۳	۶۵/۳۱	۷۰/۶۳	۵۷/۶۹	۶۹/۳۵	۷۳/۴۷	۷۶/۸۸	۶۱/۵۴	۷۱/۲۹	۷۹/۱۸	۸۶/۲۵
کاهش فاصله از Article XXVI. ۰/۷۵ به ۰/۶۰ متر				کاهش فاصله از Article XXV. ۰/۷۵ به ۰/۳۰ متر				کاهش فاصله از Article XXIV. ۰/۷۵ به ۰/۲۴ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۶/۴۱	۶/۴۵	۱۶/۷۳	۱۳/۷۵	۲۶/۹۲	۳۱/۶۱	۵۱/۸۴	۵۱/۲۵	۳۸/۹۷	۴۳/۵۴	۵۹/۱۸	۶۱/۸۸
کاهش فاصله از Article XXIX. ۰/۶۰ به ۰/۱۸ متر				کاهش فاصله از Article XXVIII. ۰/۶۰ به ۰/۱۲ متر				کاهش فاصله از Article XXVII. ۰/۶۰ به ۰/۰۹ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۴۲/۴۷	۵۰/۰۰	۵۸/۳۳	۶۵/۹۴	۵۴/۷۹	۶۷/۲۴	۶۸/۱۴	۷۳/۱۹	۵۸/۹	۶۹/۳۱	۷۵/۰۰	۸۴/۰۶

Article XXXII. کاهش فاصله از ۰/۳۰ به ۰/۰۹ متر				Article XXXI. کاهش فاصله از ۰/۶۰ به ۰/۳۰ متر				Article XXX. کاهش فاصله از ۰/۶۰ به ۰/۲۴ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۴۷/۳۷	۵۸/۰۲	۵۶/۷۸	۷۱/۷۹	۲۱/۹۲	۲۶/۹۰	۴۲/۱۶	۴۳/۴۸	۳۴/۷۹	۳۹/۶۶	۵۰/۹۸	۵۵/۸
Article XXXV. کاهش فاصله از ۰/۳۰ به ۰/۲۴ متر				Article XXXIV. کاهش فاصله از ۰/۳۰ به ۰/۱۸ متر				Article XXXIII. کاهش فاصله از ۰/۳۰ به ۰/۱۲ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۱۶/۴۹	۱۷/۴۵	۱۵/۲۵	۲۱/۷۹	۲۶/۳۲	۳۱/۶۰	۲۷/۹۷	۳۹/۷۴	۴۲/۱۱	۵۵/۱۹	۴۴/۹۱	۵۲/۶۵
Article XXXVIII. کاهش فاصله از ۰/۲۴ به ۰/۱۸ متر				Article XXXVII. کاهش فاصله از ۰/۲۴ به ۰/۱۲ متر				Article XXXVI. کاهش فاصله از ۰/۲۴ به ۰/۰۹ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۱۱/۷۶	۱۷/۱۴	۱۵/۰۰	۲۲/۹۵	۳۰/۶۷	۴۵/۷۱	۳۵/۰۰	۳۹/۳۴	۳۶/۹۷	۴۹/۱۴	۴۹/۰۰	۶۳/۹۳
Article XLI. کاهش فاصله از ۰/۱۲ به ۰/۰۹ متر				Article XL. کاهش فاصله از ۰/۱۲ به ۰/۱۸ متر				Article XXXIX. کاهش فاصله از ۰/۱۸ به ۰/۰۹ متر			
Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s	Q=24 lit/s	Q=22 lit/s	Q=20 lit/s	Q=18 lit/s
۹/۰۹	۶/۳۲	۲۱/۵۴	۴۰/۵۰	۲۱/۴۳	۳۴/۴۸	۲۳/۵۳	۲۱/۲۸	۲۸/۵۷	۳۸/۶۲	۴۰/۰۰	۵۲/۱۹

در ادامه درصد کاهش عمق آبشستگی برای حالت‌های مختلف مدل آزمایشگاهی و عددی (روش

ایکرز و وایت) نسبت به حالت شاهد در جدول (۴-۷) آمده است، که بیشترین این مقدار مربوط به

فاصله ۰/۰۹ متر در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و کمترین آن مربوط به فاصله ۰/۷۵ متر در دبی ۱۸ لیتر بر

ثانیه می‌باشد.

جدول ۴-۷- درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه در اثر استفاده از آبشکن در فواصل مختلف نسبت به حالت

شاهد (بدون آبشکن)

Article XLII.	Article XLIII.	Article XLIV.	Article XLV.	Article XLVI.	Article XLVII.	Article XLVIII.	Article L.
اده های عددی (%)	اده های آزمایشگاهی (%)	اصله آبشکن از تکیه‌گاه (m)	بی Article XLV lit/s)	اده های عددی (%)	اده‌های آزمایشگاهی (%)	اصله آبشکن از تکیه‌گاه (m)	بی Article LI. lit/s)
۸۳/۱۵	۸۳/۵۰	۰/۰۹	۲۲	۸۹/۲۳	۹۰/۸۳	۰/۰۹	۱۸

۷۹/۰۰	۸۲/۴۰	۰/۱۲	۲۲	۸۴/۳۰	۸۴/۵۸	۰/۱۲	۱۸
۷۲/۵۶	۷۳/۱۵	۰/۱۸	۲۲	۷۷/۵۳	۸۰/۴۱	۰/۱۸	۱۸
۶۵/۹۱	۶۷/۶۲	۰/۲۴	۲۲	۷۵/۰۰	۷۴/۵۸	۰/۲۴	۱۸
۶۰/۱۸	۶۰/۷۶	۰/۳۰	۲۲	۷۰/۱۱	۶۷/۵۰	۰/۳۰	۱۸
۴۴/۳۴	۴۶/۳۳	۰/۶۰	۲۲	۴۰/۱۸	۴۲/۵۰	۰/۶۰	۱۸
۴۲/۰۰	۴۲/۶۲	۰/۷۵	۲۲	۳۲/۶۹	۳۳/۳۳	۰/۷۵	۱۸
۷۴/۹۱	۷۶/۸۱	۰/۰۹	۲۴	۸۴/۰۰	۸۷/۲۵	۰/۰۹	۲۰
۷۳/۵۲	۷۴/۴۹	۰/۱۲	۲۴	۸۰/۳۳	۸۳/۷۶	۰/۱۲	۲۰
۶۵/۲۸	۶۷/۵۴	۰/۱۸	۲۴	۷۷/۵۴	۷۸/۷۶	۰/۱۸	۲۰
۶۲/۸۷	۶۳/۲۲	۰/۲۴	۲۴	۷۵/۹۰	۷۵/۰۹	۰/۲۴	۲۰
۵۵/۶۷	۵۵/۹۵	۰/۳۰	۲۴	۶۹/۳۵	۷۰/۵۵	۰/۳۰	۲۰
۴۱/۹۸	۴۳/۶۰	۰/۶۰	۲۴	۴۶/۴۷	۴۹/۳۶	۰/۶۰	۲۰
۴۰/۲۱	۳۹/۷۲	۰/۷۵	۲۴	۳۴/۱۵	۳۸/۷۷	۰/۷۵	۲۰

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتایج

در این پایان‌نامه الگوی دو بعدی جریان و رسوب حول دماغه تکیه‌گاه و آبشکن T شکل و همچنین تأثیر ابعاد و فاصله این نوع آبشکن بر آبشستگی تکیه‌گاه با استفاده از نرم‌افزار CCHE2D شبیه‌سازی شد و نتایج آن با مدل فیزیکی مربوطه صحت‌سنجی شده است. شبیه‌سازی برای آبشکن در فواصل (X) ۰/۰۹، ۰/۱۲، ۰/۱۸، ۰/۲۴، ۰/۳۰، ۰/۶۰ و ۰/۷۰ متر از تکیه‌گاه، طول جان (L_j) ۰/۰۶، ۰/۰۷۵، ۰/۰۹، ۰/۱۰۵ و ۰/۱۲ متر و طول بال (L_b) ۰/۰۶، ۰/۰۷۵، ۰/۰۹، ۰/۱۰۵ و ۰/۱۲ متر در دبی‌های ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر در ثانیه انجام شده است. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها به صورت زیر می‌باشد:

- ۱- با توجه به واسنجی مدل، ضریب مانینگ $0/0149$ که برابر با مقدار به دست آمده از رابطه سابرامانیا می‌باشد به عنوان ضریب زبری مدل انتخاب گردیده است.
- ۲- مقایسه نتایج حاصله نشان می‌دهد که دقت تابع انتقال رسوب ایکرز و وایت نسبت به دیگر توابع انتقال رسوب در پیش‌بینی عمق آبستتگی در اطراف تکیه‌گاه پل، بیشتر بوده است. نتایج تابع انتقال رسوب SEDTERA نیز مطابقت مناسبی با نتایج به دست آمده از مدل فیزیکی دارد.
- ۳- با افزایش طول آبشکن، شدت جریان‌های درهم در محدوده آبشکن‌ها و به تبع آن، شدت فرسایش در محدوده آبشکن‌ها بیشتر می‌شود اما فرسایش حول تکیه‌گاه کاهش می‌یابد. بیشترین درصد کاهش عمق آبستتگی دماغه تکیه‌گاه در اثر افزایش طول جان آبشکن، مربوط به افزایش طول از $0/06$ متر به $0/12$ متر، در دبی 18 لیتر بر ثانیه و برابر با $71/71$ درصد می‌باشد.
- ۴- با افزایش طول بال آبشکن نیز، فرسایش در دماغه آبشکن افزایش و در دماغه تکیه‌گاه کاهش می‌یابد. بیشترین درصد کاهش عمق آبستتگی دماغه تکیه‌گاه در اثر افزایش طول بال آبشکن، مربوط به افزایش طول بال آبشکن از $0/06$ متر به $0/12$ متر، در دبی 22 لیتر بر ثانیه، برابر با $37/5$ درصد می‌باشد.
- ۵- با کاهش فاصله آبشکن از تکیه‌گاه، میزان تأثیرگذاری آبشکن بر فرسایش تکیه‌گاه افزایش یافته و به تبع آن، عمق آبستتگی در دماغه تکیه‌گاه کاهش می‌یابد. بیشترین درصد کاهش عمق آبستتگی دماغه تکیه‌گاه در اثر کاهش فاصله آبشکن از $0/75$ متر به $0/09$ متر، در دبی 18 لیتر بر ثانیه، برابر با $86/25$ درصد می‌باشد.
- ۶- افزایش دبی در مقایسه با افزایش دیگر پارامترها یعنی طول جان، بال آبشکن و موقعیت قرارگیری آبشکن از تکیه‌گاه، تأثیر بیشتری در میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در محدوده تکیه‌گاه دارد. بیشترین درصد افزایش عمق آبستتگی دماغه تکیه‌گاه، مربوط به افزایش دبی از 18 به 24 لیتر بر ثانیه (در حالت شاهد)، برابر با 170% می‌باشد.

۷- در مجموع، نرم‌افزار CCHE2D برای مقایسه میزان فرسایش و رسوب‌گذاری، سرعت و سطح آب و همچنین نمایش الگوی جریان و گردابه پایین‌دست آبشکن در شرایط حاکم بر تحقیق حاضر، مناسب می‌باشد.

۸- به دلیل پیچیده بودن الگوی جریان و رسوب حول سازه‌هایی مانند تکیه‌گاه‌ها و آبشکن، یک مدل ریاضی به تنهایی جوابگو نیست و بهتر است از یک مدل فیزیکی در کنار مدل ریاضی جهت تخمین مقدار و مکان فرسایش و رسوب‌گذاری استفاده شود.

۵-۲- پیشنهادات

با توجه به اهمیت مبحث آبشستگی تکیه‌گاه پل و تعیین ابعاد مناسب و بهینه آبشکن T شکل به عنوان سازه حفاظتی، نیاز به مطالعات بیشتر در این زمینه وجود دارد. ذکر این نکته ضروری است که به دلیل پیچیده بودن الگوی جریان حول سازه‌هایی مانند تکیه‌گاه و آبشکن، نتایج مدل عددی به تنهایی جوابگو نیست و بایستی با نتایج مدل فیزیکی مقایسه شود. با این حال به نظر می‌رسد که یک مدل سه‌بعدی بهتر می‌تواند الگوی جریان و رسوب را بررسی کند و پیشنهاد می‌شود که در موارد دیگر، از مدل سه‌بعدی استفاده شود. در زیر یک سری پیشنهادات برای آشنایی هرچه بیشتر با مبحث آبشستگی حول تکیه‌گاه‌ها و آبشکن ارائه شده است.

۱- بررسی تأثیر ابعاد آبشکن T شکل بر آبشستگی تکیه‌گاه با استفاده از مدل CCHE3D

۲- بررسی تأثیر زوایای مختلف آبشکن T شکل بر آبشستگی تکیه‌گاه پل با استفاده از مدل

CCHE3D و CCHE2D

۳- بررسی تأثیر سری آبشکن‌های T شکل بر آبشستگی تکیه‌گاه پل با استفاده از مدل

CCHE3D و CCHE2D

۴- بررسی تأثیر زوایای مختلف آبشکن T شکل بر آبشستگی سواحل رودخانه‌ای با استفاده از

مدل CCHE3D و CCHE2D

۵- بررسی تأثیر سری آبشکن‌های T شکل بر آبشستگی سواحل رودخانه‌ای با استفاده از مدل

CCHE3D و CCHE2D

۶- مقایسه نتایج مدل CCHE با مدل‌های ریاضی دیگر نظیر SSIIM و Fluent در زمینه تأثیر

آبشکن T شکل بر آبشستگی تکیه‌گاه پل

۷- مقایسه نتایج مدل CCHE با مدل‌های ریاضی دیگر نظیر SSIIM و Fluent در زمینه تأثیر

آبشکن T شکل بر آبشستگی سواحل رودخانه‌ای

۸- بررسی تأثیر ابعاد انواع دیگر آبشکن بر آبشستگی تکیه‌گاه با استفاده از مدل CCHE2D و

CCHE3D

۹- بررسی تأثیر ابعاد انواع دیگر آبشکن بر آبشستگی سواحل رودخانه‌ای با استفاده از مدل

CCHE3D و CCHE2D

فهرست منابع

۱- علیزاده و، صانعی م و اژدری مقدم م، (۱۳۹۱)، "مقایسه عملکرد صفحه مدفون در کنترل

آبشستگی موضعی تکیه‌گاه پل در شرایط هیدرولیکی مختلف"، نهمین سمینار بین‌المللی

مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز

2- Sturm T. W. (2004) "Enhanced abutment scour studies", s.l. : FHWA-RD-99-156.

۳- سازمان مدیریت برنامه و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۴)، "دستورالعمل مطالعات هیدرولیکی و

آبشستگی پل"، نشریه شماره ۳۰۲.

4- Melville B.W. (1992) "Local Scour at Bridge Abutments" J. of Hydraulic Engineering., 118: 4. 615-631.

- 5- Dey S., Chiew Y. and Kadam M.S. (2008) "Local Scour and riprap stability at on abutment in a degrading bed" J. of Hydraulic Engineering., ASCE., 073-9429,130:7(622).
- 6- Dey S. and Barbhuiya A. (2004) "Clear-water scour at abutments in thinly armored beds" J of Hydraulic Engineering., Am. Soc. Civ. Eng. 130: 622-634.
- 7- Ettema R., Yoon B., Nakato T. and Muste M. (2004) "A review of scour condition and scour-estimation difficulties for bridge abutment" J. of Civil Engineering., KSCE., 8(6): p. 643-650.
- ۸- علیزاده و، صانعی م و اژدری مقدم م، (۱۳۹۰)، "استفاده از باله مدفون برای کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل"، دهمین کنفرانس بین‌المللی هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان
- ۹- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۸۸)، "راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای"، نشریه شماره ۵۱۶.
- ۱۰- شفاهی بجستان م، (۱۳۸۸) "مبانی و کاربرد مدل‌های فیزیکی-هیدرولیکی"، جلد اول، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شهید چمران، صص ۲-۵.
- ۱۱- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۹۱)، "راهنمای کاربرد مدل‌های ریاضی و فیزیکی در مطالعات مهندسی و ساماندهی رودخانه"، نشریه شماره ۵۸۴.
- 12- Jia, Y.F. and Wang, Sam S.Y. (2001). "CCHE2D.Two-dimensional hydrodynamic and sediment transport model for unsteady open channel flow over loss bed", NCCHE-University of Mississippi.
- ۱۳- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۹۰)، "راهنمای روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی"، نشریه شماره ۵۴۹.
- 14- Breusers H. N. C. and Raudkivi A. J.(1991) "Scouring"، Hydraulic structures design manual, volume 2, Balkema, Rotterdam.
- 15- Kothyari U. C., Garde R. J. and Ranga raju K. G. (1992) "Temporal variation of scour around circular bridge piers" J. of Hydraulic Engineering، ASCE، Vol. 118، No. 8، pp. 1091-1106.

16- Mason P. J. (1993) "Practical guidelines for the design of flip buckets and plunge pools" Water Power and Dam Construction, September/October.

۱۷- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۸۷)، "مبانی طراحی سازه-های کنترل فرسایش در رودخانه‌ها"، نشریه شماره ۴۱۷.

۱۸- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۸۶)، "راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها"، نشریه شماره ۳۸۳.

19- Beckstead G. (1975) "Design considerations for stream groynes", Alberta Dept. of the Environment, Technical Services Division, Edmonton, Canada.

۲۰- یاسی م، (۱۳۶۷)، پایان‌نامه ارشد، "اصلاح مسیر و حفاظت دیواره‌های رودخانه‌های سیلابی با روش‌های طبیعی-ساختمانی"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

21- DHI, (1992) "Hydraulic manual of mike 11 mode", a microcomputer based modelling system for rivers and channels, Danish Hydraulic Institute (DHI), Denmark.

22- Yasi M. and Keller R. J. (1998) "Major uncertainties in the prediction of bed elevation behind a groyne", 12th International Conference on Computational Methods in Water Resources. Crete, Greece, June, 535-542

23- Richardson E.V. et al. (1975) "Highways in the river environment", "Hydraulic and environmental design considerations", Training and design manual, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C.

24- Maza Alvarez J.A. (1989) "Design of groynes and spur dikes", Proceedings of the National Conference on Hydraulic Engineering, New Orleans, Louisiana, August 14-18, 296-301

۲۵- بصیرت ش، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه ارشد، "بررسی آزمایشگاهی اثر و فاصله آبشکن محافظ در کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل واقع در سیلاب‌دشت"، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود.

26- Balachandar R. and Kells J. A. (1998) "Instantaneous water surface and bed scour profiles using video image analysis" J. of Civil Engineering, Vol. 25: 662-667. Canada.

۲۷- صانعی م، (۱۳۸۷)، "بررسی آزمایشگاهی تأثیر سرعت بحرانی و دانه‌بندی بر میزان آبشستگی"،

چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۲۸- حسینی ا، حبیبی م و صابری ا، (۱۳۸۱)، "ارزیابی فنی و اقتصادی آبشکن‌های احداث شده در

رودخانه زنجانرود، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی"، مرکز تحقیقات حفاظت آب و خاک کشور.

29- Sajedi Sabegh M., Hasani Kh., and Habibi M. (1995) "Investigation of Local Scouring by Changing Inclination", 4th International River Engineering Conference, Ahwaz (In Persian)

30- Uijtewaal Lehmann M. (2001). "Exchange processes between a river and its groyne fields: Model experiments" J. of Hydraulic Engineering, 127(11), 928-936.

31- Barbhuiya A. and Dey S. (2003) "Vortex flow field in a scour hole around abutments" J. of Sediment Research., 18(4), 310-325.

32- Ettema R. and Muste M. (2004) "Scale effects in flume experiments on flow around a spur dike in flat bed channel" J. of Hydraulic Engineering., 130(7), 635-646.

33- McCoy A. and Constantinescu G. and Webber L. (2005). "Coherent structures in a channel with groyne fields: A numerical investigation using LES." Proc. Impacts of Global Climate Change Proceedings of World Water and Environmental Resources Congress, Anchorage, Alaska, USA, 400-416.

34- Saneie M. (2006) "Experimental study on river closure effect on spur dike Scouring", 7th International River Engineering Conference, Ahwaz. Pp: 354-363. In Persian

35- Tominago A. and Jaehan J. (2008) "Flow structure and sediment transport around groins in compound open channels", Nagoya hydraulic research institute for river basin management department of civil Engineering, Nagoya university.

36- Hashemi N.F. (2008). "Experimental investigation of scouring around L-head Groynes under Clear Water Condition", M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, Iran.

37- Godsian M. and Vaghefi M. (2009) "Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T- shape spur dike in a 90° bend" J. of Sediment Research, 24(2), 145-158.

- ۳۸- نوروزی ح، (۱۳۸۲)، پایان‌نامه ارشد، "شبیه‌سازی عددی آبشستگی حول آبشکن با استفاده از مدل SSIM"، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۳۹- حسینی ا، (۱۳۸۵)، پایان‌نامه ارشد، "شبیه‌سازی عددی الگوی جریان حول آبشکن در قوس ۹۰ درجه"، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۴۰- فرهادیان اصفهانی ح و قدسیان م، (۱۳۸۷)، پایان‌نامه ارشد، "بررسی آبشستگی پیرامون آبشکن سرسپری"، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۴۱- دهقانی ا، برزعلی م، فضل‌اولی ر و تباراحمدی م، (۱۳۸۸)، "مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی موضعی در اطراف سری آبشکن‌های L شکل"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۳، صص ۱۴۱-۱۶۲.
- ۴۲- مسجدی ع، عطوفی ع و مرادی ا، (۱۳۸۸)، "بررسی اثر طول آبشکن بر عمق آبشستگی اطراف آن در موقعیت ۹۰ درجه در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه‌ها"، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. دانشگاه شیراز.
- ۴۳- موسوی ب، صانعی م و سلاجقه ع، (۱۳۸۹)، "بررسی آزمایشگاهی تاثیر زاویه آبشکن در کاهش فرسایش کناره‌ای رودخانه"، نهمین کنفرانس هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۴۴- عباس‌پور م، قدسیان م و واقفی م، پایان‌نامه ارشد، (۱۳۸۹)، "بررسی آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه در حالت مستغرق"، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۴۵- سعادت نیا م، خداشناس س و اسماعیلی ک، (۱۳۸۹)، "تحلیل آزمایشگاهی عملکرد آبشکن بر کاهش عمق و حجم آبشستگی اطراف دماغه پل"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد.

- ۴۶- نبی بخش س، دهقانی ا، ظهیری ع، موسوی ح و اسماعیلی ت، (۱۳۸۹)، "شبیه‌سازی عددی آبشستگی در اطراف آبشکن‌های سرکج"، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه تربیت مدرس تهران
- ۴۷- بصیرت ش، صانعی م و ساغروانی ف، (۱۳۹۱)، "بررسی آزمایشگاهی اثر فاصله، طول آبشکن، طول تکیه‌گاه و دبی بر مساحت گسترش تل و چاله آبشستگی" نهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ۴۸- موسوی نائینی ع، واقفی م و قدسیان م، (۱۳۹۱)، "بررسی آزمایشگاهی تأثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر صلب"، نشریه آب و فاضلاب، مهندسی عمران و محیط زیست، شماره ۱، صص ۱۵-۲۳.
- ۴۹- مرادپور م، فرسادی‌زاده د، حسین‌زاده دلیر ع و ارونقی ه، (۱۳۹۱)، "بررسی آزمایشگاهی آبشستگی در اطراف آبشکن‌های نیم‌دایره‌ای، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه"، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۵۰- شهرامی فر و و بغلانی ع، (۱۳۹۱)، "بررسی عددی و مقایسه الگوی جریان حول آبشکن‌های L شکل و T شکل در قوس ۹۰ درجه"، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه
- ۵۱- فقیه‌الاسلام جهرمی ع، پایان‌نامه ارشد، (۱۳۸۸)، "شبیه‌سازی عددی جریان و رسوب حول آبشکن در قوس ۱۸۰ درجه با نرم‌افزار CCHE2D"، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- 52- Zhang Y. (2005) "CCHE2D-GUI-Graphical user interface for the CCHE2D model" Technical Report: No.NCCHE-TR-2005-03, University of Mississippi.
- 53- Hasan Z., Ghani A. and Zakaria, (2007) "Application of 2-D Modelling for Muda River Using CCHE2D." 2nd International Conference on Managing Rivers in the 21st Century: Solutions Towards Sustainable River Basins, of Basic and Applied Sciences, 3(4): 3190-3205

۵۴- قزل سوفلوع و مغربی م، (۱۳۸۹)، "بررسی عددی تأثیر شکل آبشکن بر مقدار مهاجرت رودخانه، مطالعه موردی رودخانه اترک"، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب، دانشگاه صنعتی کرمانشاه

۵۵- عزیزیان ا، امیری تکلدانی ا و رستمی م، (۱۳۹۰)، "بررسی روند حرکت گودالهای برداشت مصالح رودخانه‌ای با استفاده از مدل دو بعدی CCHE2D (مطالعه موردی: رودخانه کردان کرج)"، دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان

۵۶- مغربی م، (۱۳۹۰)، "شبیه‌سازی الگوی جریان حول آبشکن T شکل در قوس تند"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

۵۷- کمان‌بدست ا و بهشتی ع، (۱۳۹۰)، "تحلیل عددی پارامترهای هیدرولیکی در رودخانه‌ها"، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق‌آبی، تهران

۵۸- موسوی جهرمی ح، شفاعی بجستان م و عبدالشاه‌نژاد ر، (۱۳۸۹)، "ارزیابی تأثیر لایروبی جزایر رودخانه کارون بر کاهش تراز سیل در بازه شهری اهواز با استفاده از مدل ریاضی CCHE2D"، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری، تهران

۵۹- فتحی م، هنربخش ا، داوودی‌ان ع، قربانی ب، رستمی م، سقائیان ح و صبا ع، (۱۳۹۰)، "مدل‌سازی الگوی جریان با در یک پیچان رود طبیعی"، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه صنعتی اصفهان

۶۰- مرشد بهبهانی م، شفاهی بجستان م و احدیان ج، (۱۳۹۱)، "بررسی الگوی جریان و پارامترهای هیدرولیکی آبشکن‌های احداثی رودخانه شطیپ در سیلاب ۲۵ ساله با استفاده از مدل ریاضی (CCHE2D) و مطالعه موردی محدوده چاه‌های فلمن شوشتر"، سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز

۶۱- رستمی م، حبیبی س و فرهمند ع، (۱۳۹۱)، "بررسی عددی الگوی جریان آب و رسوب در محل تلاقی رودخانه‌ها با استفاده از مدل CCHE2D"، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز

۶۲- میرپنجی س، ناصری م و موسوی جهرمی ح، (۱۳۹۱)، "بررسی تأثیر طول آبشکن بر آبشستگی کناره رودخانه با استفاده از مدل عددی و مقایسه با نتایج مدل آزمایشگاهی"، همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران

۶۳- وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا، (۱۳۹۰)، "راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها"، نشریه ۳۳۱ الف.

۶۴- دیوید بی، مک ورتز، دانیل کی و سونادا، (۱۳۸۴) "هیدرولوژی و هیدرولیک آبهای زیرزمینی" جلد اول، ترجمه محمد شریعتمدار طالقانی، چاپ اول، مرکز دانشگاهی، تهران، ص ۲۴.

65- Wu W. (2001) "CCHE2D Sediment Transport Model" Technical Report: No.NCCHE-TR-2001-3, University of Mississippi.

۶۶- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۹۱)، "راهنمای محاسبه بار رسوب معلق و بستر رودخانه"، نشریه شماره ۵۹۰.

Abstract

One of the main approaches to decrease local scour around bridge abutments is spur dike. Appropriate and optimum design of spur dike may modify hydraulic conditions, decrease scouring power and sediment transport capability of water flow and subsequently improve river banks and abutments protection.

In this research, influences of geometrical and hydraulic properties of T-shaped spur dike on scouring rate and flow pattern change around bridge abutments located in floodplain and also 2-D simulation of flow hydraulics and sedimentation by using CCHE2D numerical model are studied.

In first step, experiments in 18, 20, 22 and 24 (lit/sec) flow discharges without considering spur dike were performed and in next step an impermeable, solid, non-submerged, vertical and T-form in 9, 12, 18, 24, 30, 60 and 70 (cm) distances from abutment and with 6, 7.5, 9, 10.5 and 12 (cm) web length (L_j) and 6, 7.5, 9, 10.5 and 12 (cm) flange length (L_b) were performed in interested discharges. Then flow and sediment patterns around T-form spur dike have been simulated numerically by CCHE2D model and results have been compared with results of physical model.

Turbulence of mixing length model used to perform hydraulics of model. Also different roughness coefficients were introduced to model that by using trial and error method 0.0149 was selected as final value. Measured flow depth was used to compare results of model with measured data.

In addition, observations show that flow after striking spur dike deviates and eddy area with severe turbulence is produced around spur dike. Hydraulic process of this flow cause development of local scour area around spur dike, sedimentation as a long sediment load and changing bed form in downstream reach of spur dike that this process cause natural consolidation of abutments.

Engelund and Hansen (2000), Wu et al. (2000), SEDTERA (1995) and Ackers and White (1983) formulas of sediment transport were used to perform sediment part of model. RMSE value of model for estimating scour depth by interested formulas was equal to 2.78, 8.68, 1.98 and 1.87 (mm) respectively. The results indicate a better estimate of the transfer function Ackers and White (1983) and worse estimate the transfer function of Wu et al than other functions

In general, results obtained in this research show that CCHE2D model is suitable for estimating scour depth in bed cross section in the present study.

Keywords: T-shaped spur dike, bridge abutments, scour, numerical CCHE2D



Shahrood University of Technology

Faculty Agriculture

**Experimental modeling of the effect of T and L shapes spire dikes on
scour and flow field pattern around bridge abutment in floodplain
rivers by CCHE2D model**

Mohammad reza Rezai zaman

Supervisor(s):

Samad Emamgholizadeh

Khalil Azhdary

Co- Supervisor(s):

Babak Shahi nezhad

Mohammad Rostami

Date: Winter 1392