

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی

بررسی عددی عملکرد دیواره‌های طولی در حفاظت از سواحل آبراهه‌ها

نگارنده:

سید مجتبی رضوی مظفر مقدم

استاد راهنما:

دکتر امیرعباس عابدینی

مهر ماه ۱۴۰۰

شماره: ۵۷۰ / ع-۲
تاریخ: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳
ویرایش:

باسمه تعالی

فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی‌های ۹۴ به بعد



مدیریت تحصیلات تکمیلی

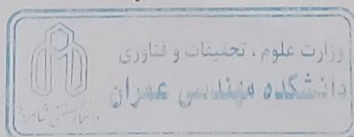
فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سید مجتبی رضوی مظفر مقدم با شماره دانشجویی ۹۷۰۸۱۶۴ رشته عمران گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی تحت عنوان بررسی عددی عملکرد دیواره‌های طولی در حفاظت از سواحل آبراهه‌ها که در تاریخ ۱۴۰۰/۰۷/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

☒ الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۸ ☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹ ☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد نوع تحقیق: ☒ نظری ☐ عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر امیرعباس عابدینی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-		
۳- استاد مشاور	-		
۴- استاد داور اول	دکتر رامین امینی	دانشیار	
۵- استاد داور دوم	دکتر احمد احمدی	دانشیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محسن کرامتی	استادیار	

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا طدیری



تقدیم به پدر و مادر مهربان و برادران عزیزم:

ای غم اگر مو شوی پیش منت بار نیست
پر شکرست این مقام هیچ تو را کار نیست

غصه در آن دل بود کز هوس او تهیست
غم همه آن جا رود کان بت عیار نیست

ای غم اگر زر شوی ور همه شکر شوی
بندم لب گویمت خواجه شکرخوار نیست

در دل اگر تنگیست تنگ شکرهای اوست
ور سفری در دلست جز بر دلدار نیست

ای که تو بی غم نه ای می کن دفع غمش
شاد شواز بوی یار کت نظر یار نیست

ماه ازل روی او بیت و غزل بوی او
بوی بود قسم آنک محرم دیدار نیست

شکر و قدردانی

شایسته است که مراتب ادب و قدرشناسی را به جای آورده و سپاسگزاری کنم از:

ذات مقدس حق که توفیق بودن در راه دانایی را روزی من گردانید،

جناب آقای دکتر عابدینی، استاد راهنمایم در علم و اخلاق که در تعلیم اینجانب دلسوزانه تلاش نمودند و از هیچ حمایتی دریغ نکردند،

اساتید محترم گروه مهندسی عمران گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی، همچنین جناب آقای دکتر احمد احمدی و جناب آقای دکتر رامین امینی که در طی مدت تحصیل از محضرشان استفاده نمودم و زحمت داوری این پایان‌نامه را نیز بر عهده گرفتند،

دوستان خوبم در گروه مهندسی عمران،

خانواده عزیزم که در انجام مراحل این پایان‌نامه و در تمام مراحل زندگی به بنده کمک کرده‌اند،

از خداوند متعال برای شما عزیزان و تمام جویندگان راه دانایی توفیق روزافزون و سلامتی را خواستارم.

سید مجتبی رضوی مظفر مقدم

مهر ماه ۱۴۰۰

تجدیدنامه

اینجانب سید مجتبی رضوی مظفر مقدم دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی عددی عملکرد دیواره‌های طولی در حفاظت از سواحل آبراهه‌ها تحت راهنمایی دکتر امیرعباس عابدینی متعهد می‌شوم:

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

تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۰۵

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 پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تلاش‌های تثبیت و ترمیم کانال به طور چشمگیری از سال ۱۹۹۰ افزایش پیدا کرده‌است و هزینه‌های گزافی در این زمینه انجام می‌شود، درحالی‌که حداقل ۵۰٪ پروژه‌ها با شکست مواجه می‌شوند و مابقی نیز ممکن است مطابق انتظارات عمل نکنند. بنابراین اصلاح جریان امروزه بیشتر یک هنر است تا یک علم. در همین راستا مهندسان به تازگی پیشنهاد احداث دیواره‌های طولی اصلاحی را به عنوان جایگزینی برای آبشکن‌های عرضی سنتی پیشنهاد داده‌اند که هدف از این پیشنهاد ایجاد یک کانال قابل کشتیرانی و بهبود انتقال جریان با تقسیم کانال به دو قسمت اصلی و فرعی می‌باشد.

در تحقیق حاضر عملکرد دیواره‌های طولی و سازه‌های آبشکن بر روی تنش برشی بستر و دیواره‌ی کانال بوسیله‌ی معادلات RANS با مدل $k-\epsilon$ به صورت عددی و با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D که از تکنیک روش حجم محدود به حل معادلات حاکم می‌پردازد، بررسی شد. نتایج حالت تک‌آبشکن با نتایج آزمایشگاهی صحت‌سنجی و نتایج حالت‌های سری آبشکن‌ها با داده‌های عددی موجود مقایسه شد که از تطابق مناسبی برخوردار بودند.

در این پژوهش دوازده شبیه‌سازی برای سازه‌های دیواره‌های طولی در موقعیت‌های طولی و عرضی متفاوت به صورت‌های ممتد و غیرممتد انجام شد. نتایج نشان دادند که این سیستم در مقایسه‌ی با سیستم سنتی آبشکن، تنش برشی کمتری را به بستر وارد می‌کند و قابلیت کنترل تنش برشی دیواره را نیز به صورت پویا داراست. این سیستم با فراهم آوردن عمق مناسب در کانال اصلی باعث بهبود ناوبری می‌شود، همچنین، با فراهم آوردن یک وضعیت آرام در قسمت کانال فرعی، تاثیر مطلوبی بر زیستگاه آبزیان و اکولوژی سیستم دارد و علاوه بر آن توانایی بالایی برای انتقال دبی اضافی سیلاب دارد. در نتیجه این سیستم می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب بجای سازه‌های سنتی آبشکن، مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: تنش برشی، دیواره‌های طولی، Flow-3D، RANS، $k-\epsilon$ ، محافظت از ساحل، آبشکن

فهرست مطالب

فهرست اشکال.....	۵
فهرست جداول.....	ح
فصل اول مقدمه.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۱-۲ تعریف مساله و کلیات.....	۲
۱-۳ اهمیت و ضرورت انجام تحقیق.....	۳
۱-۴ اهداف پژوهش.....	۴
۱-۵ روش پژوهش.....	۵
۱-۶ ساختار فصول پایان نامه.....	۵
فصل دوم تعاریف پایه و مطالعات پیشین.....	۷
۱-۲ مقدمه.....	۸
۲-۲ حفاظت از سواحل.....	۹
۱-۲-۲ روش استفاده از سازه‌های عرضی.....	۹
۱-۲-۲-۱ طبقه بندی انواع آبشکن‌ها.....	۹
۱-۲-۲-۲ نکات طراحی آبشکن‌ها.....	۱۱
۲-۲-۲ روش استفاده از سازه‌های طولی.....	۱۴
۳-۲-۲ روش استفاده از سازه‌های تثبیت بستر و پره‌های زیرآبی.....	۱۶
۳-۲ مرور منابع سازه‌های عرضی حفاظت از سواحل آبراهه‌ها.....	۱۷
۴-۲ مرور منابع سازه‌های طولی محافظت از سواحل آبراهه‌ها.....	۳۰

۳۳	۵-۲ مرور منابع سازه های تثبیت بستر و پره های زیر آبی
۳۴	۶-۲ نتیجه گیری
۳۵	فصل سوم مواد و روش ها
۳۶	۱-۳ مقدمه
۳۷	۲-۳ معادلات حاکم
۳۷	۳-۲-۱ مفهوم آشفتگی و عدد رینولدز
۴۰	۳-۳-۲ روش حل
۴۱	۳-۳-۱ روش VOF
۴۲	۳-۳-۲ روش FAVOR
۴۲	۳-۳-۳ مراحل شبیه سازی جریان توسط نرم افزار Flow-3D
۴۳	۴-۳ شبیه سازی عددی مدل
۴۸	۵-۳ جمع بندی
۴۹	فصل چهارم نتایج و بحث
۵۰	۱-۴ مقدمه
۵۰	۲-۴ مشخصات مدل آزمایشگاهی
۵۱	۳-۴ کالیبراسیون
۵۱	۴-۳-۱ زمان شبیه سازی
۵۲	۴-۳-۲ حساسیت سنجی
۵۳	۴-۴ صحت سنجی
۵۳	۴-۴-۱ نتایج کانال اولیه
۵۶	۴-۴-۲ نتایج شبیه سازی تک آبشکن
۵۹	۴-۵ نتایج شبیه سازی سری آبشکن ها
۵۹	۴-۵-۱: نتایج شبیه سازی انجام شده با فواصل یکنواخت $D/b=6$ میان سری آبشکن ها

۴-۵-۲:	نتایج شبیه‌سازی سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت $D/b=1.5$ برای 5 آبشکن نخست و	۶۲
۴-۶-۲:	نتایج شبیه‌سازی سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت $D/b=6$ برای چهار آبشکن بعدی	۶۶
۴-۶-۶:	بررسی عددی عملکرد دیواره‌های طولی در حفاظت از سواحل آبراهه‌ها	۶۷
۴-۶-۱:	نتایج شبیه‌سازی دیواره‌ی طولی به صورت ممتد	۶۷
۴-۶-۱-۱:	$y/B=0.5$ با طول معادل سری آبشکن 6b	۶۷
۴-۶-۱-۲:	$y/B=0.5$ با طول معادل سری آبشکن 23b	۶۹
۴-۶-۱-۳:	$y/B=0.5$ با طول معادل سری آبشکن 1.5b and 6b	۷۲
۴-۶-۱-۴:	$y/B=1/3$ با طول معادل سری آبشکن 6b	۷۴
۴-۶-۱-۵:	$y/B=1/3$ با طول معادل سری آبشکن 23b	۷۶
۴-۶-۱-۶:	$y/B=1/3$ با طول معادل سری آبشکن 1.5b and 6b	۷۸
۴-۶-۱-۷:	$y/B=1/6$ با طول معادل سری آبشکن 6b	۸۰
۴-۶-۱-۸:	$y/B=1/6$ با طول معادل سری آبشکن 23b	۸۲
۴-۶-۱-۹:	$y/B=1/6$ با طول معادل سری آبشکن 1.5b and 6b	۸۴
۴-۶-۲:	نتایج شبیه‌سازی دیواره‌ی طولی به صورت غیرممتد	۸۶
۴-۶-۲-۱:	$y/B=0.5$ با طول معادل سری آبشکن 23b	۸۷
۴-۶-۲-۲:	$y/B=1/3$ با طول معادل سری آبشکن 23b	۸۹
۴-۶-۲-۳:	$y/B=1/6$ با طول معادل سری آبشکن 23b	۹۲
۴-۶-۳:	مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی سازه‌ی آبشکن با سازه‌ی دیواره‌ی طولی در هر دو حالت ممتد و غیرممتد	۹۵
۴-۶-۵:	فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۹۷
۴-۶-۵-۱:	نتیجه‌گیری	۹۸
۴-۶-۵-۲:	پیشنهادهای	۱۰۰
۴-۶-۵-۳:	مراجع	۱۰۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: نواحی آشفته در اطراف آبشکن ۴
- شکل ۱-۲: نمونه آبشکن الف- نفوذپذیر و ب- نفوذ ناپذیر ۹
- شکل ۲-۲: آبشکن الف- منحرف کننده، ب- جاذب، و ج- عمود بر جریان ۱۰
- شکل ۳-۲: انواع آبشکن با شکل هندسی مختلف ۱۱
- شکل ۴-۲: سازه های طولی و عرضی محافظت از ساحل رودخانه بر رود وال (Le, 2018) ۱۵
- شکل ۵-۲: روش تثبیت بستر و پره های مستغرق ۱۶
- شکل ۶-۲: سرعت ها در اطراف آبشکن ۲۰
- شکل ۷-۲: الف- الگوی جریان و ب- چگونگی فرسایش اطراف آبشکن ۲۱
- شکل ۸-۲: انواع الگوی جریان اطراف مجموعه آبشکن ها ۲۳
- شکل ۹-۲: الف- الگوی جریان ب- بردارهای سرعت اطراف آبشکن مستغرق ۲۴
- شکل ۱۰-۲: رسوبات شکل گرفته اطراف آبشکن ۲۶
- شکل ۱۱-۲: الگوی سرعت جانبی اطراف آبشکن ها به ترتیب در الف- سطح آب، ب- در وسط آب، و ج- در نزدیکی بستر برای آبشکن های مستغرق (تصویر سمت چپ) و آبشکن های غیرمستغرق (تصویر سمت راست) ۲۷
- شکل ۱۲-۲: الف- الگوی جریان اولیه و ثانویه در جهت طولی ب- الگوی جریان اولیه در جهت عرضی ۲۸
- شکل ۱۳-۲: نحوه تشکیل رسوب اطراف آبشکن ها ۲۹
- شکل ۱۴-۲: پیکربندی بهینه ی سری آبشکن ها به منظور تشکیل تنش برشی حداقل در بستر و جداره ۳۰
- شکل ۱۵-۲: تصویری از رودخانه وال (تصویر سمت راست) و رودخانه راین (تصویر سمت چپ) که در آن ها از سیستم دیواره های طولی استفاده شده است ۳۱
- شکل ۱۶-۲: استفاده از روش تثبیت بستر و پره های زیر آبی ۳۳
- شکل ۱-۳: متوسط گیری زمانی جریان آشفته ۳۸
- شکل ۲-۳: مش بندی در جهات الف- x ، ب- y و ج- z ۴۵
- شکل ۳-۳: تعریف شرایط مرزی در نرم افزار Flow-3D ۴۶
- شکل ۴-۳: تعریف شرایط اولیه در نرم افزار Flow-3D ۴۷
- شکل ۱-۴: مشخصات کانال آزمایشگاهی استفاده شده در مدل عددی ۵۰
- شکل ۲-۴: کانتور سرعت در $z/d=0.85$ ۵۲
- شکل ۳-۴: نتایج مش بندی های متفاوت در موقعیت $x/b=126$ و الف- $z/d=0.03$ و ب- $z/d=0.85$ ۵۳
- شکل ۴-۴: مقایسه ی نتایج سرعت عددی با رابطه ی سرعت لگاریتمی ۵۴
- شکل ۵-۴: کانتورهای سرعت در موقعیت های الف- $z/d=0.5$ و ب- $y/B=0.5$ ۵۵

شکل ۴-۶: کانتورهای تنش برشی الف- تنش برشی بستر ب- تنش برشی دیوار ج- تنش برشی در وسط کانال..... ۵۶

شکل ۴-۷: مقایسه پروفیل سرعت در موقعیت‌های الف- $x/b=126$ و $z/d=0.03$ ب- $x/b=126$ و $z/d=0.85$ با نتایج عددی کوئروولی و همکاران در حالت تک‌آبشکن و همچنین نتایج آزمایشگاهی راجاراتنام و نوآچوکوآ..... ۵۷

شکل ۴-۸: مقایسه کانتور سرعت در الف- تحقیق حاضر و با روش $k-\epsilon$ ب- کار عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-\omega$ در حالت تک‌آبشکن..... ۵۸

شکل ۴-۹: مقایسه نتایج تنش برشی در الف- کف و ب- دیوارهی کانال با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با ج- نتیجه‌ی عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-\omega$ در حالت تک‌آبشکن..... ۵۹

شکل ۴-۱۰: مقایسه کانتور سرعت الف- با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با ب- کار عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-\omega$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت 6b..... ۶۰

شکل ۴-۱۱: مقایسه نتایج تنش برشی در الف- کف و ب- دیوارهی کانال با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با ج- نتیجه‌ی عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-\omega$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت 6b..... ۶۱

شکل ۴-۱۲: مقایسه نتایج تنش برشی در الف- کف و $y/b=3.5$ و ج- دیوارهی کانال و $z/d=0.5$ با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با نتیجه‌ی عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-\omega$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت 6b و ب- موقعیت قرارگیری آبشکن‌ها..... ۶۲

شکل ۴-۱۳: مقایسه کانتور سرعت الف- با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با ب- کار عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-\omega$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت 1.5b and 6b..... ۶۳

شکل ۴-۱۴: مقایسه نتایج تنش برشی الف- در کف و ب- دیوارهی کانال با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با ج- نتیجه‌ی عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-\omega$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت 1.5b and 6b..... ۶۴

شکل ۴-۱۵: مقایسه نتایج تنش برشی در الف- کف و $y/b=3.5$ و ج- دیوارهی کانال و $z/d=0.5$ با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با نتیجه‌ی عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-\omega$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت 1.5b and 6b و ب- موقعیت قرارگیری سری آبشکن‌ها..... ۶۵

شکل ۴-۱۶: کانتور سرعت برای دیوارهی طولی در $z/d=0.5$ ۶۷

شکل ۴-۱۷: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیوارهی کانال برای سازه‌ی دیوارهی طولی..... ۶۸

شکل ۴-۱۸: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیوارهی طولی در الف- بستر و $y/b=3.5$ و ج- دیوارهی کانال و $z/d=0.5$ ب- موقعیت سازه‌های آبشکن و دیوارهی طولی..... ۶۹

شکل ۴-۱۹: مقایسه کانتورهای سرعت الف- دیوارهی طولی با ب- سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت 23b در کار عددی کوئروولی و همکاران..... ۷۰

شکل ۴-۲۰: مقایسه‌ی کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیوارهی کانال در تحقیق حاضر با روش $k-\epsilon$ و ج- کار عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-\omega$ ۷۱

شکل ۴-۲۱: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیوارهی طولی در الف- بستر و $y/b=3.5$ و ج- دیوارهی کانال و $z/d=0.5$ ب- موقعیت سازه‌های آبشکن و دیوارهی طولی..... ۷۲

[illegible]

شکل ۴-۴۵: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های دیواره‌ی طولی به صورت ممتد و غیرممتد در الف- بستر و $y/b=3.5$ و ج- دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب- موقعیت سازه‌های دیواره‌ی طولی ۸۹

شکل ۴-۴۶: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌های طولی غیرممتد ۹۰

شکل ۴-۴۷: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌های طولی غیرممتد ۹۱

شکل ۴-۴۸: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های دیواره‌ی طولی به صورت ممتد و غیرممتد در الف- بستر و $y/b=3.5$ و ج- دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب- موقعیت سازه‌های دیواره‌ی طولی ۹۲

شکل ۴-۴۹: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌های طولی غیرممتد ۹۳

شکل ۴-۵۰: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌های طولی غیرممتد ۹۴

شکل ۴-۵۱: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های دیواره‌ی طولی به صورت ممتد و غیرممتد در الف- بستر و $y/b=3.5$ و ج- دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب- موقعیت سازه‌های دیواره‌ی طولی ۹۵

شکل ۵-۱: عملکرد بهتر سازه‌های دیواره‌ی طولی از نظر محیط زیستی نسبت به سازه‌های سنتی آبشکن ۹۸

شکل ۵-۲: اجرای سیستم دیواره‌ی طولی بر اساس نیاز الف- به صورت غیرممتد ب- در موقعیت‌های مختلف ۹۹

فهرست جداول

جدول ۴-۱: تعداد سلول‌های محاسباتی در مش‌بندی‌های مختلف ۵۳

فصل اول : مقدمه

۱-۱ مقدمه

رودخانه یک زهکش طبیعی است که آب یک حوضه را خارج می‌کند. رودخانه‌ها تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند زمین‌شناسی منطقه، توپوگرافی دره‌ی رودخانه، خصوصیات مواد آبرفتی سیلاب دشت رودخانه، مشخصات هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز، شرایط هیدرولیکی جریان و نیز نحوه‌ی بهره‌برداری از آن، تمایل طبیعی دستیابی، به تعادل پویا دارند. از طرفی فرآیندهای طبیعی و دخالت‌های انسانی ممکن است تعادل بین بار رسوبی و ظرفیت انتقال جریان را برهم بزنند که تغییرات فصلی در جریان، لایروبی رودخانه، ساخت یک مخزن و جنگل‌زدایی در حوضه‌ی آبخیز، مثال‌هایی از علل اختلال هستند. سپس استفاده‌ی از سازه‌های اصلاحی و کارهای مهندسی برای حفاظت از ساحل رودخانه‌ها بویژه رودخانه‌های شهری، در برابر تغییراتی که به خاطر این اختلالات رخ می‌دهند، ضروری هستند.

سازه‌های اصلاحی‌ای که برای این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند به موارد زیر طبقه‌بندی شوند:

* سازه‌های عرضی

* سازه‌های طولی

* سازه‌های تثبیت بستر و پره‌های زیرآبی

۱-۲- تعریف مساله و کلیات

رودخانه‌ها در جامعه نقش مهمی ایفا می‌کنند. آن‌ها آب آبیاری، تامین آب، تولید برق و استفاده‌های دیگر را تامین می‌کنند. همچنین رودخانه‌ها می‌توانند باعث بروز بلایای طبیعی در هنگام سیلاب شوند و اموال و زیرساخت را نابود کنند. لذا مسأله‌ی کنترل و اصلاح رودخانه‌ها و تعیین حدود و حریم آن‌ها در دهه‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است.

به طور کلی اهداف اصلاح رودخانه به صورت زیر بیان می‌شوند:

* افزایش ایمنی در برابر سیل با تطبیق جریان سیلاب،

* محافظت از ساحل،

* بهبود کارایی انتقال رسوب،

* به حداقل رساندن فرسایش رودخانه با ایجاد ثبات در مسیر جریان،

* هدایت جریان به مسیر مطلوب رودخانه،

* کاهش احتمال یخ‌زدگی رودخانه،

* و در بیشتر موارد هدف اولیه اصلاح رودخانه، بهبود ناوبری با حفظ عمق کانال است.

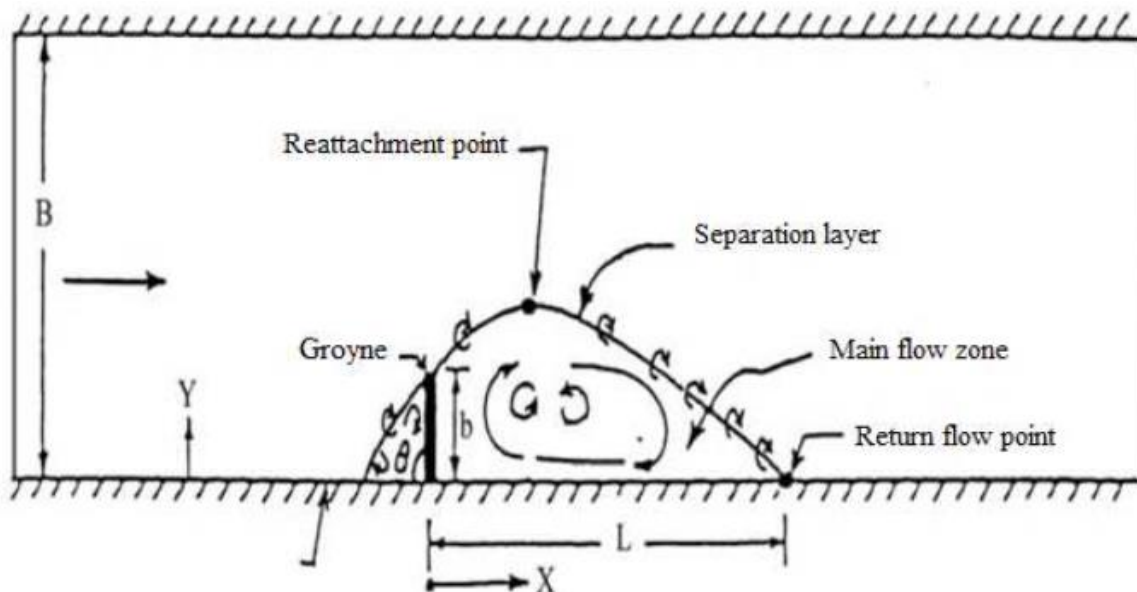
۱-۳- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

آبشکن‌ها یکی از سازه‌های مهم در مهندسی هیدرولیک‌اند که از نظر ساختار سازه‌ای، ساده‌اند. آبشکن‌ها سازه‌های عرضی‌ای هستند که در کنار ساحل رودخانه ساخته می‌شوند و با دور کردن جریان از ساحل و تمرکز جریان در وسط رودخانه به حفاظت دیواره‌ها کمک می‌کنند. همچنین کنترل سیلاب و برقراری عمق مطلوب برای اهداف کشتیرانی از دیگر اهداف مورد نظر در احداث آبشکن می‌باشد. متأسفانه استفاده از این روش سنتی محافظت از سواحل رودخانه‌ها، در طولانی مدت اثرات نامطلوبی بر ریخت‌شناسی می‌گذارد و باعث تحولات نامطلوب مورفولوژیکی می‌شود. به همین جهت در دو دهه‌ی اخیر استفاده از سازه‌های طولی اصلاحی، و سازه‌های تثبیت بستر و پره‌های زیرآبی، به جای استفاده از آبشکن‌ها و با اهداف مشابهی این سازه‌ها و با هدف کمک به محیط زیست و بهبود اکوسیستم، مورد توجه محققین قرار گرفته‌است. (Le, 2018)

۱-۴- اهداف پژوهش

الگوی جریان در اطراف آبشکن‌ها نشان دهنده‌ی وجود ناحیه‌هایی آشفته در اطراف آبشکن می‌باشد که در شکل ۱-۱ این نواحی آشفته مشخص می‌باشند. هدف از تحقیق حاضر بررسی عددی الگوی جریان اطراف سازه‌های جدید اصلاحی دیواره‌ی طولی و مقایسه‌ی نتایج حاصله با تاثیر نواحی آشفته‌ی اطراف آبشکن بر روی تنش برشی بستر و دیواره‌ی کانال می‌باشد. بنابراین اهداف تحقیق حاضر عبارت است از:

- الف- شبیه‌سازی آبشکن و سری آبشکن‌ها به منظور انجام صحت‌سنجی و مشاهده تاثیر نقش کنترلی آن‌ها بر روی تنش برشی وارد بر دیواره و کف در کانال باز،
- ب- شبیه‌سازی دیواره‌های طولی در موقعیت‌های متفاوت و مشاهده‌ی تاثیر نقش کنترلی آن بر روی تنش برشی وارد بر دیواره و کف در کانال باز،
- ج- مقایسه‌ی نتایج تنش برشی موارد الف و ب.



شکل ۱-۱: نواحی آشفته در اطراف آبشکن

۱-۵ روش پژوهش

تحقیق حاضر به بررسی و مطالعه‌ی عددی عملکرد دیواره‌های طولی در حفاظت از سواحل آبراهه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D می‌پردازد. برای رسیدن به این هدف جمع‌آوری اطلاعات آزمایشگاهی و منابع مهم است چراکه ابتدا نتایج عددی، با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و صحت‌سنجی می‌شود و سپس موارد جدید، که اطلاعات آزمایشگاهی آن‌ها موجود نیست، مورد بررسی واقع می‌گردند.

۱-۶ ساختار فصول پایان‌نامه

این پایان‌نامه مشتمل بر ۵ فصل است.

* در فصل اول، به بیان کلیاتی درباره موضوع محافظت از سواحل، اهمیت و ضرورت انجام پژوهش، اهداف پژوهش و پس از آن روش پژوهش پرداخته شده‌است.

* در فصل دوم به تعریف مسأله و مطالعات پیشین پرداخته شده‌است. مطالب در این فصل مشتمل بر انواع روش‌های محافظت از سواحل و مطالعات انجام شده‌ی پیشین می‌باشد.

* از جمله مهمترین موضوعات مطرح شده در فصل سوم تئوری طرح و اصول مدل‌سازی عددی است. این فصل دربردارنده‌ی مطالبی درباره‌ی معادلات حاکم، معادلات پیوستگی، معادلات مومنتم، خصوصیات نرم‌افزار، مراحل شبیه‌سازی و تعریف شرایط مرزی و اولیه می‌باشد.

* در فصل چهارم نتایج حاصل از اجرای مدل عددی در نرم‌افزار Flow-3D به تفصیل گنجانده شده‌است. پس از صحت‌سنجی نمونه‌ی عددی، نمونه‌هایی که نتایج آزمایشگاهی‌ای برایشان موجود نیست، با کار عددی کوتروولی و همکاران (Koutrouvelli et al., 2018) مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت این فصل با انجام

یک مقایسه‌ی کلی بین نمونه‌های مدل عددی انجام شده‌ی کوثرولی و همکاران و نمونه‌های جدید در تحقیق حاضر که اطلاعات آزمایشگاهی و عددی آن‌ها موجود نیست، به پایان می‌رسد.

* در فصل پنجم، به نتیجه‌گیری کلی از این پژوهش، و پس از آن، ارائه‌ی چند پیشنهاد برای گسترش کار پرداخته شده‌است.

فصل دوم: تعاریف پایه و مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

آبشکن‌ها یکی از مهمترین سازه‌های کنترل جریان و محافظت از دیواره‌های رودخانه محسوب می‌شوند. به عبارت دیگر آبشکن‌ها سازه‌های متقاطع یا عرضی‌ای هستند که از دیواره‌ی طبیعی رودخانه، با طول مناسب و با زاویه‌ی مناسبی نسبت به راستای عمومی جریان، توسعه یافته و سبب انحراف حمله‌ی جریان به کناره‌ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می‌نمایند که این امر باعث تولید جریان‌های چرخشی در حوالی آبشکن می‌شود. این جریانات از فاصله‌ی کمتری در بالادست آبشکن شروع شده و مسافت بیشتری در پایین‌دست را در برمی‌گیرند که نتیجه‌ی آن گسترش ناحیه‌ی آبشستگی موضعی در پیرامون آبشکن، ته‌نشینی رسوبات در مجاورت دیواره‌های رودخانه به صورت یک بار رسوبی طویل در پایین‌دست آبشکن، و تغییر فرم بستر در بازه‌ی پایین‌دست رودخانه می‌باشد. اگر چه به مرور زمان این عمل موجب توسعه و تثبیت بیولوژیک دیواره‌های رودخانه می‌شود اما در دراز مدت باعث ایجاد حفره‌های بزرگ در دماغه‌ی آبشکن شده و شکست سازه را به دنبال خواهد داشت.

متأسفانه این روش سنتی گران‌قیمت می‌باشد و همچنین باعث تاثیر نامطلوب بر ریخت‌شناسی سیستم می‌شود.

اخیرا مهندسين پیشنهاد استفاده از روش‌هایی دیگر، برای حفاظت از سواحل رودخانه‌ها را ارائه نموده اند. استفاده‌ی از سازه‌های دیواره‌های طولی اصلاحی از جمله‌ی این روش‌هاست که با اهداف مشابه‌ی سازه‌های آبشکن و با هدف کمک به محیط زیست و بهبود اکوسیستم، مورد توجه محققین قرار گرفته‌است.

۲-۲- حفاظت از سواحل

به طور کلی سه روش استفاده‌ی از سازه‌های عرضی، استفاده‌ی از سازه‌های تثبیت بستر و پره‌های زیرآبی و استفاده‌ی از سازه‌های طولی، برای محافظت از سواحل رودخانه‌ها ممکن است. در ادامه به معرفی و توضیح مختصر هر کدام از این روش‌ها، پرداخته شده است.

۱-۲-۲ روش استفاده از سازه‌های عرضی

آبشکن‌ها سازه‌های عرضی‌ای هستند که برای محافظت از ساحل مورد استفاده قرار می‌گیرند. آبشکن‌ها را می‌توان از جهات مختلفی طبقه‌بندی نمود که در ادامه به تشریح این موارد پرداخته شده است.

۱-۱-۲-۲ طبقه بندی انواع آبشکن‌ها

الف- طبقه بندی براساس روش و مصالح ساختار:

براساس مواد ساخت، آبشکن‌ها را می‌توان از چوب، نی، سنگ، سنگریزه، شن و قلوه سنگ ساخت. همچنین بر اساس روش ساخت، آبشکن‌ها می‌توانند نفوذپذیر و یا نفوذناپذیر باشند. همانطور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود، آبشکن‌های نفوذپذیر که از نی یا چوب ساخته می‌شوند، اجازه عبور آب از خود را می‌دهند که این عبور جریان با کاهش سرعت‌های جریان همراه می‌باشد. آبشکن‌های نفوذناپذیر که از سنگ یا شن یا سنگریزه یا قلوه سنگ ساخته می‌شوند، باعث سد آب می‌شوند.



شکل ۱-۲: نمونه آبشکن الف- نفوذپذیر و ب- نفوذ ناپذیر

ب- طبقه‌بندی براساس استغراق:

آبشکن‌ها می‌توانند به صورت مستغرق یا غیرمستغرق طراحی شوند. معمولاً آبشکن‌های نفوذناپذیر به علت سد جریان و قدرت جریان بالادست به صورت غیرمستغرق و آبشکن‌های نفوذپذیر که مزاحمت کمتری برای جریان ایجاد می‌کنند، به صورت مستغرق می‌باشند.

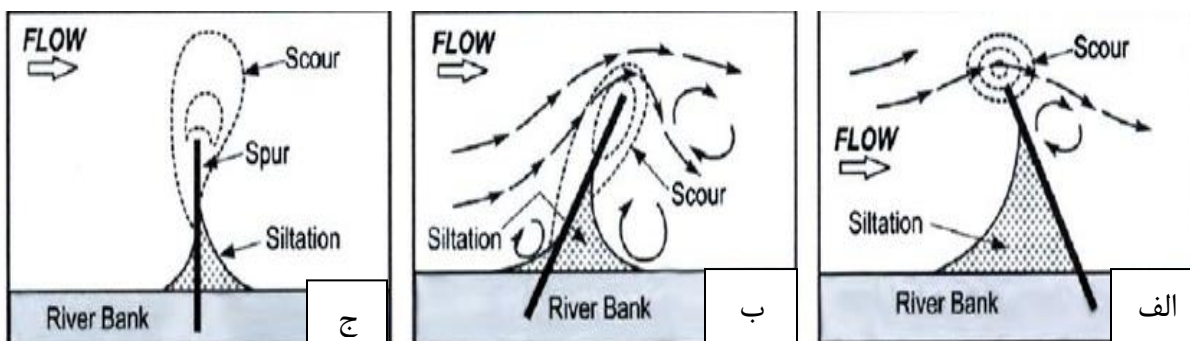
ج- طبقه‌بندی براساس نحوه‌ی تاثیر بر روی جریان:

آبشکن‌ها می‌توانند به صورت جاذب جریان، منحرف کننده‌ی جریان و عمود بر جریان طبقه‌بندی شوند که در شکل ۲-۲ قابل مشاهده می‌باشند.

آبشکن‌های جاذب، با جذب آب به سمت خود، باعث می‌شوند که جریان کمتری به سمت ساحل حرکت نماید.

آبشکن‌هایی که به منظور انحراف جریان بکار می‌روند، به بالادست متمایل هستند و جریان بالادست را دفع می‌کنند.

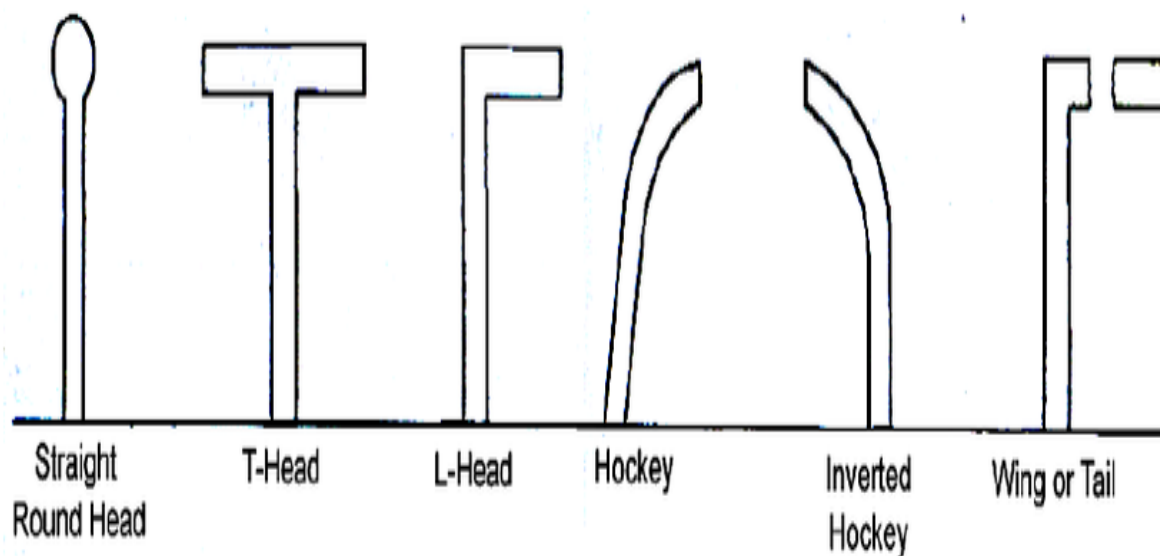
آبشکن‌های عمود بر جریان از سطح کوچکتری محافظت می‌کنند، همچنین باعث بهبود عمق برای ناوبری می‌شوند.



شکل ۲-۲: آبشکن الف- منحرف کننده، ب- جاذب، و ج- عمود بر جریان

د- طبقه‌بندی براساس شکل هندسی آبشکن‌ها:

آبشکن‌ها ممکن است به شکل‌های مختلف ساخته شوند که از جمله می‌توان به آبشکن‌های قائم، تی‌شکل، ال‌شکل، هاکی شکل، معکوس هاکی شکل، قائم همراه با سر یا بال یا دنباله اشاره نمود که موارد مذکور در شکل ۲-۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲-۳: انواع آبشکن با شکل هندسی مختلف

۲-۱-۲-۲ نکات طراحی آبشکن‌ها

هدف از تحقیق حاضر طراحی آبشکن نمی‌باشد لذا در ادامه به صورت کلی به مهم‌ترین ملاحظات در طراحی آبشکن‌ها پرداخته شده است و علاقه‌مندان برای اطلاعات بیشتر می‌توانند به مراجع موجود رجوع نمایند. برخی از مهم‌ترین ملاحظات طراحی آبشکن‌ها عبارتند از:

الف- شکل هندسی آبشکن:

در لبه‌ی بیرونی آبشکن قائم کلاهی نصب می‌شود تا ناحیه‌ی بیشتری مورد حفاظت قرار بگیرد. آبشکن تی‌شکل دارای زاویه‌ای مناسب نسبت به ساحل و یک صفحه‌ی مستطیلی در لبه بیرونی خود می‌باشد. آبشکن ال‌شکل دارای رسوبات رسوبی بزرگ‌تری بین آبشکن‌ها، آبستگ‌ی کم‌تر در سر، تامین حفاظت بیشتر نسبت به سواحل بوده و هنگامی که طولی نزدیک ۴۵ تا ۶۵ درصد دهانه‌ی بین آبشکن‌ها داشته باشند، از جهت نوابری موثرتر هستند. آبشکن‌های حاکی شکل دارای نواحی حفره‌های آبستگ‌ی بزرگ‌تری نسبت به آبشکن‌های تی شکل، هستند.

ب- طول آبشکن‌ها:

طول آبشکن به موقعیت، هدف، فاصله‌ی بین آبشکن‌ها و اقتصاد پروژه بستگی دارد. طول آبشکن می‌تواند با تعیین عرض کانال و عمق مورد نظر تعیین شود. همچنین طول کل آبشکن شامل مجموع طول نگهدارنده (که در ساحل قرار دارد) و طول عملی (که در جریان قرار دارد) می‌باشد که طول نگهدارنده معمولاً یک چهارم طول عملی می‌باشد.

پ- فاصله بین آبشکن‌ها:

فاصله‌ی بین آبشکن‌ها در ساحل رودخانه بین نقاط شروع آن‌ها اندازه‌گیری شده‌است. این رابطه به عرض رودخانه، طول آبشکن، سرعت جریان، زاویه‌ی ساحل، جهت جریان، انحنای ساحل و هدف مربوط می‌شود. با این حال اگر آبشکن‌ها به فاصله‌ی زیاد و دور از هم قرار داشته باشند ممکن است جریان حاصل، تخریب کانال و فرسایش ساحل را تحت‌تاثیر قرار دهند و مانع از نوابری شوند. از طرف دیگر در صورتی که آبشکن‌ها به هم نزدیک باشند، هزینه‌های ساخت بیشتر بوده و سیستم بدون استفاده‌ی بهینه از فاصله‌ی میان هر آبشکن، کارایی بهینه را نخواهد داشت.

ت- جهت جریان:

آبشکن‌ها ممکن است عمود بر جریان یا متمایل به بالادست یا متمایل به پایین‌دست باشند. هر گرایش، به روش متفاوتی بر جریان تاثیر می‌گذارد و منجر به رسوب مختلف در مجاورت آبشکن می‌شود. آبشکن متمایل به پایین‌دست، آبشکن جاذب است که جریان رودخانه را به خود جذب می‌کند. این نوع آبشکن‌ها باعث بهبود عمق برای ناوبری می‌شوند درحالی‌که رسوب زیادی در پایین‌دست آن‌ها ایجاد می‌شود و این امر به فرسایش بیشتر ساحل منجر می‌شود.

آبشکن‌های دافع جریان و آبشکن‌های منحرف کننده‌ی جریان به بالادست متمایل می‌باشند. در این حالت رسوب بیشتری در بالادست ایجاد می‌شود که در کوتاه مدت به محافظت از فرسایش کمک می‌کند اما در درازمدت شکست آبشکن را در پی دارند.

آبشکن‌ها که عمود بر جریان هستند از سطح کوچک‌تری محافظت می‌کنند، همچنین باعث بهبود عمق برای ناوبری می‌شوند درحالی‌که پایین‌دست آن‌ها رسوب زیادی تشکیل می‌شود که منجر به فرسایش می‌شود. (به شکل ۲-۲ رجوع شود)

ح- ارتفاع تاج و شیب:

رونالد (Ronald, 1983) بیان می‌کند که زاویه‌ی تاج (که عموماً به صورت زاویه‌ی بین محور پایین‌دست و محور آبشکن تعریف می‌شود) بوسیله‌ی آزمایش و همچنین تجربه‌ی مهندسين طراح مشخص می‌شود. ارتفاع تاج آبشکن‌ها به دلایل و مشکلات احتمالی ناشی از جریان و یخ‌زدگی بستگی دارد. برای اطلاعات بیشتر در این‌باره می‌توان به کار او رجوع نمود.

خ- سطح مقطع:

محدوده‌ی عرض تاج می‌تواند بین ۱ تا ۶ متر و شیب دیواره بین ۱:۱,۲۵ تا ۱:۵ باشد.

د- مصالح ساختمانی:

نمونه‌هایی از مواد مورد استفاده برای ساخت و ساز آبشکن‌ها عبارتند از: شمع چوبی، تنه‌ی درخت یا شاخه، سنگ، شن، شن و خاک، کیسه‌های شن، سنگ‌ریزه، عناصر پیش‌ساخته‌ی بتنی، فولاد و سیم و غیره.

ذ- آبستنگی:

عمق آبستنگی مورد انتظار باید در تعیین عمق فونداسیون آبشکن‌ها مورد توجه قرار گیرد.

۲-۲-۲ روش استفاده از سازه‌های طولی

برای قرن‌هاست که از سازه‌های عرضی آبشکن به منظور جلوگیری از فرسایش رودخانه و دستیابی به یک کانال عمیق برای کشتیرانی استفاده می‌شود. متأسفانه آبشکن‌ها در طولانی مدت اثرات نامطلوبی بر ریخت‌شناسی می‌گذارند و باعث تحولات نامطلوب مورفولوژیکی می‌شوند (Le, 2018).

سازه‌های اصلاحی طولی کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند درحالی‌که این سازه‌ها نیز با اهداف مشابه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. مهندسان به تازگی پیشنهاد احداث دیواره‌های طولی اصلاحی را به عنوان جایگزینی برای آبشکن‌های عرضی سنتی پیشنهاد داده‌اند که هدف از این پیشنهاد، ایجاد یک کانال قابل کشتیرانی و بهبود انتقال جریان با تقسیم کانال به دو قسمت اصلی (پر عمق) و فرعی (کم عمق) می‌باشد. همچنین آن‌ها امیدوارند که این سیستم جدید در طولانی مدت باعث بهبود عملکرد ریخت‌شناسی شود چراکه هنوز تحقیقات گسترده و طولانی مدتی در این زمینه صورت نگرفته‌است.

لی و همکاران (Le et al., 2017) با کار بر روی ۱۰۲ مورد عددی و استفاده از نرم‌افزار Delf-3D نشان داده‌اند که با وجود مجهولات بسیاری که در زمینه‌ی نحوه‌ی اجرا و پایداری این دیواره‌های طولی و همچنین

امکان ناپایداری این سیستم وجود دارد، اما یک طراحی دقیق می‌تواند منجر به پایداری این سیستم شود. گرچه او و همکارانش متذکر می‌شوند که نیاز است تا تحقیقات بیشتر و گسترده‌تری در این زمینه صورت پذیرد. آن‌ها اهداف کاربرد این سیستم را به این شکل بیان می‌کنند:

* ایجاد یک کانال پر عمق بوسیله‌ی قسمت اصلی که به افزایش عمق برای کشتیرانی بهتر، کمک می‌کند،

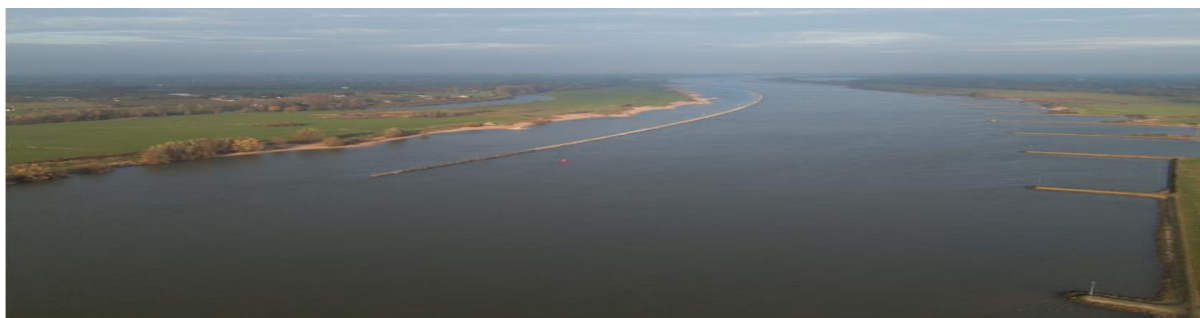
* آسیب زدن کمتر به رودخانه (برش کمتر رودخانه)،

* محافظت از ساحل،

* ایجاد یک کانال کم عمق بوسیله قسمت فرعی که به برخی شرایط زیست محیطی کمک می‌کند،

* بهبود انتقال دبی سیلاب در مقایسه‌ی با آبشکن‌ها.

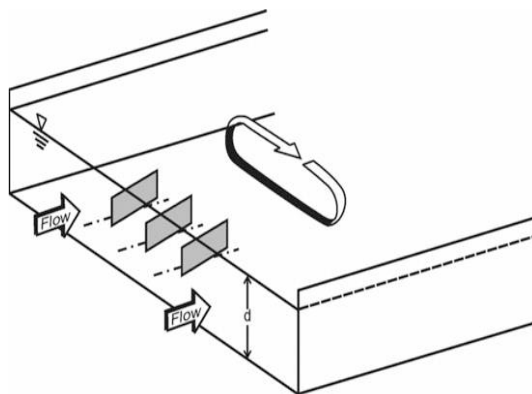
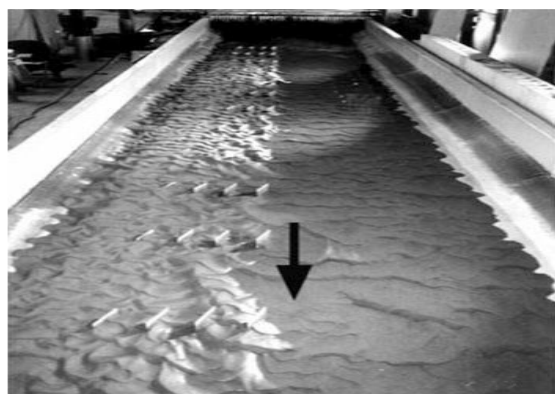
به عنوان نمونه در شکل ۲-۴ مشاهده می‌شود که آبشکن‌های رودخانه وال در هلند به طول ده کیلومتر با این سیستم جایگزین شده‌اند. قابل ذکر است که محققین بررسی‌های طولانی مدت و کوتاه مدت بر روی این سیستم را شروع کرده‌اند تا بوسیله‌ی نتایج حاصل، کارایی این سیستم مورد ارزیابی قرار گیرد.



شکل ۲-۴: سازه‌های طولی و عرضی محافظت از ساحل رودخانه بر رود وال (Le, 2018)

۳-۲-۲ روش استفاده از سازه‌های تثبیت بستر و پره‌های زیر آبی

روش پره‌های مستغرق، که در شکل ۵-۲ نمایش داده شده‌است، پیشنهادی جذاب را ارائه می‌دهد، که در بسیاری از محیط‌ها به همان اندازه‌ی آبشکن‌ها موثر است و می‌تواند بسیاری از مشکلات مربوط به فرسایش رودخانه‌ها و شرایط ریخت‌شناسی را حل نماید. پره‌های مستغرق برای اصلاح الگوی جریان نزدیک بستر و توزیع مجدد جریان در سطح مقطع کانال طراحی شده‌اند و معمولاً صفحات در یک طرف (یا هر دو طرف) رودخانه نصب می‌شوند تا یک جریان مطلوب ایجاد شود.



شکل ۵-۲: روش تثبیت بستر و پره‌های مستغرق

۲-۳- مرور منابع سازه های عرضی حفاظت از سواحل آبراهه‌ها

شهاب نیر و همکاران (۱۳۹۶) در کاری آزمایشگاهی به بررسی آبشستگی پیرامون آبشکن تی‌شکل تحت تاثیر آبشکن‌های بالادست و پایین‌دست، پرداختند که نتایج کار آن‌ها به اینصورت بود که بهترین عملکرد آبشکن تی‌شکل میانی زمانی رخ می‌دهد که آبشکن بالادست ال‌شکل و آبشکن پایین دست تی‌شکل باشد (L T T). در واقع کمترین حجم و متوسط عمق آبشستگی با توجه به همه‌ی موقعیت‌ها نیز مربوط به همین ترکیب است. حجم فرسایش با استفاده از نرم افزار سورفر^۱ محاسبه شده‌است. متوسط حجم آبشستگی این ترکیب، ۰,۰۶۳ مترمکعب و متوسط عمق آبشستگی در حدود ۱,۲ برابر عمق جریان می‌باشد. در محل آبشکن اول تمام حجم فرسایش یافته، در سمت موافق آبشکن‌ها است که با عبور از محدوده‌ی آبشکن‌ها، فرسایش به سمت مخالف هدایت می‌شود. آبشکن‌های ترکیبی پیشنهادی (L T T) پتانسیل بالایی جهت استفاده در رودخانه‌ها به منظور کاهش فرسایش بستر و دیواره‌ها را دارا می‌باشد.

علی چشمی و همکاران (۱۳۹۷) به شبیه‌سازی عددی آبشکن متخلخل با نرم افزار Flow-3D پرداختند، آن‌ها بیان می‌کنند که اغلب پارامترهای جریان، حساسیت زیادی نسبت به ضریب جمله‌ی غیرخطی مدل فورس‌هایمر دارند و در برخی موارد مدل با اعدادی خارج از محدوده‌ی پیشنهادی نرم افزار، کالیبره گردید. بررسی‌ها نشان داد، افزایش تخلخل موجب کاهش قابل توجه سرعت جریان و کوچک شدن محدوده‌ی اثر مقدار بیشینه‌ی این پارامتر می‌گردد. نتایج این تحقیق نشان داد افزایش تخلخل آبشکن، موجب کاهش ارتفاع آب در بالادست آبشکن و افزایش ارتفاع آب در پایین‌دست آبشکن می‌شود. همچنین مشاهده گردید

¹ surfer

افزایش تخلخل از مقدار بیشینه‌ی سرعت کاسته و طول اثر آن را کاهش و نیز کمینه‌ی سرعت را افزایش خواهد داد.

مجتبی مهرآیین و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی میدان جریان آشفته اطراف آبشکن تی‌شکل پرداختند. آن‌ها در کار خود به بررسی سرعت‌های میانگین، خطوط جریان و پارامترهای آشفتگی در اطراف آبشکن تی‌شکل مستقیم پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که جهت جریان چرخشی در پایین‌دست آبشکن‌های مستغرق خلاف جهت همین جریان در آبشکن‌های غیرمستغرق می‌باشد که علت این امر تاثیر جریان روگذر از روی آبشکن است. آن‌ها همچنین مشاهده کردند که بیشترین مقدار تنش‌های عمودی رینولدز در نوک بالادست آبشکن مشاهده می‌شود.

امیر مرادی نژاد و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی اثر دیوار جدا کننده و آبشکن در انرژی جنبشی آشفتگی در دهانه‌ی آبگیر پرداختند. آن‌ها عنوان می‌کنند آشفتگی یکی از مهمترین مشخصه‌های الگوی جریان در آبگیری است که بسیاری از فرآیندهای رودخانه مانند فرسایش، انتقال رسوب، مورفولوژی بستر و شکل کانال‌های طبیعی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هدف اصلی در آبگیرهای جانبی تسهیل در انتقال آب با کمترین مقدار ورود رسوب می‌باشد. تجمع و ورود رسوبات به دهانه‌ی آبگیر و کاهش راندمان آبگیری یکی از مشکلاتی است که در اکثر آبگیرها بوجود می‌آید. در این تحقیق برای افزایش راندمان آبگیری و کنترل مقدار رسوب ورودی به آبگیر، از دو سازه دیوار جداکننده در جلوی آبگیر و آبشکن در ساحل مقابل آن استفاده شده‌است. در این تحقیق با استفاده از مدل عددی Flow-3D میدان جریان سه بعدی اطراف آبگیر جانبی ۶۰ درجه، واقع در مسیر مستقیم به صورت عددی حل و کانتورهای سرعت و انرژی جنبشی آشفتگی ترسیم شده‌است. آزمایش‌هایی روی فلوم انجام و نتایج با مدل عددی مقایسه شد. دینامیک و هیدرولیک جریان در جلو و داخل آبگیر مورد بررسی قرار گرفته است. بردارهای سرعت در داخل آبگیر، در دو جهت طولی و عرضی با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته‌است. نتایج نشان

داد که بیشترین مقدار سرعت برآیند، در حالت بدون سازه در جلوی دهانه‌ی آبگیر، در حالت دیوار جداکننده در جلوی دهانه و داخل آبگیر، در حالت استفاده از دیوار جداکننده و آبشکن، در نوک آبشکن جلوی دهانه آبگیر و داخل آبگیر به وقوع پیوسته است. در حالت وجود دیوار جداکننده در جلوی آبگیر و آبشکن در مقابل آبگیر، توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در داخل آبگیر با شدت بسیار کم به وقوع پیوسته است.

معادلات حاکم بر جریان سیال، معادلات ناویر-استوکس می‌باشند که این معادلات را بایستی با روش‌های عددی حل نمود. منتر (Menter, 1993) از روش دو معادله‌ای $k-w$ برای مدل‌سازی جریان آئرو دینامیکی آشفته استفاده نمود. او همچنین در کار خود به توضیح مدل SST^1 می‌پردازد. او نشان داد که مدل $k-w$ می‌تواند نتایج مشابه مدل SST ارائه نماید.

لاندر و اسپالدینگ (Lauder and Spalding, 1974) به بررسی محاسبات عددی جریان‌های آشفته پرداختند. آن‌ها در کار خود از روش دو معادله‌ای $k-\epsilon$ برای ۹ نوع مختلف جریان بهره گرفتند. کار آن‌ها نشان داد که این روش می‌تواند در بسیاری از مسائل آشفتگی جواب‌های قابل قبولی ارائه نماید. بر اساس کار لاندر و اسپالدینگ و منتر مدل $k-w$ به دلیل توانایی پیش بینی عالی‌اش از شروع جدایی جریان بر مدل $k-\epsilon$ ارجحیت دارد.

راجاراتنام و نوآچوکوو (Rajaratnam and Nwachukwu, 1983) به بررسی آزمایشگاهی جریان اطراف سازه‌های آبشکن پرداختند. کار آن‌ها نشان می‌دهد که ناحیه‌ی آشفتگی در پایین‌دست آبشکن، بزرگتر است از بالادست آبشکن. آن‌ها این ناحیه‌ی آشفته را با تقسیم به دو زیرناحیه‌ی انحرافی و برشی، تحلیل نمودند که نتایج کارشان به این شرح است:

¹ Shear stress transport

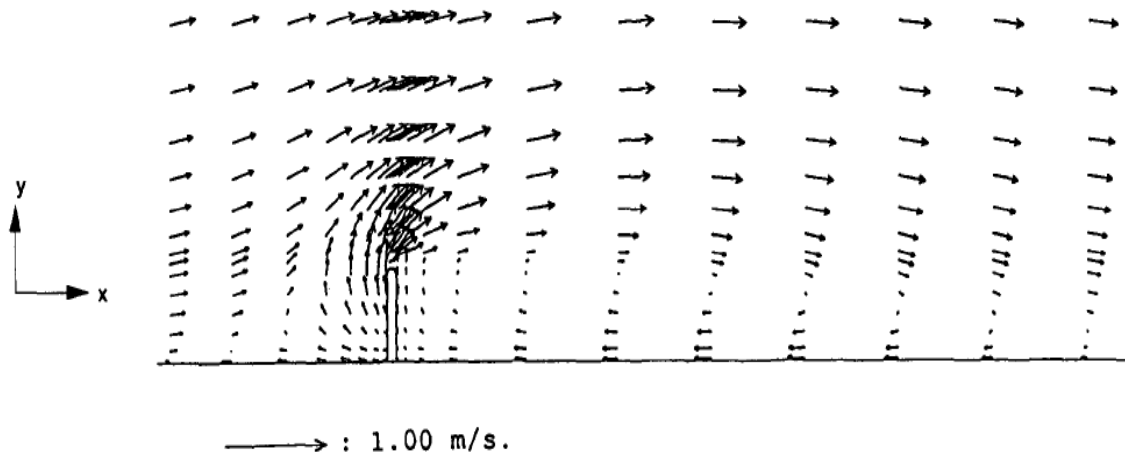
* ماکزیمم برش در نوک آبشکن رخ می‌دهد،

* طول جریان چرخشی دوازده برابر طول آبشکن است،

* بایستی برای تنش برشی بستر، ضریب تقویتی ۴,۹، در نظر گرفته شود،

* بایستی برای سرعت جریان، ضریب تقویتی ۱,۴۵، در نظر گرفته شود.

اویلون و دارتوس (Oillon and Dartus, 1997) شبیه‌سازی سه بعدی بر روی جریان دائمی اطراف یک نمونه آبشکن قائم در یک کانال مستطیلی انجام دادند که به عنوان نمونه، الگوی سرعت در اطراف آبشکن در کار آن‌ها در شکل ۲-۶ آورده شده است. آن‌ها از معادلات RANS و مدل $k-\epsilon$ استفاده و کار خود را با نمونه‌ی آزمایشگاهی صحت سنجی کردند. کار آن‌ها نشان می‌دهد که روش porosity method کارایی بیشتری از روش rigid-lid method برای یک مدل آشفته دارد.



شکل ۲-۶: سرعت‌ها در اطراف آبشکن

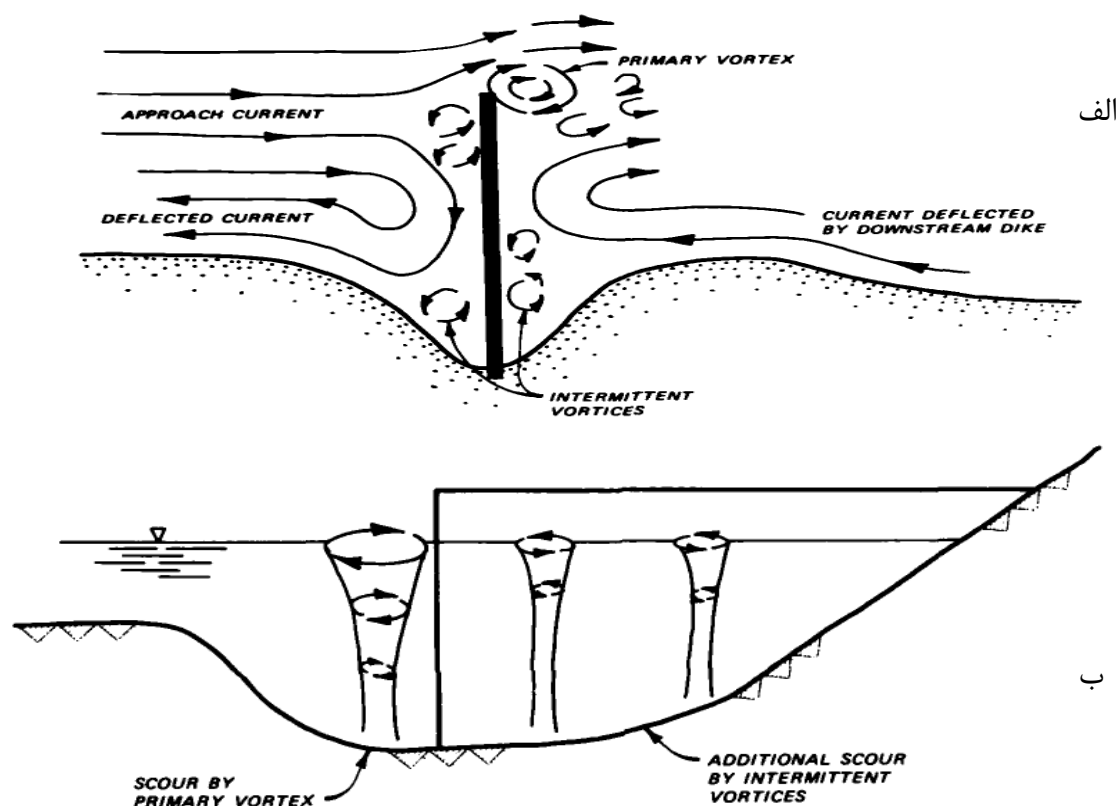
رونالد (Ronald, 1983) بیان می‌کند که پارامترهای موثر در طراحی آبشکن‌ها شامل:

الف- عمق، عرض و سرعت جریان و شکل کانال،

ب- اندازه و نرخ انتقال مواد بستر و چسبندگی ساحل،

ج- طول، عرض، شکل تاج، زاویه‌ی تاج و فاصله‌ی میان آبشکن‌ها می‌باشد.

او در کار خود به طور کامل به بررسی آبشکن و نحوه‌ی تاثیر آن بر کنترل فرسایش می‌پردازد و بیان می‌کند که برای تعیین عمق فرسایش روابطی پیشنهاد شده‌اند. هرچند میان محققین اختلاف نظر وجود دارد که کدام عامل بیشترین تاثیر را در فرسایش دارد. به عنوان نمونه او بیان می‌کند که برخی محققین سرعت را مهمترین عامل فرسایش می‌دانند حال آنکه برخی دیگر زاویه‌ی آبشکن را و ... در شکل ۷-۲ الگوی جریان اطراف آبشکن و چگونگی فرسایش آورده شده‌است. برای اطلاعات بیشتر دراینباره می‌توان به کار او رجوع نمود.



شکل ۷-۲: الف- الگوی جریان و ب- چگونگی فرسایش اطراف آبشکن

یوسف (Yossef, 2002) در یک مقاله‌ی مروری، به بررسی کامل آبشکن‌ها می‌پردازد، که در ادامه به مهمترین موارد کار او اشاره می‌کنیم. او در کار خود به بررسی کامل سازه‌های آبشکن که سازه‌هایی عرضی می‌باشند، پرداخته و انواع آبشکن‌ها و ملاحظات طراحی آن‌ها را توضیح می‌دهد و سپس به تفسیر تاثیر آبشکن‌های مستغرق و غیرمستغرق بر روی الگوی جریان می‌پردازد، که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

الف- الگوی جریان آبشکن غیرمستغرق:

الف-۱ تاثیر آبشکن تکی بر روی جریان:

او بیان می‌کند که برای آبشکن تکی سه ناحیه خواهیم داشت:

* منطقه‌ی جدایی که در این منطقه چهار قسمت، ناحیه اصلی، ناحیه بازگشت، لایه برشی و ناحیه اتصال مجدد را داریم،

* منطقه‌ی ادی‌های^۱ افقی،

* منطقه‌ی نوسات سطح آب.

الف-۲ تاثیر مجموعه آبشکن‌ها بر روی جریان:

او در ادامه بیان می‌کند که در این حالت شش نوع مختلف ادی را می‌توان انتظار داشت که در شکل ۲-۸ مشخص شده‌اند و در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته شده‌است:

نوع اول: این حالت برای حالت ناوربری مناسب می‌باشد چراکه در این حالت یک تک‌ادی بین دو آبشکن به خوبی توسعه پیدا می‌کند. همچنین در این حالت جریان اصلی خارج از محدوده‌ی بین آبشکن‌ها می‌باشد.

¹ Eddy

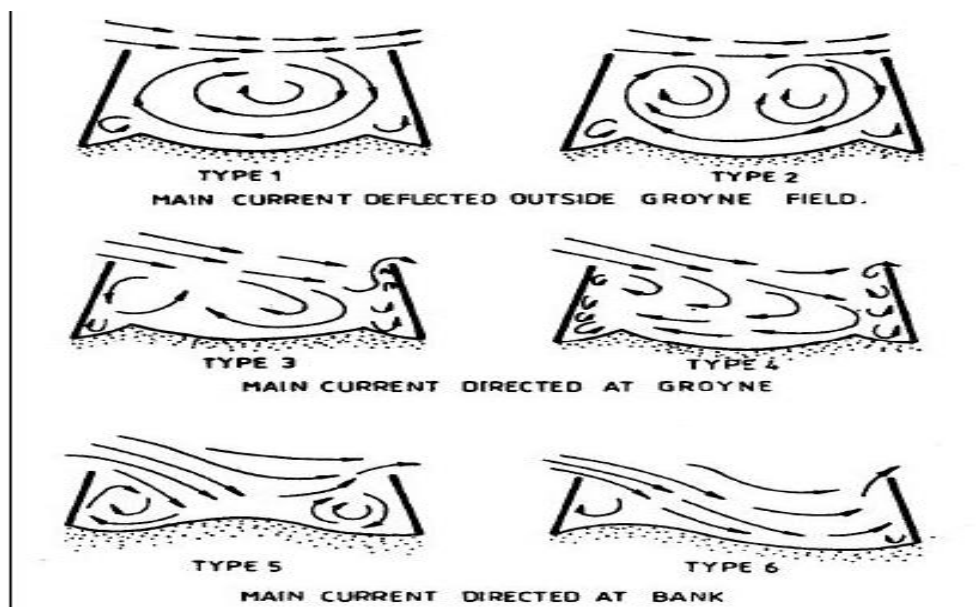
نوع دوم: در این حالت دو ادی میان آبشکن‌ها خواهیم داشت اما همچنان جریان اصلی خارج از محدوده‌ی میان آبشکن‌ها تشکیل می‌شود.

نوع سوم: با افزایش فاصله میان آبشکن‌ها جریان اصلی به محدوده‌ی میان آبشکن‌ها وارد می‌شود و یک ادی قوی در آبشکن بالادست ایجاد می‌شود و باعث آشفتگی قوی‌تر در قسمت پایینی همین آبشکن بالادست می‌شود.

نوع چهارم: در این حالت پایداری ادی‌های بالادست از بین می‌رود و یک جریان معکوس قوی شکل می‌گیرد.

نوع پنجم: این حالت حفاظت مطلوبی را برای ساحل فراهم می‌آورد چراکه تعادل مطلوبی میان ادی‌های شکل گرفته در اطراف آبشکن وجود دارد. این حالت را در فاصله‌ی بهینه میان آبشکن‌ها خواهیم داشت.

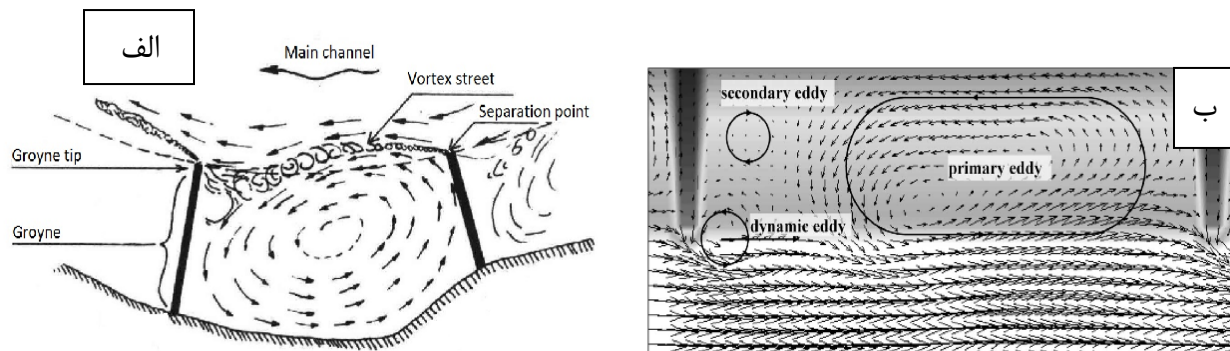
نوع ششم: اگر فاصله‌ی میان آبشکن‌ها باز هم بیشتر شود، ادی‌ای که در آبشکن پایین دست وجود داشته است و نقش محافظت را برعهده داشته‌است، از بین می‌رود و جریان اصلی مستقیماً به ساحل حمله می‌کند.



شکل ۲-۸: انواع الگوی جریان اطراف مجموعه آبشکن‌ها

ب- الگوی جریان آبشکن مستغرق:

یوسف عنوان می‌کند که برای مدل‌سازی الگوی جریان اطراف آبشکن‌های مستغرق به علت روبرو شدن با مسئله‌ی سه‌بعدی که نیازمند دستگاه‌های محاسباتی قدرتمند است، کارهای کمی در این زمینه صورت پذیرفته‌است. در شکل ۹-۲ الگوی جریان و سرعت اطراف آبشکن مستغرق آورده شده‌است.



(a) Schematic flow pattern between two groynes (Bouwmeester, 1987) (b) Velocity field in groyne field (Uijttewaall et al., 2001)

شکل ۹-۲: الف- الگوی جریان ب- بردارهای سرعت اطراف آبشکن مستغرق

یوسف در کار خود به بررسی تاثیر آبشکن‌ها بر مورفولوژی رودخانه‌ها، اختلالات هیدرولیکی ناشی از کشتیرانی و تعامل ریخت‌شناسی میان مجموعه‌ی آبشکن‌ها و کانال اصلی نیز پرداخته‌است که علاقه‌مندان برای مطالعه‌ی بیشتر می‌توانند به کار او رجوع نمایند.

یوجتییوال (Uijttewwal, 2005) در کاری آزمایشگاهی به بررسی تاثیر شکل آبشکن بر روی رودخانه‌ی وال با مقیاس $1/40$ در حالتی که از مجموعه‌ی آبشکن‌ها با نسبت فاصله‌ی آبشکن به طول آبشکن $2/25$ استفاده کرده‌بود، پرداخت (اهمیت شکل آبشکن). هدف او یافتن بهترین طراحی برای آبشکن از منظر اقتصادی، شکل هندسی و تاثیرات بوم‌شناسی بود. او آزمایش خود را با چهار نوع آبشکن ساده، آبشکن سردار، آبشکن نفوذپذیر از نوع نی و آبشکن ترکیبی (ترکیب آبشکن نفوذناپذیر که در نوک آن نی کار گذاشته شده‌بود) که همگی در ردیف‌های پنج تایی بودند انجام داد. او مشاهده کرد که شکل راس آبشکن و زاویه‌ی آن، و

همچنین میزان استغراق آبشکن بر روی شدت گردابه‌ها و همچنین جریان اصلی اثرگذار است. او همچنین دریافت که نفوذپذیری آبشکن، و زاویه راس آبشکن بر روی مشخصات آشفستگی پایین‌دست آبشکن اثرگذار است. او همچنین مشاهده کرد که اگر آبشکن مستغرق شود، شرایط کاملاً پیچیده می‌شود که این به دلیل سه بعدی شدن شرایط می‌باشد چراکه نیازمند حلگرهای قوی سه بعدی می‌باشد. درنهایت او در کار خود به طور مفصل به توضیح الگوی جریان، لایه‌ی برشی و مشخصات آشفستگی اطراف آبشکن پرداخت.

یوسف و وریند (Yossef and Vriend, 2011) در کاری آزمایشگاهی به بررسی جزئیات جریان در اطراف آبشکن‌ها به صورت دو بعدی پرداختند. فلوم آزمایشگاهی آن‌ها دارای مقیاس $1/40$ نسبت به رودخانه وال بود. آن‌ها بر روی آبشکن‌های مستغرق و غیرمستغرق مطالعه کردند و نتایج به خوبی تفاوت نواحی آشفستگی در اطراف آبشکن مستغرق با نواحی آشفستگی در اطراف آبشکن غیرمستغرق نشان داد که به این شرح می‌باشند:

* در هر دو مورد نوسانات سرعت مشاهده شد،

* الگوی جریان در اطراف آبشکن مستغرق متفاوت می‌باشد،

* بهتر است که از روش LES^1 استفاده شود،

* نتایج کار آن‌ها برای آبشکن غیرمستغرق با نتایج کار انفرادی یوسف در سال ۲۰۰۲ همخوانی داشت.

دوان (Duan, 2009) در کاری آزمایشگاهی به بررسی جریان اصلی و آشفستگی اطراف آبشکن در کانال باز به صورت سه بعدی پرداخت. نتایج نشان داد که:

* جریان اولیه در دو جهت عمودی و عرضی جدا می‌شود،

* انرژی جنبشی آشفته در مابین جریان منحرف شده و جریان تجدیدپذیر به حداکثر مقدار خود می‌رسد

¹ Large eddy simulation

و همچنین تنش برشی در نزدیکی رأس آبشکن به حداکثر مقدار خود می رسد و حدود ۳ برابر تنش برشی در جریان بالادست است،

*از آنجا که رسوبات توسط جریان های آشفته حمل می شوند لذا بایستی آبشستگی موضعی مورد مطالعه قرار گیرد. در شکل ۲-۱۰ رسوبات شکل گرفته اطراف آبشکن نمایش داده شده است.



شکل ۲-۱۰: رسوبات شکل گرفته اطراف آبشکن

سوخودولوو (Sukhodolov, 2014) در کاری میدانی به بررسی سه بعدی هیدرودینامیک مجموعه ای آبشکن در یک رودخانه مستقیم پرداخت، که نتایج کار او به این شرح است:

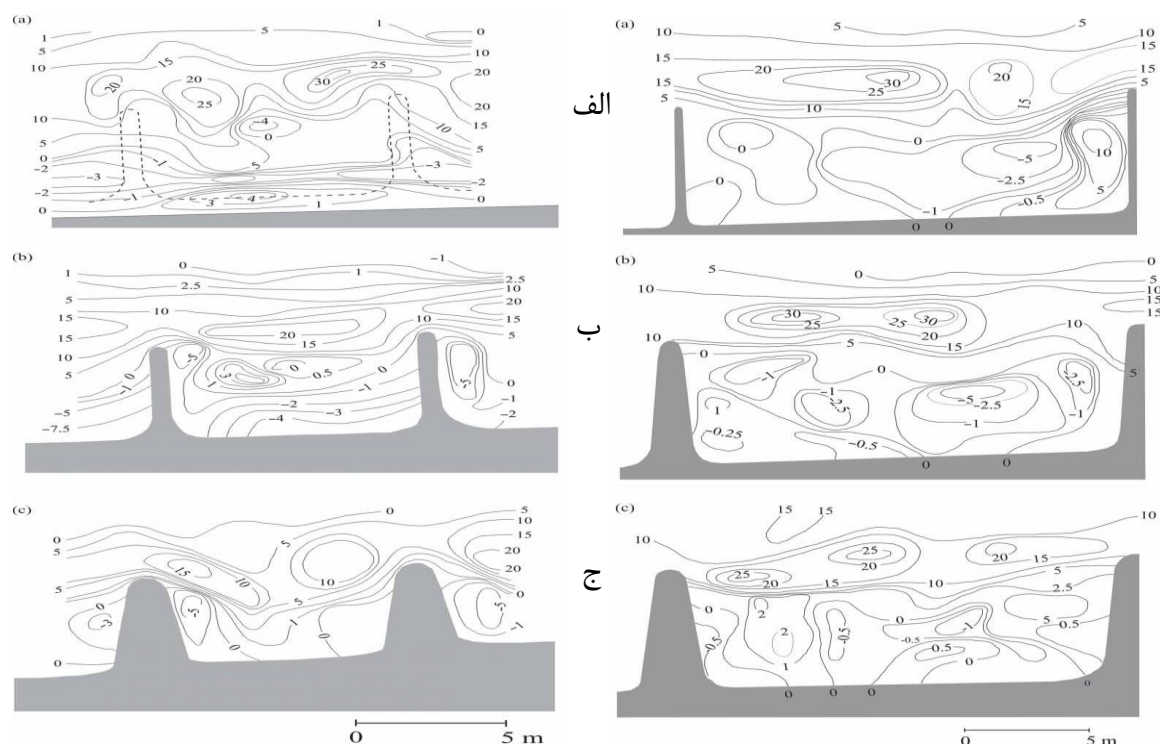
* جریان های عمودی آشفته در نزدیکی بستر تاثیر دارند، درحالی که جریان های افقی در نزدیکی سطح تاثیر دارند،

* در طول آبشکن ها توسعه ای اولیه و ثانویه جریان چرخشی داریم که باعث فرسایش در ناحیه ای اطراف آبشکن می شود در حالیکه در عرض آبشکن ها فقط توسعه ای اولیه ی جریان چرخشی را داریم که آبشکن باعث مهار جریان در عرض می شود،

* کار او اطلاعات دقیقی درمورد ساختار جریان اصلی و جریان آشفته در آبشکن های غیرمستغرق و

مستغرق می‌دهد.

در شکل ۲-۱۱ الگوی سرعت جانبی اطراف آبشکن‌های مستغرق و غیرمستغرق نمایش داده شده‌است.



شکل ۲-۱۱: الگوی سرعت جانبی اطراف آبشکن‌ها به ترتیب در الف- سطح آب، ب- در وسط آب، و ج- در نزدیکی بستر برای آبشکن‌های مستغرق (تصویر سمت چپ) و آبشکن‌های غیرمستغرق (تصویر سمت راست)

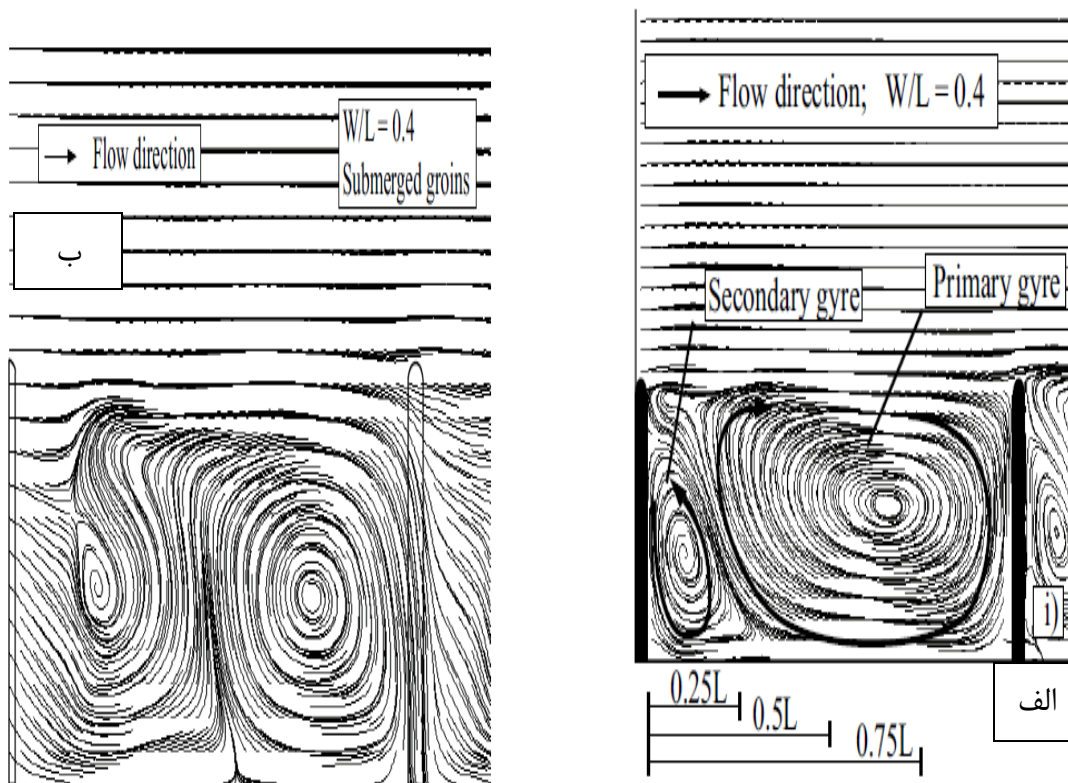
فنگ و همکاران (Fang et al., 2014) بر روی سری آبشکن‌های غیرمستغرق در جریان آشفته در یک کانال عمیق کار عددی‌ای با روش LES انجام دادند. نتایج آن‌ها با نتایج آزمایشگاهی ویت برخت (Weitbrecht, 2004) که با روش PIV انجام داده بود، تطابق داشت. نتایج کار آن‌ها به این شرح می‌باشد:

- در طول مجموعه‌ی آب‌شکن‌ها، توسعه‌ی اولیه و ثانویه‌ی جریان چرخشی را داریم اما در عرض آن‌ها فقط توسعه‌ی اولیه داریم،
- در عرض آبشکن‌ها شدت آشفتگی و حالت گردابی ضعیف‌تر است تا در طول آبشکن‌ها که در شکل ۲-۱۲ قابل مشاهده است،

- در طول آبشکن ها $D/b = 2.5$ است،

- در عرض آبشکن ها $D/b = 0.91$ است.

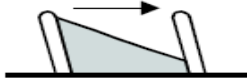
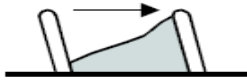
(b طول آبشکن ها و D فاصله بین آبشکن ها)



شکل ۲-۱۲: الف- الگوی جریان اولیه و ثانویه در جهت طولی ب- الگوی جریان اولیه در جهت عرضی

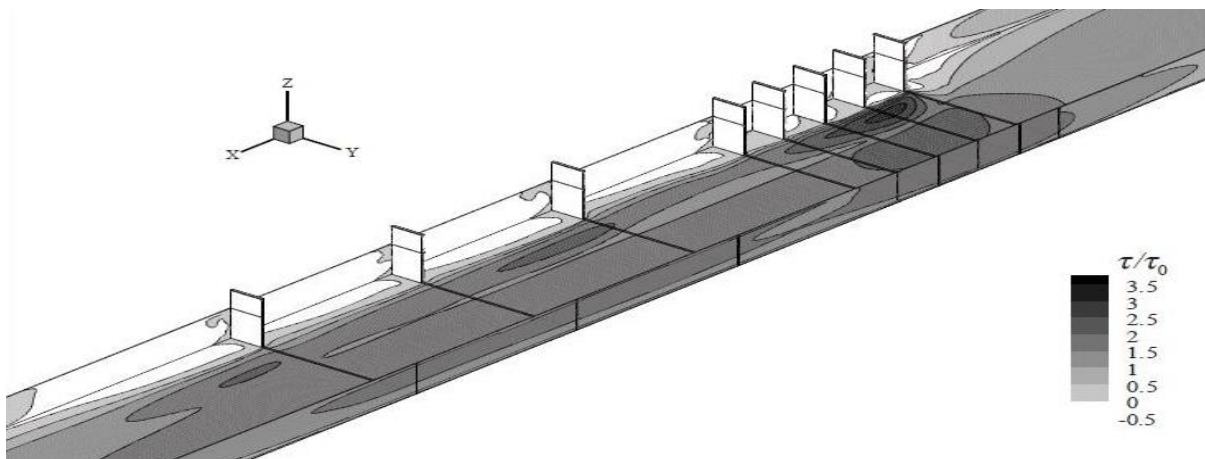
- مشخص شدن نحوه ایجاد رسوب میان آبشکن ها که در شکل ۲-۱۳ نمایش داده شده است و علاقه مندان

می توانند به کار آقای ویتبرخت (Weitbrecht, 2004) مراجعه کنند.

Class	Definition	Pattern
1	Weak deposition	
2	Upstream triangle shaped deposition	
3	Downstream triangle-shaped deposition	
4	Upstream wave-shaped deposition	
5	Downstream wave-shaped deposition	
6	Uniform partial deposition	
7	Uniform complete deposition	

شکل ۲-۱۳: نحوه تشکیل رسوب اطراف آبشکن‌ها

کوتروولی و همکاران (Koutrouveli et al., 2018) بررسی نقش فاصله‌ی آبشکن‌ها بر روی تنش برشی بستر و دیواره در کانال باز مستطیلی در دو حالت تک‌آبشکن و مجموعه‌ی آبشکن‌ها را با استفاده از معادلات RANS و نرم‌افزار Fluent، انجام دادند. چراکه فاصله‌ی مطلوب بین آبشکن‌ها بر روی سه مورد مهم افزایش عمق کانال، محافظت از ساحل در برابر فرسایش و مسئله‌ی اقتصادی تاثیر دارد. آن‌ها بیان می‌کنند که حضور آبشکن‌ها باعث باریک شدن کانال اصلی و افزایش عمق آب (افزایش تنش برشی بستر) حتی در زمان پایین بودن دبی رودخانه می‌شود که امری مفید برای اهداف کشتیرانی است و از دیگر سو موقعیت بندی مناسب آبشکن‌ها می‌تواند باعث کاهش تنش برشی جداره‌ها به منظور محافظت از حریم ساحل شود که تنش برشی مطلوب بین آبشکن‌ها، در حالتی که فواصل بین آنها غیریکنواخت باشند، رخ داده و فواصل به این صورت می‌باشند که در چهار آبشکن اول فاصله بین آبشکن‌ها برابر $1/5$ برابر طول آبشکن‌ها و در ادامه، فاصله ۶ برابر طول آبشکن‌ها بایستی باشند که در شکل ۲-۱۴ نمایش داده شده‌است.



شکل ۲-۱۴: پیکربندی بهینه‌ی سری آبشکن‌ها به منظور تشکیل تنش برشی حداقل در بستر و جداره

۲-۴ مرور منابع سازه‌های طولی محافظت از سواحل آبراهه‌ها

لی (Le, 2018) در کارش که هم شامل کار آزمایشگاهی و هم کار عددی است، عنوان می‌کند که سازه‌های عرضی‌ای که از سواحل محافظت می‌کنند، زمانیکه دبی رودخانه زیاد باشد، باعث سد کردن جریان می‌شوند که این امر باعث اعمال فشار به دیواره‌های ساحل می‌شود به خصوص در زمانیکه شرایط آب و هوایی نامساعد باشد، این فشار می‌تواند بیش از پیش باشد. آن‌ها عنوان می‌کنند که برای حل این مشکل، مهندسين و مسئولان پیشنهاد استفاده از سازه‌های دیواره‌ی طولی اصلاحی را ارائه کرده‌اند که از اهداف این پیشنهاد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

* ایجاد یک کانال پرعمرق برای کشتیرانی در زمان دبی کم و در زمان دبی زیاد بوسیله‌ی اجازه حضور آب بیشتر در کانال فرعی،

* انتقال جریان بالا در زمان سیلاب،

* بهبود فرسایش

و بهبود اکوسیستم.

از طرفی مهندسين برای پیاده سازی این روش اصلاحی جدید با مشکل ناپایداری این سیستم مواجه هستند

که علت این امر فرآیندهای پیچیده‌ی فیزیکی حاکم بر اثر متقابل جریان آشفته با رسوب جریان و دیواره ساحل است. او در ادامه به برخی سوالاتی که دراینباره مطرح است، اشاره می‌کند که عبارتند از:

۱- آیا این سیستم می‌تواند پایدار باشد؟

۲- بهترین نقطه‌ی شروع دیواره‌ها کجاست؟

۳- بهترین موقعیت عرضی دیواره‌های طولی برای افزایش عمق آب کدام است؟

۴- ارتفاع بهینه‌ی تاج دیواره‌ها چقدر بایستی باشد؟

او سپس به این مورد اشاره می‌کند که سیستم دیواره‌های طولی پیشتر نیز مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به رودخانه راین^۱ در آلمان، رودخانه وال^۲ در هلند (شکل ۲-۱۵) اشاره نمود.



شکل ۲-۱۵: تصویری از رودخانه وال (تصویر سمت راست) و رودخانه راین (تصویر سمت چپ) که در آن‌ها از سیستم دیواره‌های طولی استفاده شده‌است

قابل ذکر است که در این زمینه با فقدان مطالعات طولانی مدت مواجه هستیم و تحقیق لی و همکاران (Le et al., 2017) اولین تحقیق طولانی مدت در این زمینه می‌باشد و بنابراین تحقیقات بیشتری دراینباره نیاز

¹ Rhine River

² Waal River

است تا کارایی این سیستم از همه‌ی جهات مورد ارزیابی قرار گیرد و همچنین در صورت اثرات نامطلوب این سیستم بایستی به فکر اصلاح شکل هندسی و یا ایده‌های دیگری بود.

درنهایت نتایج کار آن‌ها به این شرح بود:

- * ایجاد یک کانال موازی پایدار توسط این سیستم،
- * مشخص شدن تاثیر دبی بر پایداری شاخه انشعاب،
- * تاثیر مطلوب این سیستم بر کشتیرانی،
- * تاثیر مطلوب این سیستم بر سیلاب نسبت به آبشکن‌ها،
- * برش کمتر رودخانه در قیاس با آبشکن‌ها،
- * مشخص شدن بهترین موقعیت عرضی برای افزایش عمق آب،
- * مشخص شدن بهترین نقطه شروع،

و موارد دیگر که علاقه‌مندان می‌توانند برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به کار آن‌ها رجوع نمایند.

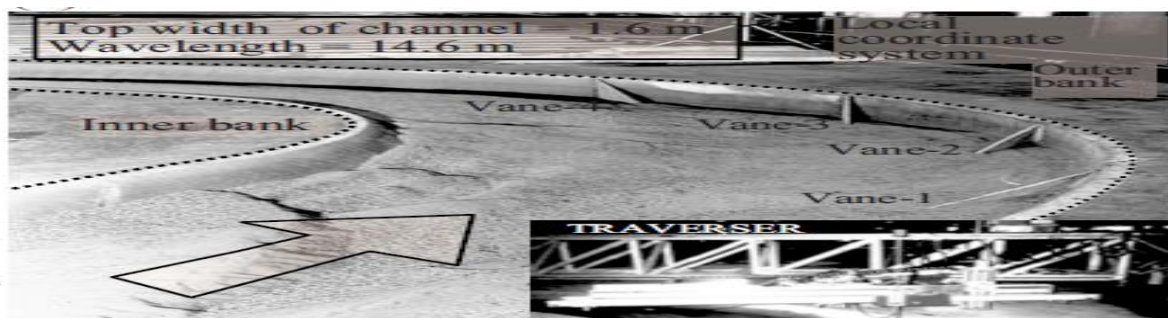
کولاس و همکاران (Collas, F. P. L., et al., 2018) به بررسی عملکرد دیواره‌ی طولی ساخته شده بر رودخانه وال از منظر بهبود اکولوژی سیستم و زیستگاه آبزیان پرداخته‌اند که نتیجه‌ی کار آن‌ها عملکرد موفق سازه‌ی اصلاحی دیواره‌ی طولی را نشان می‌دهد.

اسوریو و همکاران (Osorio et al., 2020) به بررسی عملکرد دیواره‌ی طولی ساخته شده بر رودخانه وال از منظر پایداری این سیستم پرداختند. آن‌ها عنوان می‌کنند که پایداری این سیستم به شدت وابسته‌ی به میزان رسوب ورودی به کانال اصلی و کانال فرعی است و نرخ رسوب ورودی باید در حالت تعادل باشد. آن‌ها همچنین بیان می‌کنند که به دلیل وجود داشتن مجهولات بسیاری که در این زمینه وجود دارد، بساری از سوالات در رابطه‌ی بحث رسوب همچنان بی پاسخ مانده‌اند که به دلیل خارج بودن بحث مذکور از هدف

پژوهش حاضر از اشاره‌ی به آن‌ها خودداری شده است و علاقه‌مندان می‌توانند برای دانش بیشتر، به کار ایشان مراجعه نمایند.

۵-۲ مرور منابع سازه‌های تثبیت بستر و پره‌های زیر آبی

اودگارد (Odgaard, 2017) و همچنین بویان و همکاران (Bhuiyan et al., 2010) به بررسی روشی جذاب برای محافظت از سواحل رودخانه‌ها پرداختند که علاوه بر حل مشکلات قبلی، کم هزینه نیز می‌باشد و آن استفاده از تثبیت بستر به همراه پره‌های مستغرق می‌باشد که در شکل ۱۶-۲ نشان داده شده‌است. آن‌ها همچنین عنوان می‌کنند که این ایده حتی می‌تواند بر رود بزرگی مانند براهماپوترا^۱ در هند نیز موثر واقع شود.



شکل ۱۶-۲: استفاده از روش تثبیت بستر و پره‌های زیر آبی

از آنجا که سیستم سازه‌های تثبیت بستر و پره‌های زیرآبی خارج از اهداف تحقیق حاضر می‌باشد، در ادامه به بررسی بیشتر این سیستم پرداخته نشده‌است و مطالعه‌ی بیشتر در این زمینه به علاقه‌مندان واگذار شده‌است.

¹ Brahmaputra River

۲-۶ نتیجه گیری

با اینکه رودخانه‌ها تمایل به دستیابی تعادل پویا دارند اما عوامل مختلف طبیعی و انسانی باعث برهم خوردن این تعادل می‌شوند که نتیجتاً باعث خسارت‌های مالی، آسیب به اکوسیستم، فرسایش رودخانه و ... می‌شوند. بنابراین مسئله‌ی حفاظت از رودخانه‌ها و حریم آن‌ها به شدت مهم و ضروری می‌باشد. در ابتدای فصل حاضر به انواع روش‌های محافظت از سواحل و توضیحاتی درباره‌ی هر کدام از روش‌ها پرداخته شد. سپس عنوان شد که برای قرن‌هاست که حفاظت از حریم رودخانه‌ها توسط سازه‌های عرضی یا همان آبشکن‌ها انجام می‌شود. متأسفانه این روش سنتی گران‌قیمت می‌باشد و همچنین باعث تأثیر نامطلوب بر ریخت‌شناسی سیستم می‌شود. اخیراً مهندسين پیشنهاد استفاده از روش‌هایی دیگر برای حفاظت از سواحل رودخانه‌ها ارائه نموده‌اند. روش استفاده از سازه‌های طولی از جمله‌ی این روش‌هاست که علاوه بر فراهم آوردن کانالی پر عمق جهت کشتیرانی باعث بهبود تأثیر بر ریخت‌شناسی سیستم نیز شده است. در ادامه، مطالعات انجام شده در زمینه‌ی مورد بحث، بررسی و تذکر داده شد که محققین عنوان کرده‌اند که با وجود تأثیر مثبت این سیستم جدید بر رودخانه وال اما همچنان نیاز به تحقیقات گسترده‌تری در این زمینه احساس می‌شود تا کارایی این سیستم به طور کامل مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا، هدف از تحقیق حاضر بررسی عددی الگوی جریان اطراف سازه‌های جدید اصلاحی دیواره‌ی طولی و مقایسه‌ی نتایج حاصله با تأثیر نواحی آشفته‌ی اطراف آبشکن بر روی تنش برشی بستر و دیواره‌ی کانال می‌باشد.

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۱-۳ مقدمه

مطالعه‌ی حرکت سیال یکی از زمینه‌های علمی است که تا چند دهه‌ی پیش برای مطالعه پدیده‌های موجود در این زمینه فقط از روش‌های تجربی یا روش‌های تحلیلی همراه با فرضیه‌های بسیار، استفاده می‌شد. با پیدایش کامپیوترها هزینه‌های محاسباتی کاهش یافته و بشر توانست پدیده‌های پیچیده‌تری را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. یکی از زمینه‌های علمی که با افزایش قدرت محاسباتی بشر پیشرفت زیادی در آن صورت گرفت، دینامیک سیالات محاسباتی یا ^۱CFD است. در واقع دینامیک سیالات محاسباتی علمی است که با بکارگیری فناوری‌های نوین در زمینه‌ی علوم رایانه، به شبیه‌سازی رفتار سیال می‌پردازد. این علم با پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه‌ی روش‌های محاسباتی و همچنین ساخت رایانه‌هایی با پردازنده‌های قوی در نیمه‌ی دوم قرن بیستم و در سال جدید میلادی رونق بیشتری یافته است. امروزه دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان یک ابزار مناسب در کنار روش‌های آزمایشگاهی و تحلیلی برای مطالعه‌ی رفتار سیال‌ها به صورت گسترده در زمینه‌های مختلف صنعتی مربوط به سیال‌ها، انتقال حرارت، و انتقال مواد به کمک سیال، مورد استفاده قرار می‌گیرد. علی‌رغم قدمت علم دینامیک سیالات محاسباتی در دنیا، پیشرفت‌های ایران در سال‌های اخیر در این شاخه از علم قابل توجه بوده است و محققین زیادی در این زمینه فعالیت می‌کنند.

یکی از شاخه‌های علمی که دینامیک سیالات محاسباتی در این زمینه پیشرفت زیادی داشته است، علم مهندسی آب یا هیدرولیک است. بررسی میکروسکوپی رفتار آب در جریان‌های طبیعی دارای پیچیدگی‌های زیادی است که ماهیت تغییر در آنها تصادفی می‌باشد، به طوریکه حتی حل مدل‌های تئوری موجود در فرم کامل آن‌ها نیز قادر به شبیه‌سازی دقیق این تغییرها نیست. ولی با پیدایش نسل جدید رایانه‌ها، علم

^۱ Computational Fluid Dynamics

دینامیک سیالات محاسباتی توانست با بکارگیری مدل‌های آشفتگی، تا حدودی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار آب موفق عمل کند و نتایج قابل قبولی را در این زمینه ارائه نماید. در ادامه، به طور مفصل‌تری به شرح تئوری و روش‌های مورد استفاده در نرم افزار Flow-3D خواهیم پرداخت.

۳-۲- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان سیال، معادلات ناویر-استوکس و معادله‌ی بقای جرم می‌باشند که این معادلات در فرم سه بعدی و در مختصات دکارتی برای سیال تراکم‌ناپذیر در روابط ۳-۱ تا ۳-۴ آورده شده‌اند:

الف - معادله بقای جرم:

$$\frac{\partial(V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(V_z)}{\partial z} = 0 \quad (۱-۳)$$

ب - معادلات ناویر - استوکس:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \vartheta \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (۲-۳)$$

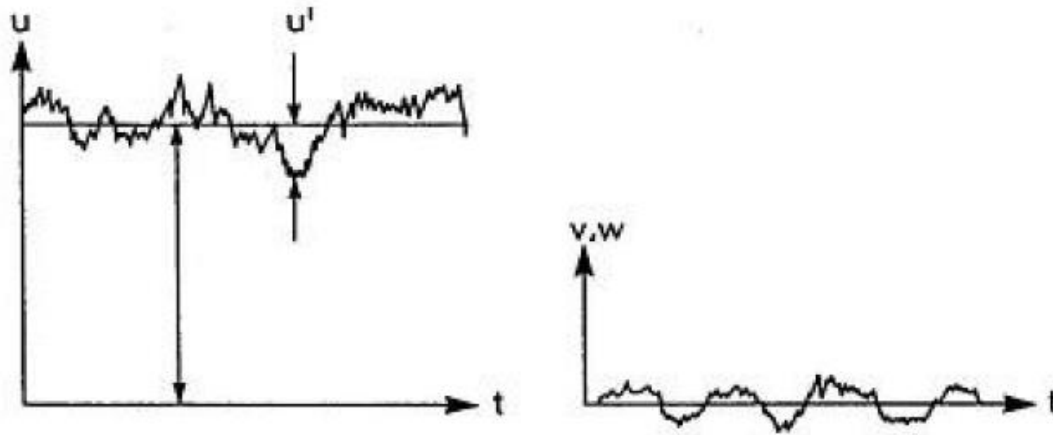
$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \vartheta \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (۳-۳)$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \vartheta \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (۴-۳)$$

۳-۲-۱- مفهوم آشفتگی و عدد رینولدز

$$Re = \frac{F_{inertia}}{F_{viscous}} = \frac{\rho V R}{\mu} \quad (۵-۳)$$

عدد رینولدز که از رابطه‌ی ۳-۵ بدست می‌آید، نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای لزجی می‌باشد که هرچقدر این عدد بزرگ‌تر باشد، نشان دهنده‌ی آن است که جریان تمایل بیشتری به بی‌نظمی (آشفته‌گی) دارد. در مسائل مهندسی عمران و با توجه به عدد رینولدز در می‌یابیم که در اکثر حالات با جریان‌ات آشفته سر و کار داریم. آشفته‌گی ذاتا پدیده‌ای ناپایا و وابسته به زمان است. آنچه که مورد سوال واقع می‌شود این است که در صورت عدم اطمینان به موقعیت هر توده‌ی سیال، چگونه می‌توان راجع به کل جریان تصمیم گرفت؟ پاسخ آنست که می‌توان بصورت آماری و با دقت قابل ملاحظه‌ای در مورد متوسط وقایع درون جریان نظر داد و به همین شکل در مورد وقایع آن پیش بینی و آنگاه تصمیم‌گیری کرد. شکل ۳-۱ بیانگر این مفهوم است. پاسخ فوق که اولین بار توسط رینولدز ارائه شد، اساس توسعه‌ی روش‌های $RANS^1$ می‌باشد.



شکل ۳-۱: متوسط گیری زمانی جریان آشفته

با توجه به توضیحات فوق، برای جریان آشفته‌ی دائمی معادلات بقای جرم و ناویر-استوکس به صورت برداری در روابط ۳-۶ و ۳-۷ آورده شده‌اند:

¹ Reynolds-Averaged-Navier-Stokes

الف- معادله‌ی بقای جرم در سه جهت در فرم برداری:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (6-3)$$

ب- معادلات مومنتوم در سه جهت در فرم برداری:

$$u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + g_i \quad (7-3)$$

تذکر اول: i و j در معادلات فوق می‌توانند اعداد ۱ و ۲ و ۳ را به خود اختصاص دهند که به ترتیب نشان دهنده‌ی محورهای x، y و z می‌باشند.

تذکر دوم: تنش‌های رینولدز در معادلات ب را می‌توان بر اساس فرض بوئسیسک و از رابطه‌ی ۳-۸ محاسبه نمود:

$$\frac{\tau_{ij}}{\rho} = -\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (8-3)$$

تذکر سوم: به علت گستردگی مباحث تئوری جریان سه بعدی و بحث آشفتگی، در تحقیق حاضر فقط به فرمول‌های مهم اشاره شده‌است، لذا به خواننده‌ی محترم توصیه می‌شود برای اطلاعات دقیق‌تر به کتب هیدرودینامیک و آشفتگی، رجوع نماید.

تذکر چهارم: نرم‌افزار Flow-3D پنج مدل آشفتگی مختلف را پشتیبانی می‌کند که عبارتند از:

- مدل یک معادله‌ای طول اختلاط پیرانتل،

- مدل‌های دو معادله‌ای k-w، 'k-ε, RNG'،

- مدل LES،

¹ ReNormalized Group

که در تحقیق حاضر، برای بسته شدن معادلات، از روش دو معادله‌ای $k-\epsilon$ استفاده شده است. تذکر پنجم: در نرم افزار Flow-3D به دلیل استفاده‌ی این نرم افزار از تکنیک‌های VOF و FAVOR که در ادامه به توضیح این دو خواهیم پرداخت، فرم معادلات مذکور اندکی تغییر می‌کنند که علاقه‌مندان برای مطالعه‌ی بیشتر می‌توانند به دفترچه‌ی راهنمای این نرم‌افزار، رجوع نمایند.

۳-۳- روش حل

در این پژوهش از معادلات سه‌بعدی RANS برای جریان تراکم‌ناپذیر، آشفتگی دائمی در کانال باز استفاده شده است. از آنجا که معادلات حاکم بر جریان به روش تحلیلی قابل حل نیستند، بایستی از روش‌های عددی دینامیک سیالات محاسباتی برای حل آن‌ها استفاده نمود. در این پژوهش به دلیل قابلیت‌هایی که نرم‌افزار Flow-3D در زمینه‌ی شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی دارد و جواب‌های قابل قبولی که در این زمینه ارائه کرده است، برای حل عددی معادلات حاکم، از این نرم‌افزار استفاده شده است. نرم‌افزار Flow-3D یک مدل مناسب برای مسائل پیچیده‌ی سیالات می‌باشد و دارای بازه‌ی کاربردی وسیعی در زمینه‌هایی مانند ریخته‌گری، هیدرولیک، محیط‌زیست و ... است. این نرم‌افزار شامل الگوهای فیزیکی بسیاری از جمله آب‌های کم‌عمق، آشفتگی، کاویتاسیون و ... است. این نرم‌افزار برای جریان‌های سه‌بعدی غیرماندگار که دارای سطح آزاد و هندسه‌ی پیچیده هستند کاربرد دارد. این نرم‌افزار از روش عددی حجم محدود برای حل معادلات حاکم استفاده می‌نماید. در مدل Flow-3D از دو تکنیک عددی برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود که عبارتند از تکنیک حجم سیال یا VOF^1 که برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد و تکنیک کسر مساحت-حجم مانع یا $FAVOR^2$ که نرم‌افزار از این تکنیک برای مدل‌سازی سطوح و احجام

¹ Volume of Fluid Method

² Fractional Area-Volume Obstacle Representation Method

صلب مانند مرزهای هندسی استفاده می‌کند. شبکه‌ی حل در این نرم‌افزار متشکل از سلول‌های مکعب مستطیلی است که به دلیل تولید آسان این نوع شبکه، نظم مناسب، نیاز به حافظه‌ی کمتر، و ادغام شدن آن با تکنیک‌های VOF و FAVOR، شبکه‌بندی به این شکل یک مزیت خواهد بود.

۳-۳-۱ روش VOF

روش VOF نمونه‌ای از روش جز حجمی است. در این روش ناحیه‌ای که باید مدل شود، ابتدا به شبکه‌ای از المان‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. برای المان‌های حاوی سیال، مقادیر عددی به ازای هر کدام از متغیرهای جریان نظیر فشار، دما و سرعت، داخل آن‌ها نگه داشته می‌شود. معمولاً این مقادیر نشانگر میانگین حجمی مقادیر هر المان هستند. زمانیکه جریان دارای سطح آزاد است تمام سلول‌ها پر از سیال نیستند و تعدادی از سلول‌ها که در سطح جریان قرار دارند، نیمه‌پر هستند. روش مناسب برای نشان دادن وضعیت سلول‌ها این است که کمیتی به نام F ، که بیانگر جزئی از سلول که توسط سیال پر شده است، تعریف شود. این کمیت تابع حجم سیال (Volume of Fluid) نامیده می‌شود. با دانستن مقادیر F ، می‌توان محل سطح آزاد و زاویه‌ی آنرا در میان سلول‌های میدان نیز مشخص کرد. این عمل با کنترل کردن مقدار سیال در سلول‌های مجاور انجام پذیر است. بخش عمده‌ی سیال در داخل یک سلول سطحی به سلول مجاور با سیال بیشتر نزدیک است. بعد از تعیین موقعیت و زاویه‌ی سطح جریان، اعمال شرایط مرزی مناسب در سطح جریان برای محاسبه‌ی حرکت سیال مقدور خواهد بود. با حرکت سیال، مقادیر F نیز با آن حرکت می‌کنند. سطوح آزاد به طور خودکار با حرکت سیال در داخل یک شبکه‌ی ثابت رصد می‌شود. البته این فرآیند باید به گونه‌ای باشد که پله‌ای بودن تابع F حفظ شود. مزیت بزرگ روش VOF این است که سیال در داخل یک شبکه‌ی ثابت جریان دارد و هیچگونه تغییر شکل و جابه‌جایی شبکه وجود ندارد. همچنین توده‌های سیال می‌توانند بر اساس اثر نیروها با هم مخلوط یا از هم جدا شوند بدون اینکه منطق خاصی برای تعیین سطوح

مشترک نیاز باشد. این ویژگی‌ها باعث می‌شود تا روش VOF در مدل‌سازی فرآیندهای با تر و خشک شدن متناوب نظیر موج در سواحل یا امواج جزر و مد، روش مناسب‌تری باشد.

۲-۳-۳ روش FAVOR

این روش یکی دیگر از فنون جزء حجمی است که برای تعیین هندسه به کار برده می‌شود. همانطور که جزء حجمی سیال در داخل هر سلول شبکه، برای تعیین موقعیت سطح سیال به کار برده می‌شود، یک کمیت جزء حجمی دیگر نیز می‌تواند برای تعیین سطح بدنه‌ی صلب استفاده شود. از طرفی این کمیت می‌تواند در مشخص کردن حجمی از سلول که توسط بدنه‌ی صلب اشغال نشده است نیز استفاده شود. زمانیکه در هر سلول حجم اشغال شده توسط بدنه‌ی صلب مشخص باشد، با تکنیکی مشابه تکنیک VOF می‌توان مرز صلب را در داخل شبکه‌ی ثابت مشخص کرد. این مرز برای تعیین شرایط مرزی دیواره که جریان باید از آن تبعیت کند بکار برده می‌شود. از آنجا که هندسه‌ی مجرای یک جریان ثابت است، لذا جزء حجمی V_f و جذب سطحی A_f در طول مدل‌سازی تغییر نمی‌کند. هنگامی که دو روش VOF و FAVOR با هم ترکیب می‌شوند، جزء حجمی سیال (F) به عنوان بخشی از جزء خالی سلول (V_f) که توسط سیال پر شده است، تعریف می‌شود. لذا اگر حجم یک سلول برابر Γ باشد، حجم واقعی سیال در آن سلول عبارت است از $\Gamma (FV_f)$.

۳-۳-۳ مراحل شبیه‌سازی جریان توسط نرم‌افزار Flow-3D

* ایجاد یک فضای کاری جدید و انتخاب یک شبیه‌سازی جدید تا بتوان مدل را در آن ایجاد کرد.

* تولید هندسه‌ی شکل، نرم‌افزار Flow-3D قادر به ایجاد اشکال هندسی منظم می‌باشد. علاوه بر این، جهت تولید اشکال نامنظم این نرم‌افزار قادر خواهد بود فایل‌های ایجاد شده در نرم‌افزار اتوکد و همچنین فایل‌های توپوگرافی به صورت x, y, z را مورد استفاده قرار دهد.

- * شبکه‌بندی و یا مش‌بندی هندسه جریان، مش‌بندی اشکال هندسی‌ای که از اتوکد و یا فایل‌های توپوگرافی وارد نرم‌افزار می‌شوند، توسط خود نرم‌افزار انجام می‌گیرد.
- * انتخاب شیوه‌ی محاسبه‌ها و فرمول‌بندی حل.
- * انتخاب معادله‌های اساسی که باید حل شوند، مثل حالت جریان آشفته یا لایه‌ای.
- * تعیین خواص (ویژگی‌های سیال و ...).
- * تعیین شرایط مرزی (پس از ساخت هندسه‌ی میدان لازم است تا شرایط مرزی میدان وارد شود).
- * شروع محاسبه‌ها توسط نرم‌افزار.
- * امتحان کردن نتایج و ذخیره‌ی آن‌ها.
- * صحت‌سنجی نتایج.

۳-۴- شبیه‌سازی عددی مدل

برای مدل‌سازی در نرم‌افزار Flow-3D مراحل زیر طی شده است:

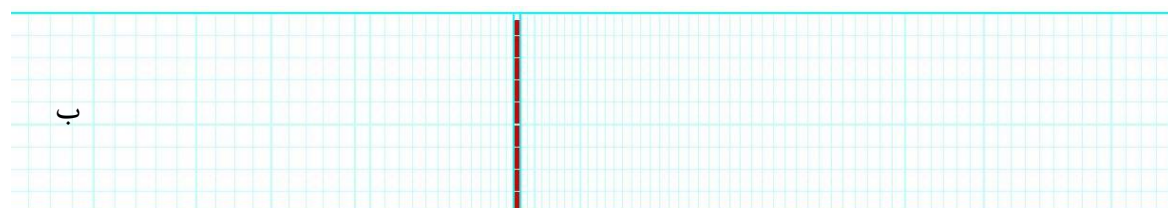
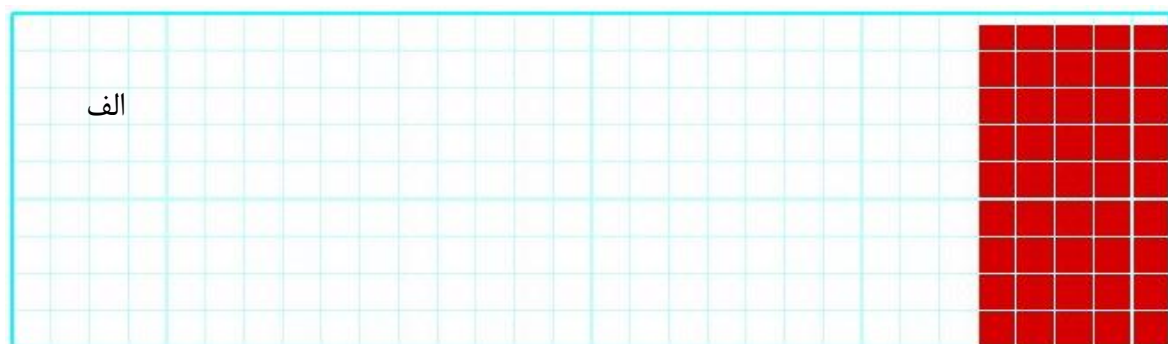
- * گام اول ایجاد یک فضای کاری جدید و انتخاب یک شبیه‌سازی جدید است تا بتوان مدل را در آن ایجاد کرد.
- * مرحله‌ی دوم، تعریف مسأله‌ی مورد نظر برای شبیه‌سازی و طرح‌ریزی آن است که دارای چند زبانه است:
 - الف- زبانه‌ی General که در این زبانه کلیاتی مانند زمان شبیه‌سازی، سیستم آحاد مورد استفاده، تعداد و نوع سیال مورد استفاده، معرفی می‌شود.
 - ب- زبانه‌ی Physics که این آیتم محل تعریف شرایط فیزیکی حاکم بر پدیده را بیان می‌کند که در تحقیق حاضر، موارد زیر فعال شده است:

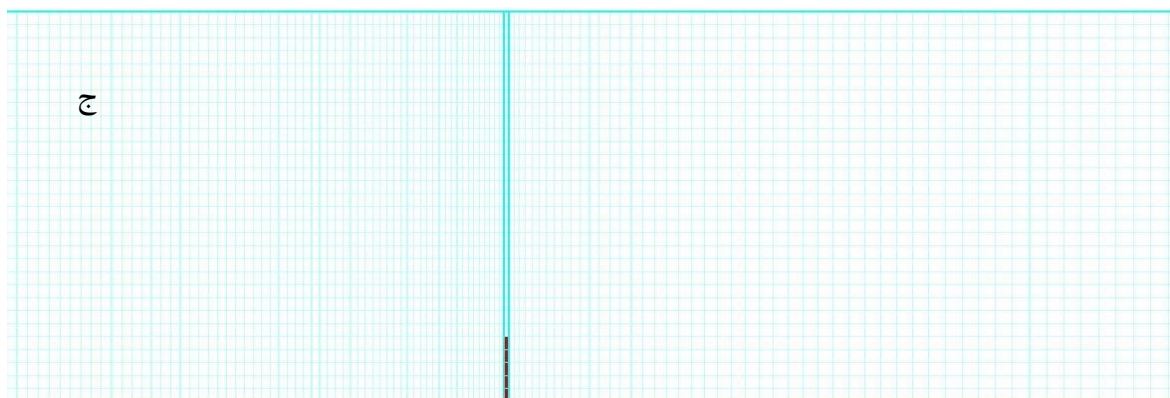
ب- Gravity که در این گزینه، مولفه‌ی شتاب گرانش زمین با توجه به سیستم آحاد مورد استفاده برای مولفه‌ی z مقدار 9.81- متر بر مجذور ثانیه و مقدار مولفه‌ی شتاب x مقدار 0.000981 متر بر مجذور ثانیه وارد شده است.

ب-۲ Viscosity and Turbulence که این گزینه خواص جریان سیال، نوع جریان و مدل آشفتگی را نشان می‌دهد که در این تحقیق به منظور مدل‌سازی آشفتگی از مدل دو معادله‌ای k-ε استفاده شده است. ج- زبان‌های Fluids که با استفاده از این زبان می‌توان سیال مورد نظر را به برنامه معرفی کرد. در این تحقیق از سیال آب در دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد استفاده شده است.

د- زبان‌های Meshing and Geometry که در این آیت‌م رسم هندسه‌ی شکل و مش‌بندی آن و شرایط مرزی و اولیه وجود دارد که به این شرح تکمیل گردیدند:

برای مش‌بندی پروژه ابتدا هندسه‌ی شکل توسط اطلاعات موجود از مدل عددی کوئروولی و همکاران در محیط نرم‌افزار ایجاد گردید و برای مشخص کردن تعداد سلول‌های شبکه‌ی مش، از توصیه‌ی صورت گرفته در کار عددی کوئروولی و همکاران استفاده شد و تعداد کل سلول‌های محاسباتی برابر ۳۹۰۰۰۰۰ وارد شد. در شکل ۲-۳ مش‌بندی در جهات مختلف، نمایش داده شده است.





شکل ۳-۲: مش بندی در جهات الف - x ، ب - y و ج - z

شرایط مرزی که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است، از زیر شاخه‌ی Boundaries و مطابق کار کوترولی و همکاران تنظیم شده است.

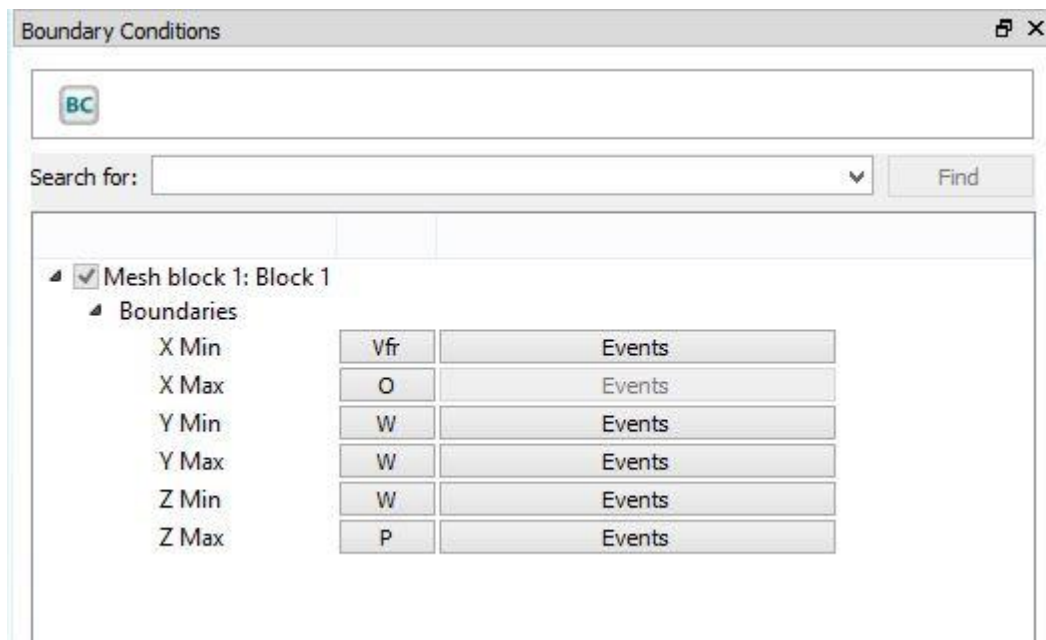
شرایط مرزی در ۶ وجه مکعب حل و به این شرح اعمال شده است:

- برای شرط مرزی ورودی از گزینه‌ی Volume Flow Rate استفاده شده است که دبی ورودی به داخل کانال از این طریق اعمال می‌شود.

- برای مرز خروجی نیز با هدف عدم تاثیر پذیری جریان در شبکه‌ی حل از شرط مرز خروجی Outflow استفاده شده است.

- برای کف و دیوارها از شرط مرزی Wall استفاده شده است. این شرط مرزی دقیقاً مشابه یک دیوار مجازی عمل می‌کند.

- برای مرز فوقانی کانال که با سطح آزاد در تماس است، بر طبق توصیه‌ی صورت گرفته در دفترچه‌ی راهنمای نرم افزار Flow-3D، شرط مرزی فشار به صورت $pressure = 0$ و $Fluid\ fraction = 0$ اعمال شد.



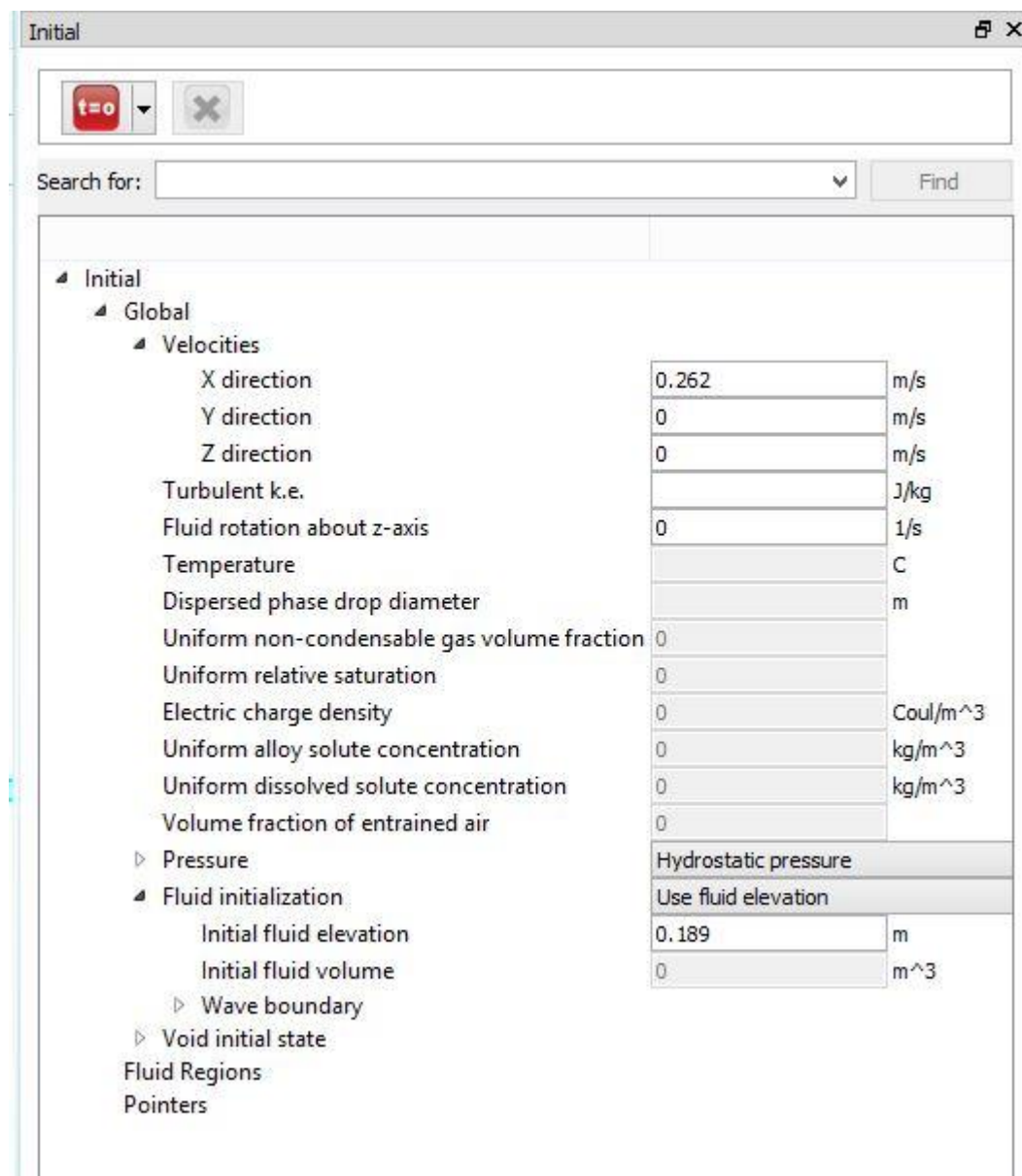
شکل ۳-۳: تعریف شرایط مرزی در نرم‌افزار Flow-3D

برای تعریف شرایط اولیه که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است، از زیر شاخه‌ی Initial استفاده شده است.

- عمق اولیه‌ی آب برابر 0.189 متر تنظیم گشت.

- سرعت اولیه‌ی جریان برابر 0.262 متر بر ثانیه تنظیم گشت.

- فشار از نوع هیدرواستاتیک تعریف گردید.



شکل ۳-۴: تعریف شرایط اولیه در نرم افزار Flow-3D

سپس از زبانه‌ی Output خروجی‌های مورد نیاز انتخاب گشت و منوی Numerics با همان تنظیمات پیش فرض نرم افزار مورد استفاده قرار گرفت.

* مرحله‌ی سوم، مرحله‌ی اجرا و پردازش مسایل شبیه سازی شده است.

* و مرحله‌ی چهارم و پنجم، آنالیز شبیه سازی و نمایش نتیجه‌ها می‌باشند.

لازم به ذکر است که در تمام شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در تحقیق حاضر، شرایط اولیه، شرایط مرزی، نوع و سائز مش‌بندی، مشخصات سیال و ... دقیقاً مطابق با موارد ذکر شده در بخش ۳-۴ است و تنها موردی که در شبیه‌سازی‌ها متغیر بوده است، جایگزینی سازه‌ی آبشکن با سازه‌ی دیواره‌ی طولی می‌باشد. به عبارت دیگر عملکرد سازه‌ی آبشکن و سازه‌ی دیواره‌ی طولی در شرایط یکسان اولیه، مرزی، مش‌بندی و ... با یکدیگر مقایسه گشته است.

۳-۵- جمع بندی

مدل Flow-3D توانایی بالایی در شبیه‌سازی جریان سیال، به خصوص جریاناتی که دارای سطح آزاد می‌باشند، دارد و مدل مناسبی برای شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی است. استفاده از تکنیک VOF در پیش بینی سطح آزاد سیال و ترکیب آن با تکنیک FAVOR در تشخیص مرزهای صلب از ویژگی‌های این نرم‌افزار هستند. در این تحقیق شرایط فیزیکی و هندسه‌ی مدل، مشخصات سیال، شبکه‌ی میدان محاسباتی، شرایط اولیه و شرایط مرزی و همچنین زمان شبیه‌سازی به نرم‌افزار معرفی گردید و شبیه‌سازی‌های مربوطه انجام گشت.

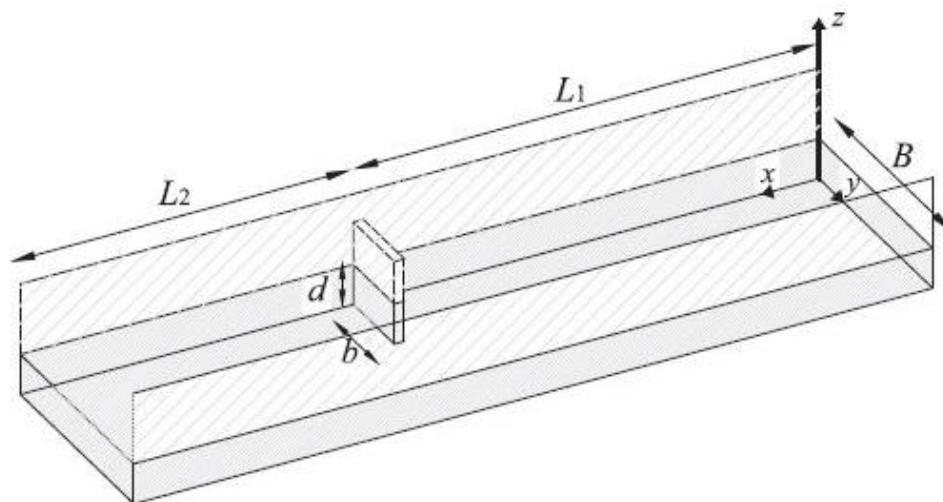
فصل چہارم: نتیجہ و بحث

۱-۴ مقدمه

اولین گام در یک مدل عددی، کالیبره کردن مدل می‌باشد. بدین معنی که تاثیر عوامل خارجی را به حداقل رسانده و شرایط مدل را به شرایط واقعی نزدیک‌تر کنیم. با توجه به این که مدل عددی حاضر از روی مدل عددی کوترولی و همکاران ایجاد شده است، پس با یک مدل کالیبره شده‌ی عددی رو به رو هستیم. آنچه در اینجا مطرح می‌شود کالیبره کردن مدل عددی از لحاظ شبیه‌سازی و زمان شبیه‌سازی است.

۲-۴ مشخصات مدل آزمایشگاهی

در این تحقیق به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی، نتایج برای حالت تک‌آبشکن با کار آزمایشگاهی راجاراتنام و نوآچوکوآ (Rajaratnam and Nwachukwu 1983) صحت‌سنجی و برای حالت‌های سری آبشکن‌ها که نتایج آزمایشگاهی‌ای موجود نیست، از نتایج حاصله از تحقیق عددی کوترولی و همکاران که از کانالی با همین مشخصات در کارشان استفاده کرده‌اند، استفاده شده‌است. شبیه‌سازی‌ها در کانالی با مشخصاتی که در ادامه می‌آیند و در شکل ۱-۴ قابل مشاهده است، انجام شده است:



شکل ۱-۴: مشخصات کانال آزمایشگاهی استفاده شده در مدل عددی

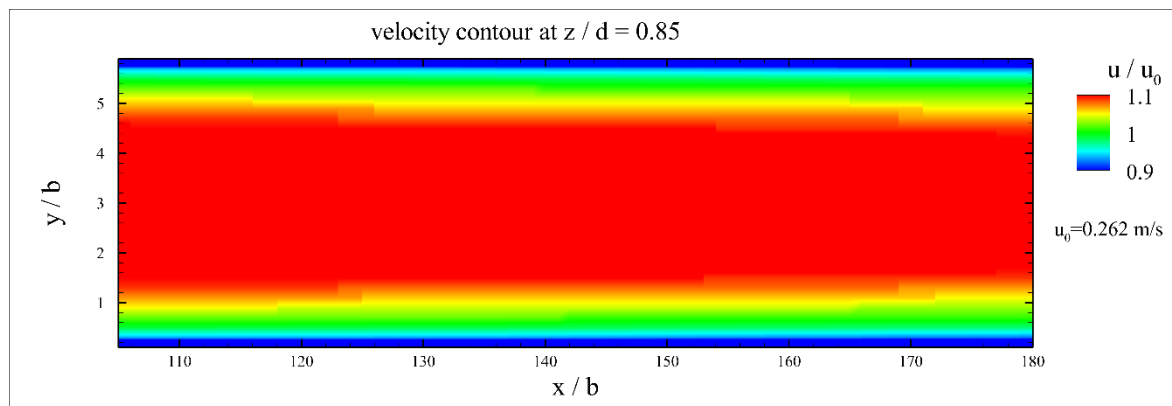
فرض شده است که کف کانال و دیواره‌ها صاف می‌باشند. در ورودی کانال، $x/b=0$ ، در جهت جانبی $y/b=0$ و ارتفاع کل دامنه‌ی محاسباتی برابر $2.5d$ در نظر گرفته شده است. موقعیت آبشکن در $x/b=120$ است که به اندازه‌ی کافی از ورودی و خروجی فاصله داشته باشد، تا جریان به طور کامل توسعه یابد. عرض کانال $B=0.9144$ m، تنش برشی بالادست آبشکن $\tau_0 = \gamma R s_0 = 0.131$ pa که در این رابطه R شعاع هیدرولیکی با مقدار 0.134 m می‌باشد، $L_1 = L_2 = 120b = 18.288$ متر. شیب کانال $s_0 = 0.0001$ ، طول آبشکن $b = B/6 = 0.1524$ m، ضخامت آبشکن برابر 3 mm، جریان در بالادست آبشکن زیر بحرانی با عدد فرود $Fr=0.19$ ، عمق یکنواخت $d=0.189$ m، سرعت یکنواخت $u_0 = 0.262$ m/s، چگالی آب $\rho=998.2$ کیلوگرم بر متر مکعب، دبی $Q=0.045326$ متر مکعب بر ثانیه، عدد رینولدز $Re=34900$.

در ادامه‌ی بحث، نتایج تنش برشی دیواره، برای دیواره‌ای که در موقعیت $y=0$ قرار دارد (با توجه به مختصات شکل ۴-۱)، ارائه شده است.

۳-۴ کالیبراسیون

۱-۳-۴ زمان شبیه‌سازی

برای استخراج مقادیر درست داده‌های یک مدل عددی، رسیدن حالت جریان به شرایط پایدار ضروری است لذا در تحقیق حاضر شبیه‌سازی‌ای در یک کانال اولیه و با شرایط مذکور در بخش ۳-۴ و ۴-۲ و بدون هیچ سازه‌ی کنترلی‌ای اعم از آبشکن یا سد طولی انجام شد تا زمان بهینه‌ی شبیه‌سازی تخمین زده شود. در شکل ۴-۲ و به عنوان نمونه، کانتور سرعت در $z/d=0.85$ آورده شده است که نشان از پایدار شدن جریان دارد. قابل ذکر است که موارد بیشتر در ادامه‌ی بحث و در قسمت ۴-۴-۱ آورده شده است.



شکل ۴-۲: کانتور سرعت در $z/d=0.85$

۴-۳-۲ حساسیت سنجی

حساسیت به شبکه‌بندی همواره یکی از مسائل مهم در مدل‌های عددی بوده‌است و به همین منظور در تحقیق حاضر شبکه‌بندی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌است، که در ادامه به آن اشاره شده‌است. در شبکه‌ی مش‌بندی فاصله‌ی از بالادست به گونه‌ای انتخاب شده که از توسعه یافتگی جریان قبل از سازه‌ی آبشکن یا سازه‌ی دیواره‌ی طولی اطمینان حاصل شود و ابعاد مش‌بندی نیز به گونه‌ای ایجاد شد که هم از نظر هزینه‌ی محاسباتی بهینه و هم کمترین میزان خطا را داشته باشد.

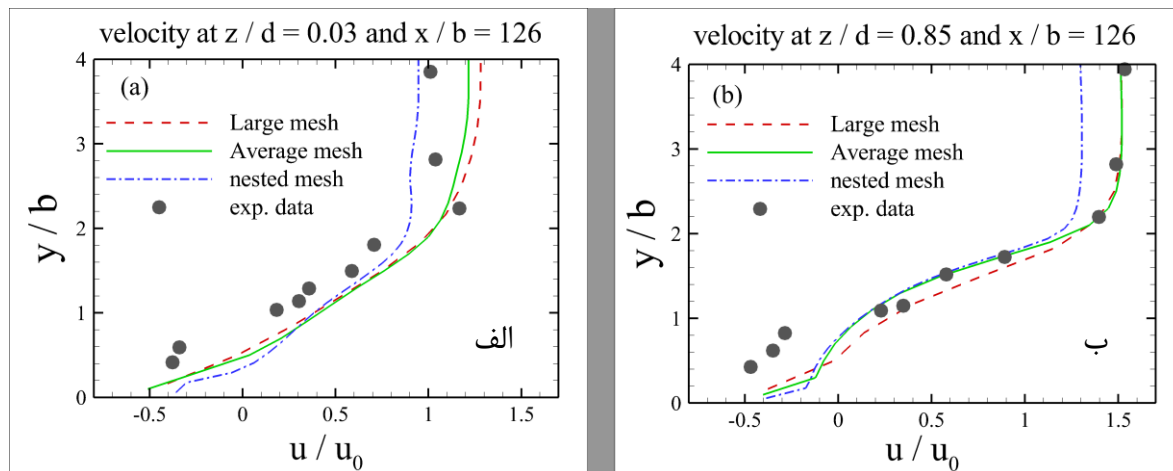
بر اساس کار کوتروولی و همکاران برای شبیه‌سازی کانال با شرایط مذکور در بخش ۳-۴ و ۴-۲، تعداد سلول‌های محاسباتی بایستی بین دو تا پنج میلیون باشد. بر همین اساس، از قابلیت مشخص کردن تعداد سلول‌ها در نرم‌افزار استفاده شده و مشخصات تعداد سلول‌ها در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در تحقیق حاضر، در جدول ۴-۱ آورده شده‌است.

قابل ذکر است که در ادامه‌ی کار از مش‌بندی با تعداد سلول ۳۹۰۰۰۰۰ استفاده شده‌است.

در شکل ۴-۳ نتایج حاصل از مش‌بندی‌های متفاوت آورده شده‌است.

جدول ۴-۱: تعداد سلول‌های محاسباتی در مش‌بندی‌های مختلف

نام مش	مش بزرگ ^۳	مش متوسط ^۲	مش تودرتو ^۱
تعداد سلول‌ها	۳۶۰۰۰۰	۳۹۰۰۰۰	۴۲۰۰۰۰



شکل ۴-۳: نتایج مش‌بندی‌های متفاوت در موقعیت $x/b=126$ و الف- $z/d=0.03$ و ب- $z/d=0.85$

۴-۴ صحت سنجی

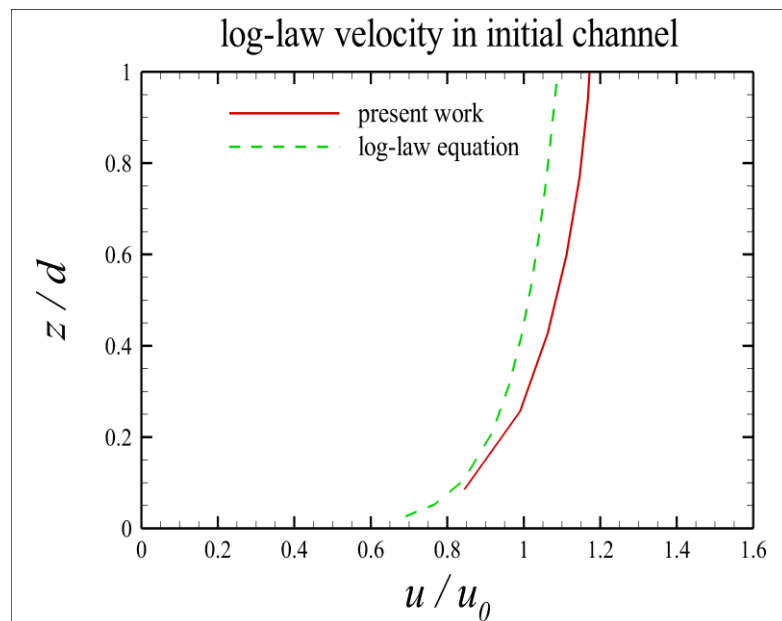
۴-۴-۱ نتایج کانال اولیه

همانطور که اشاره شد، برای تخمین زمان شبیه‌سازی، شبیه‌سازی‌ای بدون هیچ سازه‌ی اصلاحی اعم از آبشکن یا دیواره‌ی طولی در کانال، انجام شد که در شکل‌های ۴-۴ تا ۴-۶ نتایج آن، آورده و در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته شده‌است.

¹ Nested mesh

² Average mesh

³ Large mesh



شکل ۴-۴: مقایسه‌ی نتایج سرعت عددی با رابطه‌ی سرعت لگاریتمی

در شکل ۴-۴ پروفیل سرعت طولی در $x=120b$ و $y=B/2$ ، ترسیم و با پروفیل لگاریتمی سرعت^۱ که از رابطه‌ی ۱-۴ محاسبه شده‌است، مقایسه گشته است. مشاهده می‌شود که خطای نتیجه‌ی مدل عددی در قیاس با نتیجه‌ی رابطه‌ی تحلیلی، قابل قبول می‌باشد.

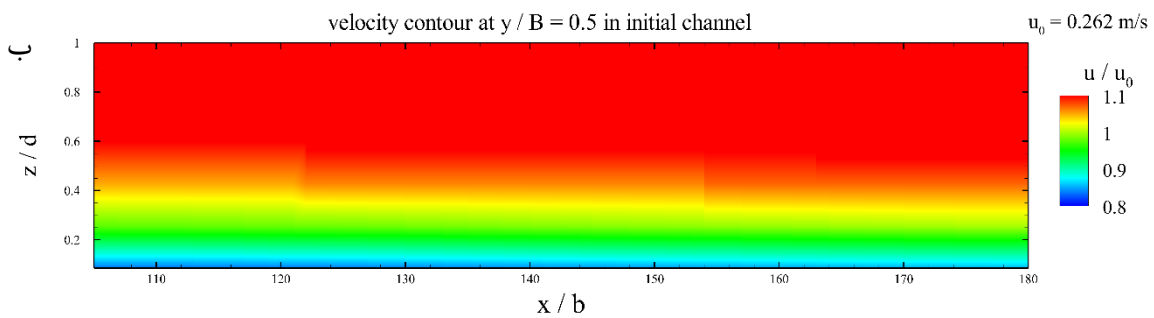
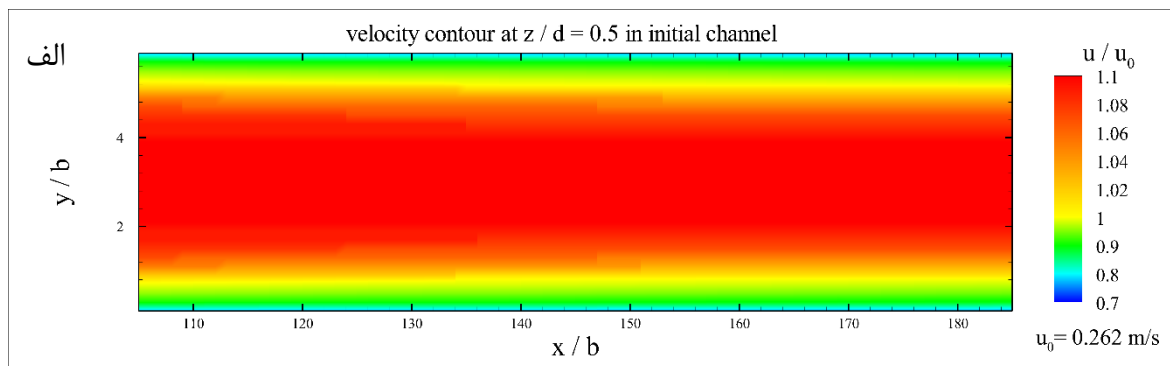
$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \left(E \frac{zu_*}{\vartheta} \right) \quad (۱-۴)$$

مقدار ضریب ثابت E در رابطه‌ی ۱-۴، $E = 9.8$ در نظر گرفته شده است. (Fluent, 2013)

توسعه یافتگی^۲ جریان در کانتورهای سرعت شکل ۴-۵، قابل ملاحظه است.

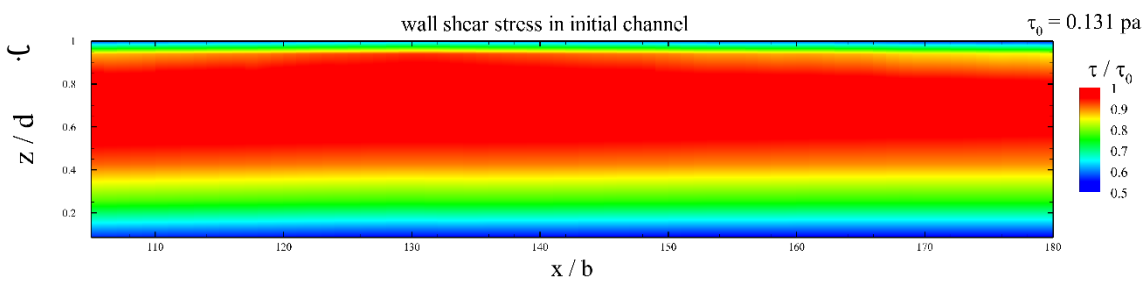
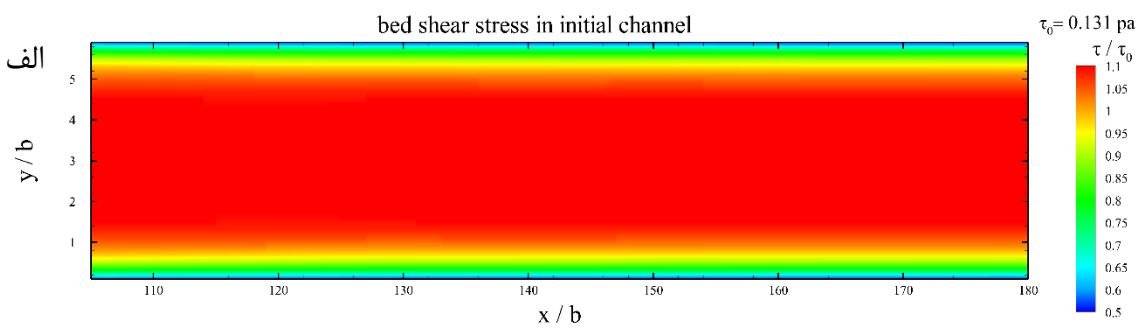
^۱ Log-law velocity

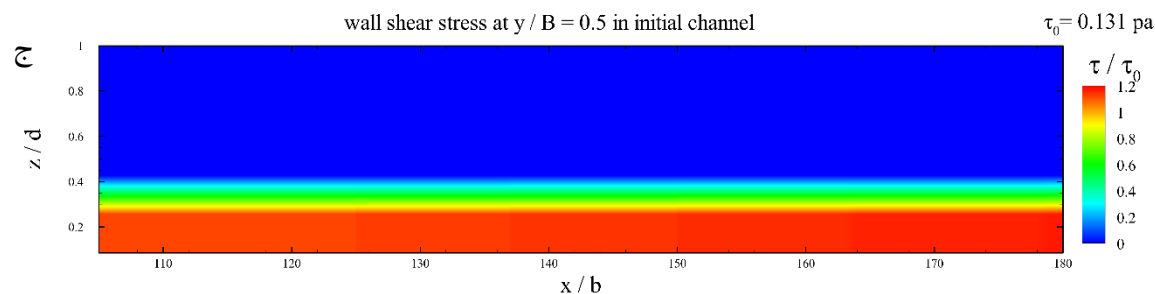
^۲ Fully developed



شکل ۴-۵: کانتورهای سرعت در موقعیت های الف- $z/d=0.5$ و ب- $y/B=0.5$

در شکل ۴-۶ نتایج کانتورهای تنش برشی آورده شده است.





شکل ۴-۶: کانتورهای تنش برشی الف- تنش برشی بستر ب- تنش برشی دیوار ج- تنش برشی در وسط کانال

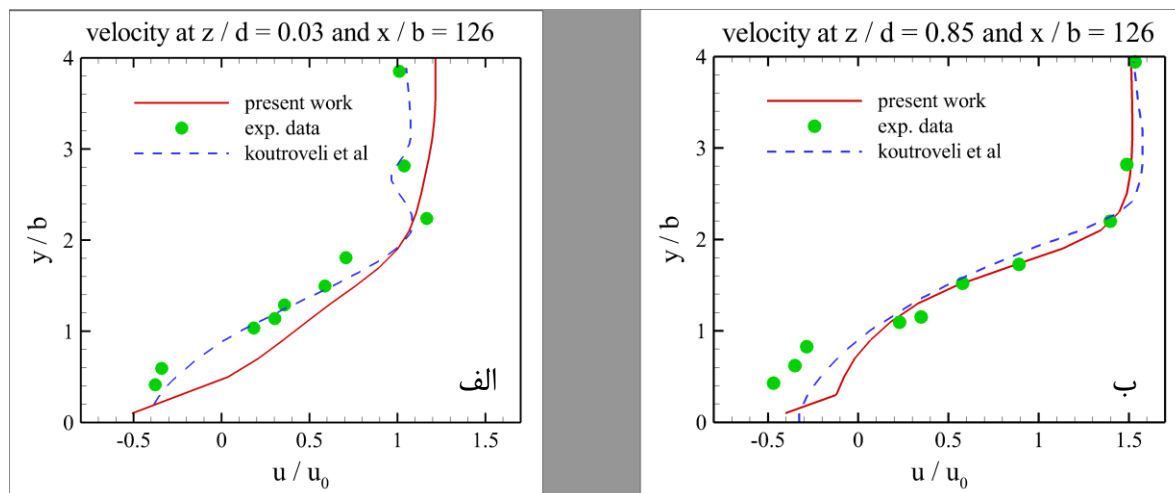
همانطور که در اشکال ۴-۵ تا ۴-۶ مشاهده می‌شود، تنش برشی در بستر، ماکزیمم، در سطح آزاد صفر و روی دیواره به صورت مثلی است، که با هیدرولیک مساله همخوانی دارد.

۴-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی تک‌آبشکن

نتایج شبیه‌سازی تک‌آبشکن با کار آزمایشگاهی راجاراتنام و نوآچوکوآ که مشخصات کانال آزمایشگاهی آن‌ها در بخش‌های ۳-۴ و ۴-۲، تشریح گردید، صحت سنجی شده است.

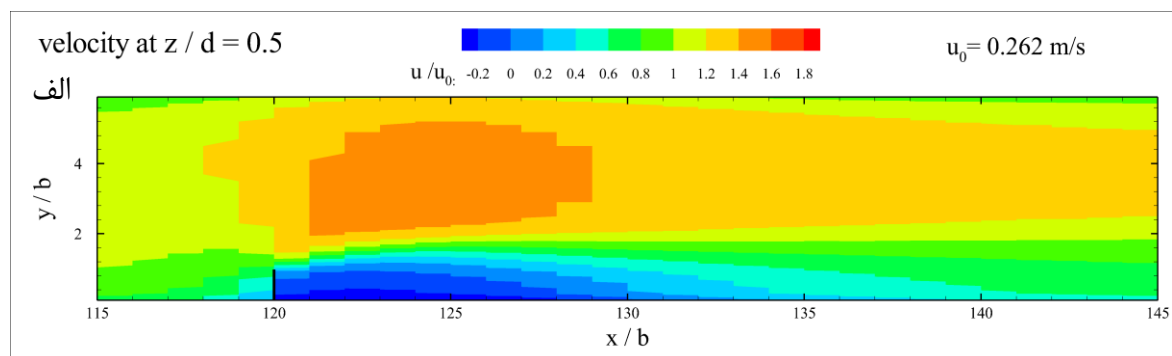
در اشکال ۴-۷ تا ۴-۹ به بررسی و صحت‌سنجی نتایج حاصل از تک‌آبشکن، بوسیله‌ی کار آزمایشگاهی راجاراتنام و نوآچوکوآ، و مقایسه با کار عددی کوتروولی و همکاران، پرداخته شده است.

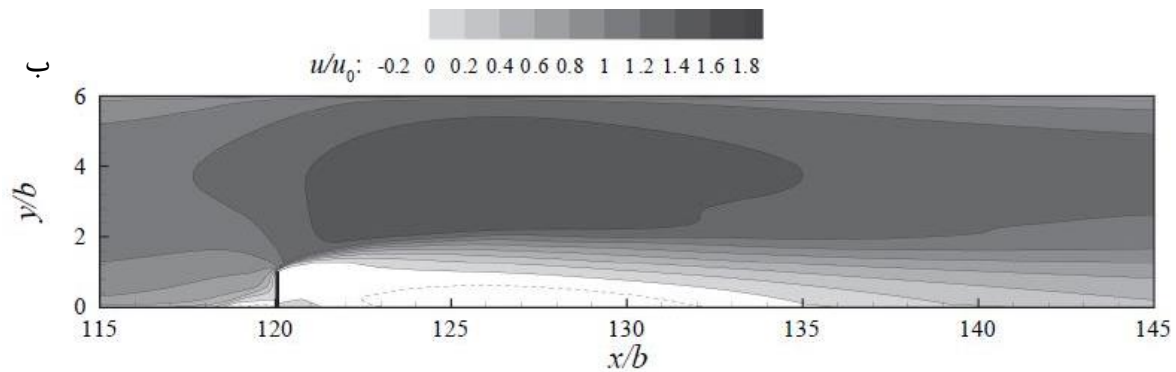
در شکل ۴-۷ پروفیل سرعت در دو موقعیت الف- $x/b=126$ و $z/d=0.03$ ب- $x/b=126$ و $z/d=0.85$ با نتایج کوتروولی و همکاران و همچنین نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است.



شکل ۴-۷: مقایسه پروفیل سرعت در موقعیت‌های الف- $z/d=0.03$ و $x/b=126$ ب- $z/d=0.85$ و $x/b=126$ با نتایج عددی کوتروولی و همکاران در حالت تک‌آبشکن و همچنین نتایج آزمایشگاهی راجاراتنام و نوآچوکوآ

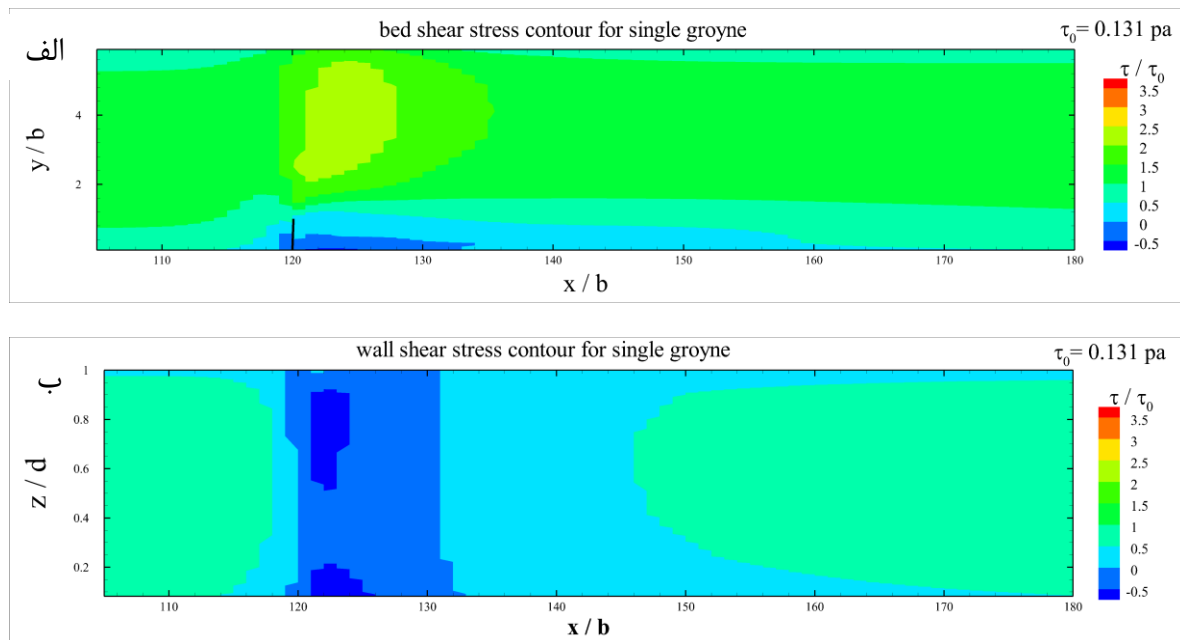
در شکل ۴-۸ کانتور سرعت در $z/d=0.5$ با کار کوتروولی و همکاران مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از روش $k-\epsilon$ از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و طبق کار آزمایشگاهی راجاراتنام و نوآچوکوآ طول ناحیه‌ی چرخش که برابر $12b$ است را، توانسته است مدل کند.

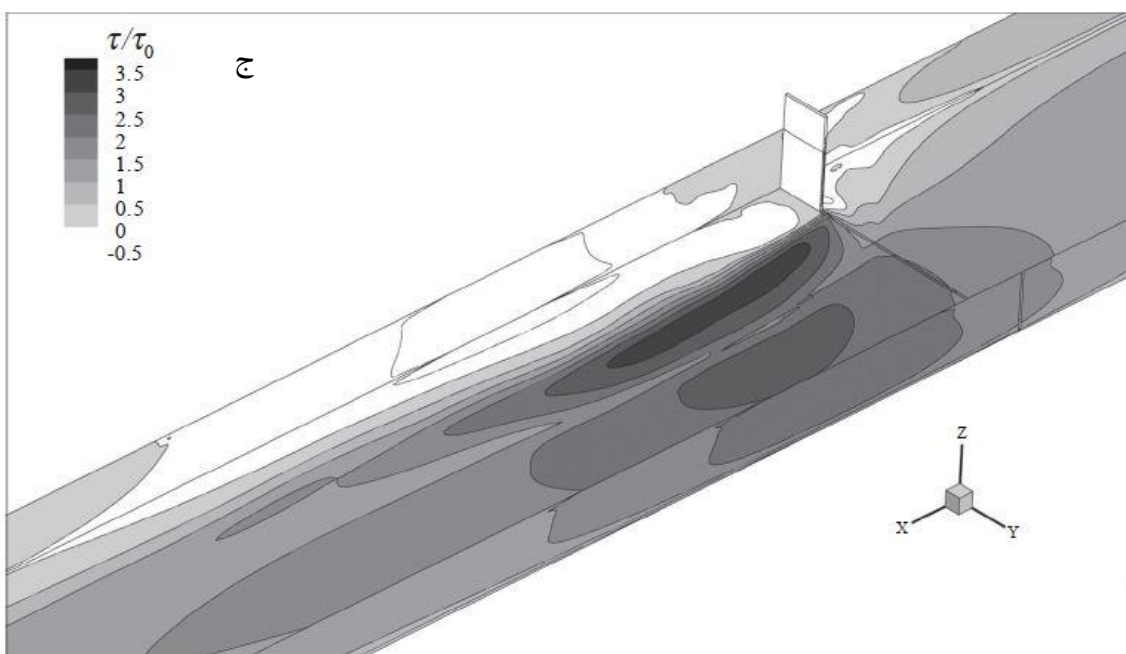




شکل ۴-۸: مقایسه کانتور سرعت در الف- تحقیق حاضر و با روش $k-\varepsilon$ ب- کار عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-w$ در حالت تک آبشکن

در شکل ۴-۹ کانتورهای تنش برشی آورده شده است. مشاهده می‌شود که ماکزیمم تنش بستر در نوک آبشکن رخ می‌دهد (برش بستر رودخانه). همچنین عملکرد مناسب آبشکن در محافظت از دیواره، در طولی که قسمت کوچکی از آن در بالادست آبشکن و قسمت بزرگتر در پایین‌دست آبشکن می‌باشد، دیده می‌شود.



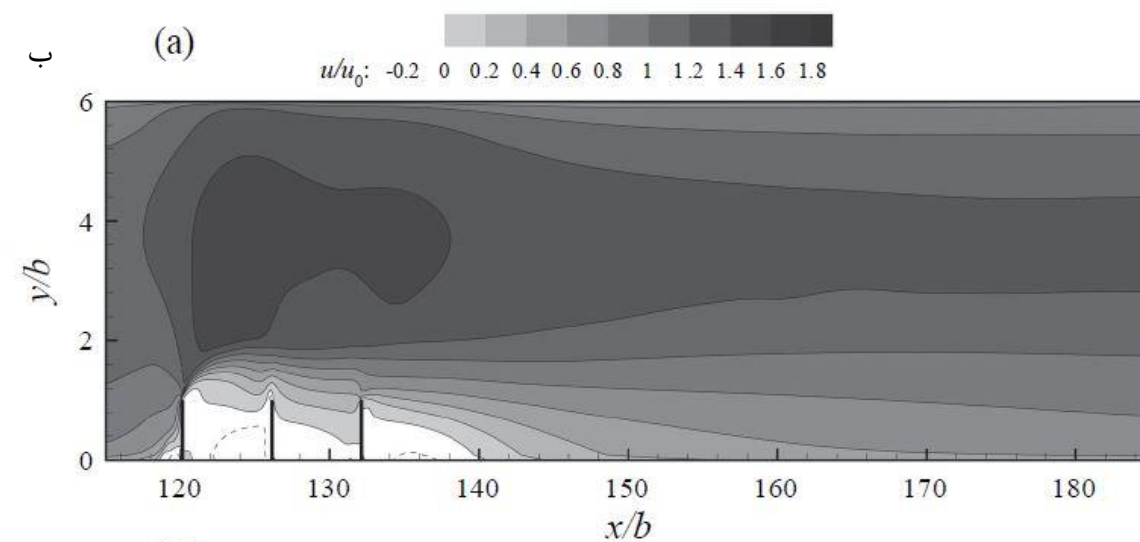
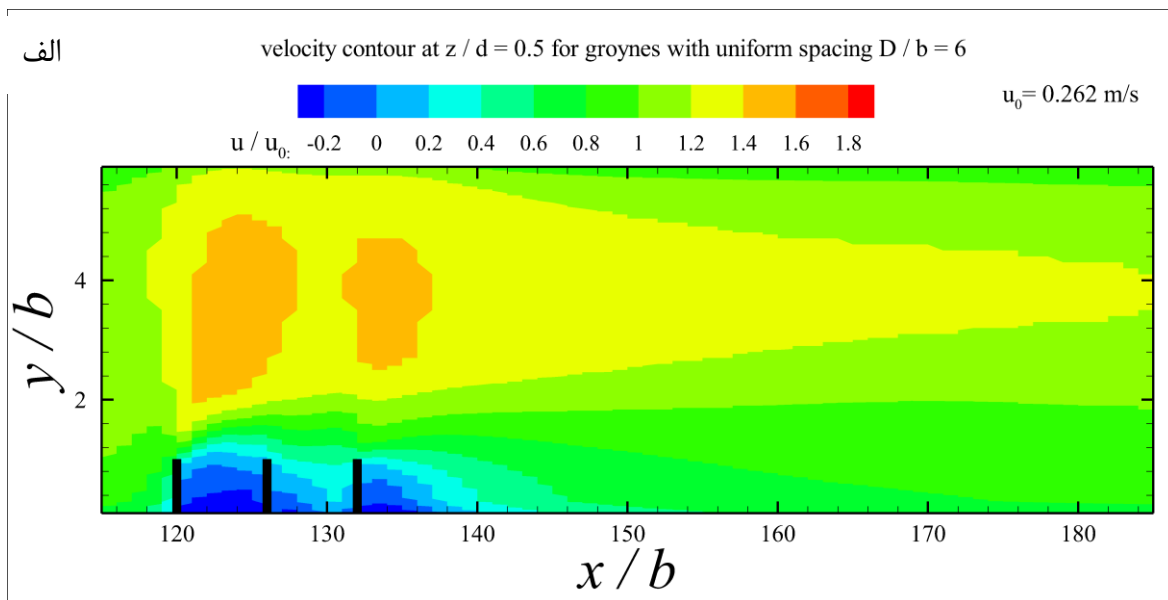


شکل ۴-۹: مقایسه نتایج تنش برشی در الف- کف و ب- دیواره‌ی کانال با روش $k-\varepsilon$ در تحقیق حاضر با ج- نتیجه‌ی عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-w$ در حالت تک آبشکن

۴-۵ نتایج شبیه‌سازی سری آبشکن‌ها

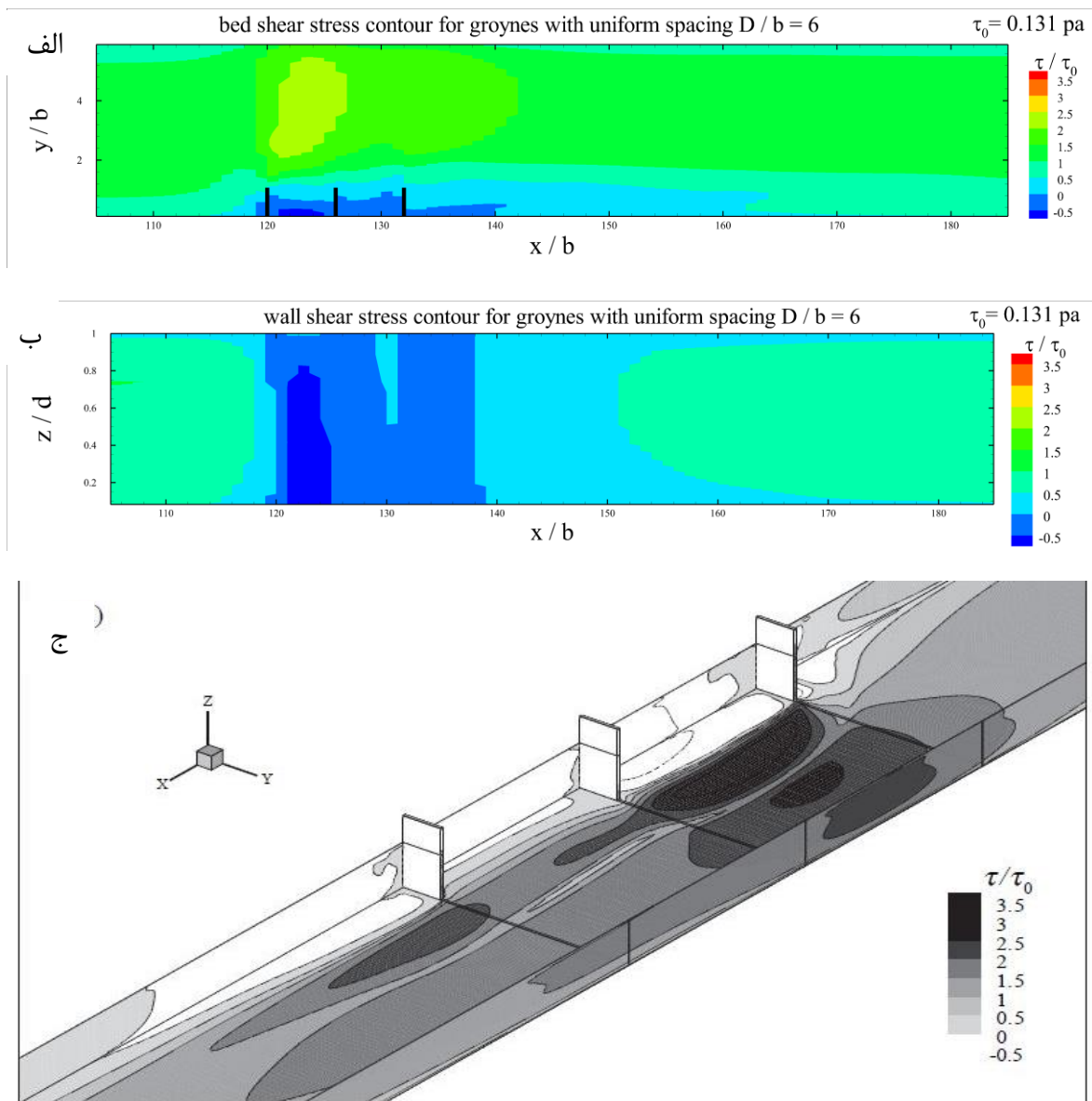
در ادامه‌ی کار، به علت موجود نبودن نتایج آزمایشگاهی سری آبشکن‌ها، برای مقایسه‌ی نتایج سری آبشکن‌ها، از نتایج عددی کوئروولی و همکاران که از کانالی با همان مشخصات ذکر شده در بخش‌های ۳-۴ و ۴-۲، استفاده کرده‌اند، استفاده شده است.

۴-۵-۱: نتایج شبیه‌سازی انجام شده با فواصل یکنواخت $D/b=6$ میان سری آبشکن‌ها در اشکال ۴-۱۰ تا ۴-۱۲ آورده شده است. در شکل ۴-۱۰ کانتور سرعت در $z/d=0.5$ با کار کوئروولی و همکاران برای سری آبشکن‌ها با فاصله‌ی یکنواخت $D/b=6$ میانشان، مقایسه شده است.



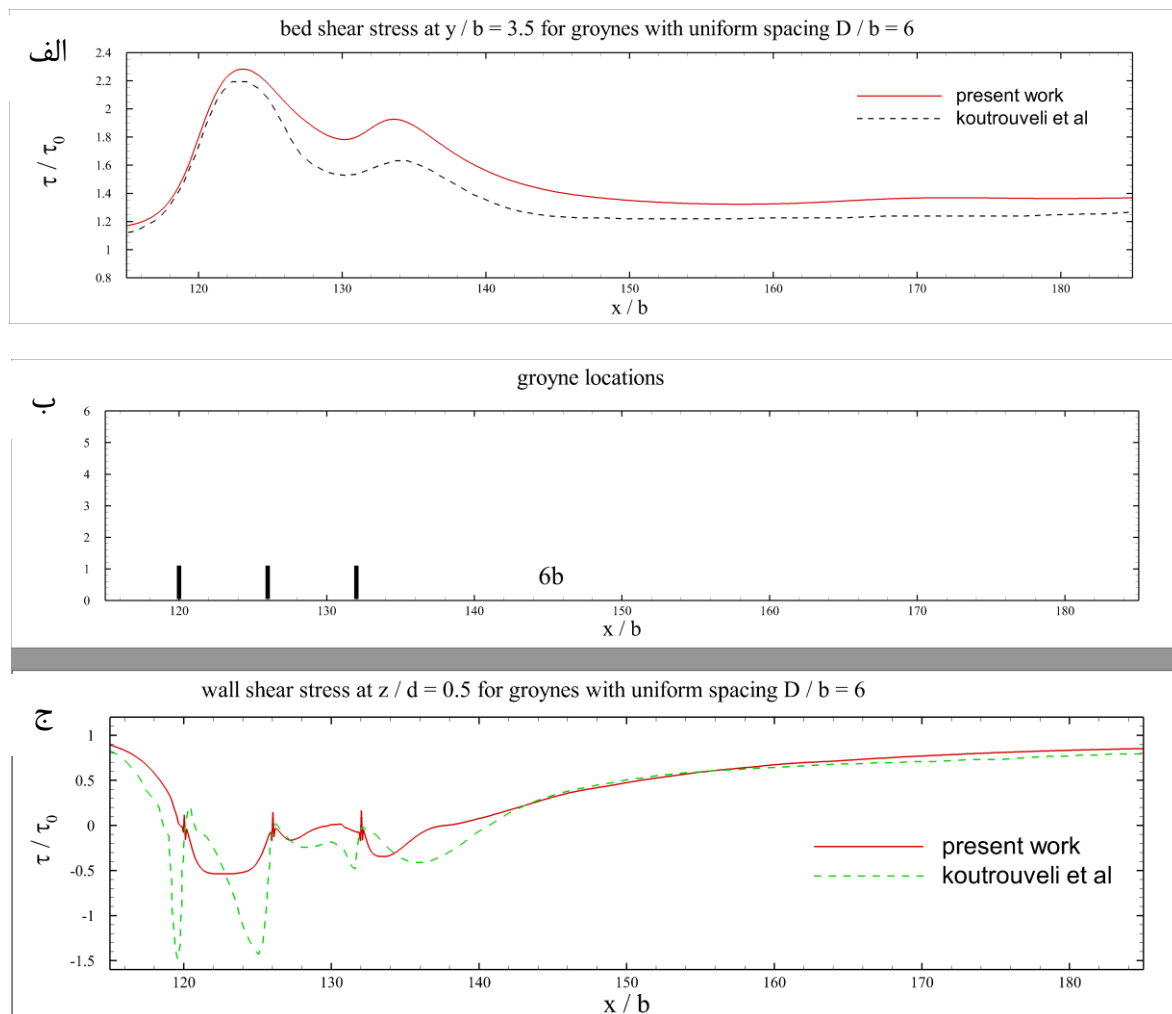
شکل ۴-۱۰: مقایسه کانتور سرعت الف- با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با ب- کار عددی کوترولی و همکاران با روش $k-w$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت 6b

در شکل ۴-۱۱ کانتورهای تنش برشی آورده شده است. مشاهده می‌شود که ماکزیمم تنش بستر، در نوک آبشکن اول رخ می‌دهد که باعث برش بستر رودخانه می‌شود. همچنین عملکرد مناسب آبشکن در محافظت از دیواره در طولی که بزرگتر از حالت تک آبشکن است، دیده می‌شود. قابل ذکر است که برتری روش $k-w$ بر $k-\epsilon$ مشهود است.



شکل ۴-۱۱: مقایسه نتایج تنش برشی در الف- کف و ب- دیوارهی کانال با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با ج- نتیجه عددی کوترولی و همکاران با روش $k-w$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت 6b

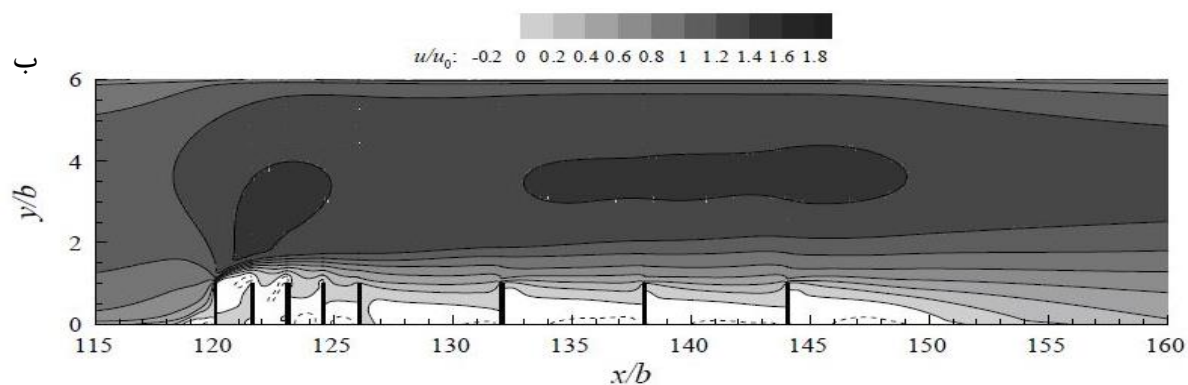
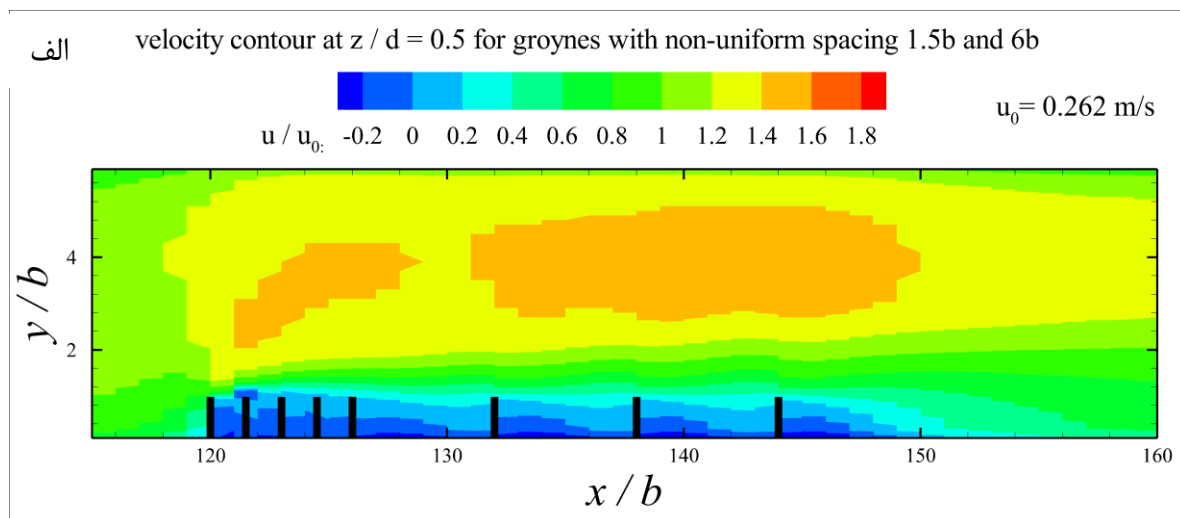
در شکل ۴-۱۲ نتایج تنش در بستر و در $y/b=3.5$ و تنش در دیواره و $z/d=0.5$ آورده شده است. مشاهده می‌شود که هرچه از ناحیه‌ی آشفته فاصله می‌گیریم، جواب‌های مدل $k-\epsilon$ بهتر می‌شود که با علم آشفستگی مطابقت دارد.



شکل ۴-۱۲: مقایسه نتایج تنش برشی در الف-کف و $y/b=3.5$ و ج-دیوارهی کانال و $z/d=0.5$ با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با نتیجه عددی کوتروولی و همکاران با روش $k-w$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت $6b$ و ب-موقعیت قرارگیری آبشکن‌ها

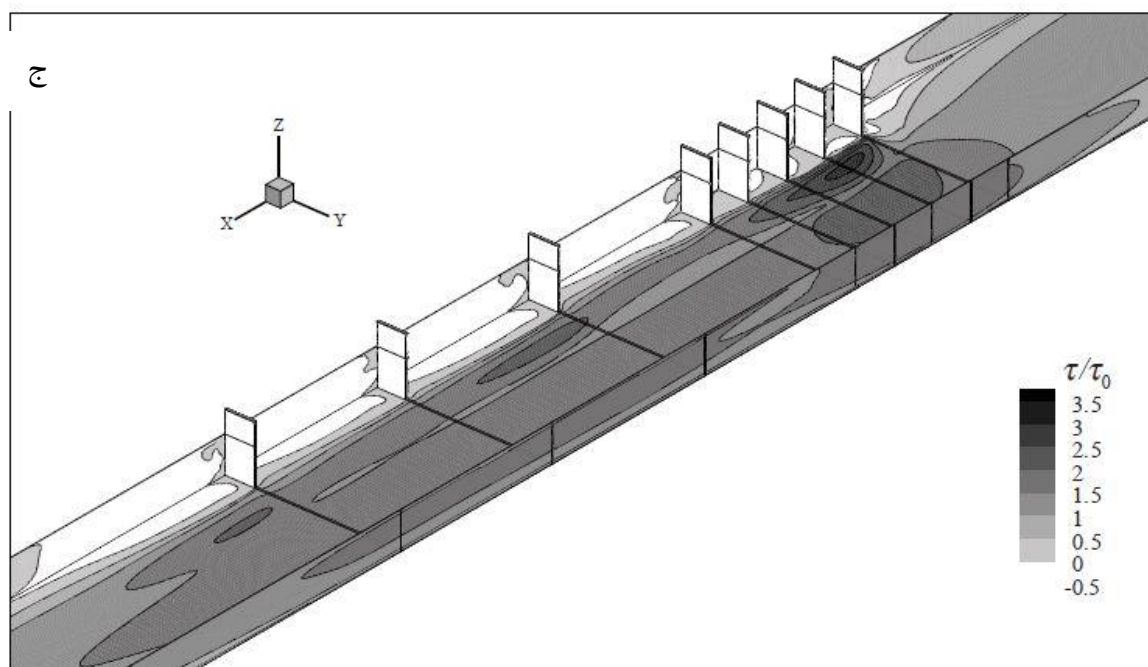
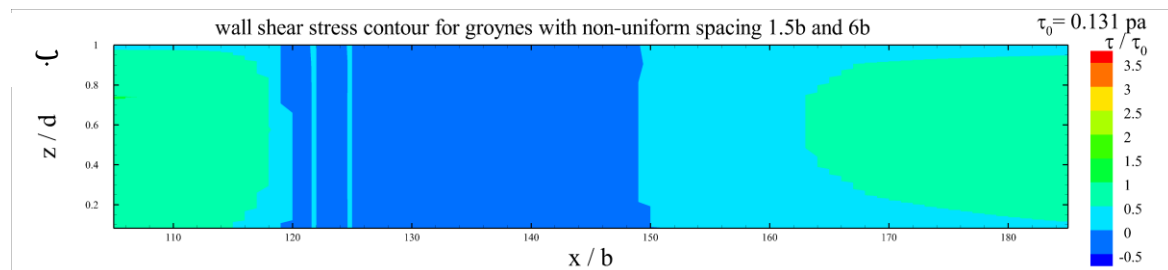
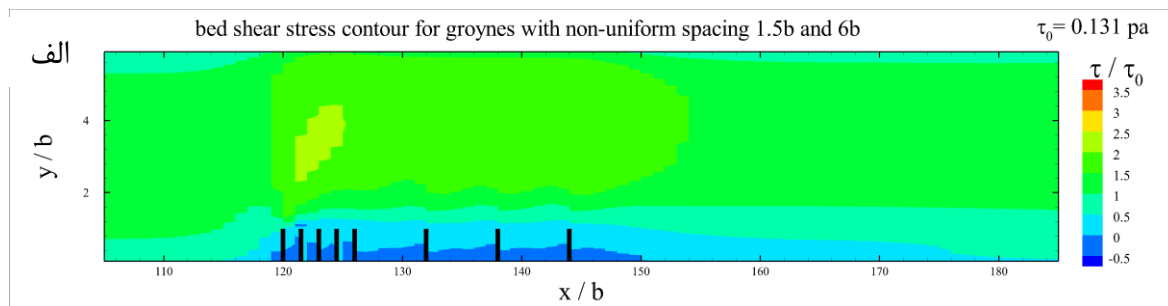
۴-۵-۲: نتایج شبیه‌سازی سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت $D/b=1.5$ برای 5 آبشکن نخست و $D/b=6$ برای چهار آبشکن بعدی در اشکال ۴-۱۳ تا ۴-۱۵، آورده شده‌است. قابل ذکر است که، طبق کار عددی کوتروولی و همکاران، بهترین پیکربندی سری آبشکن‌ها که بهترین نتایج تنش برشی را باعث می‌شوند، به این صورت می‌باشد.

در شکل ۴-۱۳ کانتور سرعت در $z/d=0.5$ با کار کوتوولی و همکاران برای سری آبشکن‌ها با فاصله‌ی غیریکنواخت میانشان، مقایسه شده‌است.



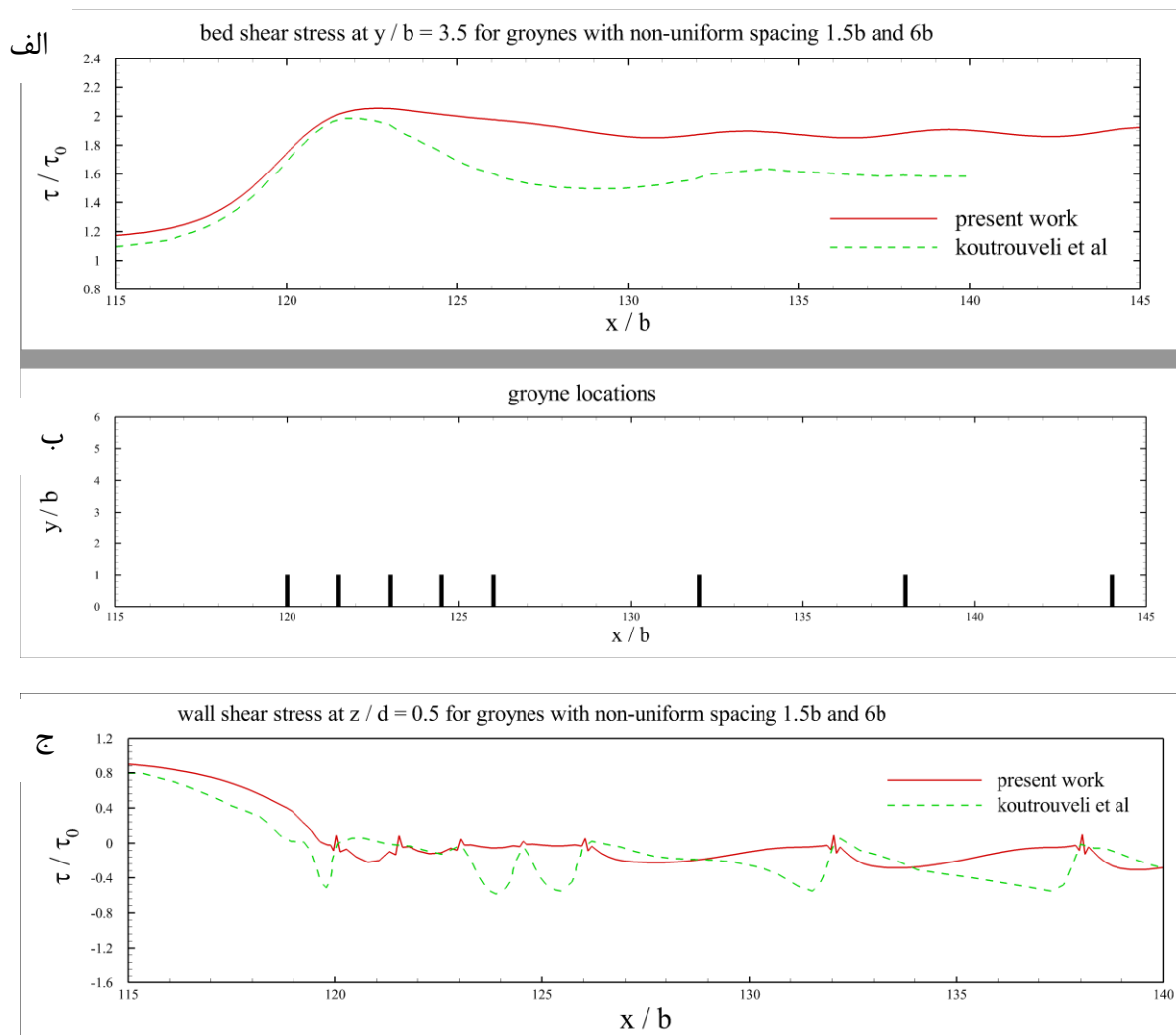
شکل ۴-۱۳: مقایسه کانتور سرعت الف- با روش k-ε در تحقیق حاضر با ب- کار عددی کوتروولی و همکاران با روش k-ε در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت $1.5b$ and $6b$

در شکل ۴-۱۴ کانتورهای تنش برشی آورده شده‌است. مشاهده می‌شود که در این پیکربندی، تنش بستر و دیواره کاهش بیشتری یافته‌است.



شکل ۴-۱۴: مقایسه نتایج تنش برشی الف- در کف و ب- دیواره‌ی کانال با روش $k-\epsilon$ در تحقیق حاضر با ج- نتیجه عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-w$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت 1.5b and 6b

در شکل ۴-۱۵ نتایج تنش در بستر و در $y/b=3.5$ و تنش در دیواره و $z/d=0.5$ برای بهترین پیکربندی سری آبشکن‌ها آورده شده است.



شکل ۴-۱۵: مقایسه نتایج تنش برشی در الف- کف و $y/b=3.5$ و ج- دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ با روش $k-\varepsilon$ در تحقیق حاضر با نتیجه عددی کوتروولی و همکاران با روش $k-w$ در حالت سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت $1.5b$ and $6b$ و ب- موقعیت قرارگیری سری آبشکن‌ها

صحت‌سنجی نتایج تک‌آبشکن با مدل آزمایشگاهی راجاراتنام و نوآچوکوآ و مقایسه‌ی نتایج سری آبشکن‌ها با کار عددی کوتروولی و همکاران در اینجا پایان رسید.

در ادامه به مدل‌سازی سازه‌های دیواره‌های اصلاحی طولی و مقایسه‌ی نتایج این سازه‌ها با سازه‌های آبشکن در حالت سری یکنواخت و غیریکنواخت، پرداخته شده است.

۴-۶ بررسی عددی عملکرد دیواره‌های طولی در حفاظت از سواحل آبراهه‌ها

همانطور که اشاره شد، برای مدت‌هاست که از سازه‌های عرضی آبشکن به منظور جلوگیری از فرسایش رودخانه و دستیابی به یک کانال عمیق برای کشتیرانی استفاده می‌شود. متأسفانه آبشکن‌ها در طولانی مدت اثرات نامطلوبی بر ریخت‌شناسی می‌گذارند و باعث تحولات نامطلوب مورفولوژیکی می‌شوند.

سازه‌های اصلاحی طولی کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند درحالی‌که این سازه‌ها نیز با اهداف مشابه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. مهندسان به تازگی پیشنهاد احداث دیواره‌های طولی اصلاحی را به عنوان جایگزینی برای آبشکن‌های عرضی سنتی پیشنهاد داده‌اند که هدف از این پیشنهاد ایجاد یک کانال قابل کشتیرانی و بهبود انتقال جریان با تقسیم کانال به دو قسمت اصلی (پر عمق) و فرعی (کم عمق) می‌باشد. همچنین آن‌ها امیدوارند که این سیستم جدید در طولانی مدت بتواند باعث بهبود عملکرد ریخت‌شناسی شود چراکه هنوز تحقیقات گسترده و طولانی مدتی در این زمینه صورت نگرفته‌است.

هدف از تحقیق حاضر مورد ارزیابی قرار دادن این سیستم جدید از منظر الگوی جریان اطراف این سازه و همچنین تنش برشی و مقایسه‌ی آن با سیستم سنتی آبشکن‌ها می‌باشد. برای این منظور از خصوصیات مدل عددی کوئروولی و همکاران استفاده شده‌است و مدل جدید با همان شرایط کالیبره شده‌ی قبلی پیش برده شده‌است.

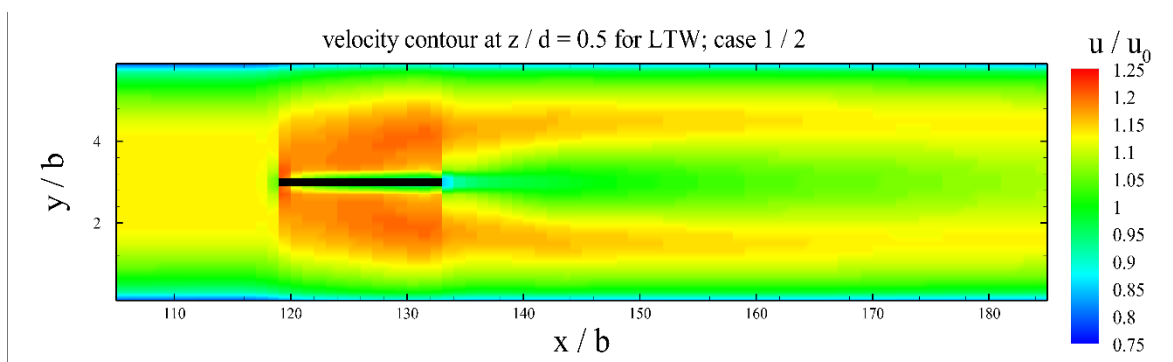
در ادامه به بررسی نتایج که بر اساس اطلاعات بخش ۳-۴، ۴-۴ و تذکر زیر حاصل شده‌اند، پرداخته شده است.

لازم به ذکر است که در تمامی شبیه‌سازی‌های بخش حاضر، از یک دیواره‌ی طولی با ضخامت 3 mm و ارتفاع 0.378 m استفاده شده است.

۱-۶-۴ نتایج شبیه سازی دیواره‌ی طولی به صورت ممتد

۱-۶-۴-۱: $y/B=0.5$ که در این موقعیت، دیواره‌ی طولی، طولی معادل با سری آبشکن ها با فواصل یکنواخت $6b$ را پوشش می‌دهد. اشکال ۱۶-۴ تا ۱۸-۴ نتایج حاصل شده را نمایش می‌دهند.

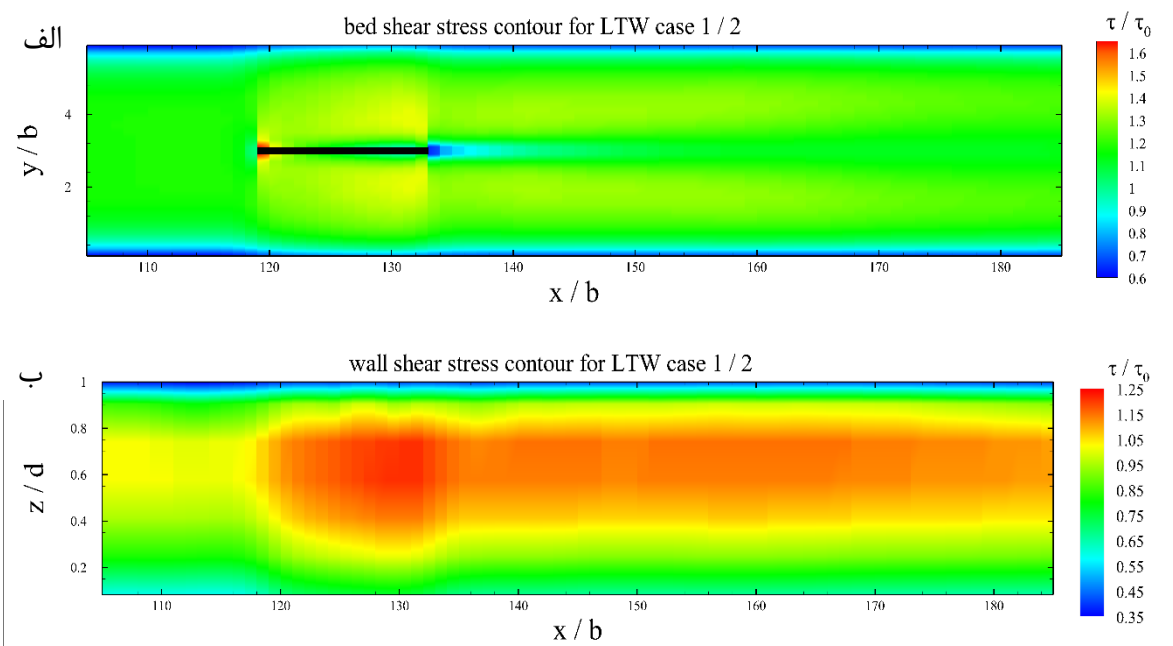
در شکل ۱۶-۴ کانتور سرعت دیواره‌ی طولی در $z/d=0.5$ نشان داده شده است. با مقایسه‌ی دو شکل ۴-۱۶ و ۴-۱۰ مورد ب، مشاهده می‌شود که عملکرد دیواره‌ی طولی در عدم افت عمق آب از سازه‌ی آبشکن بهتر می‌باشد و یا به عبارت دیگر در نمونه‌ی آبشکن به دلیل تنگ‌شدگی و افت عمق، افزایش شدید سرعت را داریم که این افزایش سرعت می‌تواند به دلیل فرسایش بیشتر در بستر، یک مورد منفی تلقی شود.



شکل ۱۶-۴: کانتور سرعت برای دیواره‌ی طولی در $z/d=0.5$

در شکل ۴-۱۷ کانتورهای تنش برشی در بستر و در دیواره نشان داده شده‌اند. با مقایسه‌ی اشکال ۴-۱۷ و ۴-۱۱ مورد ج، مشاهده می‌شود که عملکرد دیواره‌ی طولی در تنش برشی بستر بهتر از سازه‌ی آبشکن می‌باشد، چراکه موجب برش کمتر در بستر رودخانه می‌شود. درحالی‌که عملکرد سازه‌ی آبشکن بر تنش برشی دیواره بهتر از سازه‌ی دیواره‌ی طولی است. نکته‌ی حائز اهمیت این است که در قسمت کانال کناری در حالت دیواره‌ی طولی بایستی با یک وضعیت آرام روبرو شویم که این مورد، هم باید در تمام نتایج

دیواره‌های طولی در تحقیق حاضر مشاهده شود، و هم کار کولاس و همکاران بدان اشاره می‌کند. بنابراین این آرام شدن وضعیت در کانال کناری باعث می‌شود که فرسایش در دیواره شدید نباشد.

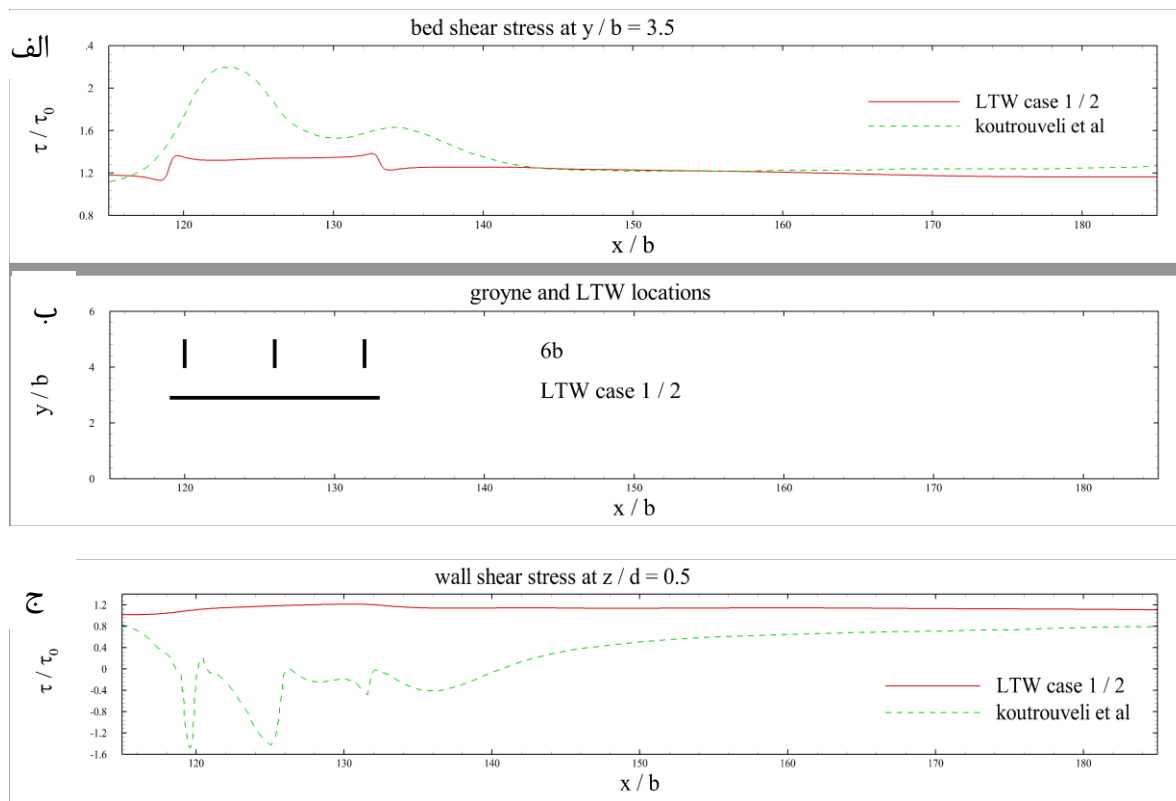


شکل ۴-۱۷: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی

در شکل ۴-۱۸ نمودار تنش برشی در بستر و $y/b=3.5$ و در دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ برای سازه‌ی آبشکن و دیواره‌ی طولی مقایسه شده است.

نکته‌ای که باید به آن اشاره نمود، این است که به دلیل زیربحرانی بودن جریان بالادست و اینکه جریان زیربحرانی از پایین دست خود تاثیر می‌پذیرد، این انتظار را خواهیم داشت که در موارد آتی سازه‌ی دیواره‌ی طولی، الگوی رفتاری این سازه، به مانند شکل ۴-۱۸ باشد.

لازم به ذکر است که، لی و همکاران، ۲۰۱۰ شبیه‌سازی مختلف برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی و در نقاط شروع متفاوت به منظور یافتن بهترین نقطه‌ی شروع دیواره‌ی طولی انجام دادند که در همه‌ی شبیه‌سازی‌ها الگوی رفتاری جریان، اطراف این سازه‌ی طولی، یکسان بود. (Le et al., 2018)



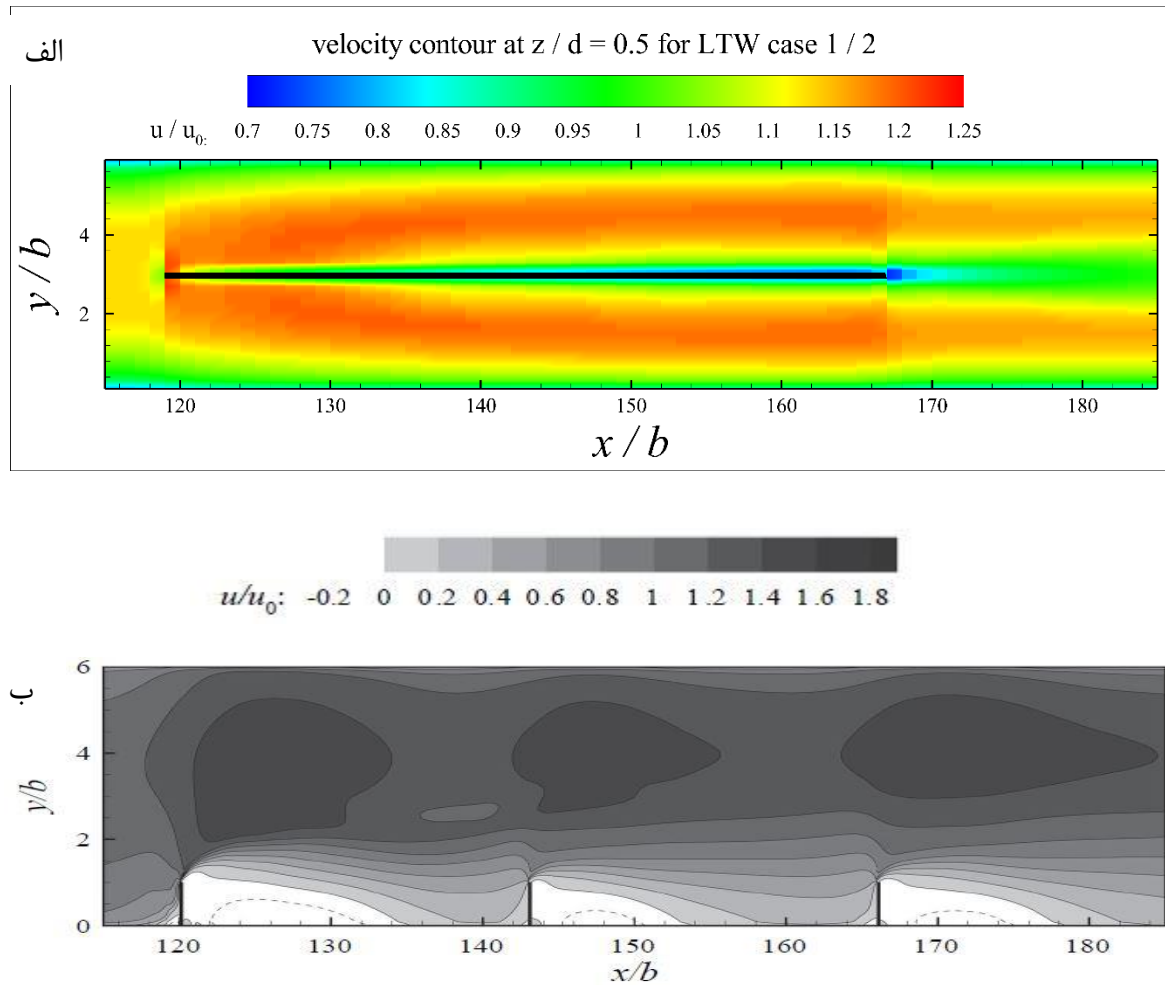
شکل ۴-۱۸: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی در الف- بستر و $y/b=3.5$ و ج- دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب- موقعیت سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی

به دلیل الگوی رفتاری یکسان در سازه‌ی دیواره‌ی طولی، و اجتناب از توضیحات اضافه، در ادامه، فقط نتایج موارد مختلف شبیه‌سازی آورده شده و عنوان شده است که مقایسه‌ی نتایج بایستی با کدام اشکال انجام شود.

۴-۶-۱-۲: $y/B=0.5$ که در این موقعیت، دیوار طولی، طولی معادل با سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت 23b را پوشش می‌دهد. نتایج در اشکال ۴-۱۹ تا ۴-۲۱ آورده شده است.

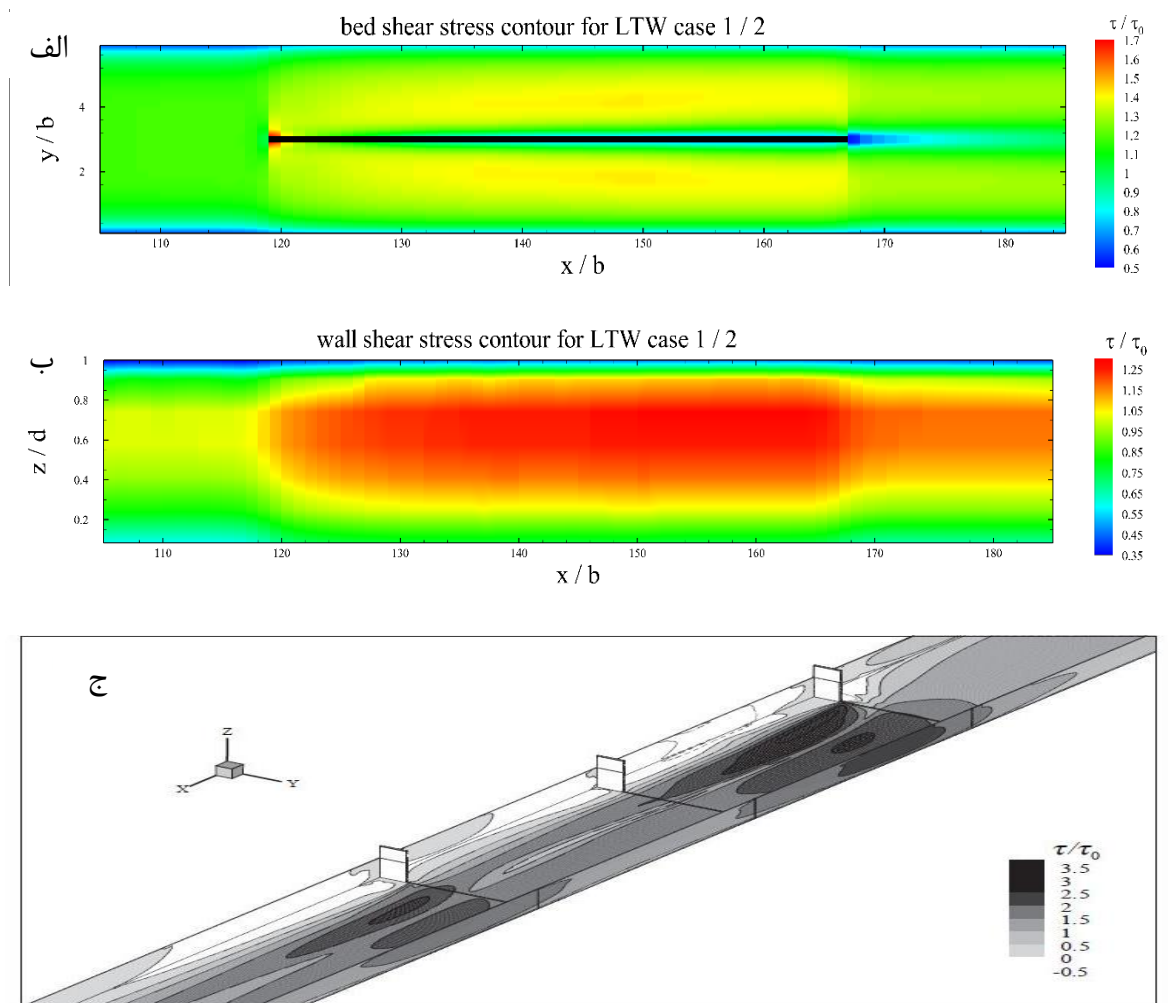
به دلیل مشابهت الگوی رفتاری سازه‌ی دیواره‌ی طولی، به توضیحات قسمت ۴-۶-۱-۱ رجوع شود.

در شکل ۱۹-۴ کانتورهای سرعت در $z/d=0.5$ برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی و سازه‌ی آبشکن آورده شده است.



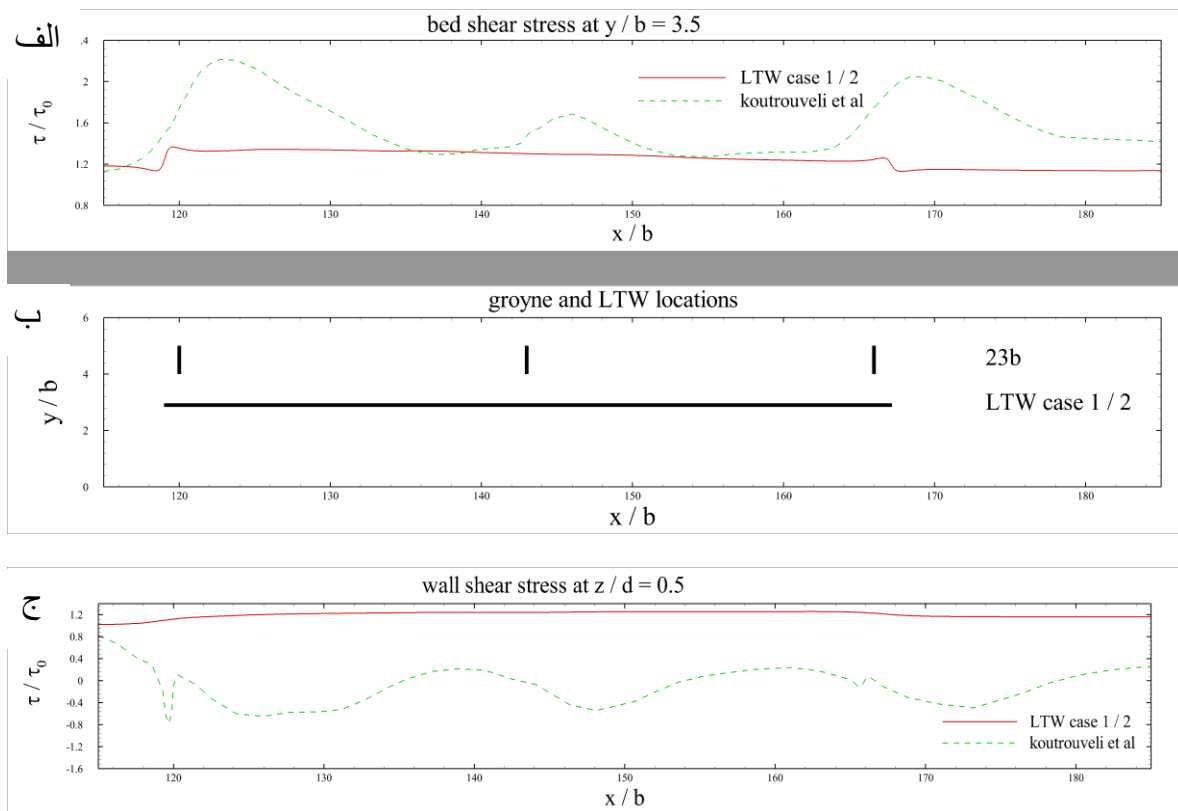
شکل ۱۹-۴: مقایسه کانتورهای سرعت الف- دیواره‌ی طولی با ب- سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت 23b در کار عددی کوئروولی و همکاران

در شکل ۲۰-۴ کانتورهای تنش برشی بستر و دیواره برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی و سازه‌ی آبشکن آورده شده است.



شکل ۴-۲۰: مقایسه‌ی کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواره‌ی کانال در تحقیق حاضر با روش $k-\epsilon$ و ج- کار عددی کوئروولی و همکاران با روش $k-w$

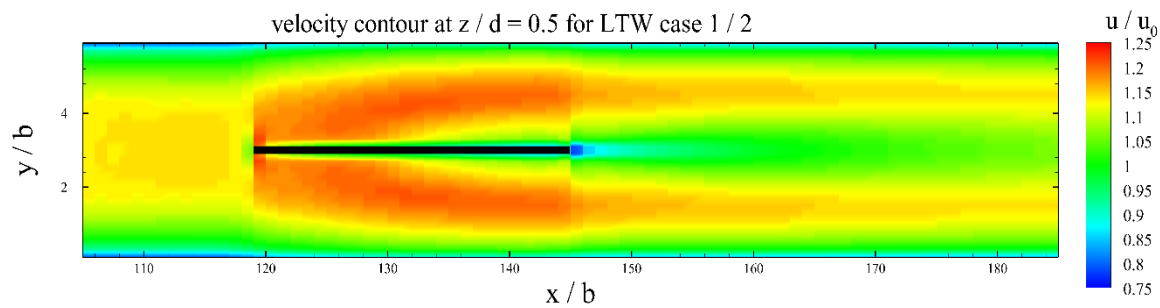
در شکل ۴-۲۱ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد آبشکن مقایسه شده است.



شکل ۴-۲۱: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی در الف-بستر و $y/b=3.5$ و ج-دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب-موقعیت سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی

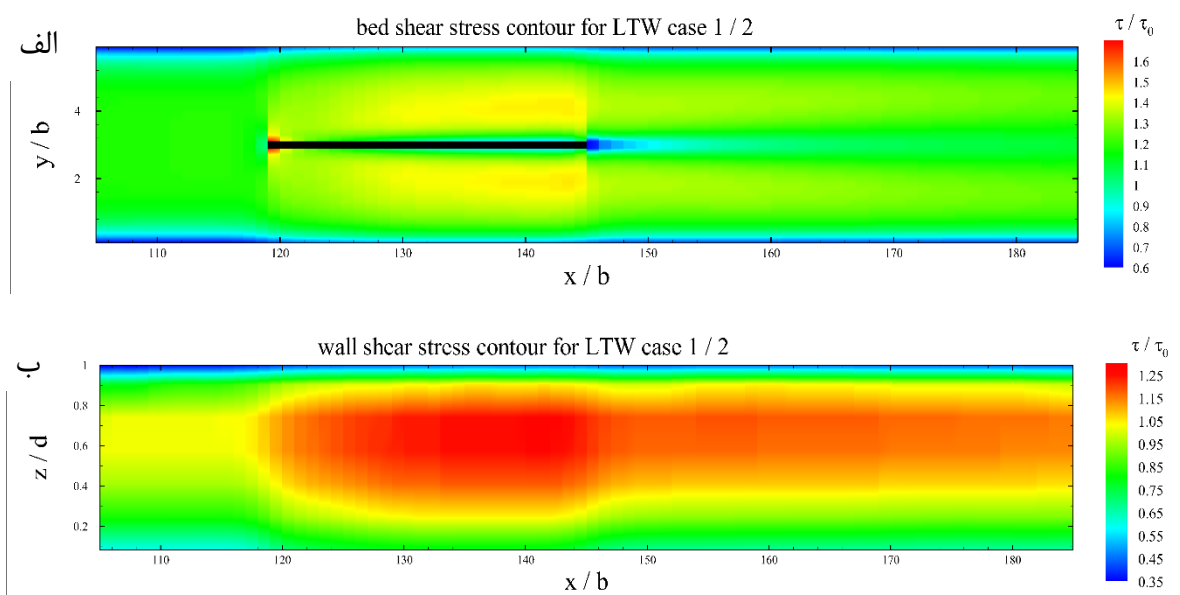
۴-۶-۱-۳: $y/B=0.5$ که در این موقعیت، دیوار طولی، طولی معادل با سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت $1.5b$ و $6b$ را پوشش می‌دهد. نتایج در اشکال ۴-۲۲ تا ۴-۲۴ آورده شده است. به دلیل مشابهت الگوی رفتاری سازه‌ی طولی، به توضیحات قسمت ۴-۶-۱-۱ رجوع شود.

در شکل ۴-۲۲ کانتور سرعت دیواره‌ی طولی آورده شده است. این کانتور بایستی با شکل ۴-۱۳ مورد ب، یعنی مورد مشابهی آبشکن مورد مقایسه قرار گیرد.



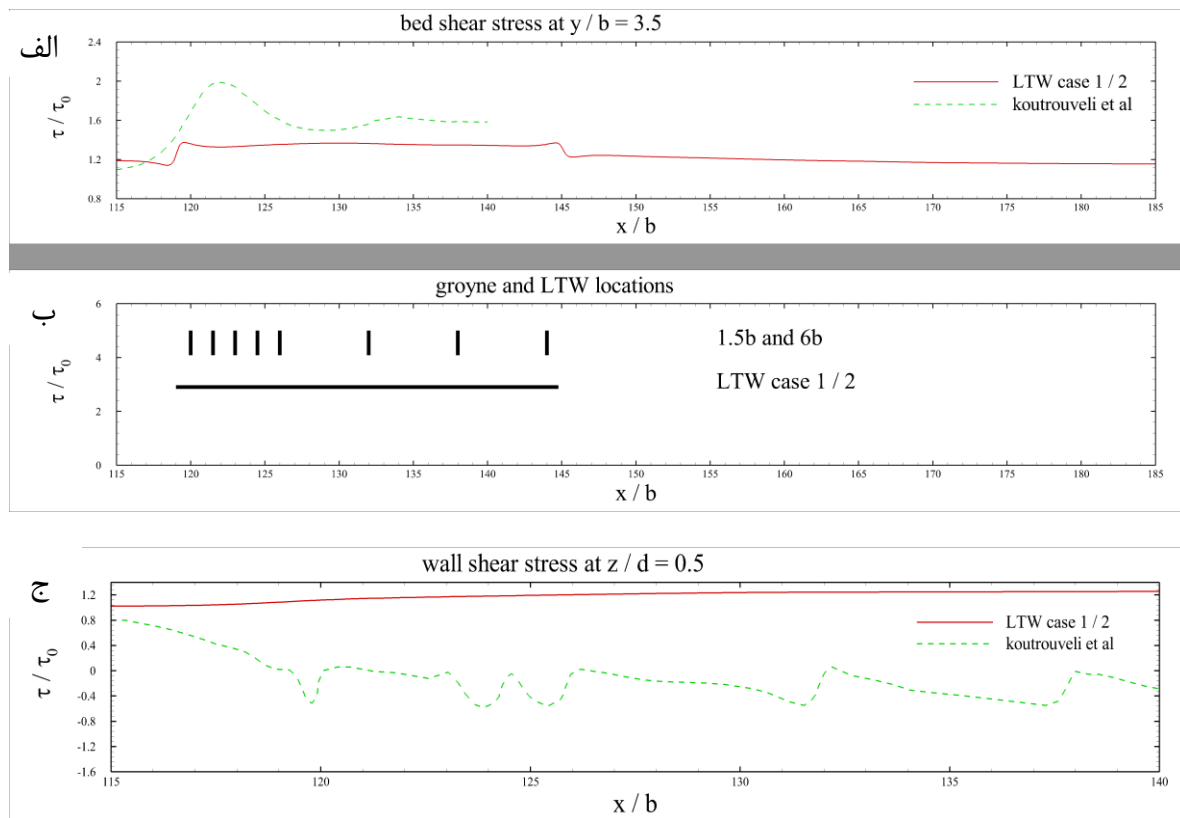
شکل ۴-۲۲: کانتور سرعت دیواره‌ی طولی در $z/d=0.5$

در شکل ۴-۲۳ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره آورده شده است که بایستی با شکل ۴-۱۴ مورد ج، مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۴-۲۳: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواره‌ی کانال برای دیواره‌ی طولی

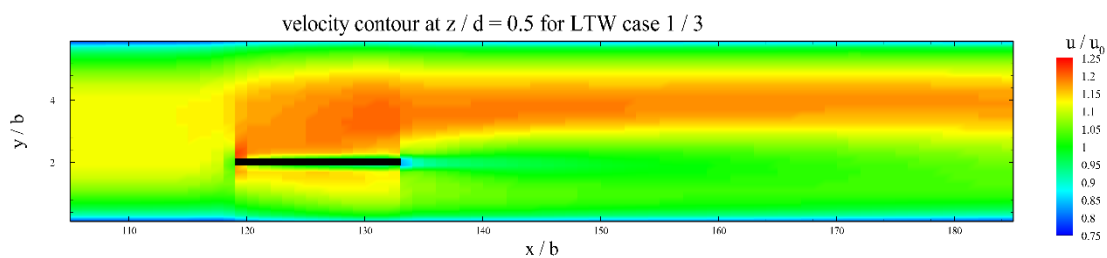
در شکل ۴-۲۴ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد آبشکن مقایسه شده است.



شکل ۴-۲۴: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی در الف-بستر و $y/b=3.5$ و ج-دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب-موقعیت سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی

۴-۶-۱-۴: $y/B=1/3$ که در این موقعیت، دیوار طولی، طولی معادل با سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت 6b را پوشش می‌دهد. نتایج در اشکال ۴-۲۵ تا ۴-۲۷ آورده شده است. به دلیل مشابهت الگوی رفتاری سازه‌ی طولی، به توضیحات قسمت ۴-۶-۱-۱ رجوع شود.

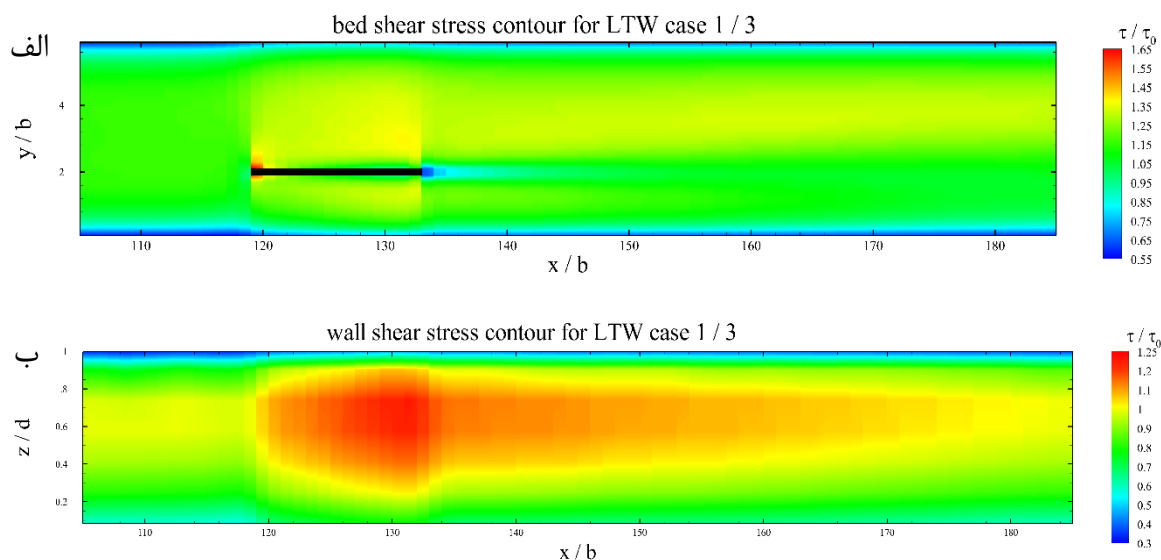
در شکل ۴-۲۵ کانتور سرعت دیواره‌ی طولی در $z/d=0.5$ آورده شده است. این کانتور بایستی با شکل ۴-۱۰ مورد ب، یعنی مورد مشابه‌ی آبشکن مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۴-۲۵: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌ی طولی

در کانتور فوق بهتر می‌توان مشاهده نمود که در قسمت کانال کناری با یک وضعیت آرام^۱ مواجه هستیم که علت نوسانات کمتر سرعت می‌باشد. (Collas et al., 2018)

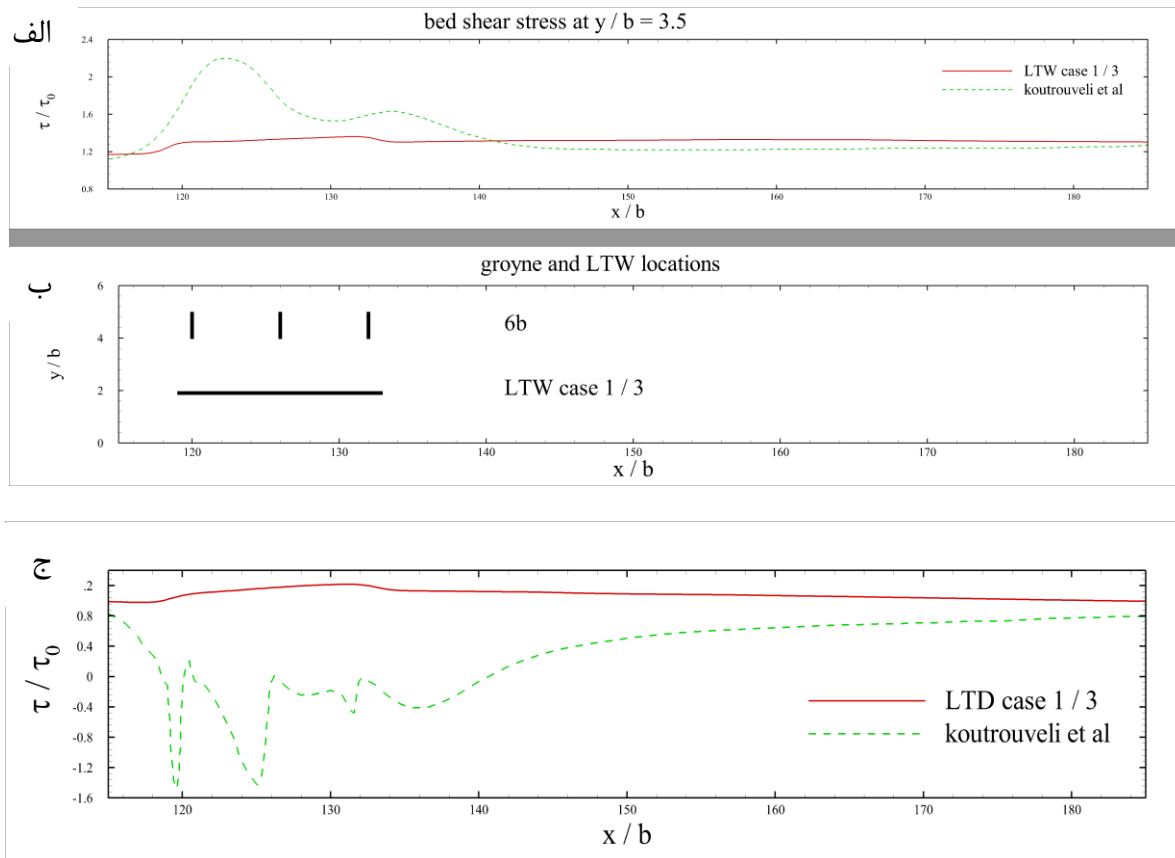
در شکل ۴-۲۶ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی آورده شده است که بایستی با شکل ۴-۱۱ مورد ج، مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۴-۲۶: کانتورهای تنش برشی الف-بستر و ب-دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی

¹ Mild Flow Conditions

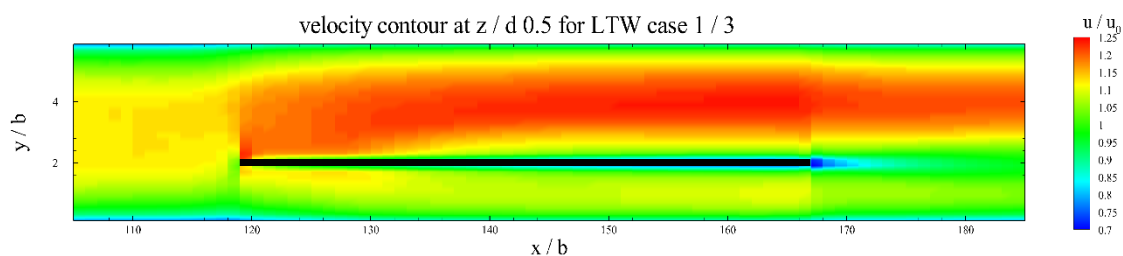
در شکل ۴-۲۷ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد آبشکن مقایسه شده است.



شکل ۴-۲۷: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی در الف-بستر و $y/b=3.5$ و ج-دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب-موقعیت سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی

۴-۱-۵: $y/B=1/3$ که در این موقعیت دیواره‌ی طولی، طولی معادل با سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت $23b$ را پوشش می‌دهد. نتایج در اشکال ۴-۲۸ تا ۴-۳۰ آورده شده است. به دلیل مشابهت الگوی رفتاری سازه‌ی طولی، به توضیحات قسمت ۴-۱-۶-۱ رجوع شود.

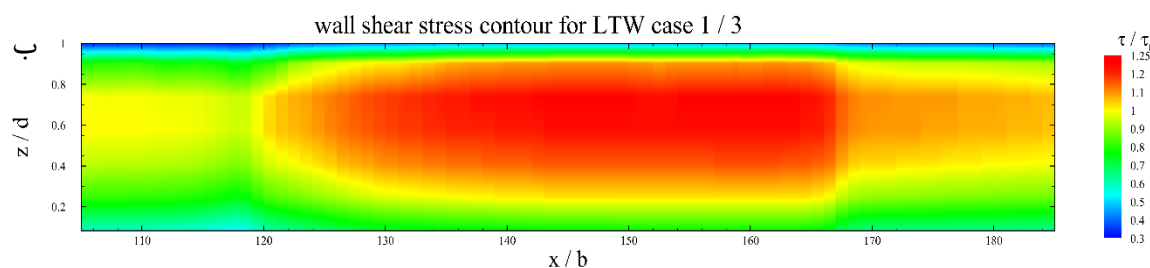
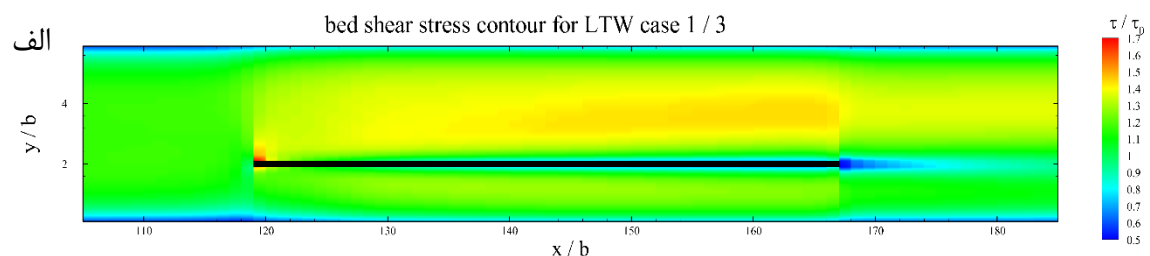
در شکل ۴-۲۸ کانتور سرعت دیواره‌ی طولی در $z/d=0.5$ آورده شده است. این کانتور بایستی با شکل ۴-۱۹ مورد ب، یعنی مورد مشابهی آبشکن مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۴-۲۸: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌ی طولی

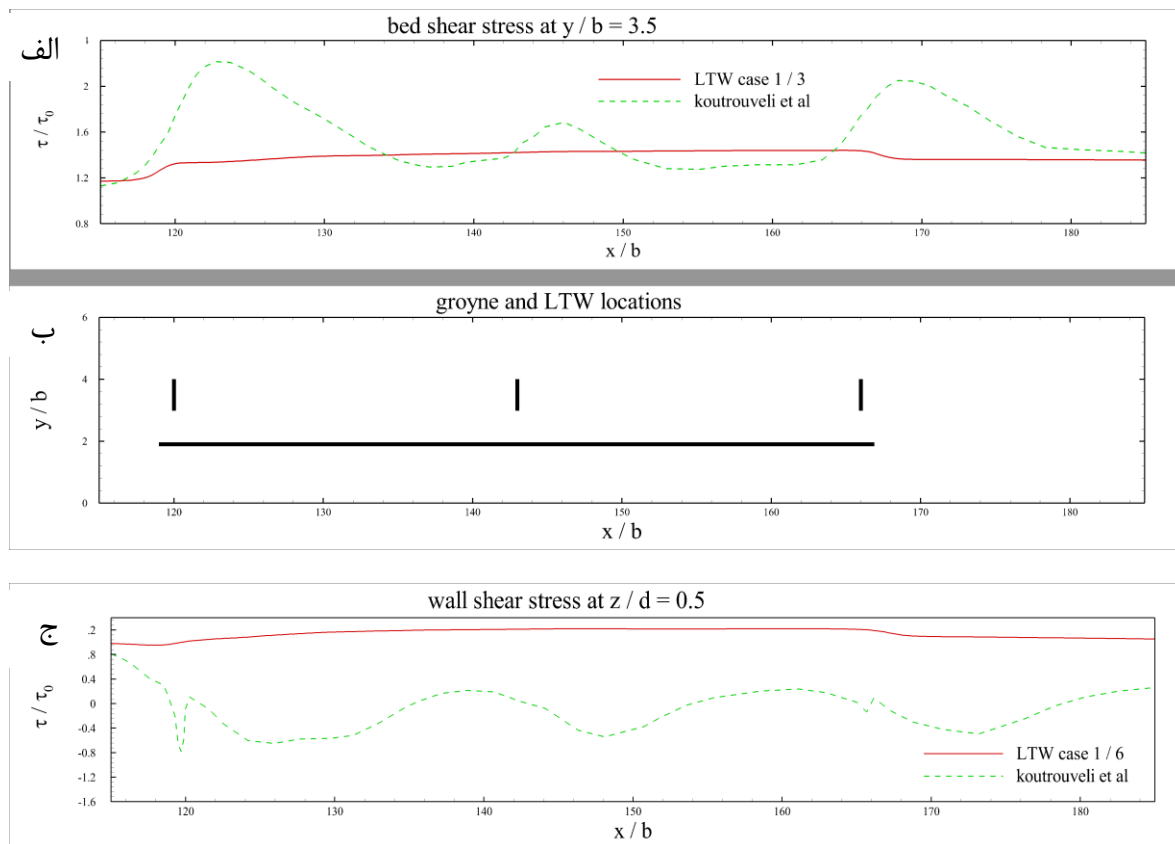
در شکل ۴-۲۸ وضعیت آرام کانال کناری و جریان توسعه یافته در کانال اصلی به خوبی مشاهده می‌شود.

در شکل ۴-۲۹ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی آورده شده است که بایستی با شکل ۴-۲۰ مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۴-۲۹: کانتورهای تنش برشی الف-بستر و ب-دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی

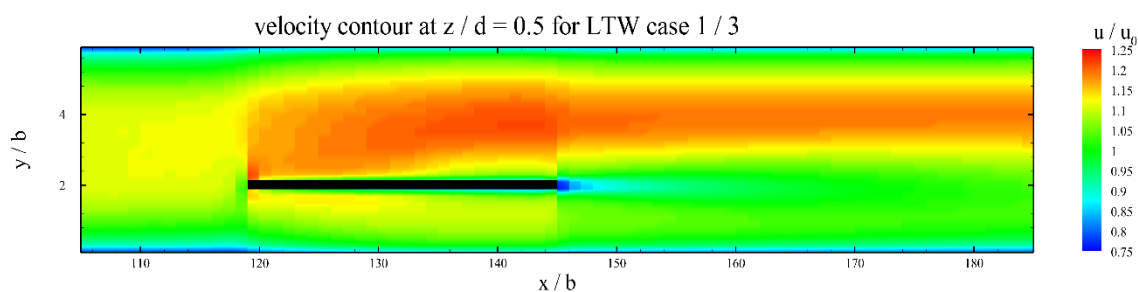
در شکل ۴-۳۰ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد آبشکن مقایسه شده است.



شکل ۴-۳۰: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی در الف-بستر و $y/b=3.5$ و ج-دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب-موقعیت سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی

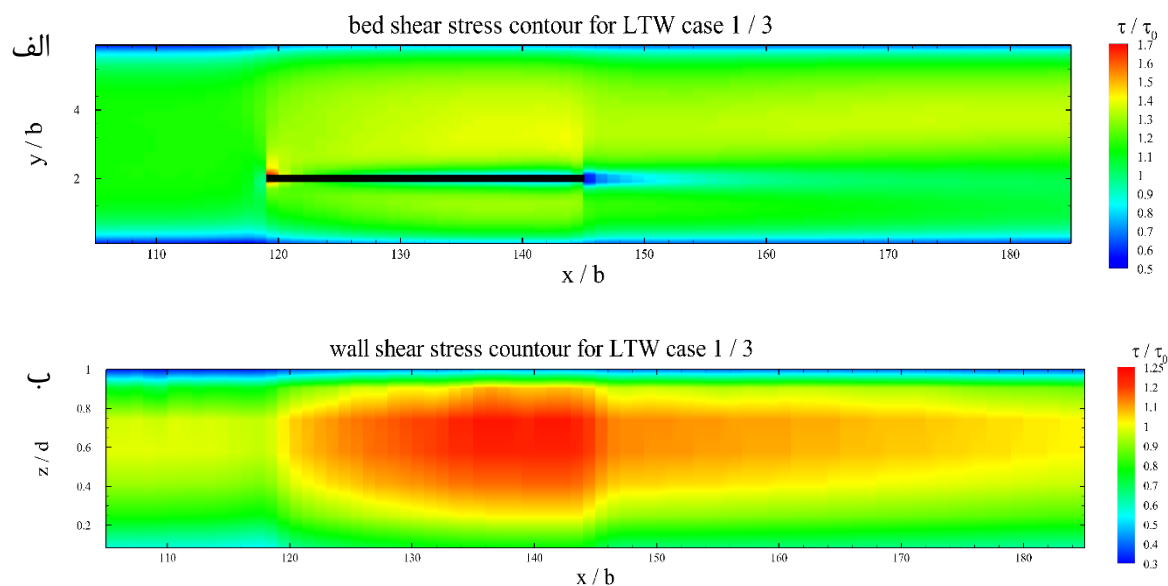
۴-۶-۱-۶: $y/B=1/3$ که در این موقعیت، دیواره‌ی طولی، طولی معادل با سری آبشکن‌ها با فواصل غیر یکنواخت $1.5b$ و $6b$ را پوشش می‌دهد. نتایج در اشکال ۴-۳۱ تا ۴-۳۳ آورده شده است. به دلیل مشابهت الگوی رفتاری سازه‌ی طولی، به توضیحات قسمت ۴-۶-۱-۱ رجوع شود.

در شکل ۴-۳۱ کانتور سرعت دیواره‌ی طولی در $z/d=0.5$ آورده شده است. این کانتور بایستی با شکل ۴-۱۳ مورد ب، یعنی مورد مشابهی آبشکن مورد مقایسه قرار گیرد.



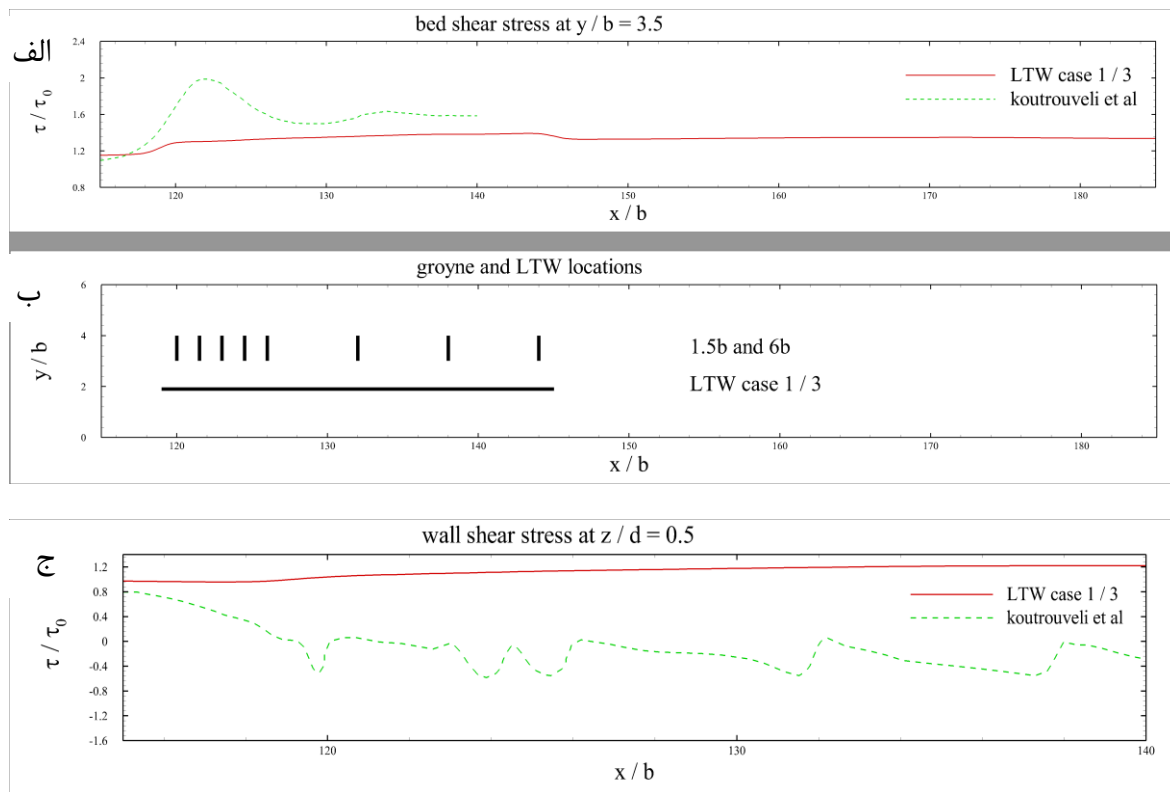
شکل ۴-۳۱: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌ی طولی

در شکل ۴-۳۲ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی آورده شده است که بایستی با شکل ۴-۱۴ مورد ج، مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۴-۳۲: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی

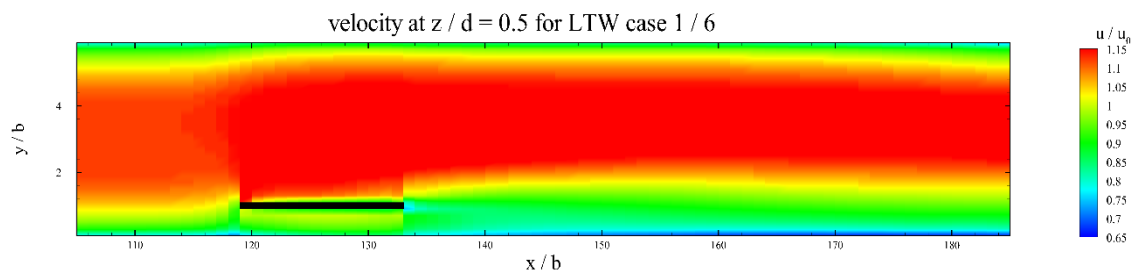
در شکل ۴-۳۳ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد آبشکن مقایسه شده است.



شکل ۴-۳۳: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی در الف-بستر و $y/b=3.5$ و ج-دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب-موقعیت سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی

۴-۶-۱-۷: $y/B=1/6$ که در این موقعیت، دیواره‌ی طولی، طولی معادل با سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت $6b$ را پوشش می‌دهد. نتایج در اشکال ۴-۳۴ تا ۴-۳۶ آورده شده است. به دلیل مشابهت الگوی رفتاری سازه‌ی طولی، به توضیحات قسمت ۴-۶-۱-۱ رجوع شود.

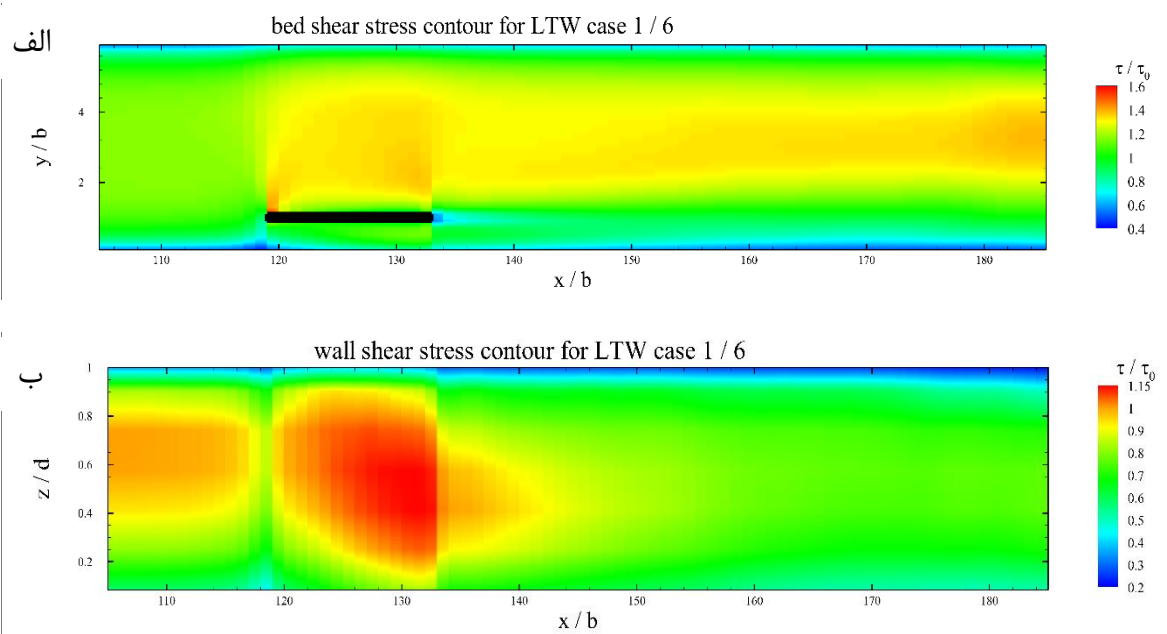
در شکل ۴-۳۴ کانتور سرعت دیواره‌ی طولی در $z/d=0.5$ آورده شده است. این کانتور بایستی با شکل ۴-۱۰ مورد ب، یعنی مورد مشابهی آبشکن مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۴-۳۴: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌ی طولی

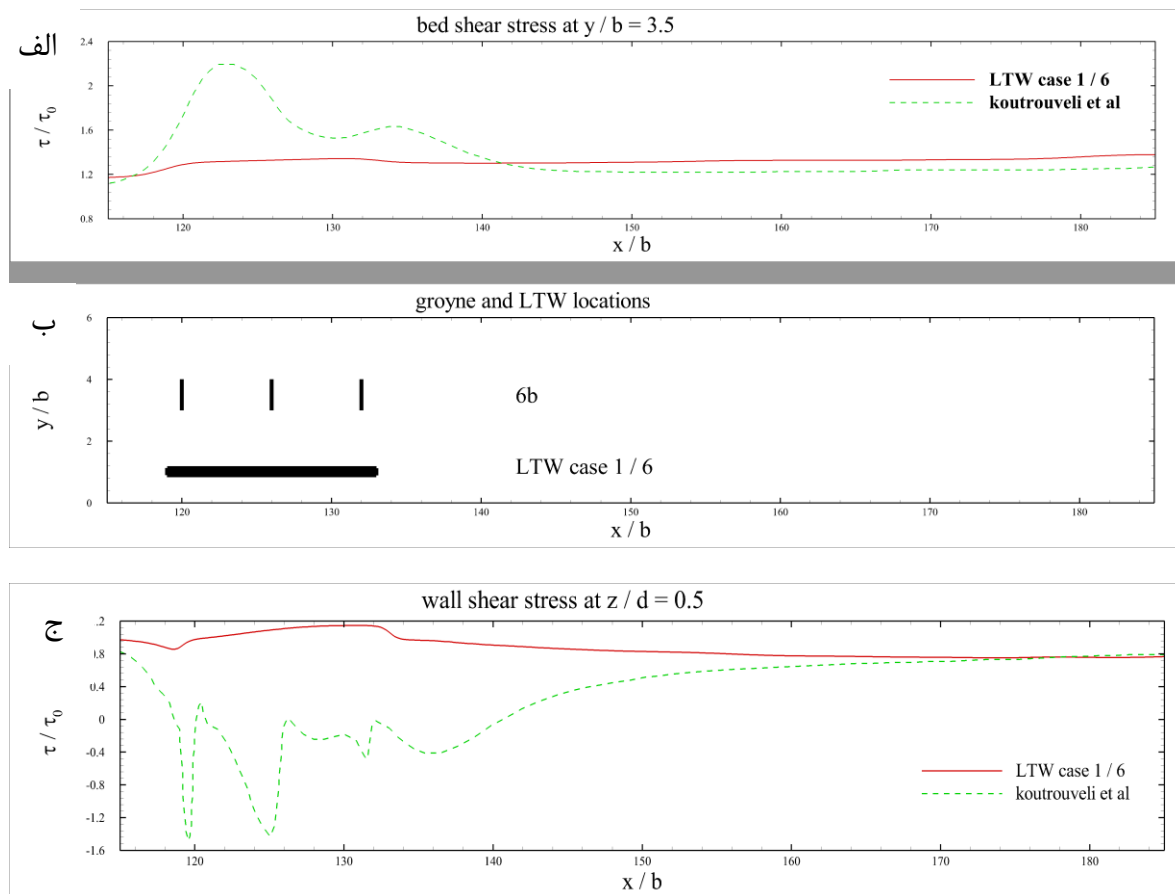
آرام شدن وضعیت جریان در کانال کناری و توسعه یافتگی جریان در کانال اصلی به خوبی در شکل ۴-۳۴ مشاهده می‌شود.

در شکل ۴-۳۵ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی آورده شده است که بایستی با شکل ۴-۱۱ مورد ج، مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۴-۳۵: کانتورهای تنش برشی الف-بستر و ب-دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی

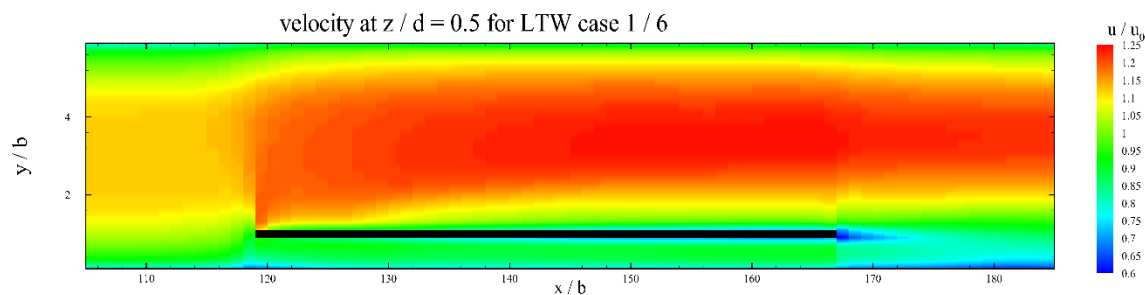
در شکل ۴-۳۶ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد آبشکن مقایسه شده است.



شکل ۴-۳۶: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی در الف-بستر و $y/b=3.5$ و ج-دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب-موقعیت سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی

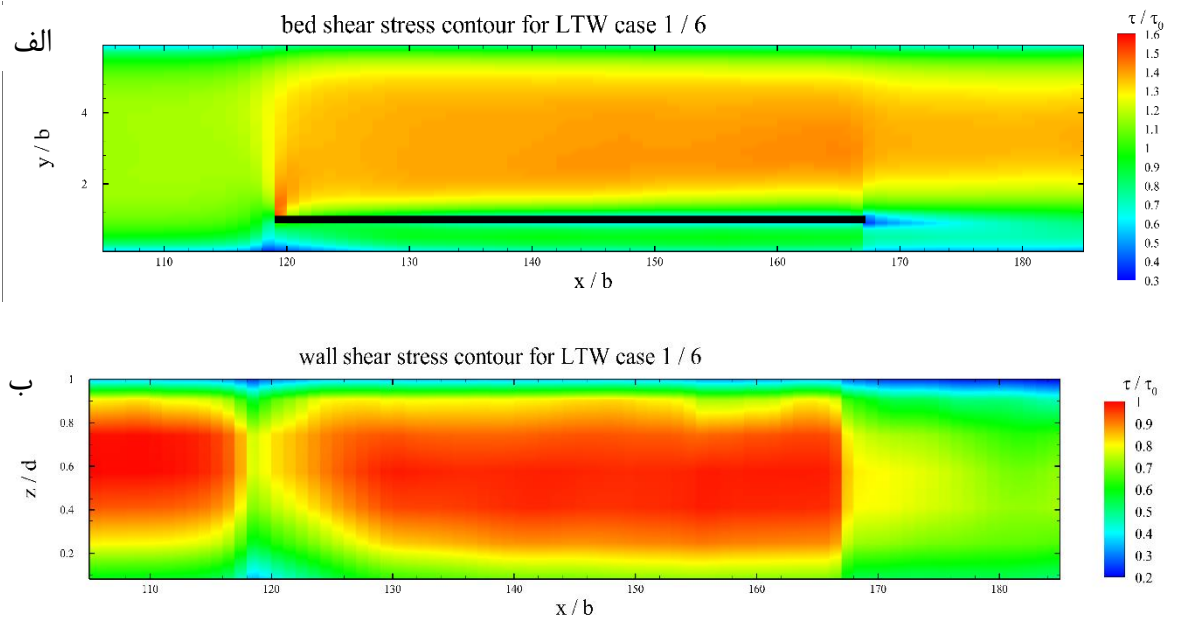
۴-۱-۶-۸: $y/B=1/6$ که در این موقعیت، دیواره‌ی طولی، طولی معادل با سری آبشکن‌ها با فواصل یکنواخت $23b$ را پوشش می‌دهد. نتایج در اشکال ۴-۳۷ تا ۴-۳۹ آورده شده است. به دلیل مشابهت الگوی رفتاری سازه‌ی طولی، به توضیحات قسمت ۴-۱-۶-۱ رجوع شود.

در شکل ۳۷-۴ کانتور سرعت دیواره‌ی طولی در $z/d=0.5$ آورده شده است. این کانتور بایستی با شکل ۴-۱۹ مورد ب، یعنی مورد مشابهی آبشکن مورد مقایسه قرار گیرد.



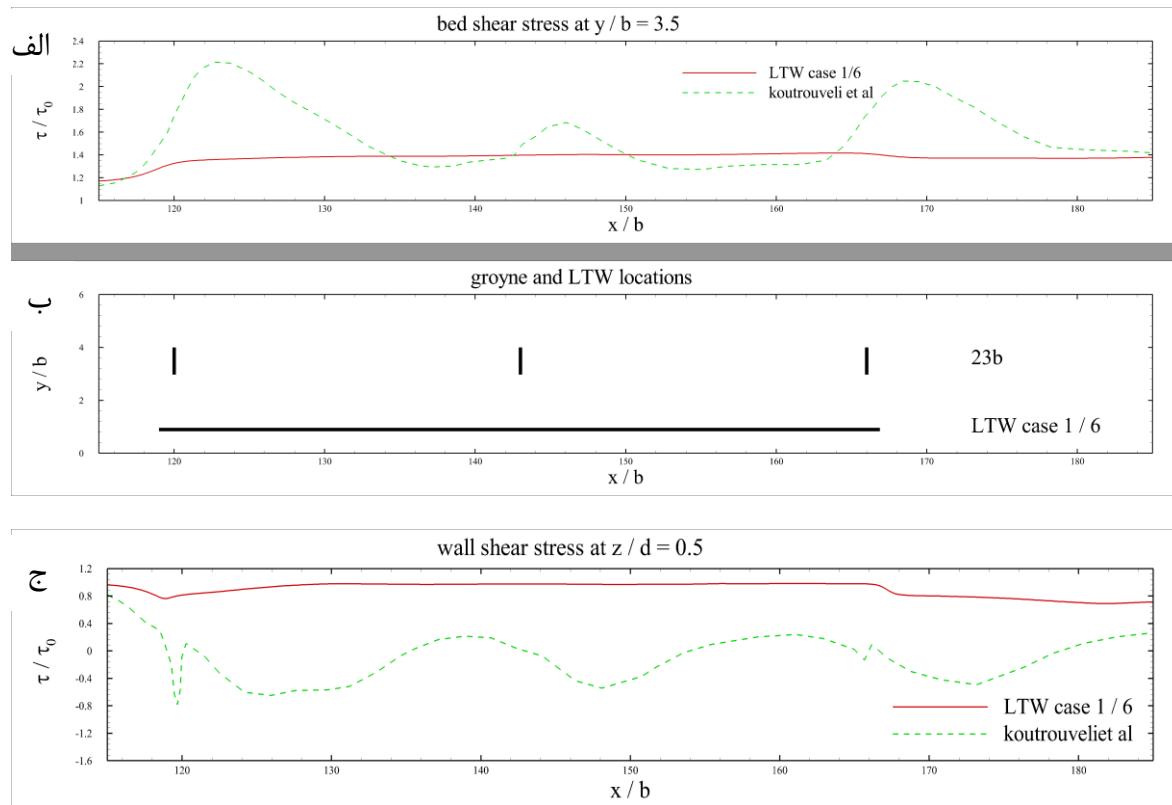
شکل ۳۷-۴: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌ی طولی

در شکل ۳۸-۴ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی آورده شده است که بایستی با شکل ۴-۲۰ مورد ج، مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۳۸-۴: کانتورهای تنش برشی الف-بستر و ب-دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی

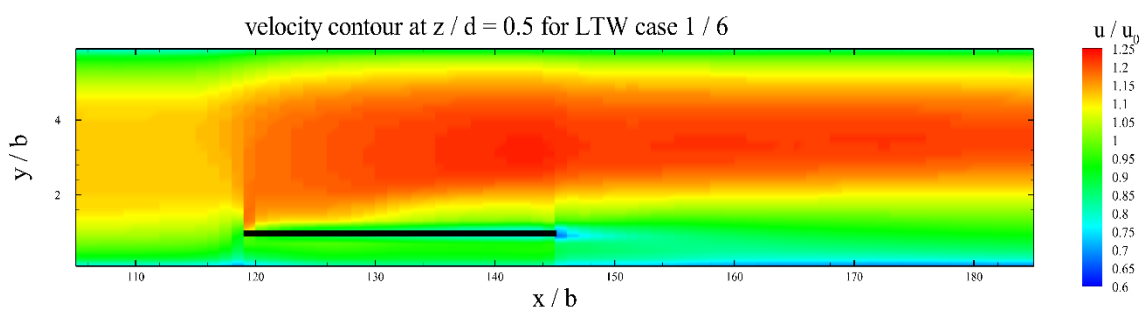
در شکل ۴-۳۹ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد آبشکن مقایسه شده است.



شکل ۴-۳۹: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی در الف- بستر و $y/b=3.5$ و ج- دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب- موقعیت سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی

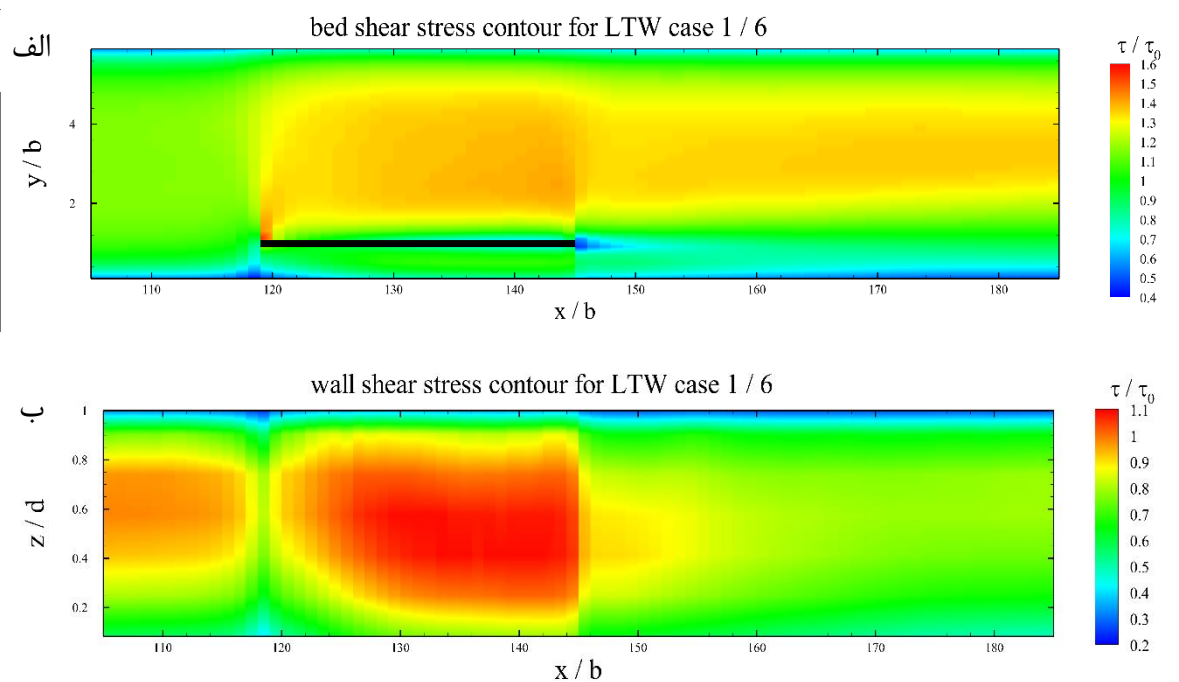
۴-۶-۱-۹: $y/B=1/6$ که در این موقعیت، دیواره‌ی طولی، طولی معادل با سری آبشکن‌ها با فواصل غیریکنواخت $1.5b$ و $6b$ را پوشش می‌دهد. نتایج در اشکال ۴-۴۰ تا ۴-۴۲ آورده شده است. به دلیل مشابهت الگوی رفتاری سازه‌ی طولی، به توضیحات قسمت ۴-۶-۱-۱ رجوع شود.

در شکل ۴-۴۰ کانتور سرعت دیواره‌ی طولی در $z/d=0.5$ آورده شده است. این کانتور بایستی با شکل ۴-۱۳ مورد ب، یعنی مورد مشابهی آبشکن مورد مقایسه قرار گیرد.



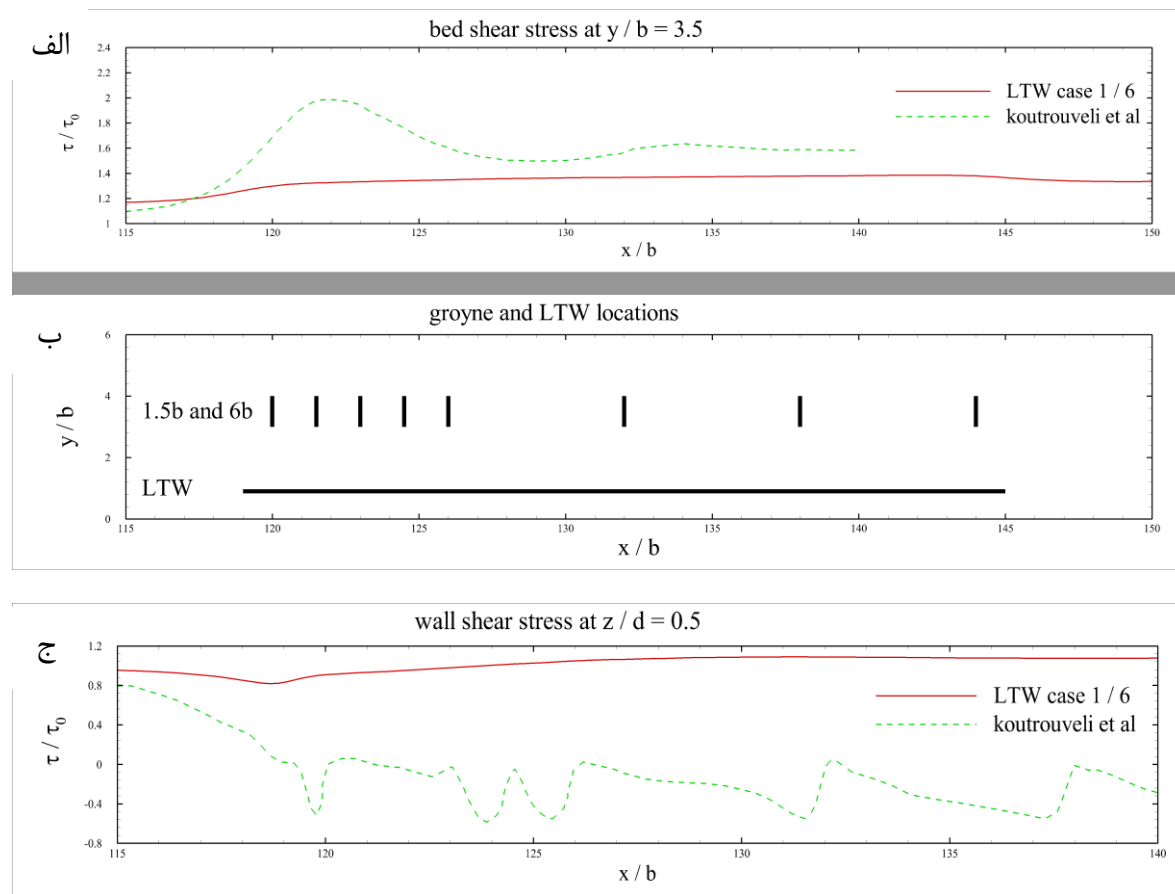
شکل ۴-۴۰: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌ی طولی

در شکل ۴-۴۱ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی آورده شده است که بایستی با شکل ۴-۱۴ مورد ج، مورد مقایسه قرار گیرد.



شکل ۴-۴۱: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی

در شکل ۴-۴۲ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد آبشکن مقایسه شده است.



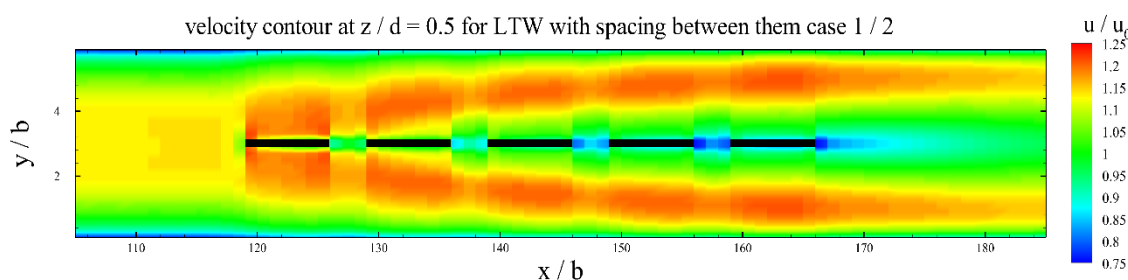
شکل ۴-۴۲: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی در الف-بستر و $y/b=3.5$ و ج-دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب-موقعیت سازه‌های آبشکن و دیواره‌ی طولی

۴-۶-۲ نتایج شبیه سازی دیواره‌ی طولی به صورت غیرممتد

در تمامی شبیه‌سازی‌های بخش حاضر، از یک سد طولی با ضخامت 3 mm و ارتفاع 0.378 m و با طول بی‌بعد ۷ و فاصله‌ی بی‌بعد ۳، در میان هر دو آبشکن متوالی استفاده شده‌است.

۴-۲-۱: $y/B=0.5$ که در این موقعیت، یک شبیه‌سازی برای دیواره‌های طولی غیرممتد به صورتی انجام شده‌است که این دیواره‌های طولی، طول معادل با فواصل یکنواخت 23b در حالت سری آبشکن‌ها را پوشش دهند.

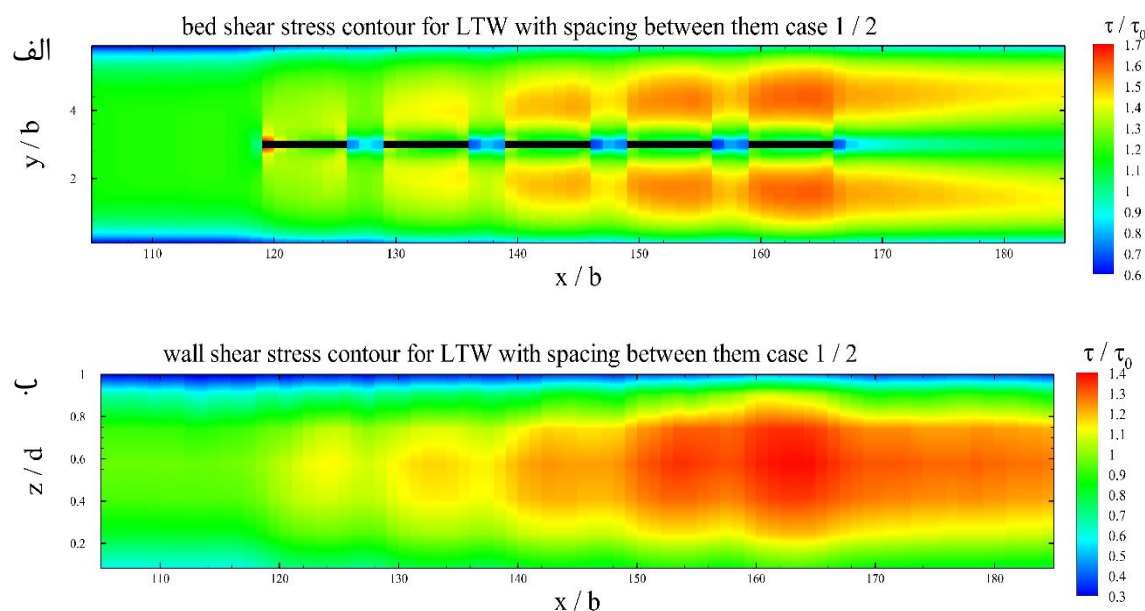
در شکل ۴-۴۳ کانتور سرعت دیواره‌های غیرممتد طولی در $z/d=0.5$ آورده شده است. این کانتور بایستی با اشکال ۴-۱۹ مورد ب، یعنی مورد مشابهی آبشکن، و ۴-۱۹ الف، یعنی مورد مشابهی دیواره‌ی طولی به صورت ممتد، مورد مقایسه قرار گیرد. نتیجه این است که الگوی رفتاری دیواره‌ی طولی در حالت غیرممتد مشابهی حالت ممتد است با این تفاوت که در دیواره‌ی غیرممتد افت انرژی‌های پی‌درپی جریان در ابتدا و انتهای هر دیواره رخ می‌دهد که نتیجه‌ی آن افت انرژی بیشتر نسبت به حالت دیواره‌ی ممتد و عدم شکل‌گیری سرعت حدی جریان در طول دیواره علی‌رغم تمایل به دستیابی آن، است. دقت داریم که در این موقعیت عرضی به دلیل تقارن، الگوی رفتاری در قسمت‌های کانال اصلی و فرعی، مشابه می‌باشند.



شکل ۴-۴۳: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌های طولی غیرممتد

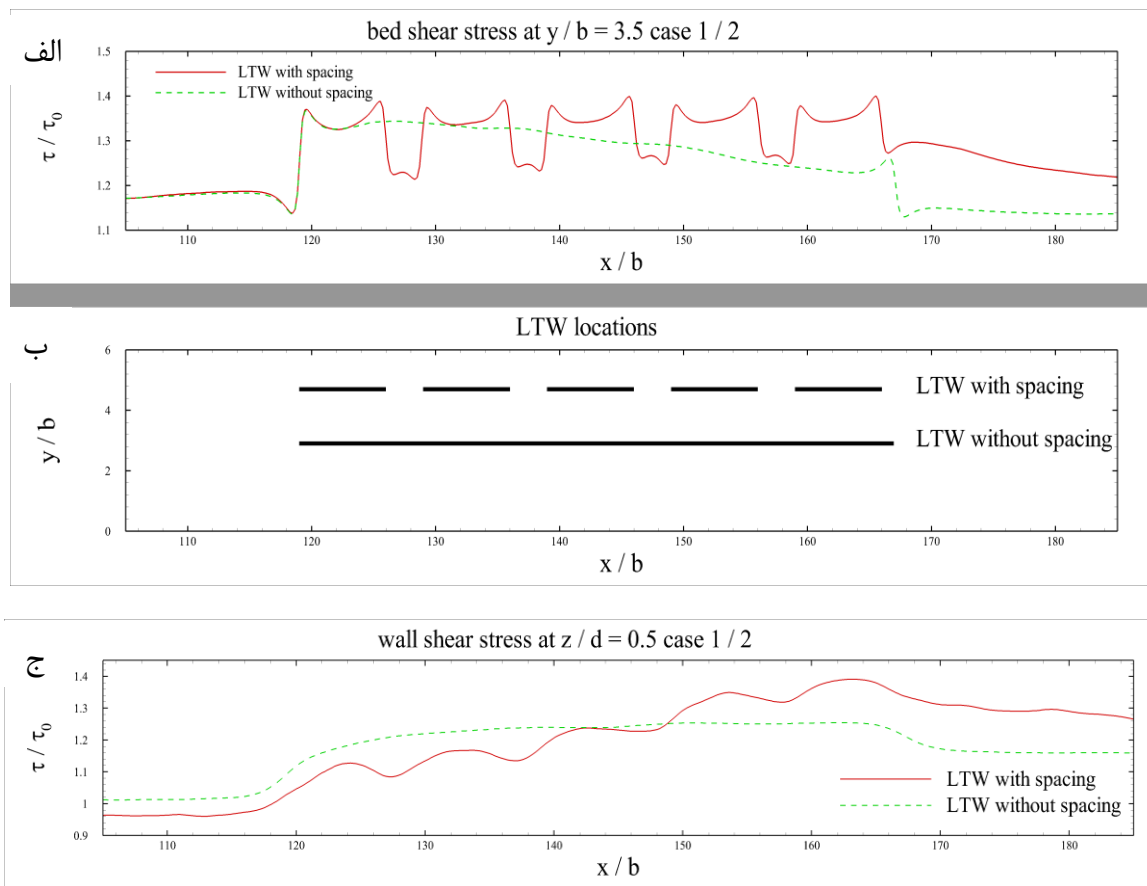
در شکل ۴-۴۴ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی غیرممتد آورده شده است که بایستی با اشکال ۴-۲۰ مورد مقایسه قرار گیرد. با این قیاس متوجه می‌شویم، از آنجا که در حالت دیواره‌ی غیرممتد افت انرژی بیشتر است، تنش برشی نیز از این امر تاثیر می‌پذیرد. به عبارت دیگر هرکجا افت انرژی و به دنبال آن افت سرعت داریم، تغییرات سرعت کمتر شده و به علت رابطه‌ی مستقیم

میان تغییرات سرعت با تنش، کاهش تنش را خواهیم داشت. و بطور مشابه با افزایش انرژی و به دنبال آن افزایش سرعت، افزایش تغییرات سرعت، و در نتیجه افزایش تنش را خواهیم داشت. دقت داریم که در این موقعیت عرضی به دلیل تقارن، الگوی رفتاری در قسمت‌های کانال اصلی و فرعی، مشابه می‌باشند. برای درک بهتر موضوع مورد بحث، نمودارهای شکل ۴-۴۵ دیده شود.



شکل ۴-۴۴: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌های طولی غیرممتد

در شکل ۴-۴۵ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ ، و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد دیواره‌ی طولی ممتد مقایسه شده است.

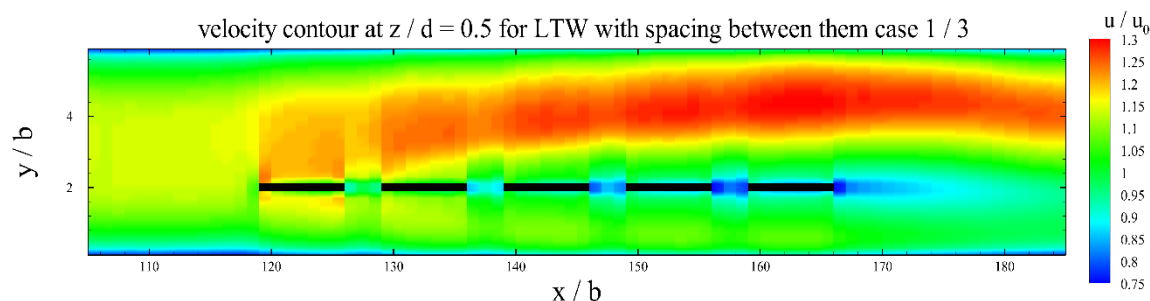


شکل ۴-۴۵: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های دیواره‌ی طولی به صورت ممتد و غیرممتد در الف- بستر و ج- دیواره‌ی کانال و $y/b=3.5$ و ب- موقعیت سازه‌های دیواره‌ی طولی $z/d=0.5$

۴-۲-۶-۲: $y/B=1/3$ که در این موقعیت یک شبیه‌سازی برای دیواره‌های طولی غیرممتد به صورتی انجام شده‌است که این دیواره‌های طولی، طول معادل با فواصل یکنواخت $23b$ در حالت سری آبشکن‌ها را پوشش دهند.

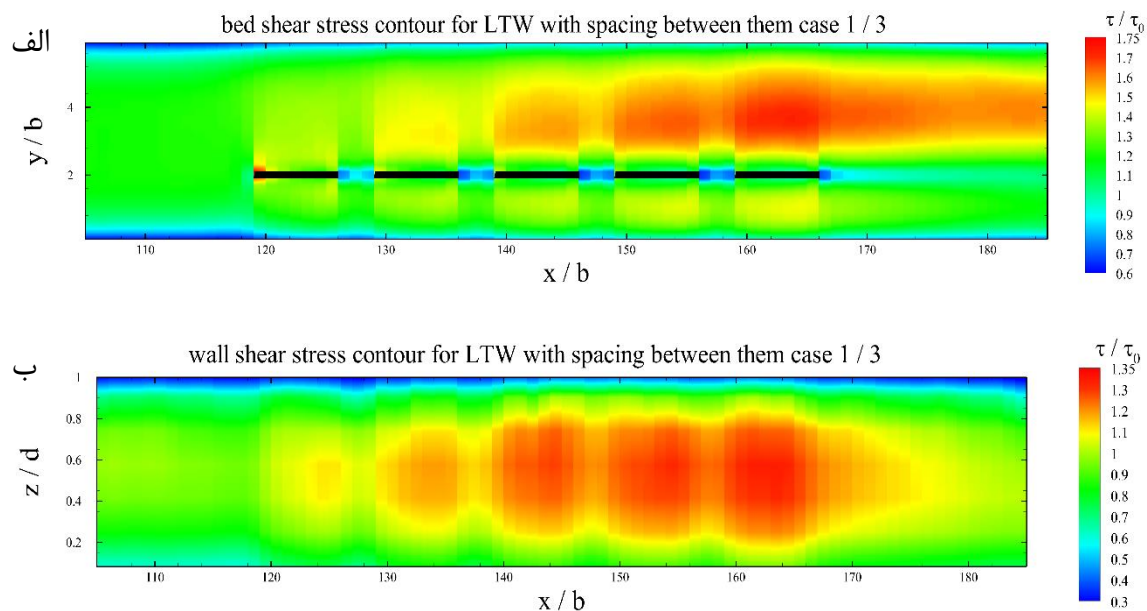
در شکل ۴-۴۶ کانتور سرعت دیواره‌های غیرممتد طولی در $z/d=0.5$ آورده شده است. این کانتور بایستی با اشکال ۴-۱۹ مورد ب، یعنی مورد مشابهی آبشکن و ۴-۲۸ یعنی مورد مشابهی دیواره‌ی طولی به صورت ممتد، مورد مقایسه قرار گیرد. به دلیل اینکه با جریان زیربحرانی سروکار داریم، الگوی رفتاری جریان با اندکی تغییر به مانند قبل است. یعنی در ابتدا و انتهای دیواره‌ها با افت انرژی (کاهش سرعت) جریان روبرو

و در مقاطع پایین دست دیواره در قسمت کانال اصلی شاهد شکل گیری سرعت حدی جریان هستیم چراکه دبی بیشتری وارد این قسمت شده است، در حالیکه در مقاطع پایین دست دیواره در قسمت کانال فرعی شاهد کاهش سرعت و آرام شدن وضعیت جریان به صورت تدریجی هستیم که علت ورود دبی کمتر و همچنین نوسانات کمتر سرعت، می باشد.



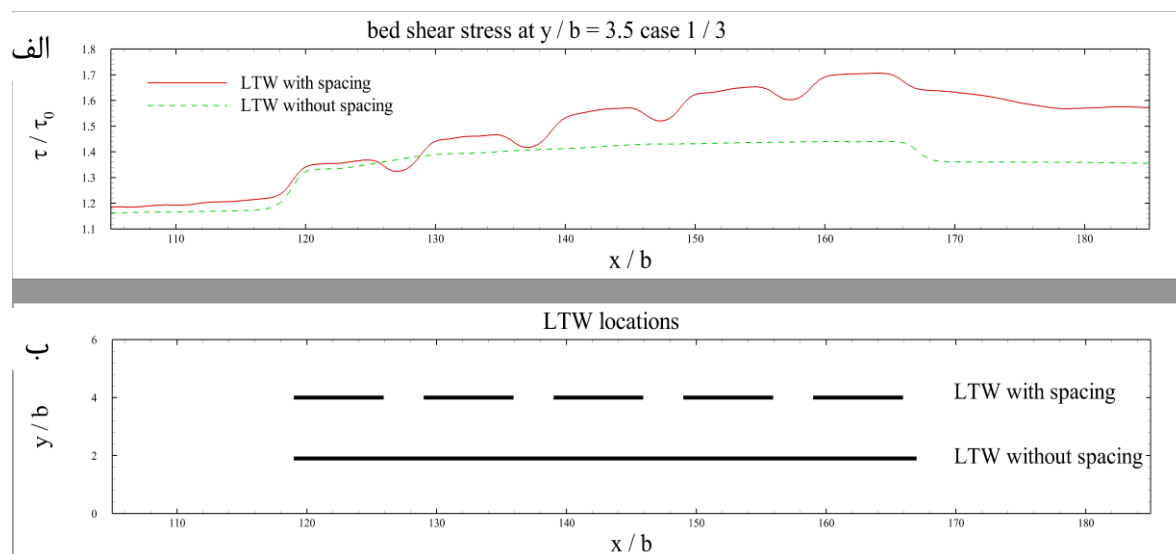
شکل ۴-۴: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره های طولی غیرممتد

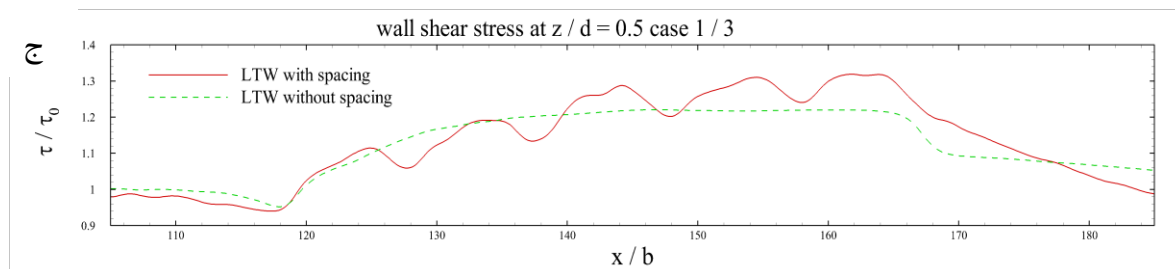
در شکل ۴-۴۷ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره ی کانال برای سازه ی دیواره ی طولی غیرممتد آورده شده است که بایستی با اشکال ۴-۲۹ و ۴-۲۰ مورد مقایسه قرار گیرد. به دلیل رابطه ی مستقیم میان تغییرات سرعت و تنش برشی و با توجه به ثابت بودن الگوی رفتاری دیواره های طولی، در کانال کناری تنش بستر کمتر از حالت الف شده است چراکه به دلیل نزدیک شدن موقعیت دیواره های طولی به دیواره ی کانال و در نتیجه ورود دبی کمتر، جریان در کانال کناری، آرامتر از حالتی است که $y/B=1/2$ که این مورد هم در کانتور سرعت و هم کانتور تنش برشی خودش را نشان داده است. برای درک بهتر موضوع مورد بحث، نمودارهای شکل ۴-۴۸ دیده شود.



شکل ۴-۴۷: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌های طولی غیرممتد

در شکل ۴-۴۸ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد دیواره‌ی طولی ممتد مقایسه شده است.

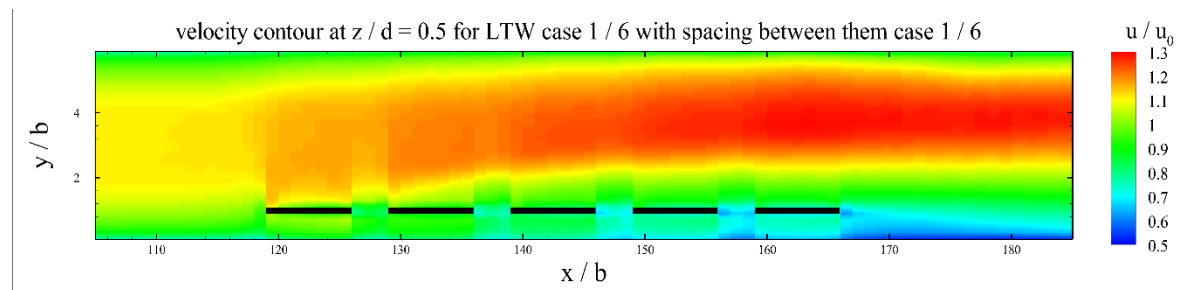




شکل ۴-۴۸: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های دیواره‌ی طولی به صورت ممتد و غیرممتد در الف- بستر و $y/b=3.5$ و ج- دیواره‌ی کانال و $z/d=0.5$ و ب- موقعیت سازه‌های دیواره‌ی طولی

۴-۲-۳: $y/B=1/6$ که در این موقعیت یک شبیه‌سازی برای دیواره‌های طولی غیرممتد به صورتی انجام شده است که این دیواره‌های طولی، طول معادل با فواصل یکنواخت $23b$ در حالت سری آبشکن‌ها را پوشش دهند.

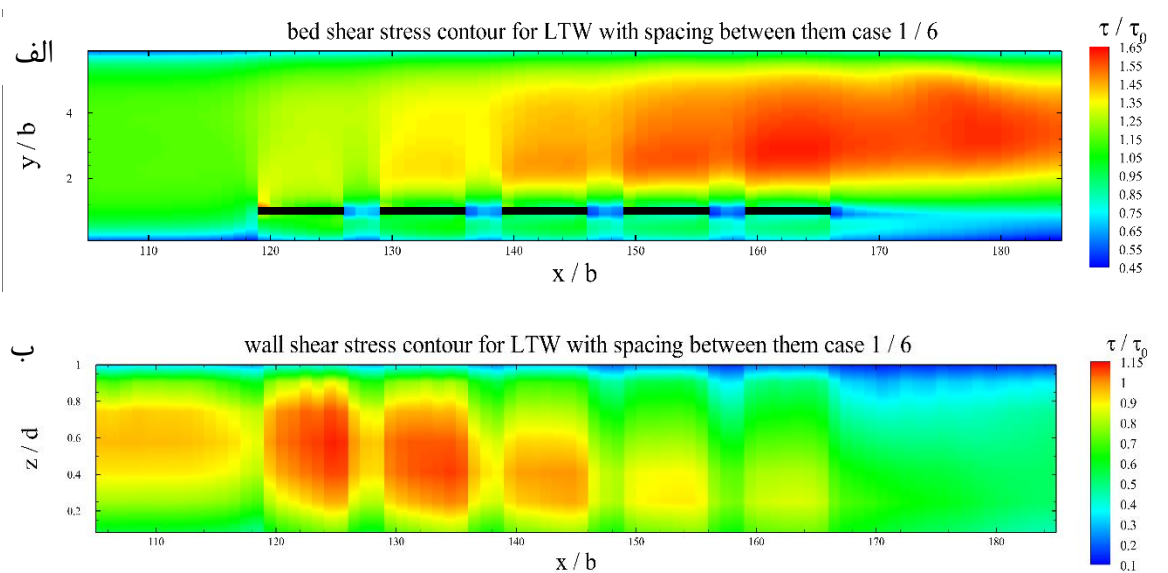
در شکل ۴-۴۹ کانتور سرعت دیواره‌های غیرممتد طولی در $z/d=0.5$ آورده شده است. این کانتور بایستی با اشکال ۴-۱۹ مورد ب یعنی مورد مشابهی آبشکن، ۴-۳۷ یعنی مورد مشابهی دیواره‌ی طولی به صورت ممتد، مورد مقایسه قرار گیرد. به دلیل اینکه با جریان زیربحرانی سروکار داریم، الگوی رفتاری جریان به مانند قبل است. یعنی در ابتدا و انتهای دیواره‌ها با افت انرژی جریان (کاهش سرعت) و در طول دیواره تمایل به دستیابی سرعت حدی را شاهدیم. مورد قابل ذکر این است که در این موقعیت عرضی و در قسمت کانال کناری به علت نزدیک بودن دیواره‌های طولی به دیواره‌ی کانال، که باعث ورود دبی بسیار کمتر به آن قسمت می‌شود و همچنین افت انرژی‌های پی‌درپی جریان در ابتدا و انتهای هر دیواره، وضعیت جریان به تدریج به مقدار قابل توجهی نسبت به موقعیت‌های عرضی $y/B=1/2$ و $y/B=1/3$ آرام می‌شود. درحالی‌که در قسمت کانال اصلی به دلیل ورود دبی بیشتر نسبت به موقعیت‌های عرضی $y/B=1/2$ و $y/B=1/3$ ، جریان در این قسمت (کانال اصلی) به سرعت حدی خود دست یافته و کاملاً توسعه یافته شده‌است.



شکل ۴-۴۹: کانتور سرعت در $z/d=0.5$ برای دیواره‌های طولی غیرممتد

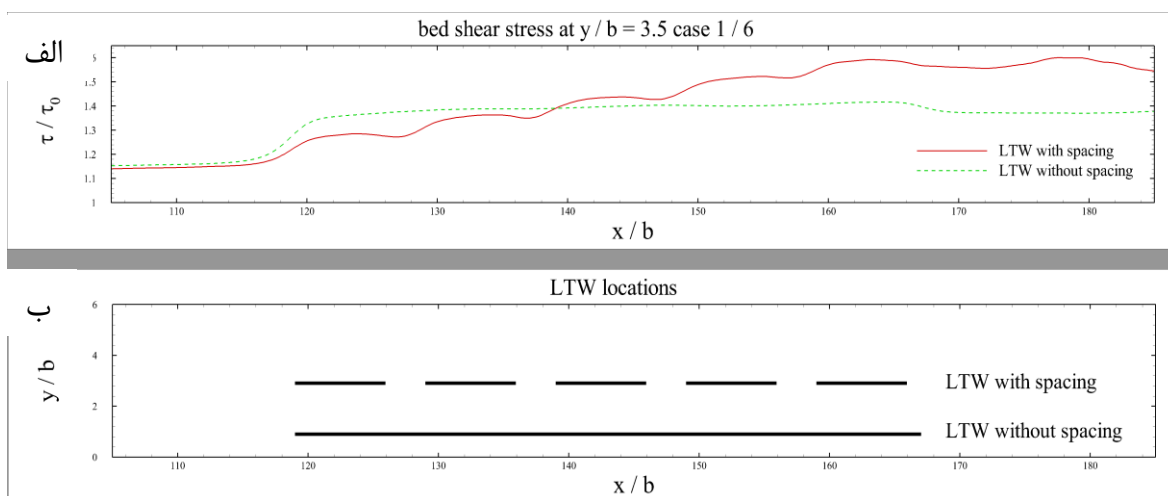
در شکل ۴-۵۰ کانتورهای تنش برشی در بستر و دیواره‌ی کانال برای سازه‌ی دیواره‌ی طولی غیرممتد آورده شده است که بایستی با اشکال ۴-۳۸ و ۴-۲۰ مورد ج، مورد مقایسه قرار گیرد. به دلیل رابطه‌ی مستقیم میان تغییرات سرعت و تنش برشی و با توجه به ثابت بودن الگوی رفتاری دیواره‌های طولی، تنش برشی هم در بستر و هم دیواره‌ی کانال در قسمت کانال کناری، در حالت دیواره‌های غیرممتد کوچکتر از حالت‌های قبل است. که علت را می‌توان در، ورود دبی بسیار کمتر نسبت به موقعیت‌های عرضی $y/B=1/2$ و $y/B=1/3$ به قسمت کانال کناری و افت انرژی‌های پی‌درپی در ابتدا و انتهای دیواره‌های طولی یافت. برای درک بهتر موضوع مورد بحث، نمودارهای شکل ۴-۵۱ دیده شود.

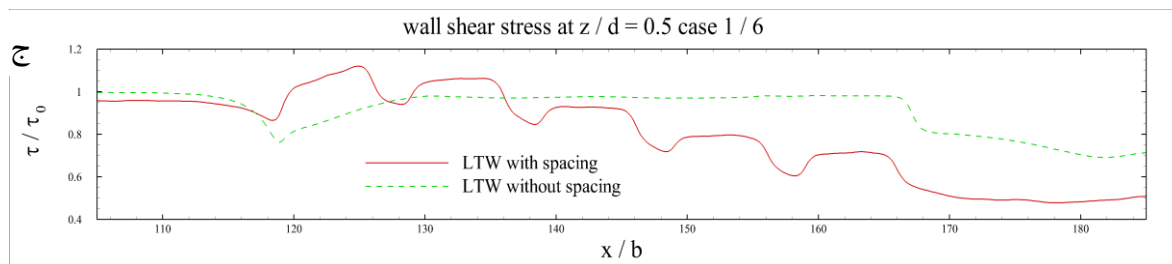
بایستی متذکر شد که نمودار ۴-۵۱ الف، در $y/b=3.5$ است که معنای آن این است، در قسمت کانال کناری قرار نگرفته بلکه در قسمت کانال اصلی می‌باشد و بنابراین موارد فوق صادق می‌باشند. به عبارت دیگر در قسمت کانال اصلی، جریان به خوبی توسعه پیدا کرده‌است که این به معنای تغییرات سرعت بیشتر و به دنبال آن تنش بستر بزرگتر در قسمت کانال اصلی در این حالت است.



شکل ۴-۵۰: کانتورهای تنش برشی الف- بستر و ب- دیواری کانال برای سازه‌ی دیواره‌های طولی غیرممتد

در شکل ۴-۵۱ نمودارهای تنش برشی بستر در $y/b=3.5$ و دیواره در $z/d=0.5$ آورده شده است و با مورد دیواری طولی ممتد مقایسه شده است.





شکل ۴-۵۱: مقایسه نمودارهای تنش برشی سازه‌های دیواره‌ی طولی به صورت ممتد و غیرممتد در الف- بستر و y/b=3.5 و ج- دیواره‌ی کانال و z/d=0.5 و ب- موقعیت سازه‌های دیواره‌ی طولی

۴-۶-۳ مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی سازه‌ی آبشکن با سازه‌ی دیواره‌ی طولی در هر

دو حالت ممتد و غیرممتد

اطراف سازه‌های عرضی آبشکن، جریان به صورت چرخشی است. این جریانات چرخشی در حالتی که فاصله‌ی بین آبشکن‌ها به درستی طراحی شده باشند، می‌توانند باعث کاهش تنش برشی وارد بر دیواره‌ی کانال شوند و از حمله‌ی مستقیم آب به ساحل جلوگیری کنند. از طرف دیگر الگوی جریان اطراف این سازه‌ها، نشان می‌دهد که این سازه‌ها باعث وارد آمدن تنش برشی بزرگ به بستر رودخانه، آسیب به اکولوژی سیستم و زیستگاه آبزیان به دلیل وجود جریانات چرخشی و نوسانات زیاد سرعت، که تاثیر نامطلوبی بر آبزیان می‌گذارد، می‌شوند. همچنین عدم توانایی مطلوب انتقال اضافی دبی سیلاب را به همراه دارند. به منظور اصلاح این مشکلات، اخیراً سیستم دیواره‌های طولی پیشنهاد شده‌است که در پژوهش حاضر به بررسی الگوی جریان در اطراف این سازه‌ها پرداخته شد و مواردی که در ادامه بیان می‌گردند، حاصل گشت.

با افت انرژی جریان (کاهش سرعت) در ابتدا و انتهای دیواره‌ی طولی روبرو هستیم که به لحاظ مفهومی می‌توان از الگوی تبدیل کمک گرفت. به این شرح که چون با جریان زیربحرانی سروکار داریم، هم در ابتدای دیواره‌ی طولی که تبدیل تنگ‌شونده داریم و هم در انتهای دیواره‌ی طولی که تبدیل عریض‌شونده داریم،

افت انرژی جریان (کاهش سرعت) را خواهیم داشت. عامل تاثیرگذار دیگر بر سرعت، موقعیت عرضی دیواره‌ی طولی و همچنین ممتد یا غیرممتد بودن این سازه، می‌باشد. به عبارت دیگر اگر دیواره‌ی طولی به صورت غیرممتد باشد، به دلیل افت انرژی‌های پی‌درپی جریان میان انتهای دیواره‌ی قبلی و ابتدای دیواره‌ی جدید، وضعیت جریان در کانال کناری آرامتر خواهد بود چراکه تغییرات سرعت کمتر و در نتیجه تنش کمتری خواهیم داشت. از طرف دیگر هرچه فاصله‌ی دیواره‌ی طولی به دیواره‌ی کانال نزدیکتر باشد، دبی کمتری به کانال کناری وارد می‌شود در نتیجه وضعیت جریان در قسمت کانال کناری آرامتر خواهد بود که اگر این مورد با حالت غیرممتد بودن ترکیب شود، بهترین نتیجه برای کاهش تنش برشی حاصل می‌شود که اشکال ۴-۴۳ تا ۴-۵۱ به درک بهتر موضوع کمک خواهند کرد.

بنابراین این سیستم قابلیت انعطاف‌پذیری بالایی دارد که بسته به اینکه کاهش تنش برشی در دیواره تا چه اندازه دارای اهمیت است، می‌توان این سیستم را در موقعیت عرضی مناسب و به صورت ممتد یا غیرممتد، اجرا نمود.

نتیجه اینکه، این سیستم در تمام حالت‌ها برش بستر کمتری را به رودخانه وارد می‌کند که باعث فرسایش کمتر می‌شود. همچنین این سیستم قابلیت کاهش تنش برشی دیواره را به صورت پویا داراست (یعنی بسته به هدف، در چه موقعیت عرضی‌ای اجرا شود) که این امر هم به غیرممتد بودن دیواره‌های طولی و هم به موقعیت عرضی آن بستگی دارد.

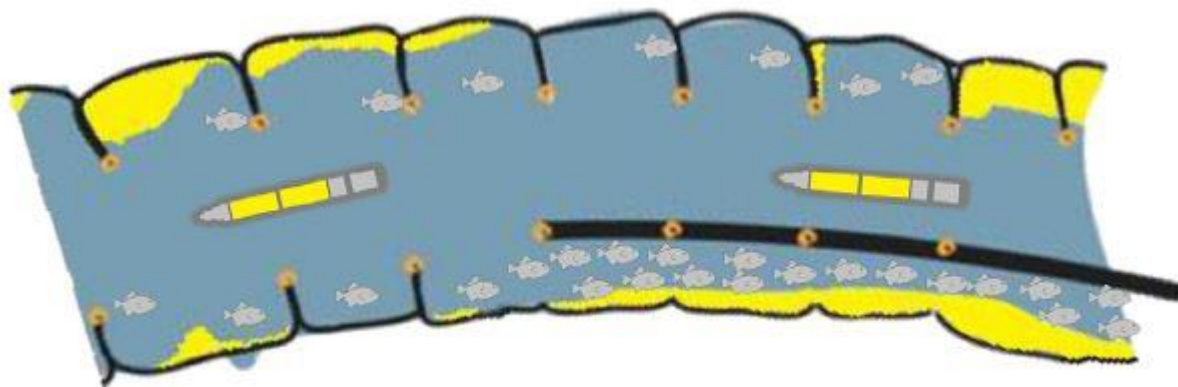
از دیگر مزایای این سیستم نسبت به سازه‌های عرضی آبشکن می‌توان به، کمک به بهبود زیستگاه آبزیان، کمک به تخلیه‌ی دبی اضافی هنگام سیلاب و حفظ عمق مناسب آب برای اهداف کشتیرانی، اشاره کرد.

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۵ نتیجه‌گیری

استفاده‌ی از سازه‌های دیواره‌های طولی اخیراً توسط مهندسين به منظور بهبود عملکرد محیط زیست، عبور جریان بیشتر در زمان سیلاب و افزایش ایمنی، بهبود عمق آب جهت اهداف کشتیرانی و برش کمتر در بستر رودخانه بجای سازه‌های سنتی آبشکن توصیه شده‌است. در تحقیق حاضر عملکرد این سیستم جدید از منظر تنش برشی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گشت:

۱- همانطور که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است، سیستم دیواره‌های طولی با فراهم آوردن یک کانال کناری^۱ که یک جریان بدون اغتشاش در آن جریان دارد، به بهبود محیط زیست و زیستگاه آبزیان کمک می‌کند. (Collas et al., 2018)



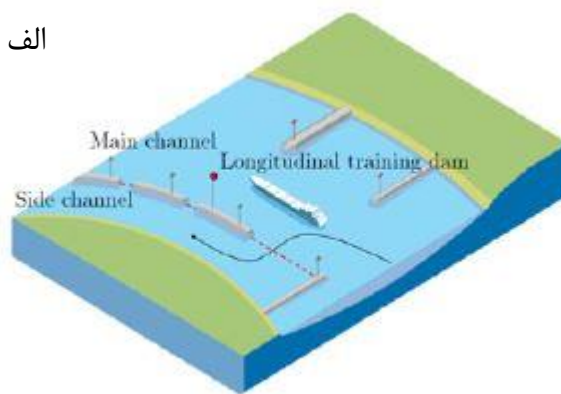
شکل ۱-۵: عملکرد بهتر سازه‌های دیواره‌ی طولی از نظر محیط زیستی نسبت به سازه‌های سنتی آبشکن

۲- این سیستم برخلاف سازه‌های سنتی آبشکن در هنگام سیلاب سدی برای جریان آب اضافی نیست و در نتیجه عملکرد بهتری در تخلیه‌ی دبی سیلاب دارد. (Le, 2018)

¹ Side channel

۳- سیستم دیواره‌ی طولی در مقایسه‌ی با آبشکن هم برش کمتری را به بستر رودخانه وارد می‌کند و در نتیجه فرسایش کمتری را در رودخانه خواهیم داشت و هم آنچنان انعطاف پذیری‌ای برای محافظت از دیواره‌ی ساحل دارد که علاوه بر موثر بودن به همان اندازه‌ی سیستم آبشکن، این قابلیت را ایجاد می‌کند که بسته به نیاز و شرایط محیط، این سیستم را، به صورت ممتد یا غیرممتد و در موقعیت عرضی‌ای که نیاز داریم، اجرا کنیم. شکل ۵-۲ به درک بهتر موضوع کمک می‌کند.

الف



شکل ۵-۲: اجرای سیستم دیواره‌ی طولی بر اساس نیاز الف- به صورت غیرممتد ب- در موقعیت‌های مختلف

۴- این سیستم به مانند سازه‌های آبشکن عمقی مناسب جهت اهداف کشتیرانی را فراهم می‌آورد. (Le, 2018)

۲-۵ پیشنهادات

یکی از راه‌های پیشرفت علم، اضافه نمودن شرایط و فرضیه‌های نوین به کارهای صورت گرفته‌ی قبلی در آن زمینه و توسعه دادن مسئله و تلاش جهت بهبود عملکرد در آن زمینه می‌باشد. تحقیق حاضر نیز قابل توسعه می‌باشد و می‌توان در کارهای بعدی به دنبال یافتن پاسخ سوالات زیر بود:

۱- بهینه‌ترین پیکربندی سیستم دیواره‌ی طولی هم به لحاظ اقتصادی و هم به لحاظ تنش برشی چیست؟

۲- اگر شرط فیزیکی رسوب نیز در مدل‌سازی عددی لحاظ شود، نتایج چگونه خواهند بود؟

۳- آیا می‌توان دیواره‌های طولی و آبشکن‌ها را به صورت همزمان مورد استفاده قرار داد؟

مراج

چشمی، علی، بهنام‌طلب، احسان و خامچین‌مقدم، فرهاد (۱۳۹۸). "شبیه‌سازی عددی آبشکن متخلخل با استفاده از نرم‌افزار Flow3D." *مجله‌ی علمی-پژوهشی، دوره ۱۴، شماره ۱*.

مرادی‌نژاد، امیر، حق‌آبی، امیرحمزه، صانعی، مجتبی و یونسی، حجت‌الله (۱۳۹۶). "بررسی اثر دیوار جداکننده و آبشکن در انرژی جنبشی آشفتگی در دهانه آبگیر." *شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*.

مهرآیین، مجتبی، نوربخش، سیدماجد و قدسیان، مسعود (۱۳۹۴). "بررسی میدان جریان آشفته اطراف آبشکن T شکل مستغرق." *مجله علمی-پژوهشی عمران مدرس، دوره ۱۵، شماره ۳*.

نیر، شهاب، فرزین، سعید، کرمی، حجت و رستمی، محمد (۱۳۹۸). "بررسی آزمایشگاهی آبستگي پیرامون آبشکن T شکل تحت تأثیر آبشکن‌های بالادست و پایین‌دست." *نشریه‌ی علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*.

Bhuiyan, F., Hey, R. D., & Wormleaton, P. R. (2010). "Bank-attached vanes for bank erosion control and restoration of river meanders." **Journal of Hydraulic Engineering**, 136(9), 583-596.

Collas, F. P. L., Buijse, A. D., Van den Heuvel, L., Van Kessel, N., Schoor, M. M., Eerden, H., & Leuven, R. S. E. W. (2018). "Longitudinal training dams mitigate effects of shipping on environmental conditions and fish density in the littoral zones of the river Rhine." **Science of the Total Environment**, 619, 1183-1193.

Copeland, R. R. (1983). "Bank protection techniques using spur dikes." **ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION VICKSBURG MS HYDRAULICS LAB**.

Duan, J. G. (2009). “Mean flow and turbulence around a laboratory spur dike.” **Journal of Hydraulic Engineering**, 135(10), 803-811.

Fang, H., Bai, J., He, G., & Zhao, H. (2014). “Calculations of nonsubmerged groin flow in a shallow open channel by large- eddy simulation.” **Journal of Engineering Mechanics**, 140(5), 04014016.

Koutrouveli, T. I., Dimas, A. A., Fourniotis, N. T., & Demetracopoulos, A. C. (2018). “Groyne spacing role on the effective control of wall shear stress in open channel flow.” **Journal of Hydraulic Research**, 57(2), 167-182.

Launder, B. E., & Spalding, D. B. (1983). “The numerical computation of turbulent flows.” In Numerical prediction of flow, heat transfer, turbulence and combustion (pp. 96-116). Pergamon.

Le, B. (2018). “Training rivers with longitudinal walls: long-term morphological responses.” Master of Science in Water Science and Engineering, UNESCO-IHE, the Netherlands.

10.4233/uuid: cf588b41-0bcc-490f-9cf0-ea0d95a92678

Le, T. B., Crosato, A., & Uijttewaai, W. S. J. (2018). “Long-term morphological developments of river channels separated by a longitudinal training wall.” **Advances in Water Resources**, 113, 73-85.

Le, T. B., Crosato, A., Mosselman, E., & Uijttewaai, W. S. J. (2018). “On the stability of river bifurcations created by longitudinal training walls. Numerical investigation.” **Advances in Water Resources**, 113, 112-125.

Menter, F. (1993, July). “Zonal two equation k-w turbulence models for aerodynamic flows.” In 23rd fluid dynamics, plasmadynamics, and lasers conference (p. 2906).

Odgaard, A. J. (2017). “River management with submerged vanes.” In River system analysis and management (pp. 251-261). Springer, Singapore.

Osorio, A. L. N. A., Mosselman, E., Franca, M., & Creech, C. (2020). “Longitudinal training walls on the Waal River (Netherlands) as a River training alternative.” In XIV ENES 2020.

Ouillon, S., & Dartus, D. (1997). “Three-dimensional computation of flow around groyne.” **Journal of hydraulic Engineering**, 123(11), 962-970.

Rajaratnam, N., & Nwachukwu, B. A. (1983). “Flow near groin-like structures.” **Journal of Hydraulic Engineering**, 109(3), 463-480.

Sukhodolov, A. N. (2014). “Hydrodynamics of groyne fields in a straight river reach: insight from field experiments.” **Journal of Hydraulic Research**, 52(1), 105-120.

Uijttewaalt, W. S. (2005). “Effects of groyne layout on the flow in groyne fields: Laboratory experiments.” **Journal of Hydraulic Engineering**, 131(9), 782-791.

Weitbrecht, V. (2004). “Influence of dead-water zones on the dispersive mass transport in rivers.” London, UK: KIT Scientific Publishing.

Yossef, M. F. (2002). “The effect of groynes on rivers: Literature review.” Delft Cluster publicatienummer 03.03. 04.

Yossef, M. F., & de Vriend, H. J. (2011). “Flow details near river groynes: experimental investigation.” **Journal of Hydraulic Engineering**, 137(5), 504-516.

Abstract

Channel stabilization and restoration efforts have been increased dramatically with excessive cost since 1990. However, it is estimated that at least 50% of these projects fail and others may not perform as expected. Therefore, stream restoration today is more of an art than a science. To maintain a navigable channel and improve flow conveyance by dividing the channel into two main and side channels, engineers have recently proposed constructing longitudinal training walls as an alternative to the traditional transverse groynes.

In the present study, the performance of longitudinal training walls and groynes on bed and wall shear stresses was investigated numerically by solving Reynolds-averaged Navier-Stokes equations with the k- ϵ turbulence model using Flow-3D software applying finite volume method. Results of the single groyne simulation were validated based on experimental data, and results of the series of groynes simulation were compared to the available numerical data with a good agreement.

In this study, twelve simulations were performed for longitudinal training walls in different longitudinal and transverse positions with continuous and non-continuous forms. The results showed that this system, compared to the traditional groyne system, introduces less bed shear stress and has the ability to control the wall shear stress dynamically. This system, by providing a mild flow in the side channel, has a favorable effect on aquatic habitat and ecosystem, besides high ability to transfer additional flood discharge. So, this system can be used as an appropriate replacement for traditional transverse groynes.

Keywords: shear stress, longitudinal training walls, Flow-3D, RANS, k- ϵ , bank protection, groyne



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Water Engineering and Hydraulic Structures

Numerical Investigation of Longitudinal Training Walls on the River Bank Protection

By:

Seyed Mojtaba Razavi Mozaffar Moghaddam

Supervisor:

Amir-abbas Abedini

October 2021