





دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

مدل سازی انتقال رسوب در محل برخورد دو رودخانه

نگارنده : نوید سلیمانی نجف آباد

استاد راهنما:

دکتر رامین امینی

تیر ۱۳۹۶

تقدیم

به نام آن علیمی که شعله ی عشق به تحصیل را در فانوس سینه ی پر مهر صاحبان علم و طالبان عمل روشن نمود. لطف و سپاس ایزد منان را که دوره ی دیگری از زندگی علمی خود را با موفقیت پشت سر گذاشتم. این پژوهش را به عنوان کوششی صادقانه به پیشگاه حضرت حق و خالق یکتا تقدیم می دارم که نعمت حیات، تندرستی و تحصیل علم را مرحمت فرمود و به خاندان عصمت و طهارت علیهم السلام که زندگی مان را مدیون هدایت و ولایت آنان هستیم، به ویژه امام هشتم علی ابن موسی الرضا که توفیق اقامت در جوارش را عنایت فرموده است. همچنین این نگارش را به پدرم که با دست های خسته و پر مهرش نردبان صعودم را به علم و معرفت بر افراشت و به سحر های نورانی و خلوت مادرم که چشم های مهربانش را به دعای سجاده سبزش بدرقه راه زندگی ام کرد و لبخند رضایتش گذر چند سال تحصیل مرا شیرین و آسان نمود، تقدیم می دارم.

تقدیر و تشکر

مراتب تقدیر و تشکر خود را از استاد فرزانه و اندیشمندم، جناب آقای دکتر رامین امینی، که در کمال صداقت، متانت، تواضع و بزرگواری و با سعه‌ی صدر فراوان، راهنمایی‌های بسیار ارزنده‌ای را در تهیه و تنظیم این پژوهش داشتند، اعلام می‌دارم. امیدوارم در پناه الطاف یزدان پاک، شاد، سلامت و پیروز باشند. در پایان وظیفه خود می‌دانم از تمامی اساتید گرانقدری که در دوره‌ی کارشناسی ارشد توفیق و سعادت درک محضرشان را داشته‌ام، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. زحمات و محبت‌های کلیه دوستان و عزیزانی که مشوق و همراه من بودند را ارج می‌نهم و از خداوند قادر و متعال برای آنان آرزوی توفیقات روز افزون می‌نمایم.

نوید سلیمانی نجف آباد

نیر ۱۳۹۶

چکیده

امروزه با توسعه ی علم و فناوری در علوم مختلف درک پدیده های گوناگون در طبیعت و پی بردن به ساز و کار های پیچیده ی آن ها آسان تر شده است. علم سیالات و هیدرولیک نیز از این قائده مستثنا نیست. با پیشرفت مباحث مختلف مانند دینامیک سیالات محاسباتی و همچنین رشد روز افزون مدل های گوناگون عددی جهت بررسی انواع پدیده های رودخانه ای، فهم تغییرات پیچیده در جریان و ارائه ی راه حل های مطمئن جهت جلوگیری از آسیب های گوناگون بر طبیعت آسان تر شده است. تلاقی رودخانه ها و چند شاخه شدن آن ها و بررسی تغییرات جریان و رسوب در این نواحی همواره از مطالب جذاب و مهم برای محققان در زمینه ی علوم هیدرولیکی بوده است. هر چند در این مورد بیشتر تحقیقات بر روی کانال ها بوده و تحقیقات آزمایشگاهی به طور کلی بیشتر از تحقیقات عددی است اما همواره تحقیقات آزمایشگاهی محدودیت های گوناگونی داشته است. در تحقیق حاضر با استفاده از مدل عددی CCHE2D که یک مدل دو بعدی شبیه ساز جریان و رسوب می باشد، سعی شده تغییرات پارامترهای مهم جریان و رسوب بررسی شود. در این تحقیق ابتدا به صحت سنجی نرم افزار جهت قابل اطمینان بودن آن پرداخته شده و سپس با تغییر در چهار پارامتر مهم دبی، عرض، شیب و زاویه ی تلاقی دو کانال و تاثیر هر کدام از آن ها بر دیگر پارامترها مانند سرعت، عدد فرود، تراز رسوبات کف و عدد شیلدز رسوب، نتایج استخراج و بحث شده است. همچنین ناحیه ی جداولگی جریان نیز به عنوان یک ناحیه ی مهم در تلاقی ها مورد بررسی قرار گرفته و چگونگی تغییرات سرعت و تراز رسوبات کف در این قسمت بررسی شده است. در پایان هم پیشنهاداتی جهت درک بهتر ساز و کار جریان و رسوب در تلاقی ها ارائه شده است.

واژه های کلیدی: دینامیک سیالات محاسباتی، تلاقی رودخانه ها، CCHE2D، جریان و رسوب در

تلاقی کانال ها

فهرست مطالب

فصل اول	۱
۱ - ۱ - مقدمه	۲
۱ - ۲ - اهمیت موضوع	۲
۱ - ۳ - کلیات جریان	۳
فصل دوم	۵
۲ - ۱ - مقدمه	۶
۲ - ۲ - ضرورت مدل سازی و انواع مدل ها	۶
۲ - ۳ - اهداف مدل سازی عددی و انواع پدیده های رودخانه ای	۷
۲ - ۳ - ۱ - بررسی پدیده های عمومی	۸
۲ - ۳ - ۲ - بررسی پدیده های موضعی	۸
۲ - ۳ - ۳ - بررسی اثر الگوی جریان رودخانه بر محیط پیرامون	۹
۲ - ۳ - ۴ - بررسی اثر آبشستگی و رسوب گذاری در اطراف سازه های هیدرولیکی	۹
۲ - ۴ - انواع مدل های عددی شبیه ساز پدیده های رودخانه ای	۱۰
۲ - ۴ - ۱ - مدل های یک بعدی	۱۰
۲ - ۴ - ۲ - مدل های دو بعدی	۱۱
۲ - ۴ - ۳ - مدل های شبه سه بعدی	۱۱
۲ - ۴ - ۴ - مدل های سه بعدی	۱۲
فصل سوم	۱۳
۳ - ۱ - مقدمه	۱۴
۳ - ۲ - تحقیقات داخلی	۱۴
۳ - ۲ - ۱ - تحقیقات آزمایشگاهی	۱۴

۲۱	تحقیقات عددی - ۲ - ۲ - ۳
۲۴	تحقیقات خارجی - ۳ - ۳
۲۴	تحقیقات آزمایشگاهی - ۱ - ۳ - ۳
۲۵	تحقیق عددی - ۲ - ۳ - ۳
۲۷	فصل چهارم
۲۸	مقدمه - ۱ - ۴
۲۸	مشخصات مدل عددی CCHE2D - ۲ - ۴
۲۹	معادلات حاکم بر جریان آب و رسوب - ۳ - ۴
۲۹	معادلات هیدرودینامیکی حاکم بر جریان آب - ۱ - ۳ - ۴
۳۰	مدل های آشفتگی - ۲ - ۳ - ۴
۳۱	معادلات حاکم بر محاسبات انتقال رسوب - ۳ - ۳ - ۴
۳۳	روش های حل معادلات حاکم بر میدان جریان و انتقال رسوب - ۴ - ۴
۳۵	صحت سنجی - ۵ - ۴
۳۵	معرفی مدل آزمایشگاهی - ۱ - ۵ - ۴
۳۷	صحت سنجی نرم افزار (جریان) - ۲ - ۵ - ۴
۴۴	صحت سنجی نرم افزار (رسوب) - ۳ - ۵ - ۴
۴۹	فصل پنجم
۵۰	مقدمه - ۱ - ۵
۵۰	بررسی پارامتر های مهم - ۲ - ۵
۵۱	بررسی اثر تغییر نسبت دبی بر الگوی جریان و رسوب - ۳ - ۵
۵۱	بررسی اثر تغییر نسبت دبی بر جریان - ۱ - ۳ - ۵
۵۸	تاثیر تغییر نسبت دبی بر ناحیه ی جدا شدگی - ۲ - ۳ - ۵
۶۰	بررسی اثر تغییر نسبت دبی بر رسوب - ۳ - ۳ - ۵

۶۷	۵ - ۴ - بررسی اثر تغییر نسبت عرض بر الگوی جریان و رسوب
۶۷	۵ - ۴ - ۱ - بررسی اثر تغییر نسبت عرض بر جریان
۷۳	۵ - ۴ - ۲ - تاثیر تغییر نسبت عرض بر ناحیه ی جدا شدگی
۷۴	۵ - ۴ - ۳ - بررسی اثر تغییر نسبت عرض بر رسوب
۸۰	۵ - ۵ - بررسی تاثیر تغییر شیب بر الگوی جریان و رسوب
۸۰	۵ - ۵ - ۱ - بررسی تاثیر تغییر شیب بر جریان
۸۸	۵ - ۵ - ۲ - بررسی تاثیر تغییر شیب بر ناحیه ی جداشدگی
۸۹	۵ - ۵ - ۳ - بررسی اثر تغییر شیب بر رسوب
۹۵	۵ - ۶ - بررسی تاثیر زاویه ی تلاقی بر الگوی جریان و رسوب
۹۵	۵ - ۶ - ۱ - بررسی تاثیر زاویه ی تلاقی بر جریان
۱۰۴	۵ - ۶ - ۲ - تاثیر تغییر زاویه ی تلاقی بر ناحیه ی جدا شدگی
۱۰۶	۵ - ۶ - ۳ - بررسی تاثیر زاویه ی تلاقی بر رسوب
۱۱۳	فصل ششم
۱۱۴	۶ - ۱ - مقدمه
۱۱۴	۶ - ۲ - خلاصه
۱۱۵	۶ - ۳ - نتیجه گیری
۱۱۶	۶ - ۴ - پیشنهادات
۱۱۹	۷ - منابع :

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۱): الگوی جریان در محل تلاقی کانال های روباز ۳
- شکل (۱-۳): تغییرات DS/B3 در مقابل Fg ۱۵
- شکل (۲-۳): خطوط هم تراز بستر در حالت تغییر نسبت سرعت جریان به سرعت آستانه حرکت ۱۸
- شکل (۳-۳): خطوط هم تراز بستر در حالت تغییر نسبت دبی ۱۹
- شکل (۴-۳): تغییرات نسبت عمق فرسایش به عمق جریان پایین دست بر حسب تغییرات نسبت دبی
- کانال فرعی به اصلی ۲۰
- شکل (۵-۳): سلول های چرخشی و ناحیه های آبشستگی و رسوبگذاری ۲۱
- شکل (۶-۳): الگوی جریان در نسبت دبی ها ۲۲
- شکل (۷-۳): الگوی جریان در لایه های بالایی ۲۳
- شکل (۱-۴): نمایش الگوی جریان و انتقال رسوب در ستون قائم جریان ۳۲
- شکل (۲-۴): نمای تقریبی از شبکه بندی ۳۴
- شکل (۳-۴): موقعیت جغرافیایی رودخانه RHONE ۳۵
- شکل (۴-۴): مشخصات هندسی کانال آزمایشگاهی ۳۷
- شکل (۵-۴): نمایی از شبکه و مش بندی توسط نرم افزار ۳۸
- شکل (۶-۴): موقعیت مکان های مورد بررسی جهت صحت سنجی ۳۹
- شکل (۷-۴): صحت سنجی سطح آب در $y = 0.05 \text{ m}$ ۳۹
- شکل (۸-۴): صحت سنجی سطح آب در $y = 0.25 \text{ m}$ ۴۰
- شکل (۹-۴): صحت سنجی سطح آب در $y = 0.45 \text{ m}$ ۴۰
- شکل (۱۰-۴): صحت سنجی سطح آب در $x = 0.5 \text{ m}$ ۴۱
- شکل (۱۱-۴): پروفیل سرعت در $y = 0.05 \text{ m}$ ۴۲
- شکل (۱۲-۴): پروفیل سرعت در $y = 0.25 \text{ m}$ ۴۲

- شکل (۴-۱۳) : پروفیل سرعت در محل تلاقی ۴۳
- شکل (۴-۱۴) : پروفیل سرعت در $x = 0.5 \text{ m}$ ۴۳
- شکل (۴-۱۵) : توزیع قدر مطلق سرعت در پلان ۴۴
- شکل (۴-۱۶) : نمودار دانه بندی مورد استفاده ۴۵
- شکل (۴-۱۷) : صحت سنجی تراز رسوب در $y = 0.05 \text{ m}$ ۴۵
- شکل (۴-۱۸) : صحت سنجی تراز رسوب در $y = 0.25 \text{ m}$ ۴۶
- شکل (۴-۱۹) : صحت سنجی تراز رسوب در $y = 0.45 \text{ m}$ ۴۶
- شکل (۴-۲۰) : صحت سنجی تراز رسوب در $x = 0.5 \text{ m}$ ۴۷
- شکل (۵-۱) : موقعیت های مورد مطالعه در تقاطع اصلی ۵۳
- شکل (۵-۲) : تغییرات V در $x = 0.5 \text{ m}$ در حالت تغییر نسبت دبی ۵۴
- شکل (۵-۳) : تغییرات V در پلان در حالت تغییر نسبت دبی ۵۵
- شکل (۵-۴) : تغییرات U در $y = 0.25 \text{ m}$ در حالت تغییر نسبت دبی ۵۵
- شکل (۵-۵) : تغییرات U در پلان و در حالت تغییر نسبت دبی ۵۶
- شکل (۵-۶) : تغییرات عمق آب و عدد فرود جریان در پلان در حالت تغییر نسبت دبی ۵۸
- شکل (۵-۷) : بردارهای سرعت در ناحیه ی جدا شدگی جریان در حالت تغییر نسبت دبی ۶۰
- شکل (۵-۸) : تراز رسوب در $x = 0.5 \text{ m}$ در حالت تغییر نسبت دبی ۶۱
- شکل (۵-۹) : تراز رسوب در $y = 0.25 \text{ m}$ در حالت تغییر نسبت دبی ۶۲
- شکل (۵-۱۰) : تغییرات پروفیل بستر در پلان در حالت تغییر نسبت دبی ۶۳
- شکل (۵-۱۱) : تغییرات عدد شیلدز در $x = 0.5 \text{ m}$ در حالت تغییر نسبت دبی ۶۴
- شکل (۵-۱۲) : تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.48 \text{ m}$ و در حالت تغییر نسبت دبی ۶۵
- شکل (۵-۱۳) : تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.25 \text{ m}$ و در حالت تغییر نسبت دبی ۶۶
- شکل (۵-۱۴) : تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.2 \text{ m}$ در حالت تغییر نسبت دبی ۶۶
- شکل (۵-۱۵) : موقعیت های مورد مطالعه در حالت تغییر عرض کانال فرعی ۶۸

- شکل (۱۶-۵): تغییرات سرعت V در $x = 0.5 \text{ m}$ و در حالت تغییر نسبت عرض ۶۹
- شکل (۱۷-۵): تغییرات V در پلان در حالت تغییر نسبت عرض ۷۰
- شکل (۱۸-۵): موقعیت های مورد مطالعه در حالت تغییر عرض کانال اصلی ۷۰
- شکل (۱۹-۵): تغییرات سرعت U در وسط کانال اصلی ۷۱
- شکل (۲۰-۵): تغییرات سرعت U در پلان در حالت تغییر نسبت عرض ۷۱
- شکل (۲۱-۵): تغییرات عمق آب و عدد فرود جریان در پلان در حالت تغییر نسبت عرض ۷۲
- شکل (۲۲-۵): بردارهای سرعت ناحیه ی جداشدگی جریان در حالت تغییر نسبت عرض ۷۴
- شکل (۲۳-۵): تغییرات تراز رسوب در $x = 0.5 \text{ m}$ و در حالت تغییر نسبت عرض ۷۵
- شکل (۲۴-۵): تغییرات تراز رسوب در وسط کانال اصلی و در حالت تغییر نسبت عرض ۷۵
- شکل (۲۵-۵): تغییرات پروفیل بستر در پلان در حالت تغییر نسبت عرض ۷۷
- شکل (۲۶-۵): تغییرات عدد شیلدز در $x = 0.5 \text{ m}$ و در حالت تغییر نسبت عرض ۷۸
- شکل (۲۷-۵): تغییرات عدد شیلدز در کناره ی سمت چپ کانال اصلی و در حالت تغییر عرض ۷۸
- شکل (۲۸-۵): تغییرات عدد شیلدز در وسط کانال اصلی و در حالت تغییر عرض ۷۹
- شکل (۲۹-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.2 \text{ m}$ و در حالت تغییر عرض ۸۰
- شکل (۳۰-۵): تغییرات کف کانال در حالت شیب کانال فرعی ۱ درصد ۸۲
- شکل (۳۱-۵): تغییرات کف کانال در حالت شیب کانال اصلی ۱ درصد ۸۲
- شکل (۳۲-۵): تغییرات سرعت V در $x = 0.5 \text{ m}$ در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی ۸۳
- شکل (۳۳-۵): تغییرات سرعت V در پلان در حالت تغییر شیب کانال فرعی ۸۴
- شکل (۳۴-۵): تغییرات سرعت U در $y = 0.25 \text{ m}$ در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی ... ۸۵
- شکل (۳۵-۵): تغییرات سرعت U در پلان در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی ۸۶
- شکل (۳۶-۵): تغییرات عمق آب و عدد فرود جریان در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی ... ۸۷
- شکل (۳۷-۵): بردارهای سرعت ناحیه ی جداشدگی جریان در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی ۸۹

- شکل (۳۸-۵): تغییرات تراز رسوب در $x = 0.5 \text{ m}$ در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی ۹۰
- شکل (۳۹-۵): تغییرات تراز رسوب در $y = 0.25 \text{ m}$ در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی .. ۹۰
- شکل (۴۰-۵): تغییرات توپوگرافی بستر در پلان در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی ۹۱
- شکل (۴۱-۵): تغییرات عدد شیلدز در $x = 0.5 \text{ m}$ در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی ۹۲
- شکل (۴۲-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.48 \text{ m}$ و در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی ۹۳
- شکل (۴۳-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.25 \text{ m}$ و در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی ۹۴
- شکل (۴۴-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.02 \text{ m}$ و در حالت افزایش شیب کانال های اصلی و فرعی ۹۴
- شکل (۴۵-۵): موقعیت زاویه ی تلاقی ۹۵
- شکل (۴۶-۵): حدود y در $\Theta = 45^\circ$ ۹۷
- شکل (۴۷-۵): حدود y در $\Theta = 135^\circ$ ۹۷
- شکل (۴۸-۵): تغییرات سرعت های U و V در وسط کانال فرعی و در $\Theta = 90^\circ$ (تقاطع اصلی) ۹۸
- شکل (۴۹-۵): تغییرات سرعت های U و V در وسط کانال فرعی و در $\Theta = 45^\circ$ و $\Theta = 135^\circ$ ۹۸
- شکل (۵۰-۵): تغییرات سرعت کل (Vt) در وسط کانال فرعی و در حالت $\Theta = 90^\circ$ (تقاطع اصلی) ۱۰۰
- شکل (۵۱-۵): تغییرات سرعت کل (Vt) در وسط کانال فرعی و در حالت $\Theta = 45^\circ$ و $\Theta = 135^\circ$ ۱۰۰
- شکل (۵۲-۵): تغییرات سرعت کل در $x = 0.25 \text{ m}$ و در حالت تغییر زاویه ی تلاقی ۱۰۲
- شکل (۵۳-۵): تغییرات سرعت کل در پلان در حالت تغییر زاویه ی تلاقی ۱۰۲
- شکل (۵۴-۵): تغییرات عمق آب و عدد فرود جریان در حالت تغییر زاویه ی تلاقی ۱۰۳
- شکل (۵۵-۵): بردارهای جریان در ناحیه ی جدشدگی و در حالت تغییر زاویه ی تلاقی ۱۰۵
- شکل (۵۶-۵): تغییرات تراز رسوب در وسط کانال فرعی و در $\Theta = 90^\circ$ ۱۰۷
- شکل (۵۷-۵): تغییرات تراز رسوب در وسط کانال فرعی و در $\Theta = 45^\circ$ و $\Theta = 135^\circ$ ۱۰۷
- شکل (۵۸-۵): تغییرات تراز رسوب در $y = 0.25 \text{ m}$ و در حالت تغییر زاویه ی تلاقی ۱۰۸

- شکل (۵-۵۹) : تغییرات توپوگرافی بستر در پلان و در حالت تغییر زاویه ی تلاقی ۱۰۹
- شکل (۵-۶۰) : تغییرات عدد شیلدز در وسط کانال فرعی و در $\Theta = 90^\circ$ ۱۱۰
- شکل (۵-۶۱) : تغییرات عدد شیلدز در وسط کانال فرعی و در $\Theta = 45^\circ$ و $\Theta = 135^\circ$ ۱۱۰
- شکل (۵-۶۲) : تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.48 \text{ m}$ و در حالت تغییر زاویه تلاقی ۱۱۱
- شکل (۵-۶۳) : تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.25 \text{ m}$ و در حالت تغییر زاویه تلاقی ۱۱۱
- شکل (۵-۶۴) : تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.02 \text{ m}$ و در حالت تغییر زاویه تلاقی ۱۱۲

فهرست جدول ها

جدول (۱-۴) : شرایط هیدرولیکی و ژئومتریک رودخانه ی RHONE ۳۶

جدول (۲-۴) : درصد خطاهای موجود ۴۱

جدول (۳-۴) : ارزیابی وکالیبراسیون در موقعیت های مورد مطالعه ۴۸

فصل اول

کلیات

۱-۱ - مقدمه

در این فصل کلیاتی در مورد این تحقیق، اهمیت آن و توضیحاتی در مورد فصول بعدی ارائه شده است.

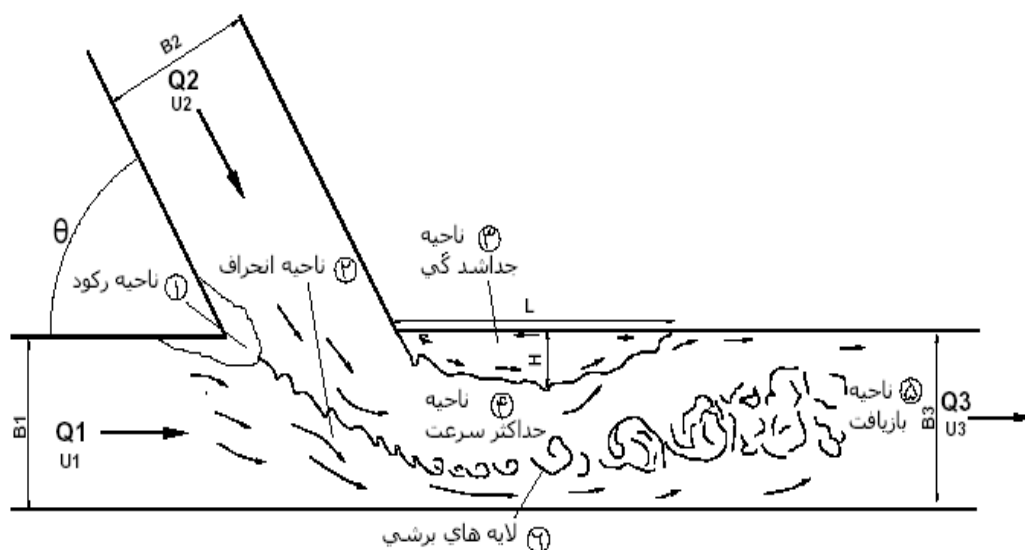
۱-۲ - اهمیت موضوع

محل تلاقی رودخانه ها از دینامیک منحصر به فردی برخوردار است که در نتیجه ی تقارب دو یا چند آبراهه و تشکیل یک آبراهه ی اصلی شکل می گیرد. معمولا تغییرات مهمی در هیدرودینامیک جریان، انتقال رسوب و کیفیت آب در پایین دست محل تلاقی صورت می گیرد. پدیده فرسایش و انتقال رسوب نیز یکی از پیچیده ترین مسائل هیدرودینامیک می باشد که در مطالعات طرح های آبی از اهمیت خاصی برخوردار است. علت پیچیدگی فرآیندهای هیدرودینامیکی مرتبط با انتقال رسوب این است که انتقال رسوب به عوامل متعددی وابسته می باشد. پیچیدگی های مربوط به مشخصات رسوب و غلظت آن و همچنین شرایط جریان، بررسی تحلیلی هیدرودینامیک و انتقال رسوبات رودخانه ای را بسیار مشکل می نماید و عمدتا راهی جز به کارگیری روش های عددی با استفاده از مدل های هیدرودینامیک و انتقال رسوب نمی باشد. بحث آبشستگی از این لحاظ می تواند دارای اهمیت باشد که داشتن معیاری از حداکثر عمق آبشستگی می تواند در طراحی ابنیه هایی همچون طراحی پایه های پل و سایر بناها مورد استفاده قرار گیرد. همچنین آگاهی کامل از نحوه ی پیشروی چاله فرسایشی نیز می تواند در تعیین محل مناسب سازه های حفاظتی از سواحل رودخانه و محل تلاقی مفید واقع شود. از این رو در سال های اخیر مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی البته محدودی برای شناخت بیشتر الگوی جریان و وضعیت فرسایش و رسوب گذاری در محل تلاقی انجام شده است. به طور کلی تحقیقات عددی در این زمینه انگشت شمار می باشد بنابراین ضرورت استفاده از مدل های عددی در بررسی جریان در محل تلاقی با لحاظ تغییرات مورفولوژیکی بستر به منظور کاهش هزینه های آزمایش و تسریع در کسب نتایج مشخص می گردد. فرایند جریان در رودخانه ها و به خصوص در ناحیه ی تقاطع

یکی از پدیده های پیچیده ی طبیعت می باشد. در این ناحیه اثرات هیدرودینامیکی مختلفی اثر گذار است که به خودی خود اهمیت موضوع را بالا می برد [۱].

۱-۳ - کلیات جریان

فرسایش بستر در محل تلاقی و تشکیل تپه رسوب گذاری در پایین دست آن ارتباط مستقیم به وضعیت جریان از جمله تغییرات عمق و سرعت جریان و همچنین ابعاد ناحیه ی جدا شدگی در این محل دارند. محل تلاقی دارای الگوهای پیچیده از حرکت جریان سه بعدی و همچنین مکان بیشترین اغتشاش جریان در سیستم های رودخانه ای می باشد. دینامیک جریان در محل تلاقی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است:



شکل (۱-۱): الگوی جریان در محل تلاقی کانال های روباز [۲]

در محدوده ی تلاقی ۶ ناحیه ی مختلف شامل: (۱) ناحیه ی رکود (۲) ناحیه ی انحراف جریان (۳) ناحیه ی جدا شدگی (۴) ناحیه ی حداکثر سرعت (۵) ناحیه ی بازیافت جریان و (۶) ناحیه ی لایه های برشی قابل تشخیص می باشد [۲]. توسعه ی مناطق ۱ و ۳ باعث حجیم تر شدن رسوب انباشته شده و افزایش

سرعت در منطقه ی ۴ باعث عمیق تر شدن چاله ی فرسایشی و فرسایش شدید سواحل می شود که به تدریج ایجاد مئاندر و جابجایی موقعیت سه شاخه را به همراه دارد ضمن اینکه وجود جریان گردابی مشکلات فراوانی را برای کشتیرانی ایجاد می کند. با توجه به رفتار سه بعدی جریان در محل تلاقی مطمئنا استفاده از مدل های یک بعدی با محدودیت هایی مواجه خواهد بود. در نتیجه برای پیش بینی تغییرات مورفولوژیکی حاصل از تلاقی جریان های آبراهه اصلی و فرعی از مدل CCHE2D¹ استفاده می گردد. در این تحقیق و در فصل دوم نگاهی کلی به شبیه سازی و اهمیت آن در پدیده های رودخانه ای می کنیم. در فصل سوم پیشینه ی تحقیق در مورد الگوی جریان و رسوب در تقاطع ها مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مرور می شود. در فصل چهارم مشخصات مدل عددی CCHE2D معرفی و معادلات حاکم بر جریان و رسوب و نحوه ی حل این معادلات توضیح داده و نتایج صحت سنجی نرم افزار و درصد خطاهای موجود بررسی می شود. در فصل پنجم نتایج حاصل از شبیه سازی با نرم افزار ارائه شده و در مورد آن ها بحث می شود. در فصل ششم و آخر هم به مرور کلی نتایج و پیشنهادات پرداخته می شود.

فصل دوم

آشنایی با مدل سازی

۲- ۱- مقدمه

در این فصل توضیحاتی کلی در مورد مدل سازی و اهمیت آن در پدیده های رودخانه ای ارائه شده است.

۲- ۲- ضرورت مدل سازی و انواع مدل ها

شبیه سازی عبارت از فرایند طراحی مدلی از یک سیستم واقعی و انجام آزمایش هایی با این مدل که با هدف پی بردن به رفتار سیستم یا ارزیابی راهبردهای گوناگون برای عملیات سیستم صورت می گیرد. بنابراین فرایند شبیه سازی هم شامل مدل سازی و هم شامل استفاده تحلیلی از آن برای مطالعه یک مسئله است. شبیه سازی زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که:

الف) امکان حل معادلات ریاضی حاکم با روش های تحلیلی وجود نداشته باشد.

ب) انجام آزمایش ها و مشاهده ی پدیده ها در محیط واقعی آن ها مشکل یا غیر عملی باشد.

شناخت دقیق یک فرایند فیزیکی توسط اندازه گیری پارامترهای حاکم بر آن در مقیاس واقعی امکان پذیر است. البته کنترل شرایط حاکم بر سیستم واقعی (بازه ای از یک رودخانه) معمولا دشوار بوده و اندازه گیری پارامترهای حاکم نیز با پیچیدگی های فراوانی همراه است. علاوه بر آن بررسی تاثیر شرایط مختلف بر پدیده ی مورد مطالعه (نظیر تاثیر سیلاب های مختلف بر روند پدیده های فرسایش و رسوب گذاری در رودخانه ها، اثر الگوی جریان بر ریخت شناسی رودخانه، تاثیرات ناشی از اعمال روش های حفاظت از سواحل بر هندسه، هیدرودینامیک جریان رودخانه، تاثیر روش های انحراف جریان بر روی رودخانه و پیرامون آن و ...) در مقیاس واقعی به راحتی امکان پذیر نمی باشد. بدین علت شناخت و بررسی پدیده های فیزیکی معمولا در حالت کلی به دو طریق زیر صورت می گیرد:

الف) مدل سازی آزمایشگاهی یا فیزیکی

ب) مدل سازی عددی

در روش های آزمایشگاهی مدل هم مقیاس با نمونه اصلی در صورت اعمال شرایط طبیعی حاکم بر آن می تواند مورد استفاده قرار گیرد. اما در بیشتر موارد انجام چنین آزمایش هایی به علت بزرگ بودن اندازه های میدان بسیار گران و اغلب غیر ممکن است. لذا آزمایش ها روی مدل هایی با مقیاس کوچکتر انجام می شود. بالا بودن هزینه های مربوط به تجهیزات آزمایشگاهی و محدودیت استفاده از دستگاه های اندازه گیری در بسیاری از مسائل علمی از جمله دلایلی است که استفاده از روش های آزمایشگاهی را در مقایسه با روش های تئوریک محدود می سازد. بنا براین در اغلب موارد برای حل تئوریکی این مسائل از روش های عددی استفاده می شود [۱].

۲ - ۳ - اهداف مدل سازی عددی و انواع پدیده های رودخانه ای

در مدل سازی ابتدا باید عناصر و روابطی که برای هدف خاصی در نظر گرفته می شود، انتخاب گردد. پس از تعیین اهداف و مقاصد مطالعه و تعریف محدوده سیستم، کار ارزیابی و پردازش اطلاعات آغاز می شود. بایستی مدلی ساخت که نه آن را تا حد زیاد ساده کند که مدل به صورت ناچیزی درآید و نه آن قدر جزئیات زیاد را در بر بگیرد که مدل پیچیده شده و هزینه آن زیاد شود. بنابراین همیشه به جای تقلید دقیق از سیستم واقعی، باید مدل طوری طراحی شود که پاسخگوی سوالات مدنظر باشد. مدل باید آن جنبه هایی از سیستم را شامل شود که تنها به اهداف مطالعه مربوط می باشد. امروزه به واسطه رشد روز افزون رایانه و افزایش قدرت محاسباتی آنها، مدل های عددی به عنوان یک ابزار پر قدرت و توانا برای تحلیل رفتار جریان سیال و انتقال رسوب در سیستم هایی با هندسه و معادلات پیچیده در اختیار محققین و مهندسين هستند. به طور کلی اهدافی که برای مدل سازی عددی پدیده های رودخانه ای می توان متصور شد، عبارتند از:

- درک بیشتر مسئله

- توسعه گزینه های مختلف

- ارزیابی گزینه های مطرح شده

در ادامه پدیده های رودخانه ای را که می توان توسط مدل های عددی بررسی نمود معرفی شده اند [۱].

۲ - ۳ - ۱ - بررسی پدیده های عمومی

یکی از اهداف مدل سازی عددی، بررسی پدیده های عمومی در رودخانه ها می باشد. برای تعیین الگوی کلی جریان یا انتقال رسوب در یک بازه ی طولانی از یک رودخانه یا بررسی ریخت شناسی رودخانه می توان از مدل های عددی که برای این منظور توسعه پیدا کرده اند، استفاده نمود. معمولاً در بررسی پدیده های عمومی استفاده از مدل های یک بعدی انتخابی بهینه می باشد. با استفاده از مدل های یک بعدی می توان شرایط مختلف در بازه های طولانی رودخانه را در شرایط طولانی مدت با دقت قابل قبولی شبیه سازی و یا تاثیر سازه های مختلف بر روی مورفولوژی رودخانه در سیلاب های مختلف را مدل سازی نمود [۱].

۲ - ۳ - ۲ - بررسی پدیده های موضعی

پدیده های موضعی مختلفی در مهندسی رودخانه وجود دارد که با استفاده از مدل های عددی می توان آنها را با دقت مناسب و مطلوبی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. برخی از این پدیده ها به علت وجود سازه های هیدرولیکی در مسیر جریان به وقوع می پیوندند. وجود سازه های هیدرولیکی مختلف در پل ها و آبشکن ها و آبگیرها و ... باعث تغییر هیدرودینامیک جریان شده که نهایتاً سبب تغییرات تراز بستر رودخانه به علت آبشستگی و رسوب گذاری در اطراف این سازه ها می گردد. برای تحلیل این پدیده ها

استفاده از مدل های با دقت کافی و با امکان بررسی جزییات بیشتر نظیر مدل های دو بعدی و سه بعدی ضروری می باشد. برخی از اهداف مطالعه ی این پدیده ها عبارتند از:

- درک و شناخت مناسب و دقیق الگوی جریان و مکانیزم های موجود در پدیده های موضعی
- استفاده از نتایج بدست آمده از مدل سازی پدیده ها در طراحی سازه های هیدرولیکی
- انتخاب گزینه یا گزینه های بهینه و مناسب به لحاظ کمترین خسارات ناشی از این پدیده ها

۲ - ۳ - ۳ - بررسی اثر الگوی جریان رودخانه بر محیط پیرامون

یکی از روش های مناسب برای شبیه سازی اثر الگوی جریان رودخانه بر محیط اطراف استفاده از مدل های عددی می باشد. اهداف مدل سازی در این مقوله عبارتند از [۱]:

- برآورد ظرفیت انتقال رودخانه و بررسی سناریوهای مختلف برای افزایش ظرفیت انتقال
- تاثیر تغییرات هندسی بر روی رژیم جریان و رسوب رودخانه
- بررسی تاثیر روش های هدایت و انحراف جریان بر روی الگوی جریان رودخانه و پیرامون آن
- تاثیر کاهش عرض رودخانه بر روی هیدرودینامیک جریان
- ارزیابی و مقایسه تاثیر وجود سازه های هیدرولیکی مختلف بر الگوی جریان

۲ - ۳ - ۴ - بررسی اثر آبشستگی و رسوب گذاری در اطراف سازه های هیدرولیکی

یکی از روش های مناسب برای تعیین تاثیر سازه های هیدرولیکی بر روی جریان و رفتار رودخانه استفاده از مدل های عددی می باشد. اهداف مدل سازی در این مقوله عبارتند از [۱]:

- بررسی تاثیر سازه های حفاظت بر روی الگوی جریان

- تاثیر حرکت کشتی ها بر روی رسوب گذاری و کنترل بهینه ی رسوب گذاری در کانال های کشتیرانی

- درک و شناخت دقیق الگوی جریان و مکانیزم های موجود در اطراف سازه های هیدرولیکی
- درک و شناخت دقیق مکانیزم های انتقال رسوب به دلیل وجود سازه های هیدرولیکی
- ارزیابی و بررسی تغییرات موضعی تراز بستر رودخانه به دلیل وجود سازه های هیدرولیکی
- بررسی تغییرات بستر در اثر برداشت شن و ماسه
- شبیه سازی فرسایش و رسوب گذاری در خم رودخانه ها

۲ - ۴ - انواع مدل های عددی شبیه ساز پدیده های رودخانه ای

تقسیم بندی مدل های عددی براساس پارامترهای مختلفی صورت می گیرد. یکی از معمول ترین تقسیم بندی ها بر اساس ابعاد می باشد که بر اساس آن به مدل های یک بعدی، دوبعدی، شبه سه بعدی و سه بعدی تقسیم بندی می شوند. تقسیم بندی دیگر بر اساس نوع پدیده ی مدل می باشد. مدل ها در این دسته بندی به مدل های هیدرودینامیکی، انتقال رسوب و کیفیت آب تقسیم می شوند. حال توضیح مختصری در مورد این مدل ها ارائه می شود [۱].

۲ - ۴ - ۱ - مدل های یک بعدی^۱

این مدل ها به طور فراوان برای شبیه سازی تغییرات تراز بستر در مقیاس های بزرگ در رودخانه ها و خورها استفاده می شوند. در مدل های یک بعدی مقادیر متوسط جریان و پارامترهای رسوب برای هر مقطع عرضی به عنوان تابعی از زمان و مکان مورد بررسی قرار می گیرد. این مدل ها از یک مختصات

1. One Dimension-1D

طولی در جهت جریان به عنوان بعد مکانی استفاده می کنند. مقاطع عرضی برای تعریف هندسه کانال مورد استفاده قرار می گیرد. مدل های یک بعدی می توانند تغییرات تراز بستر عمودی را پیش بینی کنند [۱].

۲ - ۴ - ۲ - مدل های دو بعدی^۱

در حالت دو بعدی دو نوع مدل استفاده می شود:

الف) مدل های دو بعدی قائم (2DV)

ب) مدل های دو بعدی افقی (2DH)

مدل های دو بعدی قائم انتقال رسوب برای پیش بینی نرخ انتقال، رسوب گذاری و فرسایش در رودخانه ها، خورها و مناطق ساحلی به کار برده می شوند. این مدل ها به طور فراوان برای برآورد انتقال رسوب معلق مورد استفاده قرار می گیرند. در بیشتر شرایط وضعیت های آب کم عمق، تغییرات قائم پارامترهای جریان کوچک می باشد. در این حالت فقط توزیع افقی مقادیر متوسط گیری شده بایستی تعیین شود [۱].

۲ - ۴ - ۳ - مدل های شبه سه بعدی^۲

مدل های سه بعدی کامل به زمان و هزینه ی نسبتاً زیادی برای محاسبات نیاز دارند. از دیدگاه مهندسی و کاربردی یک مدل سه بعدی ساده شده برای کاهش زمان و هزینه ی محاسبات مورد نیاز می باشد. به جای مدل های سه بعدی کامل، مدل های شبه سه بعدی توسعه پیدا کرده اند. در یک مدل شبه سه

1. Two Dimensions-2D
2. Semi Three Dimensions

بعدي ميدان جريان توسط مدل جريان متوسط گيري شده در عمق همراه با يك پروفيل عمقي سرعت شبیه سازی می شود [۱].

۲ - ۴ - ۴ - مدل های سه بعدي^۱

مدل های سه بعدي درک مناسبی از تاثيرات کوتاه مدت سازه های پیشنهادی را در اختيار کاربر قرار می دهد اما برای ارزیابی ریخت شناسی بلند مدت دارای محدودیت می باشند. دليل این امر محدودیت قدرت کامپیوتر هاست. این مدل ها در تجزیه و تحلیل پدیده های موضعی کاربرد زیادی دارند. بیشتر مدل های سه بعدي تنها قادر به شبیه سازی جريان می باشند و در خصوص بررسی حرکت رسوبات بستر در يك مرز قابل فرسایش توسعه ای در آنها صورت نگرفته است [۱].

فصل سوم

پیشینه و سابقه ی تحقیق

۳ - ۱ - مقدمه

آنچه مسلم است تاکنون تحقیقات زیادی بر روی رودخانه ها و ساز و کار جریان در طول آن ها، نقاط مهم در مسیر ساخت ابنیه ها، مضرات آب شستگی های احتمالی و بهبود کیفیت جریان و رسوب انجام گرفته است. ولی در نقاط تلاقی تحقیقات کمتری در دسترس است. در این فصل به بررسی نتایج تحقیقات عددی و آزمایشگاهی داخلی و خارجی پرداخته شده است.

۳ - ۲ - تحقیقات داخلی

۳ - ۲ - ۱ - تحقیقات آزمایشگاهی

یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در الگوی رسوب در تلاقی رودخانه ها، آورد رسوب می باشد که تاکنون کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. بلوچی و شفاعی بجستان [۳] در سال ۹۰ به بررسی تاثیر آورد رسوب شاخه اصلی بر الگوی رسوب در محل تلاقی رودخانه ها پرداختند. آنها با آنالیز ابعادی پارامترهای بی بعد موثر را استخراج نموده و سپس با ساخت و طراحی مدل فیزیکی و دستگاه تزریق رسوب، تاثیر آورد رسوب در شاخه اصلی بر الگوی رسوب در محل تلاقی رودخانه ها را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور، با برقراری شرایط خاص هیدرولیکی به منظور ایجاد بار معلق، تاثیر عواملی چون نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل (Q_r)، عدد فرود ذره پایین دست تلاقی (F_g) و نسبت آورد رسوب شاخه اصلی به دبی جریان شاخه اصلی (Q_b/Q_1) بر حداکثر عمق آبشستگی (D_S) در یک تلاقی ۶۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت. به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا باید پارامترهای فراوانی که بر حداکثر عمق فرسایش در محل تلاقی رودخانه ها تاثیر گذارند را شناخت:

(۱) شرایط هیدرولیکی جریان شامل: Q_1 دبی کانال اصلی در بالادست تلاقی، Q_2 دبی کانال فرعی

و Q_3 دبی کانال اصلی در پایین دست تلاقی، Y_3 عمق پایاب، g شتاب ثقل، μ ویسکوزیته

دینامیکی سیال، ρ جرم حجمی آب و σ نیروی کشش سطحی.

(۲) خصوصیات هندسی شامل: B_1 پهناي کانال اصلی در بالادست، B_2 پهناي کانال فرعی،

B_3 پهناي کانال اصلی در پایین دست تلاقی، θ زاویه اتصال، S_0 شیب کف کانال در محل

تلاقی و Z اختلاف رقوم بستر دو کانال و R شعاع اتصال لبه.

(۳) خصوصیات مربوط به رسوب شامل: Q_b بار بستر، D_{50} اندازه متوسط ذرات رسوبی، ρ_s جرم

مخصوص ذرات رسوب و ϕ زاویه ایستایی را شامل می شود.

شکل (۱-۳) به ترتیب تغییرات D_s/B_3 در مقابل عدد فرود ذره پایاب در حالت های بدون تزریق ($\frac{Q_b}{Q_1} = 0$)

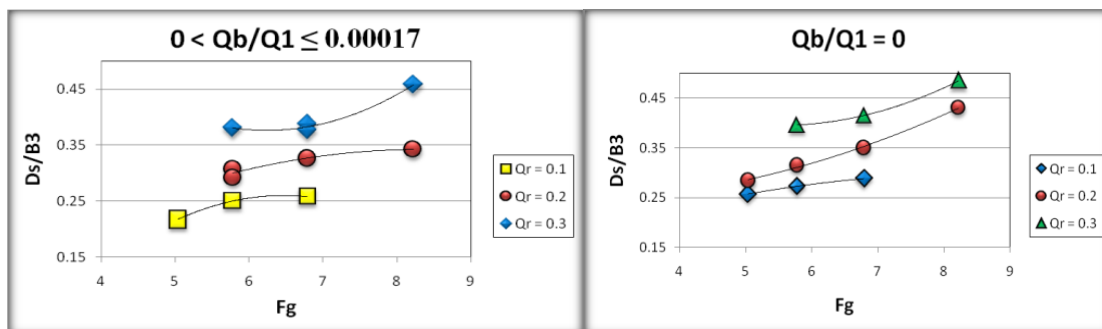
و $0 < \frac{Q_b}{Q_1} < 0.00017$ برای سه نسبت دبی را نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می شود با افزایش

عدد فرود ذره پایاب و ثابت در نظر گرفتن نسبت دبی، حداکثر عمق فرسایش بستر افزایش می یابد. بدیهی

است یکی از روش های افزایش عدد فرود ذره پایاب، کاهش عمق آب پایاب و یا افزایش سرعت بعد از تلاقی

می باشد. در نتیجه، سرعت جریان کانال های بالادست محل تلاقی و همچنین سرعت چرخش گرداب های

ایجاد شده در محل تلاقی افزایش می یابد.



شکل (۱-۳): تغییرات D_s/B_3 در مقابل F_g

با تجزیه و تحلیل داده های آزمایشگاهی این نتایج بدست آمد:

- با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل و با ثابت در نظر گرفتن عدد فرود ذره پایاب، حداکثر عمق فرسایش بستر در اعداد مختلف نسبت آورد رسوب افزایش می یابد. همچنین، با افزایش عدد فرود ذره پایاب و ثابت در نظر گرفتن نسبت دبی ها، حداکثر عمق فرسایش بستر نیز در اعداد مختلف نسبت آورد رسوب افزایش می یابد.

- به طور کلی، با افزایش نسبت دبی رسوب به دبی شاخه اصلی، نسبت D_S/B_3 کاهش می یابد. برای یک نسبت آورد رسوب یکسان، هرچه مقدار نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل افزایش می یابد، روند افزایش نسبت D_S/B_3 با افزایش عدد فرود ذره پایاب مشهودتر می باشد. به طور مثال، در آورد رسوب صفر اختلاف بین حداکثر عمق آبشستگی برای اعداد فرود ذره پایاب مختلف، در نسبت دبی $0/1$ کمتر از نسبت دبی $0/2$ می باشند.

- حد تقریبی نسبت آورد رسوب یا به عبارت دیگر حداکثر تقریبی تزریق رسوب با افزایش عدد فرود ذره پایاب و همچنین افزایش نسبت دبی، افزایش می یابد.

در شرایط حداکثر آورد رسوب شاخه اصلی تلاقی رودخانه ها، مقدار حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت حداقل آورد رسوب (بدون تزریق)، ۳۵ درصد کاهش می یابد [۳].

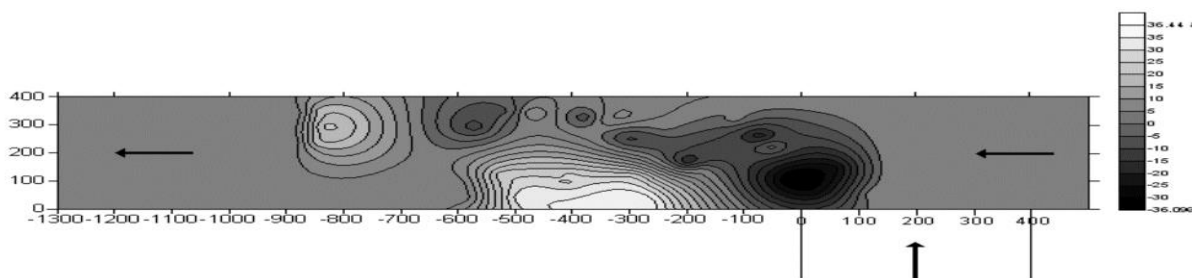
جباری و برقی [۴] در سال ۸۷ به بررسی آزمایشگاهی الگوی فرسایش و رسوب در محل اتصال کانال ها پرداختند. آنها به بررسی تأثیر متغیرهای مختلف از قبیل نسبت دبی کانال فرعی به اصلی، نسبت سرعت جریان به سرعت آستانه حرکت و نسبت عرض کانال فرعی به اصلی بر آستانه حرکت و شکل و عمق چاله های فرسایشی بصورت آزمایشگاهی در يك اتصال ۵۰ درجه پرداختند.

متغیرهایی که در این تحقیق مدنظر بوده و تأثیر آنها بر الگوی فرسایش و رسوبگذاری در محل اتصال کانال ها مورد بررسی قرار گرفته عبارتند از :

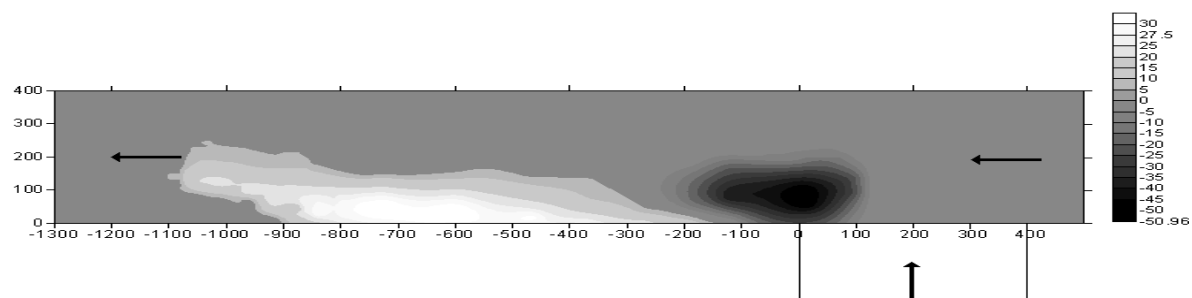
- دبی کل یا دبی پایین دست کانال اصلی (Q_d)
- نسبت دبی کانال فرعی به اصلی ($Q_{bd} = Q_b/Q_d$)
- نسبت عرض کانال فرعی به اصلی ($B_{bd} = B_b/B_d$)
- نسبت سرعت جریان به سرعت آستانه حرکت در پائین دست (V/V_C)

در شکل (۲-۳) قسمت الف منحنی های هم تراز بستر پس از ۷۲ ساعت از شروع آزمایش رسم شده اند. همان گونه که مشاهده می شود تعداد زیادی حفره فرسایشی و محل رسوب گذاری در عرض و طول کانال اصلی در انتهای آزمایش به وجود آمده اند و ماکزیمم عمق آبشستگی برابر $۳۶/۰۹$ میلیمتر می باشد. نحوه فرسایش به این شکل بود که در ابتدای آزمایش در لبه پایین دست محل اتصال در کانال اصلی حفره اصلی آبشستگی به وجود آمده و با گذشت زمان و بزرگ تر شدن این حفره، حفره های دیگری در کانال اصلی به وجود می آمدند. در این آزمایش دیده شد که با گذشت زمان و افزایش عمق حفره آبشستگی که در لبه پایین دست محل اتصال به وجود آمده بود، حفره کوچکی که در پایین دست این حفره وجود داشت از بین رفته و شاهد رسوب گذاری در این محل بودیم. همان طور که در شکل (۲-۳) قسمت ب قابل مشاهده است حفره های تشکیل شده در نزدیکی دیواره کانال اصلی و روبروی محل اتصال در حالت اول در این حالت مشاهده نشده و در نهایت تنها یک گودال بزرگ با حجم رسوبگذاری زیاد در کانال اصلی به وجود آمده است. به نظر می رسد که فرسایش در مجاورت دیواره کانال اصلی و روبروی محل اتصال ناشی از وجود سلول های چرخشی نوع سوم در این محل می باشد. با افزایش نسبت سرعت جریان به سرعت آستانه حرکت در پائین دست و در نتیجه افزایش عدد فرود پایین دست، سلول های

چرخشی نوع دوم قوی تر و بزرگتر شده و باعث کوچکتر شدن سلول های نوع سوم می شود. با ضعیف تر شدن سلول های نوع سوم فرسایش ناشی از آنها نیز کمتر صورت می گیرد.



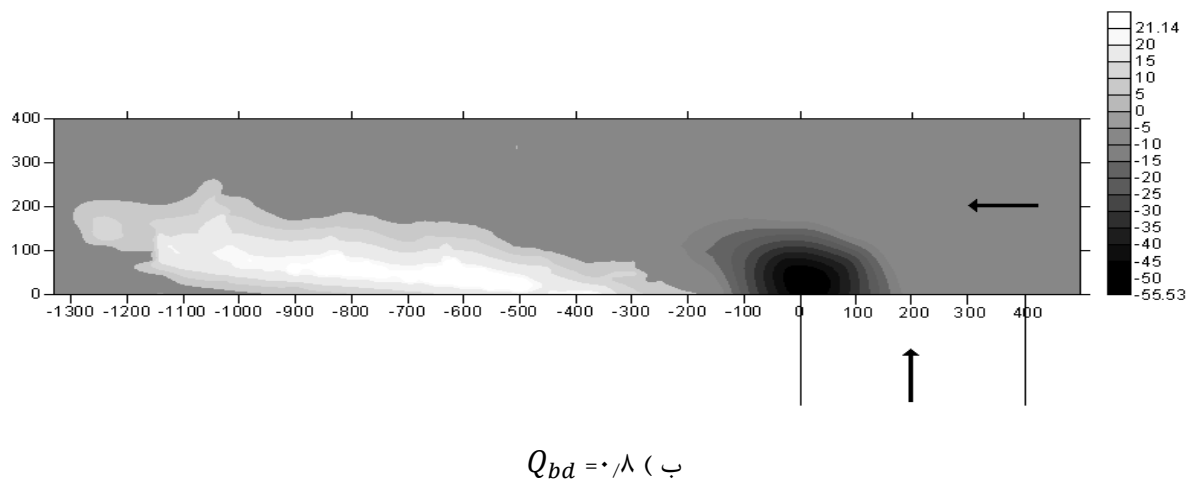
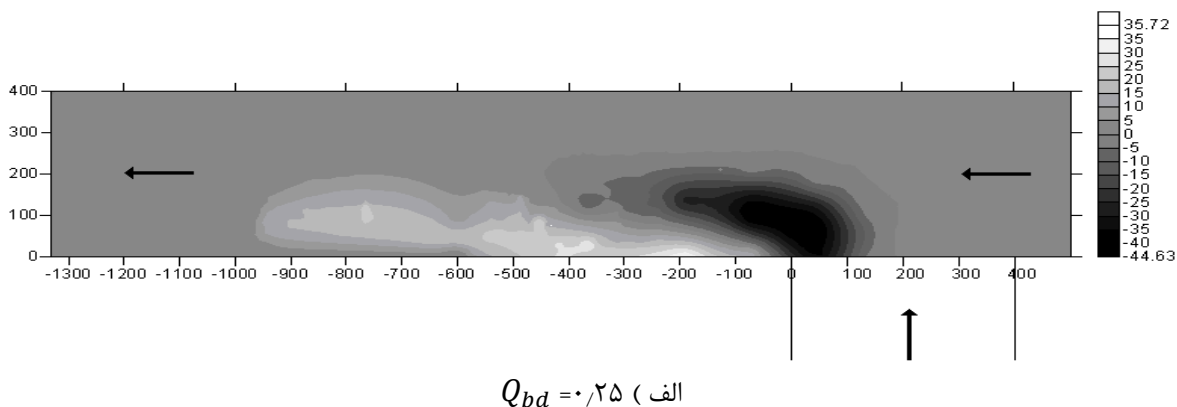
الف) $V/V_C = 0.5$



ب) $V/V_C = 0.8$

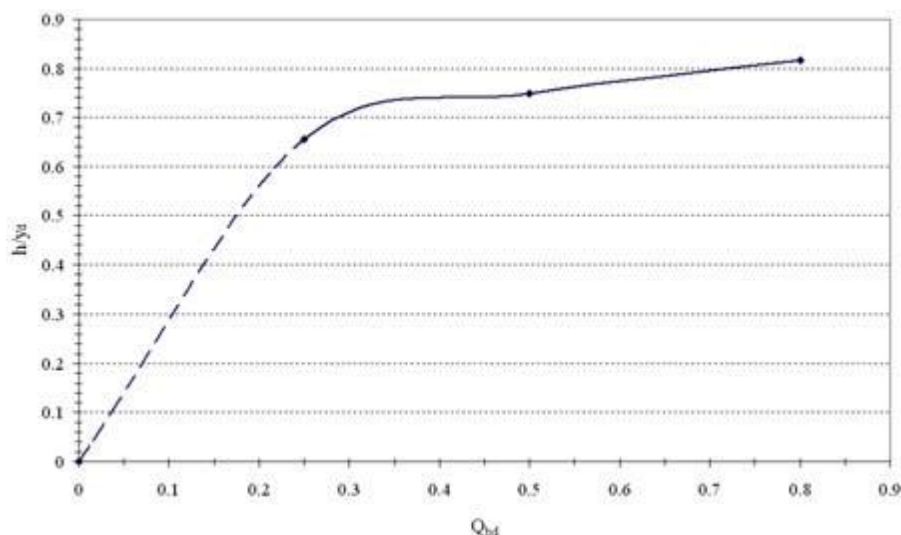
شکل (۲-۳) : خطوط هم تراز بستر در حالت تغییر نسبت سرعت جریان به سرعت آستانه حرکت با تغییر نسبت دبی کانال فرعی به کانال اصلی از ۰/۲۵ به ۰/۸ و ثابت نگه داشتن سایر شرایط جریان به بررسی تاثیر نسبت دبی کانال فرعی به کانال اصلی بر الگوی آبشستگی و رسوب گذاری پرداخته شد. در شکل (۳-۳) قسمت های الف و ب تاثیر افزایش نسبت دبی کانال فرعی به کانال اصلی مشخص شده است. با مقایسه این شکل ها دیده می شود که محل ماکزیمم عمق آبشستگی در حدود ۷ سانتیمتر در عرض کانال اصلی به سمت محل اتصال حرکت کرده و چاله فرسایشی از کانال اصلی به داخل کانال فرعی

کشیده می شود و ماکزیمم فرسایش در گوشه پایین دست محل اتصال رخ می دهد.



شکل (۳-۳): خطوط هم تراز بستر در حالت تغییر نسبت دبی

در شکل (۳-۴) تغییرات نسبت عمق فرسایش به عمق جریان پایین دست (h/y_d) بر حسب تغییرات نسبت دبی کانال فرعی به کانال اصلی (Q_{bd}) با ثابت نگه داشتن عمق جریان رسم شده است. همانطور که در شکل مشخص است در فاصله Q_{bd} بین ۰ تا ۰.۳ تغییرات (h/y_d) شدیدتر بوده و منحنی دارای شیب تندی می باشد و بعد از آن شیب آرام می شود. با توجه به شکل به نظر می آید که در این آزمایشات در نسبت دبی های بالاتر با افزایش شدت آبستگی، عمق فرسایش به عمق جریان نزدیک شده و نسبت (h/y_d) به یک نزدیک می شود.



شکل (۳-۴): تغییرات نسبت عمق فرسایش به عمق جریان پایین دست بر حسب تغییرات نسبت دبی کانال فرعی

به اصلی

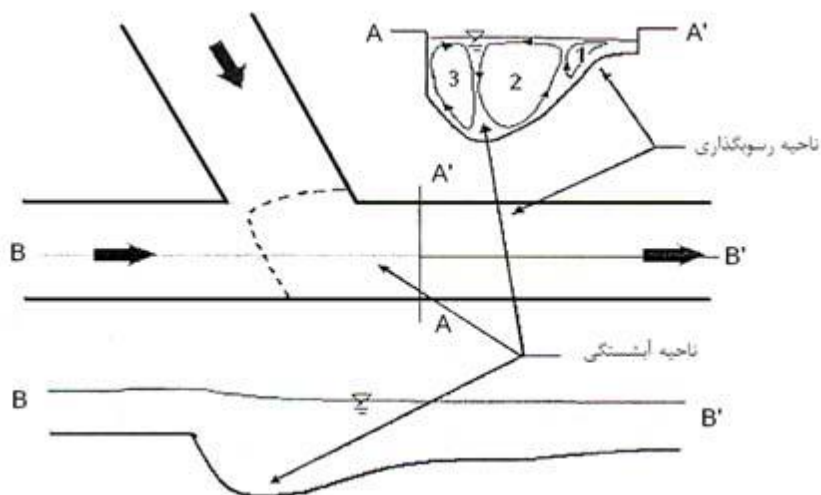
قبادیان و همکاران [۵] در سال ۸۷ به بررسی الگوی فرسایش و رسوب در محل تلاقی رودخانه ها پرداختند. مشاهدات آن ها نشان داد که با افزایش زاویه ی اتصال و در پی آن افزایش ناحیه ی جدا شدگی و شدت جریان های گردابی، رسوبات بیشتری در این مکان به تله می افتد به خصوص این که رسوبات بیشتری از چاله ی فرسایشی کنده شده و بنابراین ارتفاع تپه ی رسوب گذاری افزایش می یابد. همچنین با افزایش عدد فرود ذره در پایین دست صرف نظر از تاثیر سایر پارامترها به دلیل کاهش عمق جریان پایین دست و افزایش سرعت جریان حداکثر عمق فرسایش افزایش می یابد.

نظری [۶] در سال ۸۱ در تحقیقات آزمایشگاهی خود بر روی یک تقاطع ۹۰ درجه با ارائه ی رابطه ای نشان داد که با افزایش قطر متوسط ذرات بستر، عمق آبستگي کمتر و با افزایش نسبت دبی کانال فرعی به اصلی و کاهش عرض کانال فرعی، عمق آبستگي بیشتر می شود.

زینی وند و شفای بجستان [۷] در سال ۸۶ با انجام مطالعات آزمایشگاهی به بررسی تاثیر صفحات مستغرق بر میزان فرسایش در محل اتصال کانال ها پرداختند. نتایج نشان داد که نصب صفحات مستغرق در دیواره

ی کانال فرعی و با زاویه ی ۴۵ درجه باعث تغییر جهت برخورد دو جریان اصلی و فرعی شده و سبب کاهش میزان فرسایش می شود.

شکلیابی نیا [۸] با مدل سازی عددی شرایط جریان در محل اتصال کانال ها نشان داد که در پایین دست اتصال سه سلول چرخشی به وجود می آیند. این سلول ها در شکل (۵-۳) نشان داده شده است.



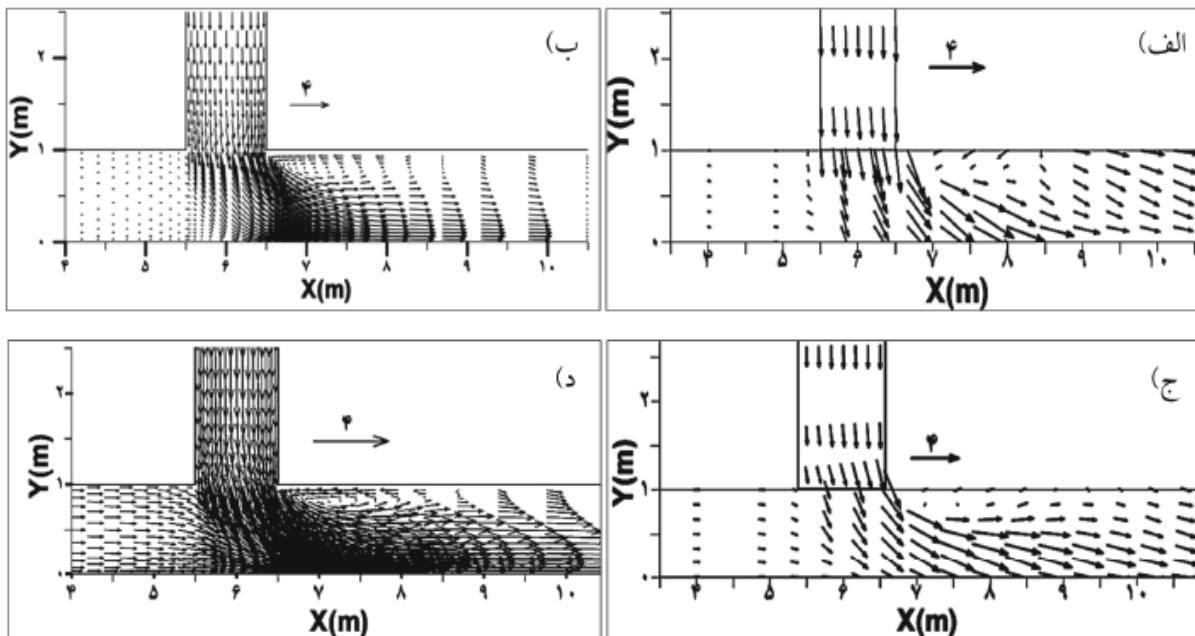
شکل (۵-۳): سلول های چرخشی و ناحیه های آبستگي و رسوبگذاری

سلول اول سلول چرخشی ناحیه ی جدایی می باشد که با رسوب گذاری در این ناحیه کوچک تر می شود. سلول دوم که قوی ترین سلول است، همراه با تمرکز تنش ناشی از فشردگی باعث آبستگي در بستر کانال می شود. سومین سلول در اثر اندرکنش جریان آبراهه اصلی و دومین سلول چرخشی به وجود می آید که با افزایش ابعاد سلول دوم از بین می رود.

۳ - ۲ - ۲ - تحقیقات عددی

گوهری [۹] در سال ۹۰ به بررسی الگوی جریان در تقاطع ۹۰ درجه کانال های مستطیلی پرداخت. او همچنین نتایج آزمایشگاهی را با نرم افزار فلونتت مطابقت داد.

از جمله نتایج بدست آمده در این تحقیق، افزایش ابعاد ناحیه ی جدا شدگی جریان در نسبت دبی های بالا و وجود آن در لایه های سطحی بالاتر جریان در کانال اصلی است.

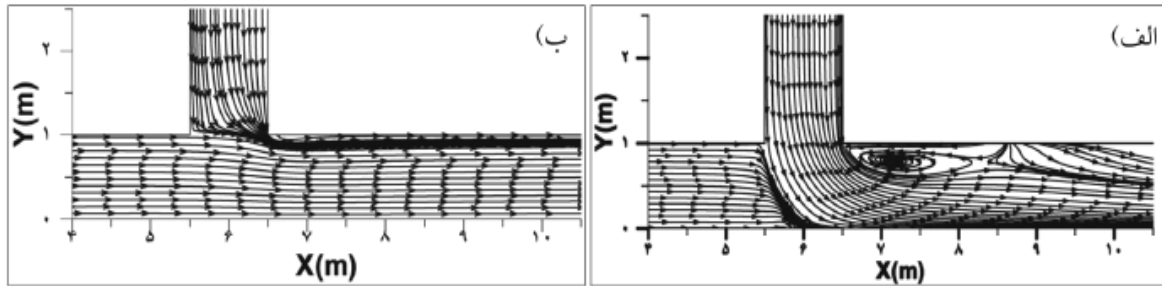


الف و ب) نسبت دبی ۰/۰۸۳ در مدل آزمایشگاهی و عددی، ج و د) نسبت دبی در ۰/۲۵ در مدل آزمایشگاهی و عددی

شکل (۶-۳): الگوی جریان در نسبت دبی ها

همان طور که در شکل (۶-۳) مشخص است، با افزایش نسبت دبی، شدت جریان افزایش یافته، جریان به دیواره برخورد کرده و به سمت پایین دست رفته است.

در شکل (۷-۳) ناحیه ی جدا شدگی جریان کاملا مشخص شده است. این منطقه در لایه های بالایی جریان و نزدیک به سطح نمایش بهتری داشته و تغییرات جریان در آن کاملا مشهود است.



الف) نسبت دبی ۰/۹۱۷ و در نزدیکی سطح، ب) نسبت دبی ۰/۰۸۳ و در نزدیکی کف

شکل (۷-۳): الگوی جریان در لایه های بالایی

خسروی نیا و همکاران [۱۰] در سال ۹۳ به بررسی شیب جانبی کانال اصلی بر الگوی جریان در تلاقی ۹۰ درجه با استفاده از نرم افزار فلونت پرداختند. با بررسی های انجام شده در این تحقیق مشخص شد که شیب دار بودن کانال اصلی باعث افزایش گرایش جریان شاخه ی فرعی برای عبور از روی شیب می شود، به همین دلیل جریانی که در شاخه ی فرعی وجود دارد با نزدیک شدن به محل تلاقی انحراف بیشتری به سمت دیواره ی سمت چپ کانال فرعی را نشان می دهد.

حسینی نیا [۱۱] در سال ۹۱ به بررسی پارامتر های هیدرولیکی و هندسی بر تنش برشی بستر در محل تلاقی رودخانه ها با استفاده از مدل عددی CCHE2D پرداخت. او نتیجه گرفت که تعیین حداکثر عمق فرسایش بستر رابطه ی مستقیمی با تنش برشی بستر در نقطه ی تلاقی دارد و همچنین با افزایش دبی، تنش برشی زیاد می شود. همین تاثیر را با کم کردن عرض کانال اصلی هم می توان مشاهده کرد.

۳-۳ - تحقیقات خارجی

۳-۳-۱ - تحقیقات آزمایشگاهی

موسلی^۱ در سال ۱۹۷۶ با انجام آزمایش در اتصال Y شکل و با دیواره های فرسایش پذیر نشان داد که فرسایش با ایجاد تل ماسه هایی عمود بر جهت جریان در کانال های فرعی شروع می شود که در ادامه در کانال پائین دست موازی جهت جریان چرخیده و چاله فرسایشی را در محل اتصال بوجود می آورد و همچنین با افزایش زاویه برخورد از ۱۵ تا ۷۵ درجه عمق چاله فرسایشی به شدت افزایش می یابد [۱۲].

تیلور^۲ در سال ۱۹۴۴ به صورت آزمایشگاهی و تئوری به بررسی تلاقی آبراهه ها با زوایای ۴۵ و ۱۳۵ درجه در شرایط رژیم رسوبی پرداخت. نتایج بررسی ایشان منجر به پیشنهاد یک مدل یک بعدی براساس معادله های بقاء جرم و مومنتوم، جهت محاسبه نسبت بین عمق های جریان بالا دست و پائین دست محل تلاقی با صرف نظر از اثرات اصطکاکی مرزها و با فرض برابری عمق جریان در آبراهه های بالادست محل تلاقی گردید [۱۳].

وبر^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۱ بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی و با استفاده از اندازه گیری سه بعدی سرعت و آشفتگی در یک کانال با بستر افقی ثابت اقدام به توصیف جریان در محل تلاقی ها در نتیجه اتصال یک آبراهه فرعی با عرض ۰/۹۱ سانتیمتر و زاویه ۹۰ درجه نمودند [۱۴].

بست^۴ در سال ۱۹۸۸ یک مدل تصویری از تغییرات مورفولوژی در محل تلاقی ارائه نمود که براساس مطالعه آزمایشگاهی در شرایط بسترهای متحرک و در تلاقی های نامتقارن با کانالی به عرض ۰/۱۵ متر

1.Mosely
2.Taylor
3.weber
4.Best

و شیب طولی یکسان بدست آمد. در این مطالعه نسبت های مختلف دبی در حدود ۰/۵ تا ۱/۵ لیتر بر ثانیه و زوایای تلاقی بین ۱۵ تا ۱۰۵ درجه منظور و دانه بندی مناسبی نیز در بستر کانال انتخاب گردید. از دیگر نتایج بدست آمده توسط این محقق می توان به تعیین حداکثر عمق آبشستگی بستر به عنوان تابعی از نسبت های دبی و زاویه اتصال اشاره کرد [۲].

لتی ریبیرو^۱ در سال ۲۰۱۱ به بررسی آزمایشگاهی تغییرات مورفولوژی بستر کانال اصلی در نتیجه تلاقی یک آبراهه فرعی با زاویه ۹۰ درجه پرداخت. در این مدل بستر کانال فرعی و اصلی متحرک می باشد. با انجام آزمایش، مشخصاتی همچون تغییرات سطح آب و تغییرات بستر اندازه گیری شده است [۱۵].

روی و روی^۲ در سال ۱۹۸۸ به منظور بررسی تغییر اندازه کانال در محل اتصال رودخانه ها با بستر درشت دانه، اندازه گیری هایی بر روی ۳۰ محل اتصال در یک حوضه آبریز انجام دادند. داده های اندازه گیری شده توسط آنها همراه با داده های جمع آوری شده از تحقیقات قبلی نشان داد که ظرفیت کلی کانال (سطح مقطع جریان) در پایین دست بیشتر اتصال ها کاهش می یابد که دلیل آن را ناشی از افزایش سرعت جریان در محل اتصال دانستند [۱۶].

۳ - ۳ - ۲ - تحقیق عددی

خان^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۰ با استفاده از مدل CCHE2D به عنوان یک مدل دو بعدی متوسط گیری شده در عمق، خصوصیات جریان را در محل تلاقی یک آبراهه فرعی با زاویه تلاقی ۹۰ درجه با یک کانال اصلی بررسی نمودند. در این مطالعه نتایج مدل عددی شامل سرعت و پروفیل سطح آب در کانال اصلی و شاخه فرعی با داده های آزمایشگاهی مقایسه و تطابق خوبی حاصل گردید [۱۷].

1.Letie Rebeiro
2.Roy And Roy
3.Khan

مورثی و شتار^۱ در سال ۱۹۶۶ معادلات دو بعدی متوسط گیری شده در عمق را با استفاده از روش حجم کنترل حل نمودند. در این مطالعه برای تعیین تنش های آشفتهگی از مدل آشفتهگی $k-\epsilon$ استفاده گردید. ارزیابی مدل توسعه یافته توسط این دو محقق بر اساس نتایج مدل آزمایشگاهی بررسی جریان در محل تلاقی یک آبراهه فرعی به یک کانال اصلی صورت گرفت [۱۸].

بیرون^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۲ با اندازه گیری های صحرایی و سپس نرم افزار های عددی، ریخت شناسی بستر و توزیع اندازه ذرات رسوب را در یک اتصال ۶۵ درجه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که ریخت شناسی محل اتصال به طور قابل ملاحظه ای در طی دوره نمونه برداری تغییر می کند [۱۹].

ژانگ تینگ^۳ در سال ۲۰۰۹ با شبیه سازی سه بعدی تلاقی ۹۰ درجه، با استفاده از مدل آشفته $k-\epsilon$ در نسبت عرض کانال فرعی به اصلی ۱، مقایسه ی خوبی با نتایج قبلی انجام داده است [۲۰].

1.Murthy and Shettar
2.Biron
3.Zhang Ting

فصل چهارم

CCHE2D، معادلات و روش های حل

۴ - ۱ - مقدمه

در این فصل مشخصات مدل عددی CCHE2D و معادلات حاکم و نحوه ی حل آن ها به همراه نتایج صحت سنجی ارائه شده است.

۴ - ۲ - مشخصات مدل عددی CCHE2D

نرم افزار CCHE2D یک مدل عددی برای شبیه سازی جریان و انتقال رسوب در کانال های باز می باشد که در مرکز بین المللی علوم هیدرولیک و مهندسی محاسباتی (NCCHE^۱) دانشکده فنی دانشگاه می سی سی پی آمریکا تهیه شده و توسعه یافته است. این مدل جزو مدل های هیدرودینامیکی دو بعدی بوده که برای حل میدان جریان از معادلات رینولدز متوسط گیری شده در عمق استفاده می کند و برای شبیه سازی جملات انتقال آشفتگی، دو مدل صفر معادله ای توزیع سهموی و مدل طول اختلاط لزجت گردابه ای و نیز مدل دو معادله ای $k-\epsilon$ را به کار می برد. مدل شبیه ساز پدیده انتقال رسوب این نرم افزار، توانایی مدل سازی انتقال هر دو فاز بار معلق و بستر در حالت دائمی، غیر دائمی و رسوب چسبنده و غیر چسبنده را دارد [۲۰].

این نرم افزار تاثیر جریان های ثانویه بر نحوه ی انتقال ذرات رسوب بار بستر در بازه های قوسی را در نظر می گیرد. ساخت هندسه و شبکه بندی میدان مطالعاتی در یک نرم افزار مجزای پیش پردازنده تحت عنوان CCHE-MESH صورت می گیرد و حل میدان جریان و انتقال رسوب و همچنین مشاهده ی نتایج در محیط گرافیکی نرم افزار، CCHE-GUI^۲، انجام می شود. همچنین این مدل برای هر دو حالت جریان دائمی و غیر دائمی قابل استفاده است و از روش المان موثر (نوعی از روش المان محدود) و حجم کنترل برای حل معادلات حاکم و از روش سطوح خشک برای شبیه سازی جریان غیر دائمی و حرکت مرزهای آن استفاده

1.National Center for Computational Hydroscience and Engineering

2.Center for Computational Hydroscience and Engineering-Graphic User Interface

می کند. برای حل عددی معادلات دیفرانسیل (PDE) در مکانیک سیالات، مشتق های پاره ای را باید تقریب زد. با این تقریب ها، مشتق های پاره ای به عبارات تفاضل محدودی تبدیل می شوند که معادلات دیفرانسیل پاره ای را به معادلات جبری تبدیل می کنند. معادلات جبری حاصل را معادلات تفاضل محدود می نامند [۲۱]. این معادلات جبری را در شبکه ایجاد شده در قلمرو مورد نظر حل می کنیم. گسسته سازی معادلات میدان جریان و انتقال رسوب با استفاده از روش المان محدود صورت می گیرد و حل معادلات جبری میدان و انتقال رسوب به ترتیب با استفاده از روش تصحیح سرعت و روش های تکرار گوس-سایدل و SIP انجام می شود [۲۲]. در ادامه معادلات حاکم بر میدان جریان و انتقال رسوب به کار گرفته شده در این مدل و روش های حل آنها به طور مختصر شرح داده می شود.

۴ - ۳ - معادلات حاکم بر جریان آب و رسوب

۴ - ۳ - ۱ - معادلات هیدرودینامیکی حاکم بر جریان آب

با توجه به اینکه جریان کانال های باز اغلب جزو مسائل آب های کم عمق^۱ می باشند، لذا تاثیر حرکت قائم ذرات آب از اهمیت چندانی برخوردار نبوده و به همین دلیل معادلات دوبعدی متوسط گیری شده در عمق در اکثر موارد برای شبیه سازی مسائل هیدرولیکی رودخانه ها از دقت و کارایی کافی برخوردار می باشند. معادلات پیوستگی و مومنوم جریان متوسط گیری شده در عمق برای جریان های آشفته در دستگاه مختصات کارتزین را می توان به صورت زیر بیان کرد [۲۲]:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (۱-۴)$$

$$\frac{\partial uh}{\partial t} + u \frac{\partial uh}{\partial x} + v \frac{\partial uh}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{cor} v \quad (۲-۴)$$

1.shallow water

$$\frac{\partial v h}{\partial t} + u \frac{\partial v h}{\partial x} + v \frac{\partial v h}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial (h \tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial (h \tau_{yy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - f_{cor} u \quad (3-4)$$

در معادلات فوق u و v به ترتیب بیانگر مؤلفه های سرعت متوسط گیری شده در عمق در راستای x و y ، t زمان، g شتاب جاذبه، Z بیانگر تراز ارتفاعی سطح آب، ρ دانسیته ی آب، h عمق محلی جریان و f_{cor} ضریب مربوط به شتاب کوریولیس می باشند. همچنین τ_{yx} و τ_{yy} ، τ_{xx} ، τ_{xy} تنش های رینولدز متوسط گیری شده در عمق و τ_{bx} و τ_{by} تنش های برشی بستر در راستای x و y می باشند.

۴ - ۳ - ۲ - مدل های آشفتگی

برای شبیه سازی اثر آشفتگی بر رفتار جریان متوسط و بستن سیستم معادلات حاکم، در معادلات (۳-۳) و (۳-۳) تنش های رینولدز با استفاده از ایده ی بوزینسک و از طریق ضریب تناسب لزجت گردابه ای ϑ_t به نرخ کرنش های متوسط جریان مرتبط می شوند [۲۲].

$$\tau_{xx} = 2\vartheta_t \frac{\partial u}{\partial x} \quad (4-4)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \vartheta_t \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (5-4)$$

$$\tau_{yy} = 2\vartheta_t \frac{\partial v}{\partial y} \quad (6-4)$$

۴ - ۳ - ۱ - مدل های مبتنی بر لزجت گردابه ای

در این نرم افزار از دو مدل صفر معادله ای برای محاسبه ی لزجت گردابه ای متوسط گیری شده در عمق استفاده می شود. مدل اول، مدل توزیع سهموی لزجت گردابه ای می باشد و در در مدل دوم از مدل متوسط عمقی طول اختلاط استفاده شده است.

۴ - ۳ - ۲ - ۲ - مدل دو معادله ای $k-\varepsilon$

در این نرم افزار علاوه بر دو مدل صفر معادله ای، مدل دو معادله ای $k-\varepsilon$ متوسط گیری شده در عمق برای مواردی که مدل سازی نیاز به دقت بالاتری دارد، در نظر گرفته شده است.

۴ - ۳ - ۳ - معادلات حاکم بر محاسبات انتقال رسوب

انتقال بار معلق در حالت غیر تعادلی^۱ (بین تعلیق و ته نشینی) صورت می گیرد. از این رو با مدل های غیر تعادلی هم شبیه سازی می شود. اما، بسیاری از مدل های موجود با فرض تعادل محلی^۲ (لحظه ای) به شبیه سازی بار بستر می پردازند. مطالعات نشان می دهد که در بسیاری از موارد مدل های غیر تعادلی برای شبیه سازی بار بستر نیاز می باشند. نسخه جدید نرم افزار CCHE2D (version 2,1) یک مدل کاملا غیر تعادلی برای شبیه سازی انتقال رسوب غیر یکنواخت به کار می گیرد. این مدل برای محاسبه انتقال رسوب به شبیه سازی بار مواد کف (بار بستر و معلق) با به کار بردن سه شیوه متفاوت می پردازد [۲۳].

۴ - ۳ - ۲ - ۱ - معادلات انتقال رسوب متوسط گیری شده در عمق^۳

اساس مدل سازی انتقال رسوب توسط معادله جا به جایی-پخش متوسط گیری شده در عمق برای انتقال بار معلق و معادله پیوستگی برای بار بستر صورت می گیرد.

$$\frac{\partial(hC_k)}{\partial t} + \frac{\partial(UhC_k)}{\partial x} + \frac{\partial(VhC_k)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_s h \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_s h \frac{\partial C_k}{\partial y} \right) + E_{bk} - D_{bk} \quad (۷-۴)$$

$$(1 - P') \frac{\partial z_{bk}}{\partial t} + \frac{\partial(\delta \overline{C_{bk}})}{\partial t} + \frac{\partial q_{bkx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{bky}}{\partial y} = -E_{bk} + D_{bk} \quad (۸-۴)$$

اندیس k بیانگر کلاس ابعادی ذرات رسوب می باشد. در رابطه (۷-۴)، C_k و ε_s به ترتیب عبارتند از

غلظت بار رسوب معلق و ضریب پخش گردابه ای^۵ رسوب که ε_s از رابطه $\varepsilon_s = \nu_t / \sigma_s$ محاسبه می

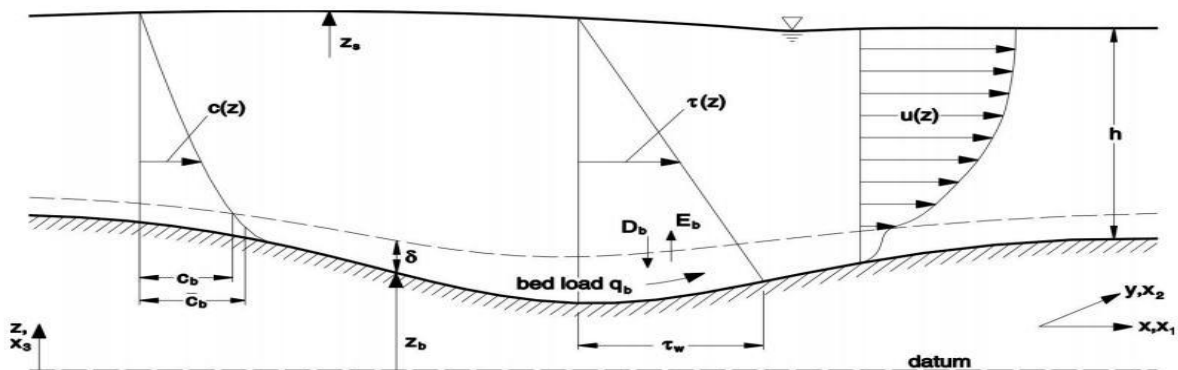
1.Non Equilibrium state
2.Local Equilibrium
3.Depth-Averaged Sediment Transport
4.Size Class
5.Eddy Diffusivity

شود. σ_s و ϑ_t به ترتیب لزجت گردابه ای جریان و عدد اشمیت-پرانتل آشفستگی^۱ (که بین ۰/۵ تا ۱ قرار دارد) می باشند. E_{bk} و D_{bk} به ترتیب بیانگر نرخ ورود ذرات رسوب از ناحیه ی بار بستر به ناحیه ی بار معلق و نرخ ته نشینی ذرات رسوب در مرز بین نواحی بار بستر و معلق می باشد.

$$E_{bk} - D_{bk} = \alpha \omega_{sk} (C_{*k} - C_k) \quad (9-4)$$

ضریب α پارامتری است در مدل سازی انتقال رسوب به نام ضریب تطبیقی^۲ غیر تعادلی بار معلق ω_{sk} سرعت سقوط^۳ مربوط به کلاس ابعادی ذرات رسوب و C_{*k} بیانگر غلظت رسوبات در حالت تعادلی (ظرفیت انتقال رسوب) می باشد. در رابطه (۳-۱۹)، P' تخلخل مواد کف، $\overline{C_{bk}}$ غلظت متوسط^۴ بار بستر در منطقه حرکت بار بستر، δ ضخامت لایه ی بستر، q_{bkx} و q_{bky} مولفه های نرخ انتقال بار بستر در راستای x و y می باشند. جمله اول سمت چپ معادله نیز بیانگر تغییرات تراز بستر می باشد (Z_b بیانگر تراز ارتفاعی بستر است) [۲۳].

شکل (۴-۱) الگوی جریان و انتقال رسوب در ستون قائم جریان را نشان می دهد.



شکل (۴-۱): نمایش الگوی جریان و انتقال رسوب در ستون قائم جریان [۲۲]

1. Turbulent Prandtl-Schmidt Number
2. Adaptation Factor
3. Settling Velocity
4. Average Concentration

۴ - ۳ - ۲ - ۲ - روش های شبیه سازی انتقال بار رسوب

در مدل CCHE2D، سه شیوه برای محاسبه انتقال بار کل رسوب (بار بستر و بار معلق) غیریکنواخت در نظر گرفته شده است. شیوه اول (مدل به فرم بار بستر^۱) و دوم (مدل به فرم بار معلق^۲) به طور مستقیم به محاسبه انتقال بار کل می پردازند با این تفاوت که در روش اول، برای محاسبه انتقال بار رسوب در مواردی که بار بستر غالب باشد و روش دوم در مواردی که بار معلق وجه اصلی انتقال رسوب باشد به کار می روند. روش سوم (شبیه سازی جداگانه بار معلق و بستر^۳) از طریق محاسبه جداگانه انتقال بار رسوب معلق و بستر به محاسبه انتقال بار کل می پردازد [۲۳].

۴ - ۴ - روش های حل معادلات حاکم بر میدان جریان و انتقال رسوب

برای حل عددی معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر میدان جریان، میدان مزبور به مجموعه ای از نقاط یا سلول ها منفصل می شود. سپس معادلات با استفاده از یک سری معادلات جبری بر روی مجموعه نقاط و یا سلول ها تقریب زده شده و در نهایت با حل دستگاه معادلات جبری حاصله مجموعه ای از مقادیر عددی گسسته که به عنوان یک تقریب از حل معادلات بر روی کل میدان می باشند، حاصل می شود. دو روش عمده به عنوان روش های انفصال^۴ میدان جریان مطرح می باشد [۱]:

۱. روش اجزا محدود^۵

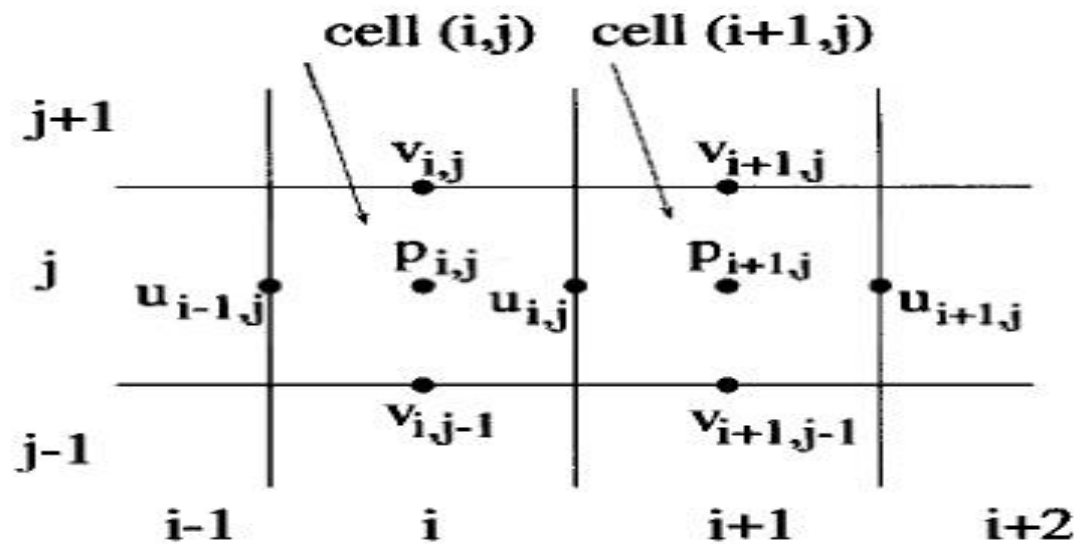
۲. روش تفاضل محدود^۶

در روش های بالا مراحل زیر انجام می شود:

-
1. Bed Load Type Model (Total Load as Bed Load)
 2. Suspended Load Type Model (Total Load as Suspended Load)
 3. Separate Simulation of Bed Load and Suspended Load (Total Load as Bed Load Plus Suspended Load)
 4. Discretization Method
 5. Finite Element Method
 6. Finite Difference Method

- تقریب متغیرهای جریان با استفاده از توابع ساده
- گسسته سازی با استفاده از جای گذاری تقریب ها در معادلات حاکم بر جریان
- حل معادلات جبری

معمولا در تعیین پروفیل انتخابی برای متغیر مورد نظر، منطقه کوچکی از میدان را پوشش می دهند که به این ترتیب میدان محاسباتی به تعدادی میدان کوچکتر تقسیم می شود که هر یک از این میدان های کوچک دارای یک پروفیل فرضی می باشند. معادله ی انفصال رابطه ای جبری است که مقادیر متغیر در یک میدان کوچک را به هم مرتبط می سازد. تفاوت بین روش های تفاضل محدود و اجزا محدود از نحوه انتخاب پروفیل های میدان های منفصل شده و نحوه به دست آوردن معادلات انفصال حاصل می شود [۱].



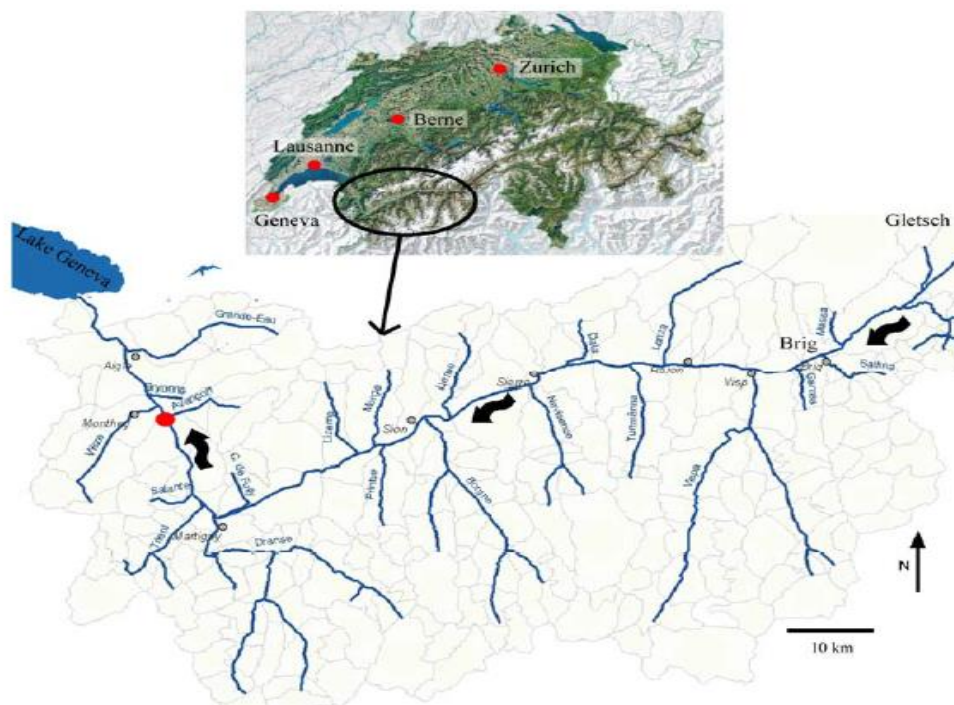
شکل (۲-۴) : نمای تقریبی از شبکه بندی [۱]

۴ - ۵ - صحت سنجی

بعد از معرفی نرم افزار و آشنایی با معادلات و نحوه ی حل آن ها، بررسی درستی نتایج شبیه سازی و اعتماد به جواب های به دست آمده ضروری است. از این رو نرم افزار با نتایج مدل آزمایشگاهی لتی ریبریو [۱۵] صحت سنجی و نمودار های مربوط به سطح آب و تراز رسوب جهت بررسی نتایج شبیه سازی جریان و رسوب، رسم شد. به دلیل در دسترس نبودن نتایج سرعت که پارامتر مهمی در شبیه سازی جریان است به رسم نمودار های آن در موقعیت های مختلف و بحث در مورد آن ها پرداخته شد.

۴ - ۵ - ۱ - معرفی مدل آزمایشگاهی

Letie rebeiro در سال ۲۰۱۱ به بررسی آزمایشگاهی خصوصیات جریان و رسوب در تلاقی رودخانه ی RHONE واقع در ژنو سوئیس پرداخت. در شکل زیر موقعیت جغرافیایی این رودخانه نشان داده شده است:



شکل (۴-۳): موقعیت جغرافیایی رودخانه RHONE

رسوب وارد شده به رودخانه ی اصلی به دلیل جریان زیاد و شیب شاخه ی فرعی قابل توجه است. جدول زیر خصوصیات جریان و دبی را در شرایط مختلف نشان می دهد:

جدول (۱-۴): شرایط هیدرولیکی و ژئومتریک رودخانه ی RHONE

	<i>Angle [°]</i>	<i>B_t/B_m</i>	<i>B_m/B_{p-c}</i>	<i>Tributary bed slope [%]</i>	<i>Q2_t/Q2_m</i>	<i>Q5_t/Q5_m</i>	<i>Fr_{tQ2}</i>	<i>Fr_{tQ5}</i>	<i>M_{r-Q2}</i>	<i>M_{r-Q5}</i>
Average	62	0.22	1.02	1.1%	0.10	0.09	0.83	0.83	0.11	0.08
Max	90	0.54	1.27	4.0%	0.32	0.31	1.29	1.30	0.45	0.30
Min	30	0.07	0.71	0.0%	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01

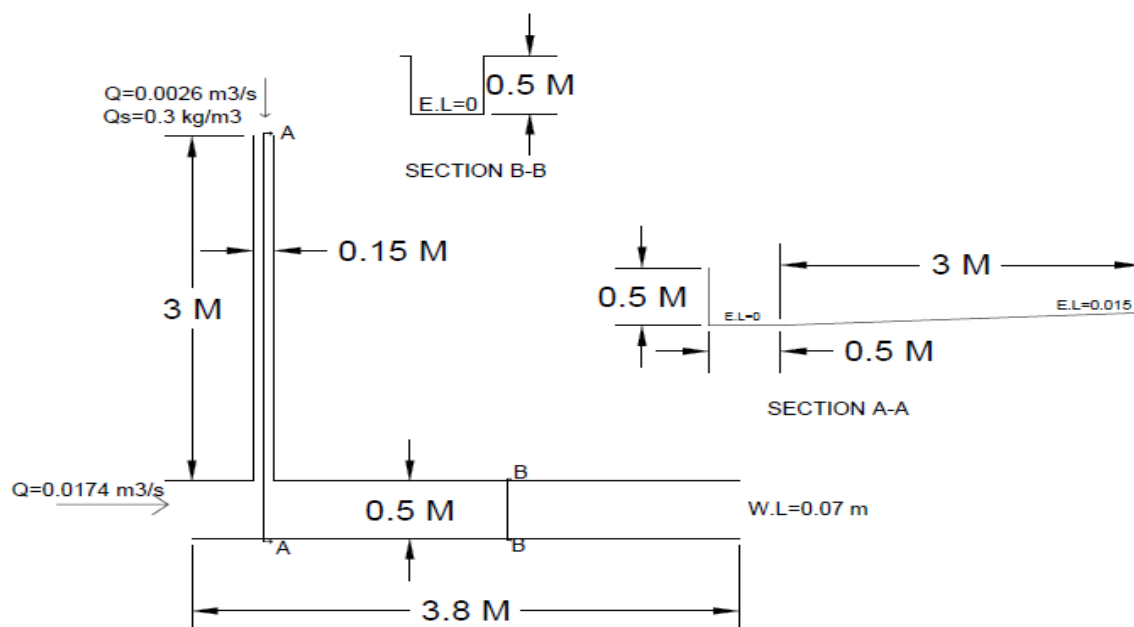
که در جدول بالا B عرض رودخانه، Q2 و Q5 به ترتیب جریان با دوره ی بازگشت ۲ و ۵ ساله، اندیس های t و m و p-c به ترتیب نشان دهنده ی کانال فرعی و اصلی و قسمت بعد از تلاقی در کانال اصلی، FR_t عدد فرود در کانال فرعی و M_r نسبت مومنتوم برآورد شده بین کانال اصلی و فرعی برای دوره بازگشت های ذکر شده است.

در این آزمایش از یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۳/۸ متر و عرض ۰/۵ متر به عنوان کانال اصلی و فلومی به طول ۳ متر و عرض ۰/۱۵ متر به عنوان کانال فرعی با زاویه ی تلاقی ۹۰ درجه استفاده شده است. کانال فرعی با شیبی به اندازه ی ۰/۵ درصد به محل تلاقی متصل شده است.

قبل از انجام آزمایش کانال اصلی و فرعی و همچنین قسمت بعد از تلاقی در کانال اصلی کاملاً مسطح و صاف بوده و دبی ورودی از کانال اصلی ۰/۱۷۴ متر مکعب بر ثانیه و از کانال فرعی ۰/۰۰۲۶ مترمکعب بر ثانیه است. با توجه به اینکه درمدل واقعی رودخانه رسوب فراوان و قابل توجهی از شاخه فرعی به شاخه اصلی وارد می شود، لذا در مدل آزمایشگاهی نیز و بر اساس محاسبات، دبی رسوبی معادل ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب و منطبق بر دانه بندی مدل واقعی تنها به ابتدای کانال فرعی تزریق شده است.

همچنین دریچه ای در انتهای فلوم اصلی تعبیه شده که سطح آب را در شرایط $0.7/0$ متر ثابت نگه می دارد. در شکل (۴-۴) مشخصات هندسی کانال نشان داده شده است.

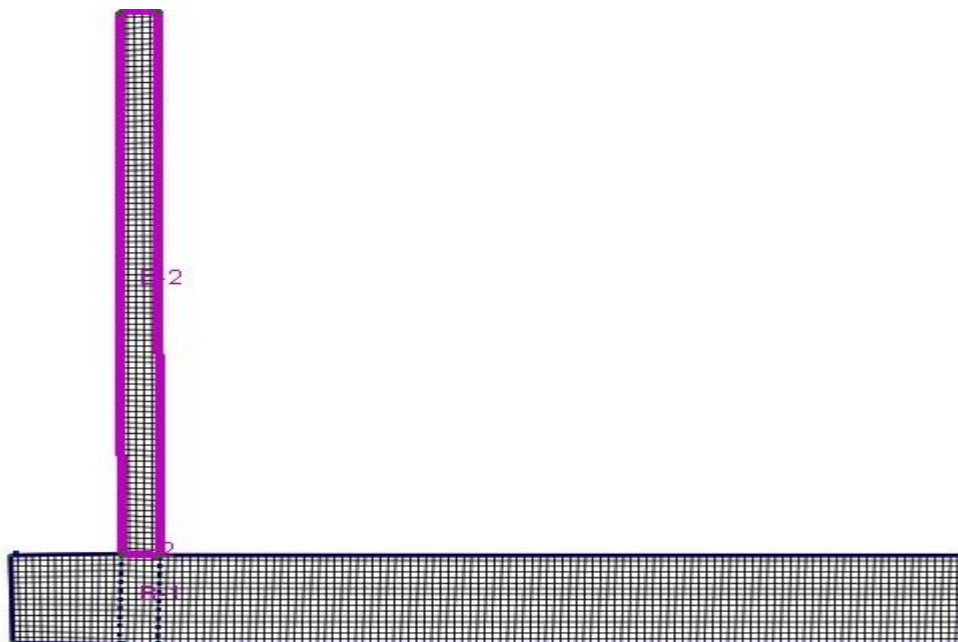
آزمایش تا رسیدن به حالت تعادل و دیده نشدن تغییر قابل توجهی در سطح آب ادامه پیدا کرد و نتایج برداشت شد.



شکل (۴-۴): مشخصات هندسی کانال آزمایشگاهی

۴ - ۵ - ۲ - صحت سنجی نرم افزار (جریان)

جهت انجام صحت سنجی ابتدا نقاط مشخص کننده ی هندسه ی مدل توسط یک فایل با پسوند MESH-XYZ به نرم افزار معرفی شد. قبل از انجام محاسبات باید در نرم افزار پیش پردازنده ی CCHE-MESH، مش بندی و رقوم دار شود. پس از چندین بار مش بندی و بررسی آن هموارترین حالت جهت رسیدن به نتایج بهتر در نرم افزار انتخاب شد. هر مش تقریباً دارای ابعاد $0.3/0 \text{ m} * 0.3/0 \text{ m}$ می باشد. در شکل زیر محدوده ی شبکه بندی تقاطع مورد نظر نشان داده شده است:



شکل (۵-۴) : نمایی از شبکه و مش بندی توسط نرم افزار

تجربه و بررسی ها نشان داده که بیشتر شدن تعداد مش ها تاثیر قابل ملاحظه ای بر جواب های نهایی ندارد و فقط زمان انجام محاسبات توسط نرم افزار را افزایش می دهد. بعد از انجام مش بندی و مشخص کردن محدوده ی مورد مطالعه مدل برای تعیین شرایط اولیه و مرزی به نرم افزار CCHE-GUI، معرفی شد.

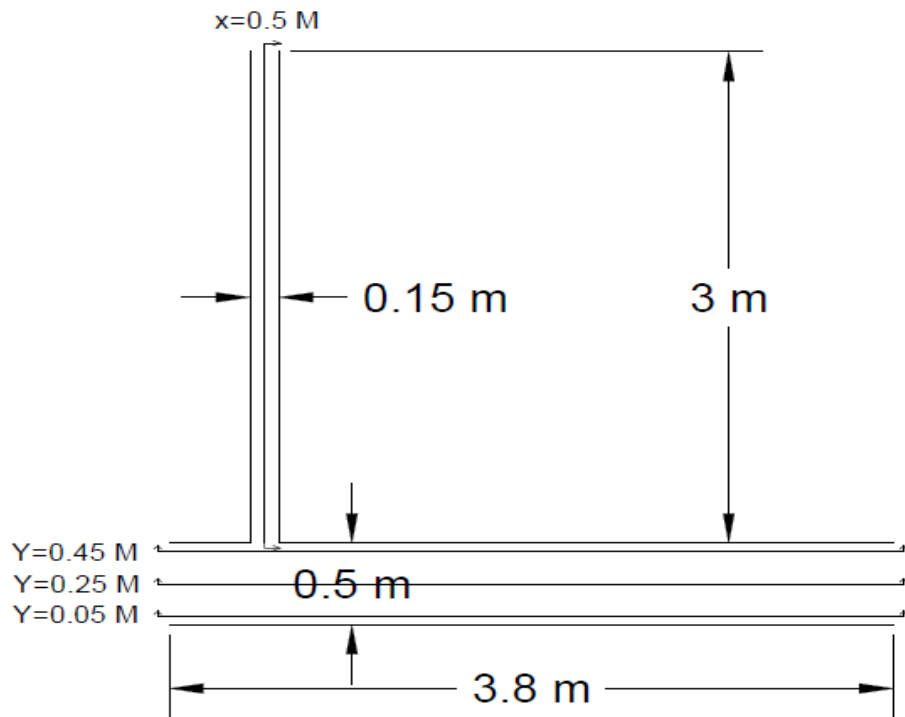
شرایط اولیه و مرزی مطابق مدل آزمایشگاهی (همان طور که ذکر شد) به مدل داده شد. یکی از مهمترین پارامتر هایی که باید برای انجام محاسبات به نرم افزار داده شود ضریب مانینگ (n) است که بر اساس

$$\text{فرمول سابرامانیا و با توجه به } D_{50} \text{ مقدار } 0.14 \text{ به مدل معرفی شد (} n = \frac{D_{50}^{1.6}}{21.1} \text{) [۲۴].}$$

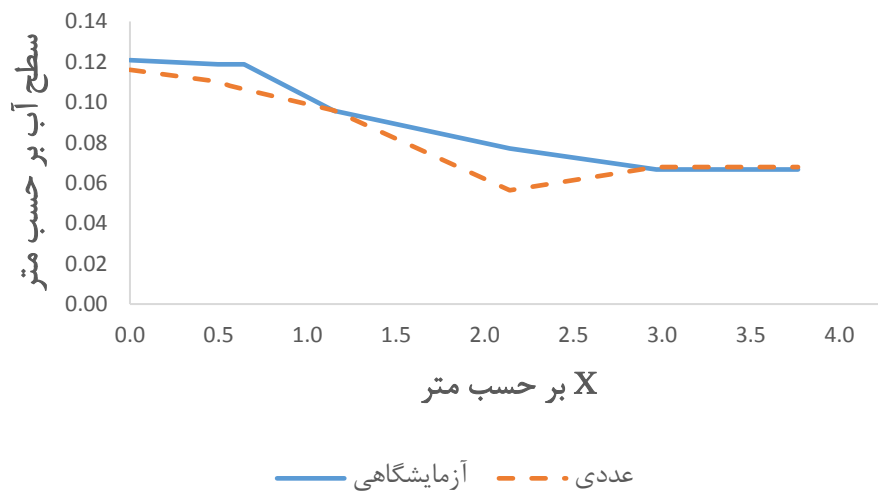
در این مرحله جهت بدست آوردن خطا و ارزیابی مدل عددی CCHE2D از متوسط درصد خطای مطلق استفاده شده است. شاخص درصد خطای مطلق این گونه تعریف می شود:

$$MPAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|O_i - S_i|}{O_i} * 100 \quad (۱۰-۴)$$

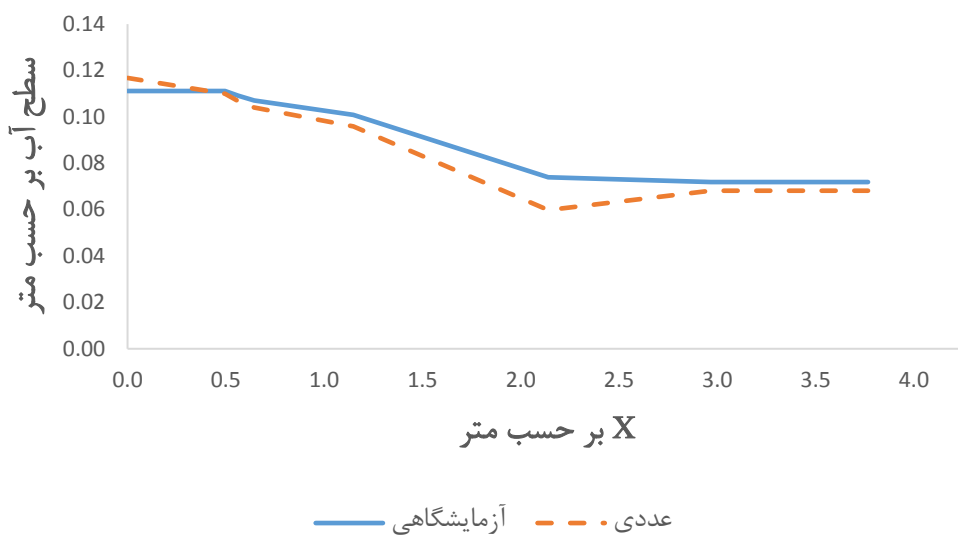
که O_i پارامتر آزمایشگاهی، S_i پارامتر عددی و n تعداد داده های مورد بررسی است. نتایج سطح آب جهت بررسی مدل عددی و تطابق با مدل آزمایشگاهی در ادامه ارائه شده است.



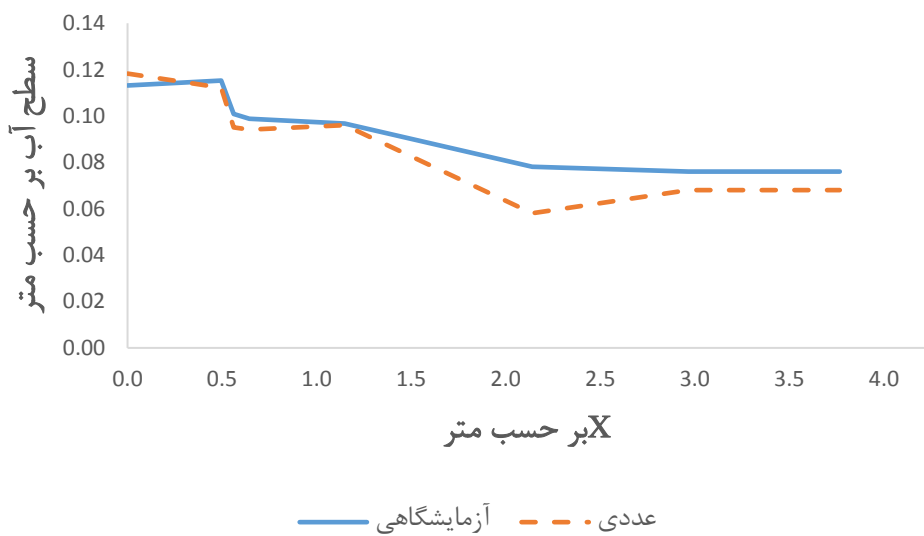
شکل (۴-۶) : موقعیت مکان های مورد بررسی جهت صحت سنجی



شکل (۴-۷) : صحت سنجی سطح آب در $y = 0.05$ m

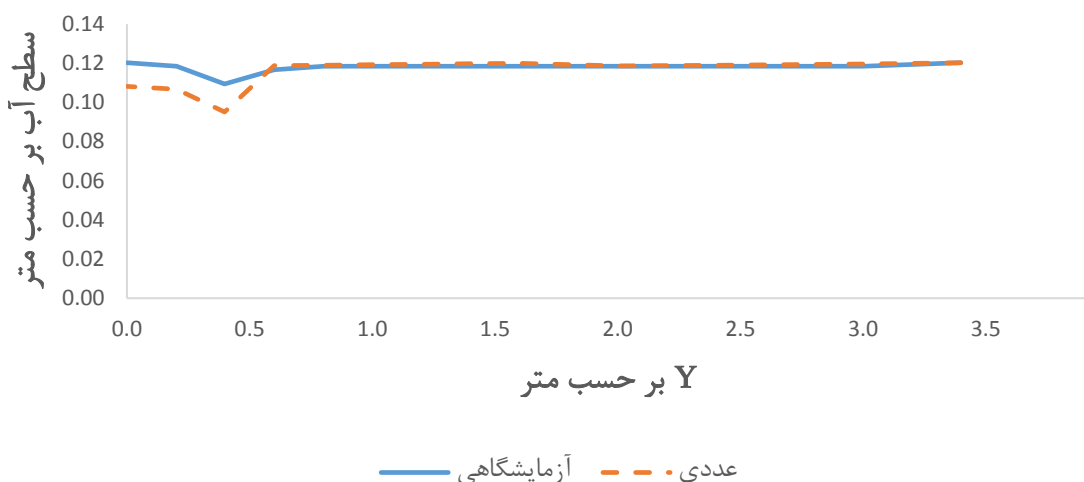


شکل (۸-۴) : صحت سنجی سطح آب در $y = 0.25$ m



شکل (۹-۴) : صحت سنجی سطح آب در $y = 0.45$ m

در جدول (۲-۴) درصد خطای محاسبه شده نیز ارائه شده است. با توجه به در دسترس نبودن نتایج پروفیل سرعت جهت صحت سنجی، اقدام به ترسیم نمودارهای سرعت در مقاطع مذکور شده است و به طور خلاصه توضیحاتی در مورد آنها ارائه گردیده است. در پروفیل های سرعت در جهت x ، U و در جهت y ، V است.

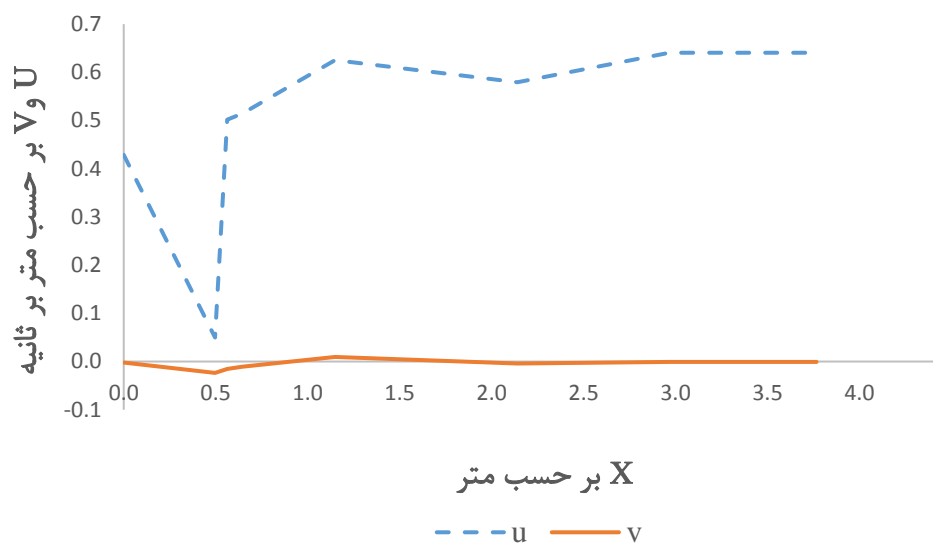


شکل (۱۰-۴) : صحت سنجی سطح آب در $x = 0.5 \text{ m}$

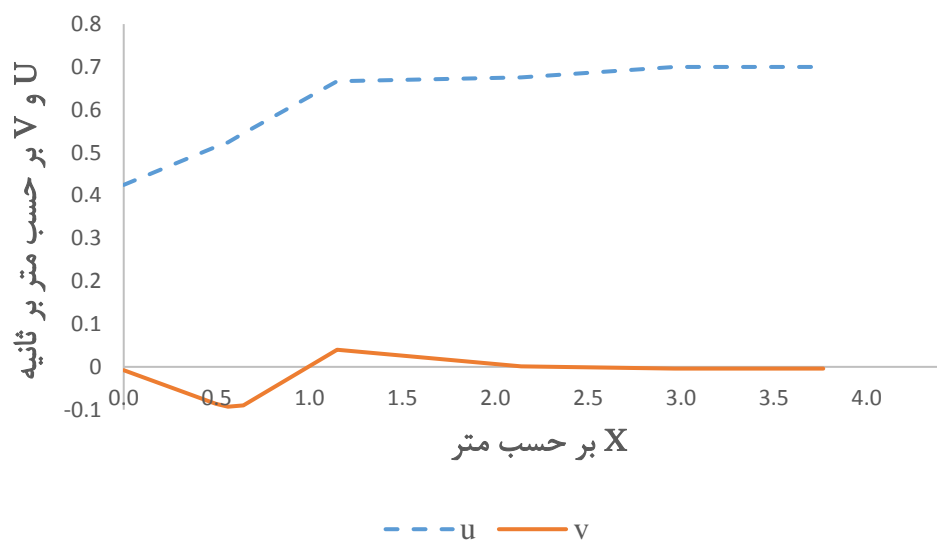
جدول (۲-۴) : درصد خطاهای موجود

محدوده ی مورد مطالعه	درصد خطا MPAE
$y = 0.05 \text{ m}$	۷/۹
$y = 0.25 \text{ m}$	۴/۳
$y = 0.45 \text{ m}$	۶/۴
$x = 0.5 \text{ m}$	۱/۲

همان طور که در شکل (۱۱-۴) دیده می شود با توجه به اینکه این موقعیت در نزدیکی دیواره ی سمت راست کانال اصلی قرار داشته و به دلیل برخورد جریان وارد شده از کانال فرعی به اصلی، در این نقطه جریان با دیواره برخورد کرده و در نقطه ی تلاقی $0.575 \text{ m} < x < 0.425 \text{ m}$ افت سرعت U دیده می شود. در شکل (۱۲-۴) که دقیقاً وسط کانال اصلی قرار گرفته در حوالی نقطه ی تلاقی به دلیل برخورد دو جریان وارد شده از فرعی و همچنین اصلی، افزایش جریان در این نقطه باعث افزایش سرعت در جهت X شده و بعد از آن به دلیل پایداری جریان نمودار روند یکنواختی را در پیش گرفته است.



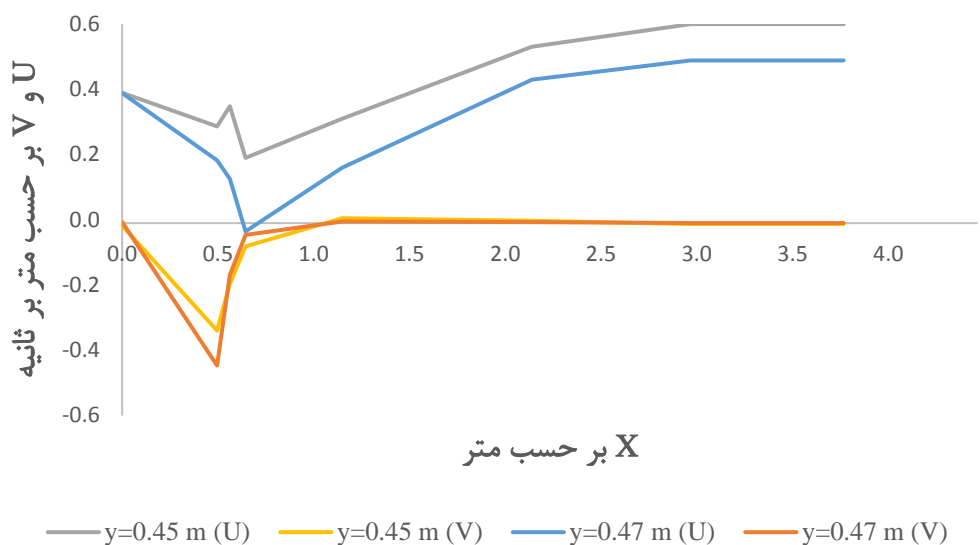
شکل (۱۱-۴) : پروفیل سرعت در $y = 0.05 \text{ m}$



شکل (۱۲-۴) : پروفیل سرعت در $y = 0.25 \text{ m}$

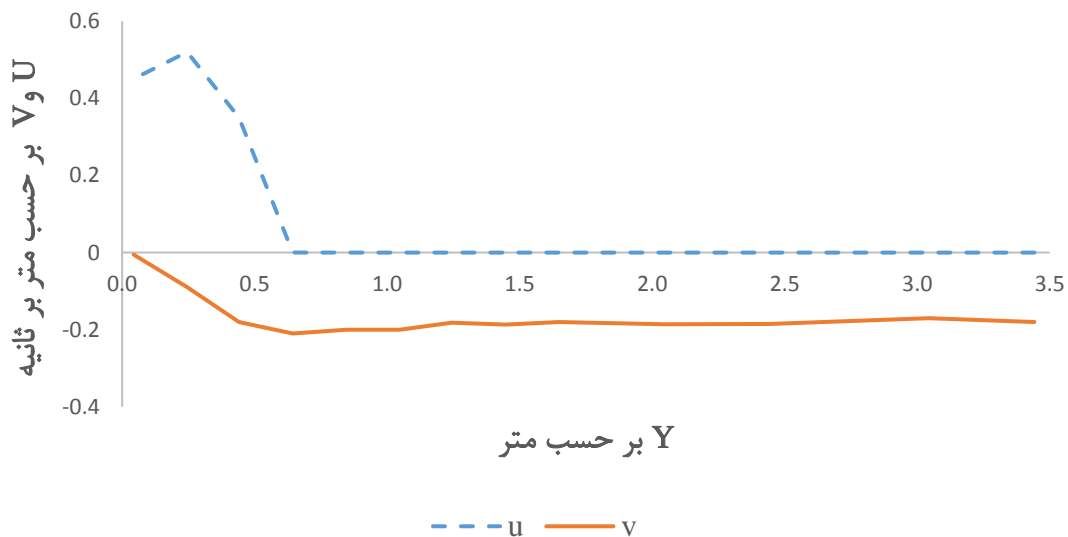
در نزدیکی محل تلاقی یعنی در $y = 0.45 \text{ m}$ و $y = 0.47 \text{ m}$ پروفیل های سرعت در شکل (۱۳-۴) نشان داده شده است. لازم به ذکر است به دلیل شباهت فراوان پروفیل های سرعت از محل $y = 0.47 \text{ m}$ تا $y = 0.5 \text{ m}$ از رسم آنها صرف نظر شد.

همان طور که در شکل (۱۳-۴) مشخص است هر اندازه که به محل تلاقی نزدیک تر می شویم افت سرعت



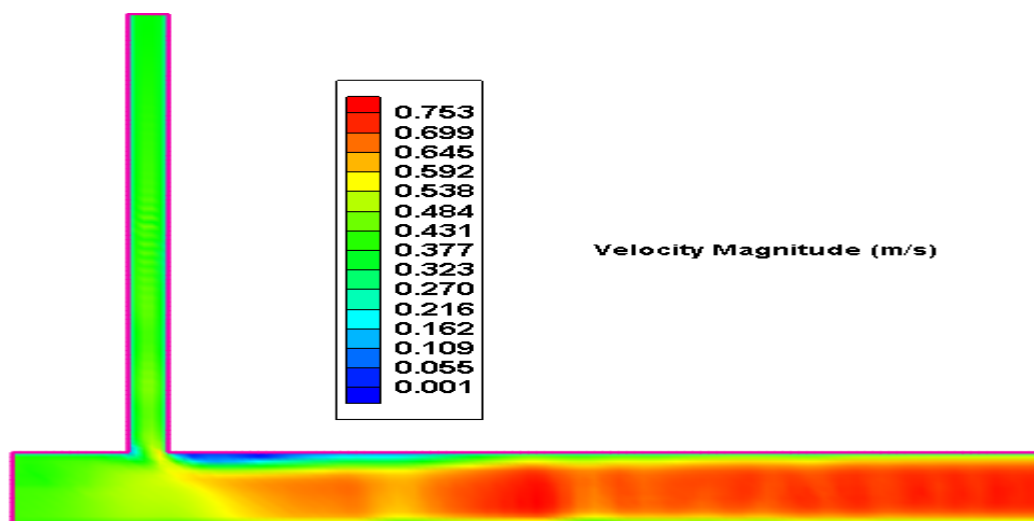
شکل (۴-۱۳) : پروفیل سرعت در محل تلاقی

U افزایش پیدا می کند که دلیل آن نزدیک شدن به محل تلاقی دو جریان و برخورد شدیدتر جریان وارد شده از کانال فرعی با جریان موجود در کانال اصلی است. همان طور که در شکل مشخص است قدر مطلق سرعت V از $y = 0.45 \text{ m}$ تا $y = 0.47 \text{ m}$ افزایش پیدا کرده که به دلیل زیاد بودن سرعت عرضی V در نقطه ی تلاقی است ولی به دلیل جهت آن (به سمت پایین) مقداری منفی در نمودار است.



شکل (۴-۱۴) : پروفیل سرعت در $x = 0.5 \text{ m}$

در پروفیل سرعت نشان داده شده در شکل (۴-۱۴) و در $x = 0.5 \text{ m}$ به دلیل غالب بودن سرعت V بر سرعت U ، تغییرات چندانی در U دیده نمی شود. همان طور که انتظار می رفت در نزدیکی محل تلاقی و به دلیل برخورد دو جریان فرعی و اصلی و همچنین به دلیل شدت بالای جریان کانال اصلی، میزان U افزایش ناگهانی را نشان می دهد. در شکل (۴-۱۵) توزیع قدر مطلق سرعت در پلان نشان داده شده است.



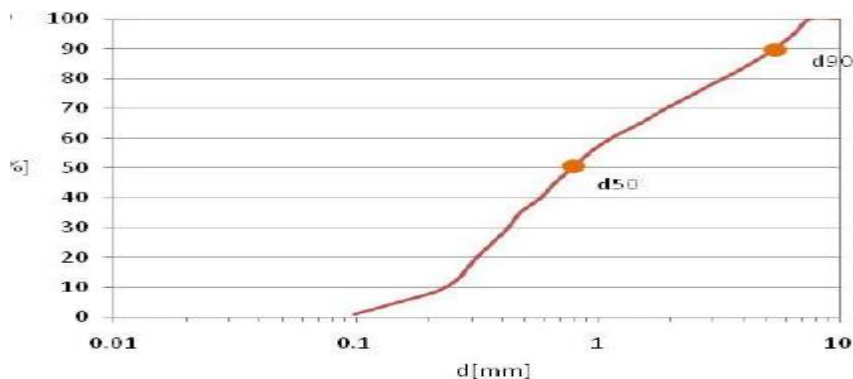
شکل (۴-۱۵) : توزیع قدر مطلق سرعت در پلان

۴ - ۳ - صحت سنجی نرم افزار (رسوب)

بعد از صحت سنجی جریان، به بررسی پروفیل بستر جهت صحت سنجی قسمت رسوب می پردازیم. برای مدل کردن رسوب، به معرفی شرایط اولیه و مرزی رسوب اقدام شد.

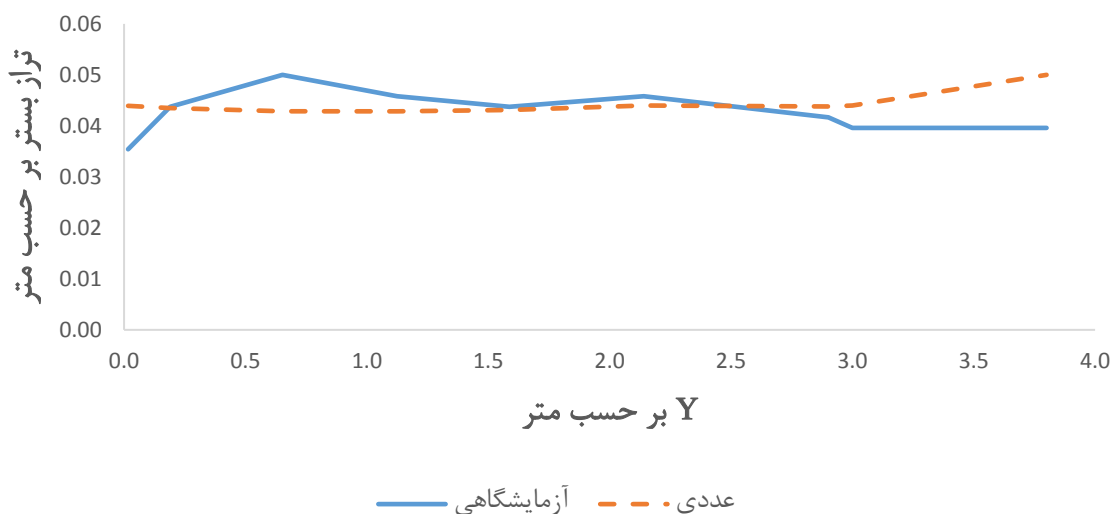
جهت معرفی دانه بندی رسوبات، با استفاده از $D_{50} = 0.82$ میلیمتر و $D_{90} = 5.7$ میلیمتر طبق مدل آزمایشگاهی و معرفی آن به نرم افزار مدل کردن رسوب کامل شد. بعد از ریخته شدن ۵ سانتیمتر رسوب کف کانال ها با تزریق دبی رسوب از ابتدای کانال فرعی، نرم افزار اقدام به شبیه سازی رسوب و تغییرات تراز آن کرد. لازم به ذکر است تراز صفر در شکل های زیر سطح روی ۵ سانتیمتر رسوب را نشان می دهد

(در کانال فرعی تراز رسوب به دلیل تزریق رسوب از ابتدای این کانال بالا است اما در کانال اصلی تراز پایین تر آمده). در شکل زیر نمودار دانه بندی استفاده شده مطابق مدل آزمایشگاهی نشان داده شده است :

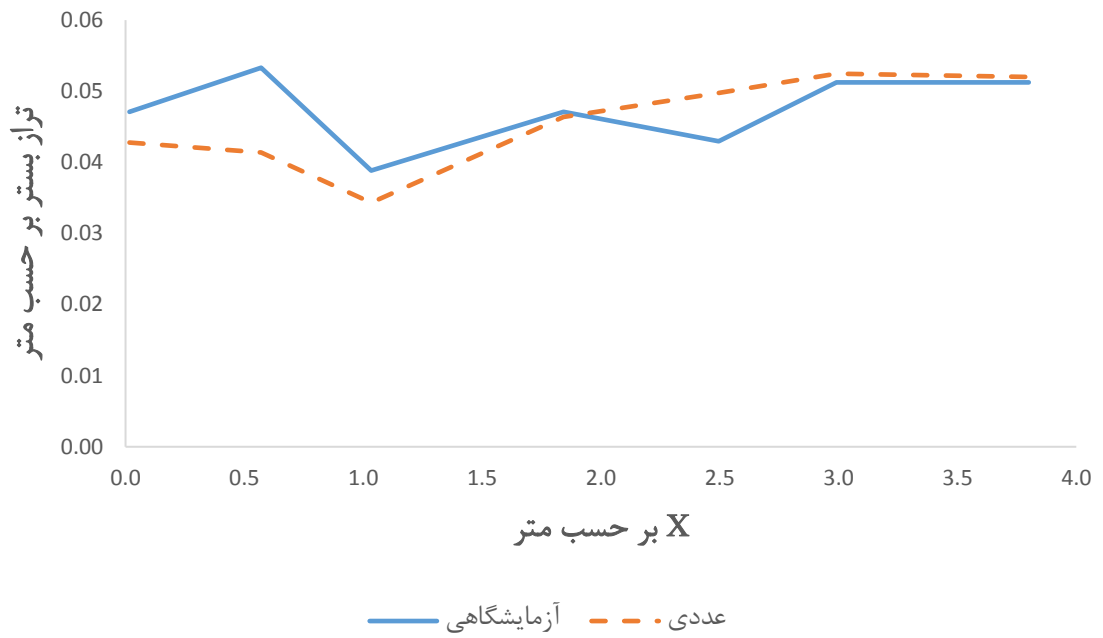


شکل (۴-۱۶) : نمودار دانه بندی مورد استفاده

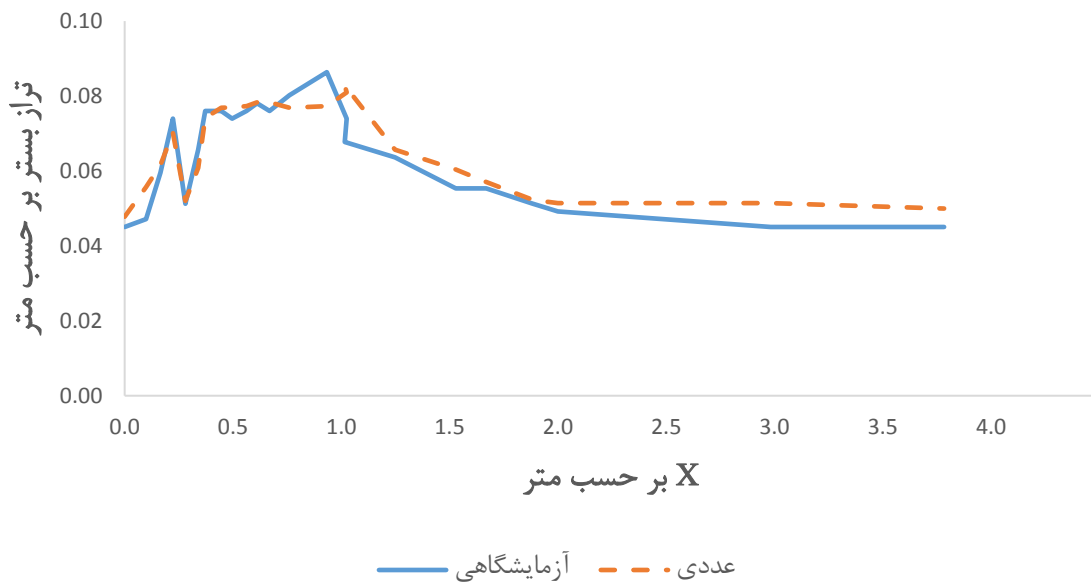
در نتایج نهایی مدل آزمایشگاهی، اثر بار معلق و بار بستر توامان دیده شده که این مطلب به نرم افزار به خوبی داده شد. اجرای برنامه تا زمانی که تغییرات قابل توجهی در بستر دیده نشد ادامه پیدا کرد که این زمان ۵ ساعت می باشد. نتایج نهایی تراز رسوب در شکل های زیر آورده شده است.



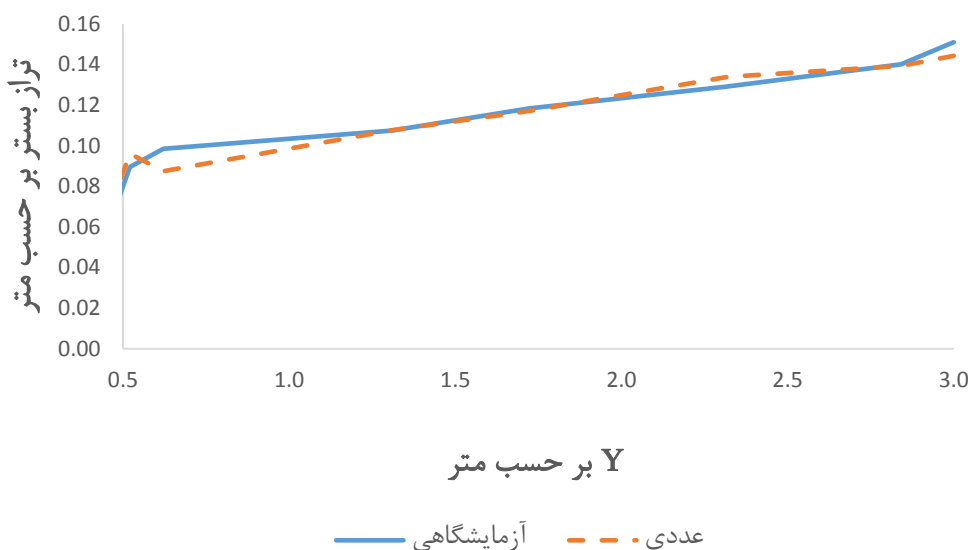
شکل (۴-۱۷) : صحت سنجی تراز رسوب در $y = 0.05 \text{ m}$



شکل (۴-۱۸) : صحت سنجی تراز رسوب در $y = 0.25 \text{ m}$



شکل (۴-۱۹) : صحت سنجی تراز رسوب در $y = 0.45 \text{ m}$



شکل (۴-۲۰) : صحت سنجی تراز رسوب در $x = 0.5$ m

جهت تعیین کمیت کالیبراسیون مدل در پروفیل بستر از درصد بیاس ($PBIAS$) و آمار باقی مانده ی نش-ساتکلیف (NS) استفاده شده است که به صورت زیر تعریف شده اند.

$$PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{sim} - q_t^{obs})}{\sum_{t=1}^N q_t^{obs}} * 100 \quad (۴-۱۰)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{sim} - q_t^{obs})^2}{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_t^{mean})^2} \quad (۴-۱۱)$$

که q_t^{mean} مقدار متوسط مقادیر مشاهداتی است، q^{sim} و q^{obs} به ترتیب مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی است. مقدار بهینه و قابل قبول برای $PBIAS$ صفر است چون بیانگر مقدار نزدیکی مقادیر شبیه سازی و مشاهداتی است. همچنین مقدار بهینه برای NS مقدار مثبت است. خطاهای احتمالی دیده شده در نرم افزار طی مطالعات مختلف در چند مورد خلاصه می شود که مهمترین آنها عدم دقت جمله پخش در معادلات حاکم بر جریان می باشد. در جدول زیر نتایج کالیبراسیون آمده است.

جدول (۳-۴) : ارزیابی و کالیبراسیون در موقعیت های مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه	PBIAS	NS
$y = 0.05 \text{ m}$	0.647	-0.165
$y = 0.25 \text{ m}$	-2.13	-0.55
$y = 0.45 \text{ m}$	2.75	0.833
$x = 0.5 \text{ m}$	-0.04	0.97

فصل پنجم

شبيه سازى، استخراج نتايج و بحث

۵ - ۱ - مقدمه

بعد از اطمینان از توانایی مدل CCHE2D در شبیه سازی جریان و رسوب در تقاطع ها به بررسی تاثیر پارامترهای مهم و مد نظر این تحقیق می پردازیم.

۵ - ۲ - بررسی پارامترهای مهم

پارامترهای مختلفی بر عمق فرسایش و الگوی جریان و رسوب تاثیر گذار هستند که بررسی آنها به شناخت بهتر جریان و خصوصیات آن و همچنین تغییر شکل بستر و شناخت توپوگرافی های ایجاد شده کمک می کند. به منظور شناخت این پارامترها و میزان تاثیر آنها ابتدا تحلیل ابعادی جهت تعیین پارامترهای بی بعد انجام شد.

منظور از تحلیل ابعادی، بیان متغیرهای موثر در یک پدیده ی فیزیکی در قالب تعدادی پارامتر مستقل بدون بعد است. در این پارامترهای بدون بعد، معمولاً آرایش متغیرها به گونه ای در نظر گرفته می شود که هر پارامتر مفهوم فیزیکی مشخصی داشته باشد.

به عبارت دیگر با استفاده از تحلیل ابعادی می توان یک پدیده ی فیزیکی را با جایگزین نمودن متغیرهای موثر توسط پارامترهای بدون بعد که تعدادشان کمتر از متغیرها است، آسان تر بررسی نمود.

در تحلیل ابعادی اثر همه ی پارامترها دیده شد و با تشکیل ماتریس ابعادی و با شناخت پارامترهای مستقل و وابسته و همچنین با استفاده از قضیه ی π باکینگهام نتایج زیر بدست آمد:

$$\frac{y_{erosion}}{H} = f \left(\frac{Q_t}{Q_m}, \frac{B_t}{B_m}, \frac{H S}{R D_{50}}, Fr, \theta, S \right) \quad (1-5)$$

که در بالا $y_{erosion}$ عمق فرسایش، Q_t و Q_m به ترتیب دبی در کانال فرعی و کانال اصلی، B_m و B_t

به ترتیب عرض کانال فرعی و کانال اصلی، θ زاویه ی تلاقی، Fr عدد فرود جریان، H عمق آب، $\frac{HS}{R D_{50}}$ عدد شیلدز و S شیب کانال فرعی می باشد.

عدد شیلدز نسبت نیروهای به حرکت در آورنده ذره به نیروهای نگهدارنده ذره می باشد و به صورت رابطه (۲-۵) محاسبه می گردد [۲۵]:

$$\tau^* = \frac{\tau_b}{\rho R g d_{50}} \quad (2-5)$$

که در آن τ_b تنش برشی کف بستر، $R = \frac{\rho_s}{\rho} - 1$ است که معمولا در مبحث انتقال رسوب برابر با ۱/۶۵ است. همچنین ρ_s جرم مخصوص ذرات رسوبی است.

با توجه به اینکه در فرمول بالا تنش برشی بستر از رابطه ی $\tau_b = \rho g H S$ بدست می آید [۲۶]، عدد شیلدز به صورت زیر خلاصه می شود:

$$\tau^* = \frac{HS}{R d_{50}} \quad (3-5)$$

لازم به ذکر است که شتاب ثقل یعنی g برابر ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه و ρ که وزن مخصوص آب است نیز ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است.

با توجه به اینکه در کانال های باز معمولا ابعاد به گونه ای انتخاب می شوند که تاثیر نیروهای کششی سطحی و لزجت سیال بسیار پایین است بنابراین از تاثیر اعداد وبر و رینولدز صرف نظر شد [۱۱].

۵ - ۳ - بررسی اثر تغییر نسبت دبی بر الگوی جریان و رسوب

۵ - ۳ - ۱ - بررسی اثر تغییر نسبت دبی بر جریان

بعد از شناخت پارامترهای مهم و اثرگذار بر الگوی جریان و رسوب در تقاطع ها، اکنون به بررسی تاثیر دبی

ورودی از کانال فرعی و اصلی می پردازیم. مشخصات هیدرولیکی و هندسی تقاطع اصلی مورد بررسی به شرح زیر است.

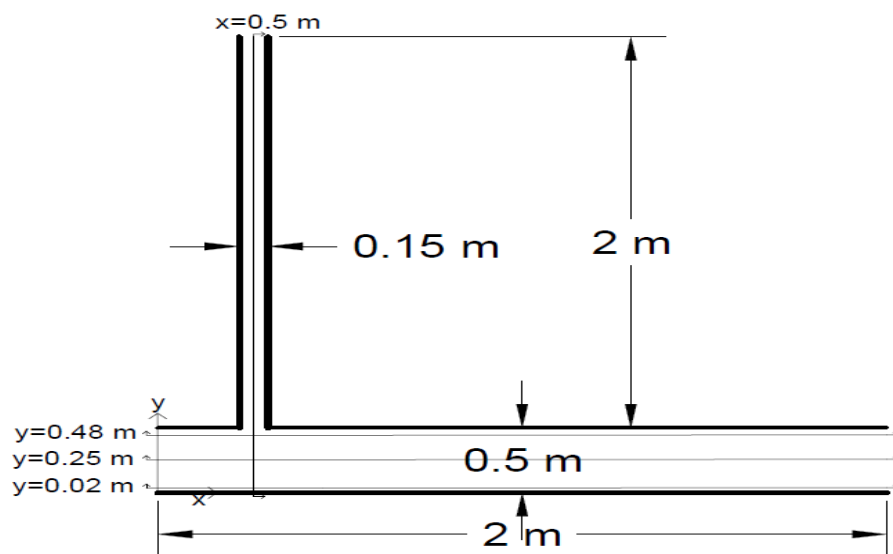
کانال اصلی به طول ۲ متر و عرض ۰/۵ متر و کانال فرعی به طول ۲ متر و عرض ۰/۱۵ متر است.

جهت بررسی اثرات افزایش و کاهش دبی در کانال های فرعی و اصلی، ابتدا اقدام به شبیه سازی مدل اصلی و معرفی شرایط مرزی به آن شد. در این مدل دبی ورودی کانال فرعی ۰/۰۰۲ متر مکعب بر ثانیه و دبی ورودی کانال اصلی ۰/۰۰۶ متر مکعب بر ثانیه است. همچنین شرط مرزی خروجی در انتهای کانال اصلی سطح آب ۰/۰۷ متر و کانال فرعی دارای ۰/۵ درصد شیب است.

قطر ذرات رسوبی $d_{50} = 0.82$ میلیمتر و مدل آشفتگی مورد استفاده توسط نرم افزار، مدل دو معادله ای $k - \epsilon$ است. با توجه به قطر متوسط ذرات و با استفاده از فرمول سابرامانیا ضریب مانینگ مقدار ۰/۰۱۴ برآورد شده و به نرم افزار معرفی گردیده است. قبل از اجرای برنامه ی رسوب، کف کانال ها به اندازه ی ۵ سانتیمتر رسوب با همان D_{50} مذکور ریخته شده و برنامه بار بستر و بار معلق را توامان شبیه سازی کرده است. لازم به ذکر است که اندازه ی مش ها $0.2 \text{ m} * 0.2 \text{ m}$ است (تجربه نشان داده که کوچکتر کردن اندازه ی مش ها در جواب های نهایی تاثیر بسزایی نداشته و تنها زمان اجرای برنامه را زیاد می کند). این تقاطع کانال ها، تقاطع اصلی نامیده می شود و در مابقی این قسمت هر نوع تغییری نسبت به این تقاطع سنجیده می گردد.

لازم به ذکر است تلاقی در محدوده ی $0.575 \text{ m} < x < 0.425 \text{ m}$ است. شکل (۵-۱) موقعیت های مورد مطالعه در این قسمت را نشان می دهد. همچنین در قسمت هایی که اشکال به صورت کانتوری مورد مقایسه قرار گرفته اند باکس راهنمای رنگی نشان دهنده ی محدوده ی اعداد مختلف و رنگ های متناسب با آن

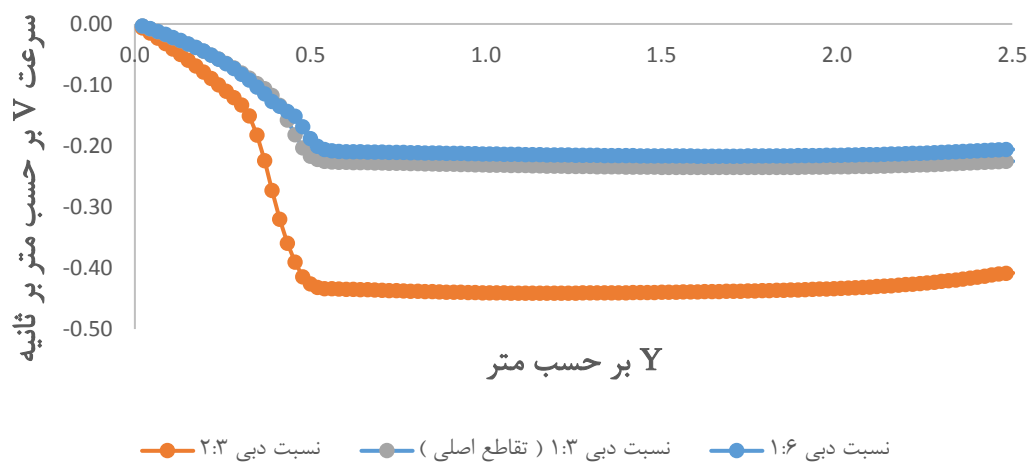
هاست. کمترین و بیشترین عدد در باکس نیز ماکزیمم و مینیمم جواب های بدست آمده توسط نرم افزار هستند (تطابق رنگی).



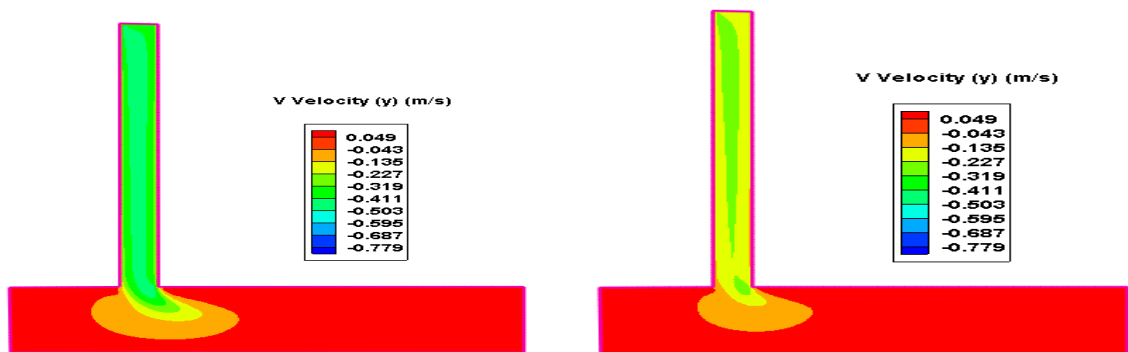
شکل (۱-۵): موقعیت های مورد مطالعه در تقاطع اصلی

ابتدا به بررسی سرعت V در کانال فرعی و در موقعیت $x = 0.5 \text{ m}$ (وسط کانال فرعی) می پردازیم. با توجه به دبی ورودی به کانال فرعی و اصلی (به ترتیب 0.02 و 0.06 متر مکعب بر ثانیه) که نسبت دبی $(\frac{Q_t}{Q_m})$ $1:3$ را به دست می دهد، جهت بررسی تغییرات سرعت در کانال فرعی، این نسبت دبی به دو برابر افزایش یافته (دبی کانال فرعی دو برابر شده و به 0.04 متر مکعب بر ثانیه تغییر پیدا کرده اما دبی کانال اصلی ثابت و 0.06 متر مکعب بر ثانیه است) و $2:3$ شده است. جهت بررسی سرعت در کانال اصلی این نسبت دبی به نصف کاهش یافته، (دبی کانال فرعی ثابت و 0.02 متر مکعب بر ثانیه اما دبی کانال اصلی دو برابر شده و 0.12 متر مکعب بر ثانیه است) و $1:6$ شده است. با توجه به شکل (۲-۵) که تغییرات سرعت V را در موقعیت مذکور نشان می دهد با افزایش نسبت دبی از $1:3$ به $2:3$ (افزایش دبی کانال فرعی) سرعت در این کانال نیز زیاد شده است. اما با کاهش نسبت دبی از $1:3$ به $1:6$ (افزایش دبی کانال

اصلی) سرعت U در این کانال زیاد شده و تاثیر بسیار اندکی بر سرعت V در کانال فرعی گذاشته و سرعت در این کانال را کم کرده است. شکل (۳-۵) نیز تغییرات سرعت V را در پلان نشان می دهد. با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ (افزایش دبی کانال فرعی) سرعت در این کانال و ابتدا در شکل (۳-۵-الف) حدود ۰/۲۲ تا ۰/۳۱ متر بر ثانیه بوده اما در شکل (۳-۵-ب) به حدود ۰/۴۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه رسیده است. اما با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ (افزایش دبی کانال اصلی) سرعت V در کانال فرعی اندکی کاهش داشته و در حدود ۰/۱۳۵ تا ۰/۲۲۷ متر بر ثانیه است که در شکل (۳-۵) نیز مشخص است (علامت منفی به دلیل جهت سرعت است).

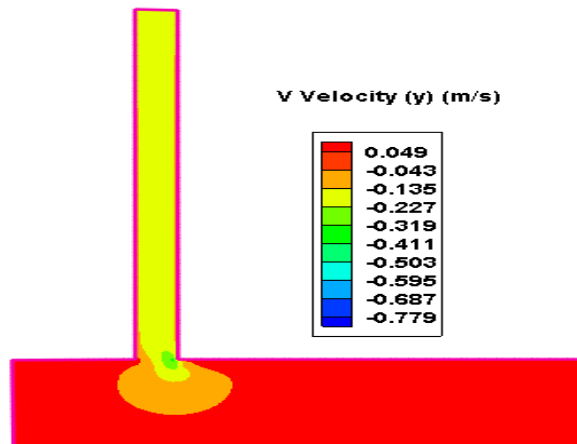


شکل (۳-۵): تغییرات V در حالت تغییر نسبت دبی در $x = 0.5$ m



ب) نسبت دبی ۲:۳

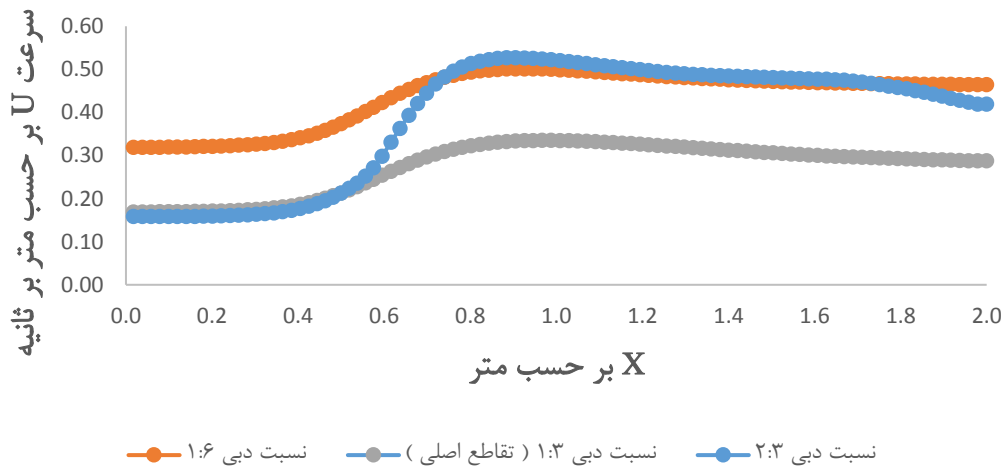
الف) نسبت دبی ۱:۳ (تقاطع اصلی)



ج) نسبت دبی ۱:۶

شکل (۳-۵): تغییرات V در پلان در حالت تغییر نسبت دبی

شکل (۴-۵): تغییرات سرعت U را در موقعیت $y = 0.25 \text{ m}$ (وسط کانال اصلی) نشان می دهد.

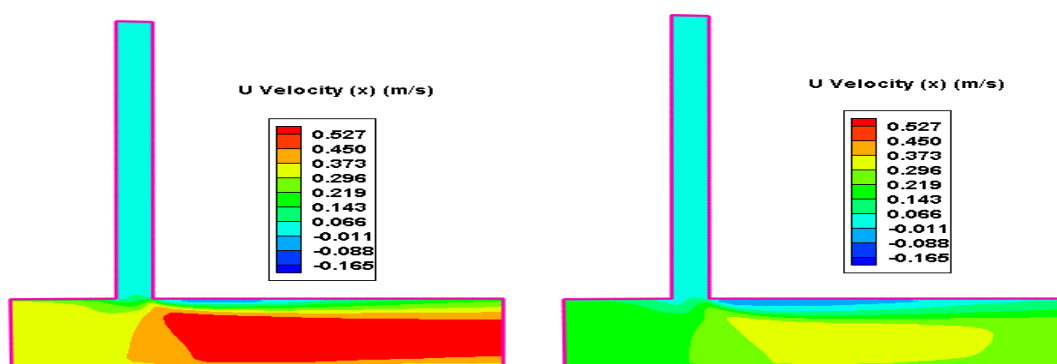


نسبت دبی ۱:۶ (نسبت دبی ۱:۳ (تقاطع اصلی) نسبت دبی ۲:۳

شکل (۴-۵): تغییرات U در $y = 0.25 \text{ m}$ در حالت تغییر نسبت دبی

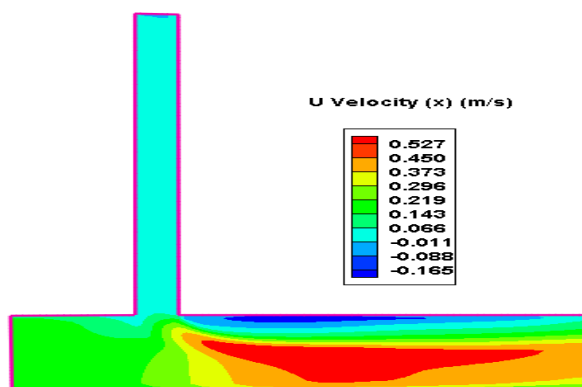
با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ (افزایش دبی کانال اصلی) سرعت U افزایش یافته است. اما با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ (افزایش دبی کانال فرعی) در نقاط قبل تلاقی تغییری در سرعت ایجاد نشده اما بعد از تلاقی و با وارد شدن جریان کانال فرعی و به دلیل سرعت بالای آن در برخورد با جریان موجود در کانال اصلی، سرعت U افزایش یافته است. این افزایش سرعت در شکل (۵-۵) نیز قابل مشاهده است.

توجه به شکل (۵-۵-الف) و در وسط کانال اصلی، سرعت ابتدا 0.143 تا 0.219 متر بر ثانیه بوده و با گذشتن از محدوده ی تلاقی و به دلیل وارد شدن جریان از کانال فرعی، سرعت افزایش یافته و به حدود 0.296 تا 0.373 متر بر ثانیه رسیده است اما در شکل (۵-۵-ب) سرعت ابتدا حدود 0.296 تا 0.373 متر بر ثانیه بوده سپس به دلیل زیاد شدن دبی در این کانال و گذشتن از محدوده ی تلاقی به حدود 0.45 تا 0.527 متر بر ثانیه رسیده است. با افزایش نسبت دبی از $1:3$ به $2:3$ (افزایش دبی کانال فرعی) سرعت قبل از تلاقی و در شکل (۵-۵-ج) با مقدار سرعت در شکل (۵-۵-الف) برابر بوده اما بعد از تلاقی سرعت در شکل (۵-۵-ج) به محدوده ی 0.45 تا 0.527 متر بر ثانیه رسیده است.



ب (نسبت دبی ۱:۶)

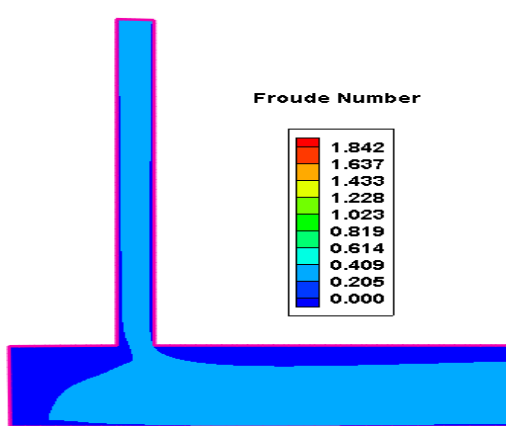
الف (نسبت دبی ۱:۳ (تقاطع اصلی))



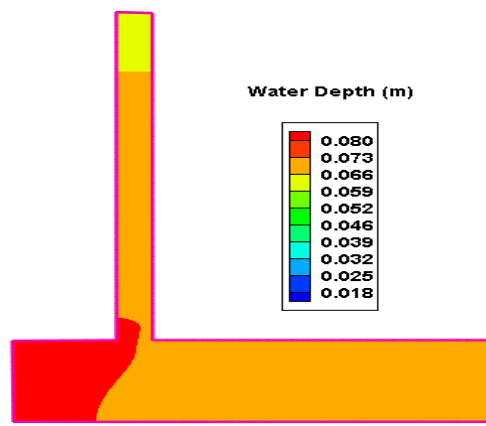
ج (نسبت دبی ۲:۳)

شکل (۵-۵) : تغییرات U در پلان و در حالت تغییر نسبت دبی

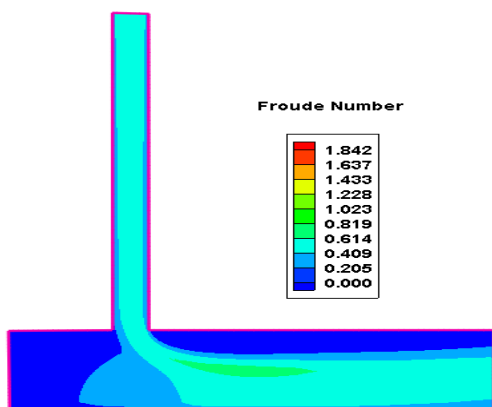
در شکل (۶-۵) تغییرات عمق آب و عدد فرود جریان در حالات مختلف نسبت دبی نشان داده شده است. با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ (افزایش دبی کانال فرعی) در شکل (۵-۶-ج) اندکی افزایش عمق دیده شده اما با توجه به فرمول عدد فرود جریان ($Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}}$) و وابسته بودن این پارامتر به عمق و سرعت و با توجه به افزایش سرعت در کانال فرعی (اشکال (۲-۵) و (۳-۵)) عدد فرود جریان به طور کلی زیاد شده و از حدود ۰/۲۰۵ تا ۰/۴۰۹ در شکل (۵-۶-ب) به حدود ۰/۴۰۹ تا ۰/۶۱۴ در شکل (۵-۶-د) رسیده است. حتی این افزایش عدد فرود که به دلیل زیاد بودن سرعت ورودی از کانال فرعی است، در کانال اصلی و تا انتها نیز امتداد یافته است. با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ (افزایش دبی کانال اصلی) در شکل (۵-۶-و) باز هم اندکی افزایش عمق دیده می شود اما با توجه به فرمول عدد فرود جریان و وابسته بودن این پارامتر به عمق و سرعت و با توجه به افزایش سرعت در کانال اصلی (اشکال (۴-۵) و (۵-۵)) عدد فرود جریان به طور کلی زیاد شده و در نقاط بعد از تلاقی از حدود ۰/۲۰۵ تا ۰/۴۰۹ در شکل (۵-۶-ب) به حدود ۰/۴۰۹ تا ۰/۶۱۴ در شکل (۵-۶-ه) رسیده است.



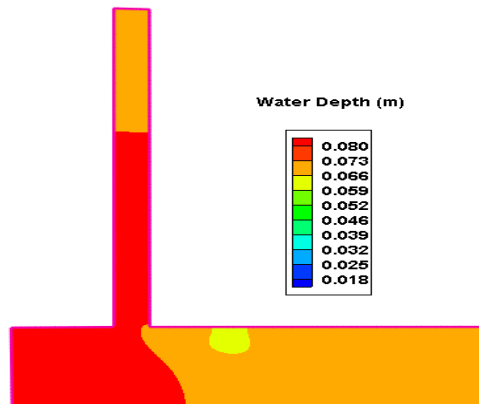
ب) نسبت دبی ۱:۳ (تقاطع اصلی)



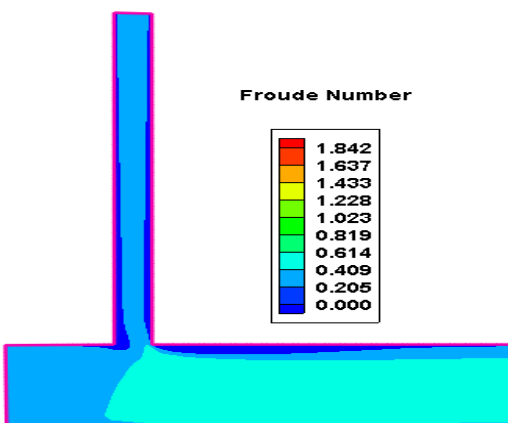
الف) نسبت دبی ۱:۳ (تقاطع اصلی)



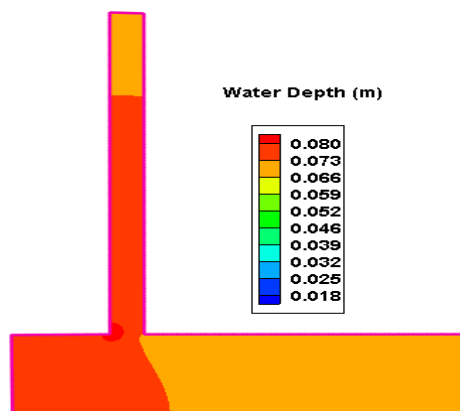
د) نسبت دبی ۲:۳



ج) نسبت دبی ۲:۳



ه) نسبت دبی ۱:۶



و) نسبت دبی ۱:۶

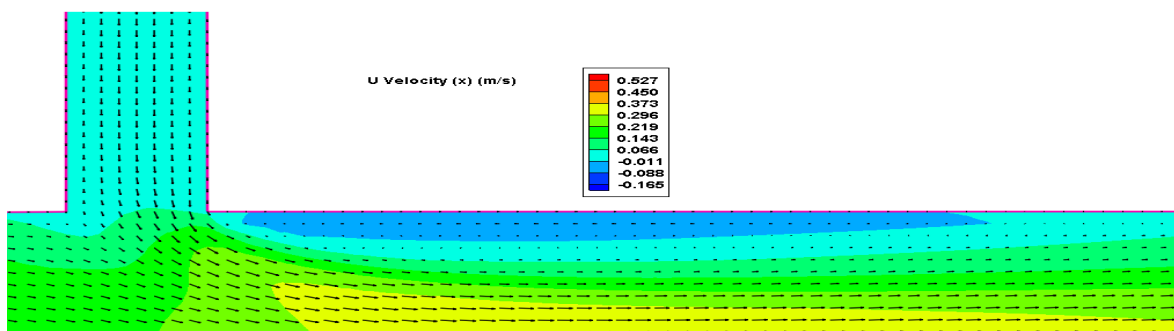
شکل (۵-۶): تغییرات عمق آب و عدد فرود جریان در پلان در حالت تغییر نسبت دبی

۵ - ۳ - ۲ - تاثیر تغییر نسبت دبی بر ناحیه ی جدا شدگی

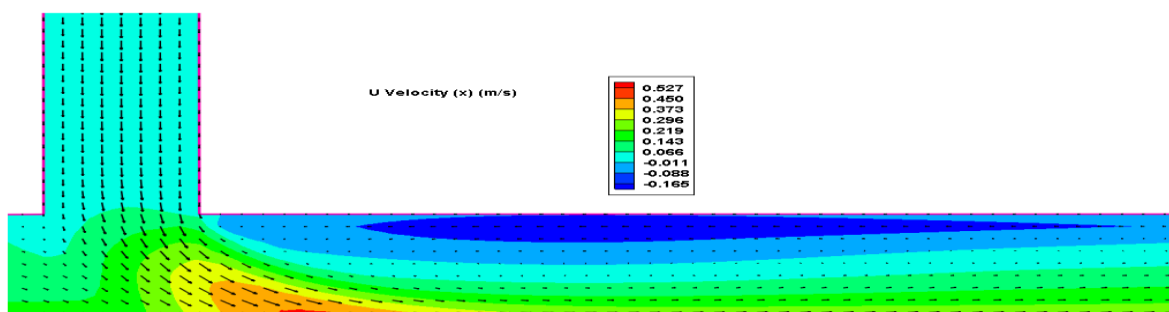
ناحیه ی جدا شدگی جریان منطقه ای است که در آن به دلیل تیز گوشه بودن انتهای سمت چپ کانال فرعی و ایجاد گردابه هایی در نزدیکی دیواره ی سمت چپ کانال اصلی و بلافاصله بعد از نقطه ی تلاقی، از مقدار سرعت کاسته شده و در مواقعی منفی (خلاف جهت جریان در کانال اصلی) می شود. با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ (افزایش دبی کانال فرعی) سرعت در ناحیه ی جدا شدگی کمتر شده و از حدود ۰/۰۸۸ تا ۰/۰۱۱ متر بر ثانیه در شکل (۵-۷-الف) به حدود ۰/۱۶۵ تا ۰/۰۸۸ متر بر ثانیه در شکل (۵-۷-ب) می رسد.

۷-ب) رسیده است (گردابه های تشکیل شده در کنار دیواره ی سمت چپ کانال اصلی زیاد بوده و سرعت را در این منطقه کم کرده است).

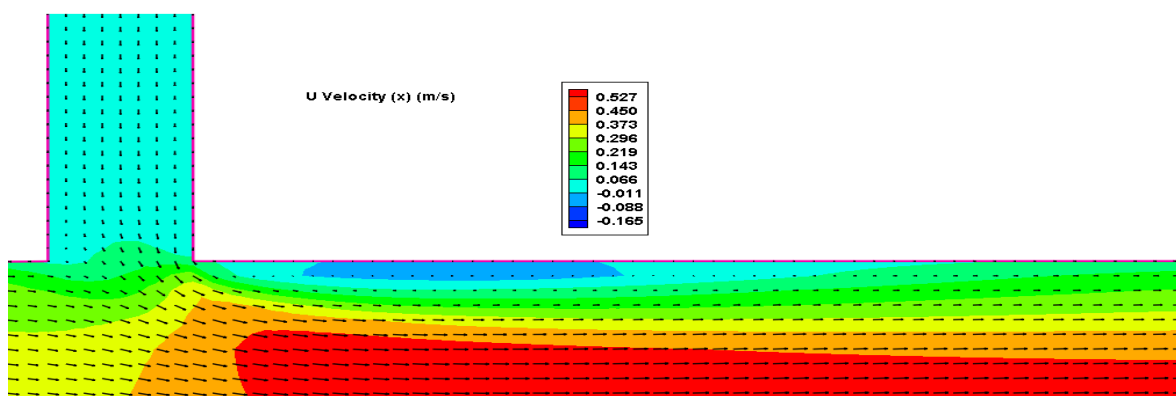
اما با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ (افزایش دبی کانال اصلی) و به دلیل زیاد شدن سرعت در کانال اصلی، با مقایسه ی اشکال (۵-۷-الف) و (۵-۷-ج) مقادیر سرعت در این ناحیه تغییری نکرده اما از طول این ناحیه کم شده است (بردارهای سرعت مثبت از چپ به راست افزایش یافته و از تعداد بردارهای خلاف جهت ایجاد شده در این ناحیه که از راست به چپ هستند کم کرده و در نتیجه طول ناحیه ی جدا شدگی کاسته شده است).



الف (نسبت دبی ۱:۳) تقاطع اصلی)



ب (نسبت دبی ۲:۳)



ج) نسبت دبی ۱:۶

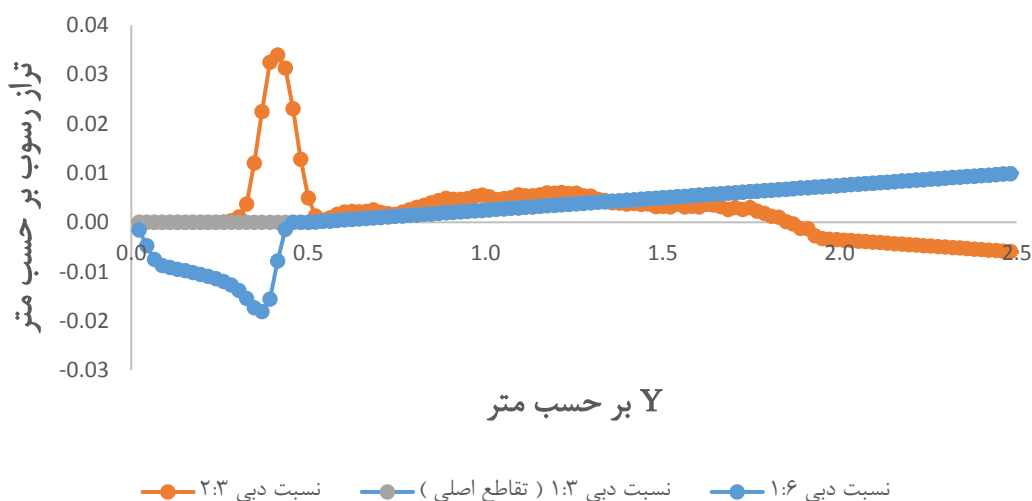
شکل (۷-۵): بردارهای سرعت در ناحیه ی جدا شدگی جریان در حالت تغییر نسبت دبی

۵ - ۳ - ۳ - بررسی اثر تغییر نسبت دبی بر رسوب

در این قسمت به بررسی تغییرات تراز رسوب می پردازیم. با توجه به اینکه نرم افزار تغییرات تراز رسوب ریخته شده در کف را می دهد، در اینجا ذکر این نکته ضروری است که منظور از تراز صفر سطح روی ۵ سانتی متر رسوب در کانال اصلی است و کف کانال به دلیل ضریب مانینگ بدست آمده که $0.14/0$ است پوشش بتنی با سیمان پرتلند است [۲۷].

شکل (۸-۵) تغییرات تراز رسوب را در $x = 0.5 \text{ m}$ (وسط کانال فرعی) نشان می دهد. با توجه به شکل (۸-۵) و با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ (افزایش دبی کانال اصلی) تغییری در تراز رسوب در کانال فرعی رخ نمی دهد اما با ورود به کانال اصلی تراز رسوب به دلیل افزایش دبی در این کانال کم شده و حتی به تراز $0.2/0$ متر رسیده است (یعنی از ۵ سانتیمتر رسوب اولیه که صفر را نشان می دهد به دلیل افزایش سرعت حدود ۲ سانتیمتر کنده شده است). با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ (افزایش دبی کانال فرعی) تراز رسوب در ابتدای کانال فرعی پایین آمده که ناشی از افزایش ناگهانی دبی و در نتیجه سرعت است که رسوبات را کنده و تراز را به منفی رسانده است اما در ادامه و در انتهای کانال فرعی رسوبات کنده شده به

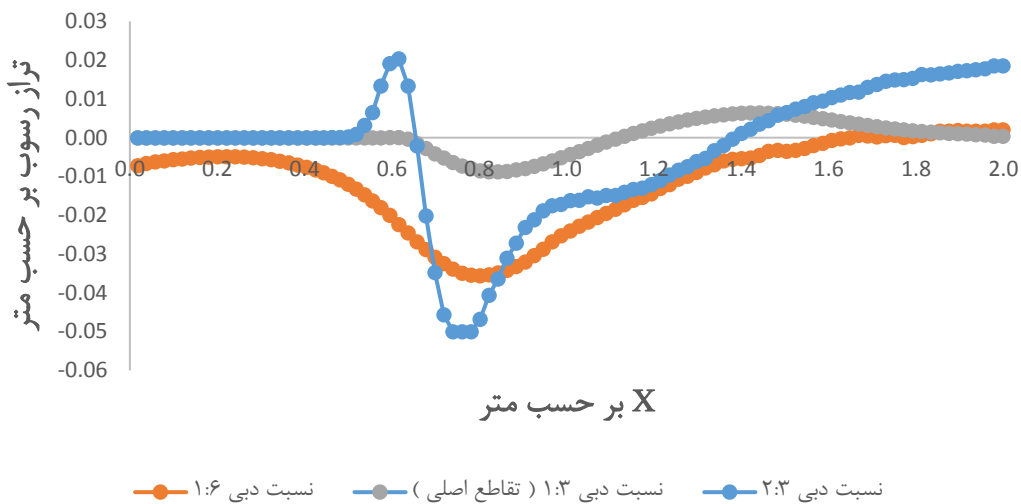
دلیل شیب دار بودن کانال (۰/۵ درصد) به این قسمت آورده شده و تراز را بالا برده اند. در ورودی کانال فرعی به اصلی شاهد قله ی رسوبگذاری هستیم که دلیل آن برخورد جریان ورودی از کانال فرعی به رسوبات موجود در دهانه ی ورودی به کانال اصلی (نقطه ی تقاطع) و همچنین رسوب آورده شده توسط جریان کانال اصلی از ابتدای این کانال و در نهایت برخورد رسوبات در نقطه ی تلاقی و تشکیل تپه ی رسوب گذاری است.



شکل (۸-۵): تراز رسوب در $x = 0/5 \text{ m}$ در حالت تغییر نسبت دبی

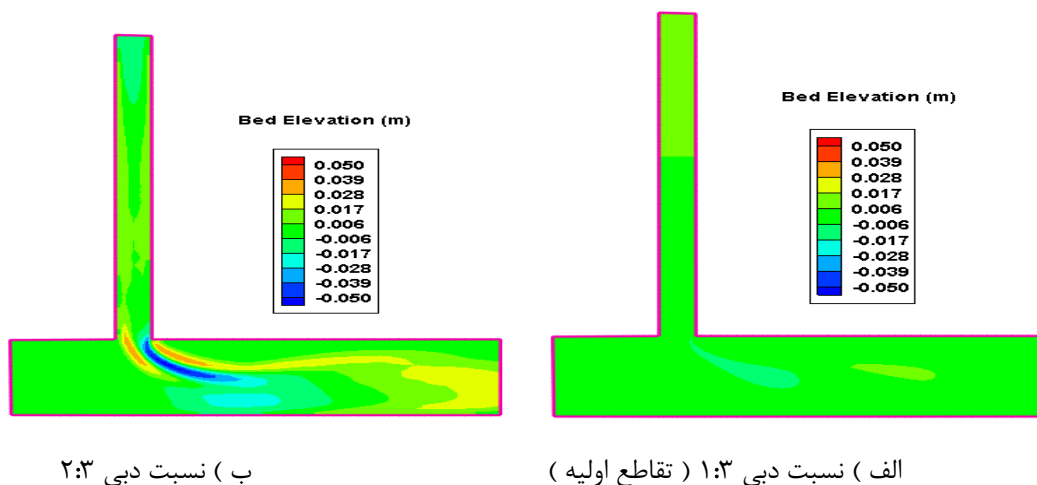
در شکل (۹-۵) تغییرات تراز رسوب در $y = 0/25 \text{ m}$ (وسط کانال اصلی) نشان داده شده است. با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ (افزایش دبی کانال فرعی) تا قبل از نقطه ی تلاقی تغییرات خاصی در تراز رسوب دیده نمی شود اما بعد از محدوده ی تلاقی و به دلیل سرعت بالای جریان ورودی از کانال فرعی و تلاقی آن با جریان اصلی، چاله ی فرسایشی ناشی از کنده شدن رسوبات تشکیل شده است. همچنین به دلیل سرعت بالای جریان ورودی از کانال فرعی رسوباتی که هنوز به محدوده ی چاله ی فرسایشی وارد نشده اند به دلیل مانع شدن این جریان پر سرعت تشکیل تپه ی رسوبگذاری را داده اند. در نهایت رسوبات کنده شده که باعث تشکیل چاله ی فرسایشی شده بودند به انتهای کانال جا به جا شده و افزایش رسوب را

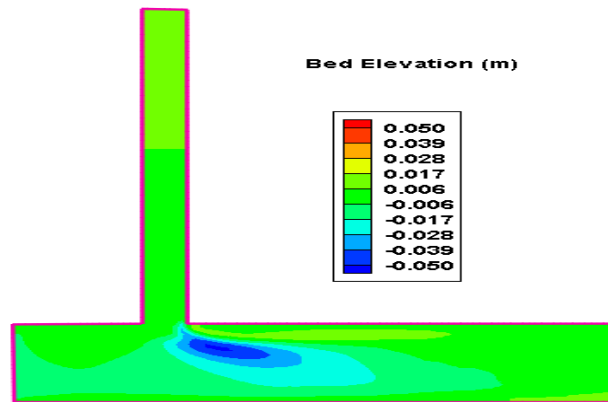
باعث شده اند. اما با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ (افزایش دبی کانال اصلی) تراز رسوبات در این کانال به طور کلی کم شده که دلیل آن سرعت بالای جریان در این کانال است.



شکل (۹-۵): تراز رسوب در $y = 0.25$ m در حالت تغییر نسبت دبی

شکل (۱۰-۵) تغییرات پروفیل بستر را در پلان نشان می دهد. همان طور که مشخص است با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ (افزایش دبی کانال فرعی) در شکل (۱۰-۵-ب) و در ابتدای کانال فرعی تراز پایین رفته و در حدود -0.006 متر تا -0.017 متر است (در شکل (۸-۵) و در ابتدای کانال فرعی واضح است).





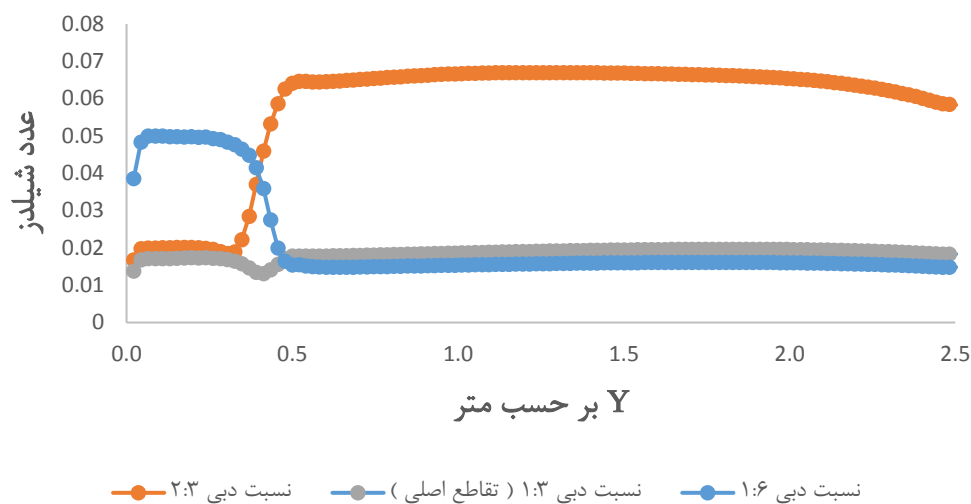
ج) نسبت دبی ۱:۶

شکل (۵-۱۰): تغییرات پروفیل بستر در پلان در حالت تغییر نسبت دبی

سپس با ورود جریان از کانال فرعی به کانال اصلی قله ی رسوبگذاری که در حدود ۰/۰۱۷ متر تا ۰/۰۲۸ متر مشاهده می شود. همچنین چاله ی فرسایشی نیز به عمق ۵ سانتیمتر (یعنی تمام رسوب اولیه ی ریخته شده کنده شده است) تقریباً در وسط کانال اصلی دیده می شود که در شکل (۵-۹) نیز قابل مشاهده است. در انتهای کانال اصلی نیز افزایش تراز رسوب در حدود ۰/۰۱۷ متر تا ۰/۰۲۸ متر نیز دیده می شود. با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ (افزایش دبی کانال اصلی) و با در نظر گرفتن شکل (۵-۱۰-ج) در قسمت های زیادی از کانال اصلی تراز رسوب به دلیل افزایش سرعت ناشی از زیاد شدن دبی، کاسته شده است. حتی بلافاصله بعد از تلاقی (نرسیده به وسط کانال اصلی) چاله ی فرسایشی نیز دیده می شود که دلیل آن برخورد دو جریان کانال های فرعی و اصلی و سرعت بالای جریان اصلی در این نقطه بوده که باعث کندن رسوبات شده است.

حال به بررسی تغییرات عدد شیلدز رسوب می پردازیم. به دلیل در دسترس نبودن مقادیر تنش برشی بستر (τ_b) به صورت کانتوری، به بررسی تغییرات آن در $x = 0.5 \text{ m}$ (وسط کانال فرعی)، $y = 0.48 \text{ m}$ (کناره ی دیواره ی سمت چپ کانال اصلی)، $y = 0.25 \text{ m}$ (وسط کانال اصلی) و $y = 0.02 \text{ m}$ (کناره ی دیواره ی سمت راست کانال اصلی) پرداخته می شود.

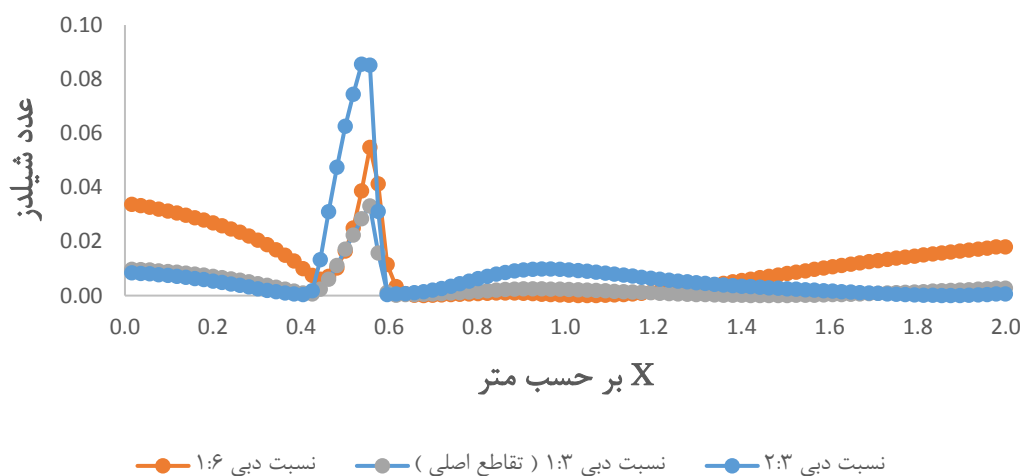
در شکل (۱۱-۵) تغییرات عدد شیلدز در $x = 0.5 \text{ m}$ (وسط کانال فرعی) نشان داده شده است. با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ (افزایش دبی کانال فرعی) و به دلیل افزایش سرعت در این کانال (اشکال ۵-۲) و (۳-۵) و رابطه‌ی مستقیم سرعت با تنش برشی بستر عدد شیلدز در طول کانال فرعی افزایش داشته است و با ورود جریان به کانال اصلی نیز این افزایش ادامه داشته است. با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ (افزایش دبی کانال اصلی) در طول کانال فرعی و با توجه به شکل (۲-۵) که سرعت اندکی کاهش داشته در نتیجه عدد شیلدز نیز کم شده است اما با ورود جریان از کانال فرعی به اصلی و به دلیل افزایش دبی در کانال اصلی سرعت افزایش یافته و با زیاد کردن تنش برشی بستر عدد شیلدز را نیز افزایش داده است.



شکل (۱۱-۵): تغییرات عدد شیلدز در $x = 0.5 \text{ m}$ در حالت تغییر نسبت دبی

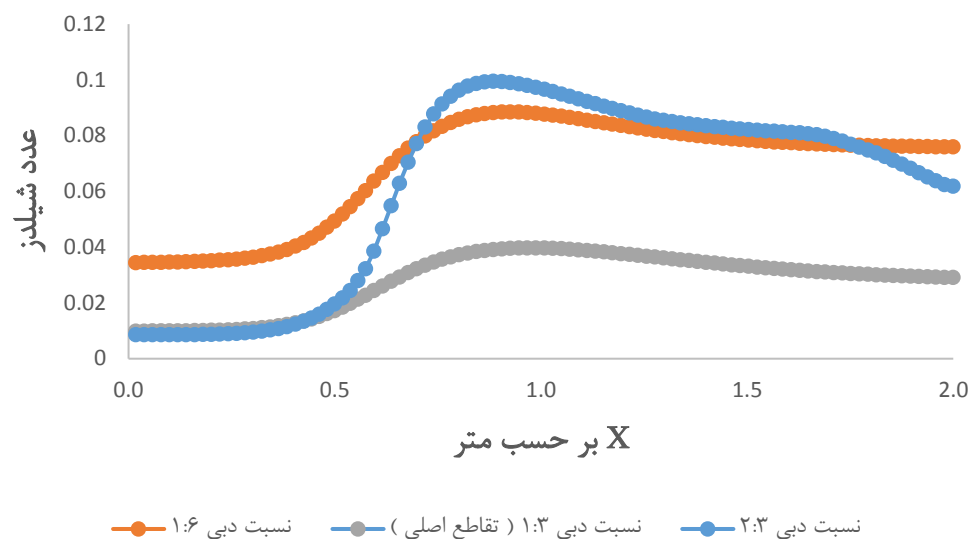
شکل (۱۲-۵) تغییرات عدد شیلدز را در $y = 0.48 \text{ m}$ نشان می‌دهد. با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ (افزایش دبی کانال اصلی) به دلیل زیاد شدن سرعت و تنش برشی بستر عدد شیلدز نیز افزایش یافته است. طبیعتاً ماکزیمم مقادیر آن نیز در محدوده‌ی تلاقی رخ داده است (ورود جریان از فرعی به اصلی و افزایش سرعت جریان در این قسمت). اما با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ (افزایش دبی کانال فرعی) در طول این موقعیت تغییرات خاصی در عدد شیلدز رخ نداده تنها در محدوده‌ی تلاقی به دلیل سرعت

بالای جریان وارد شده از کانال فرعی به اصلی عدد شیلدز ماکزیمم ترین حالت ممکن بین سه حالت شده است. شکل (۱۳-۵) تغییرات عدد شیلدز را در $y = 0.25 \text{ m}$ نشان می دهد. با کاهش نسبت دبی از ۱:۳ به ۱:۶ و به دلیل زیاد شدن دبی در کانال اصلی سرعت و متعاقب آن تنش برشی بستر نیز افزایش یافته اند که باعث زیاد شدن عدد شیلدز در این قسمت شده اند اما با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ و به دلیل افزایش دبی در کانال فرعی، جریان ورودی به کانال اصلی دارای سرعت زیادی بوده که بعد از تلاقی افزایش عدد شیلدز را باعث شده است (شکل (۴-۵) افزایش سرعت را نشان داده است).

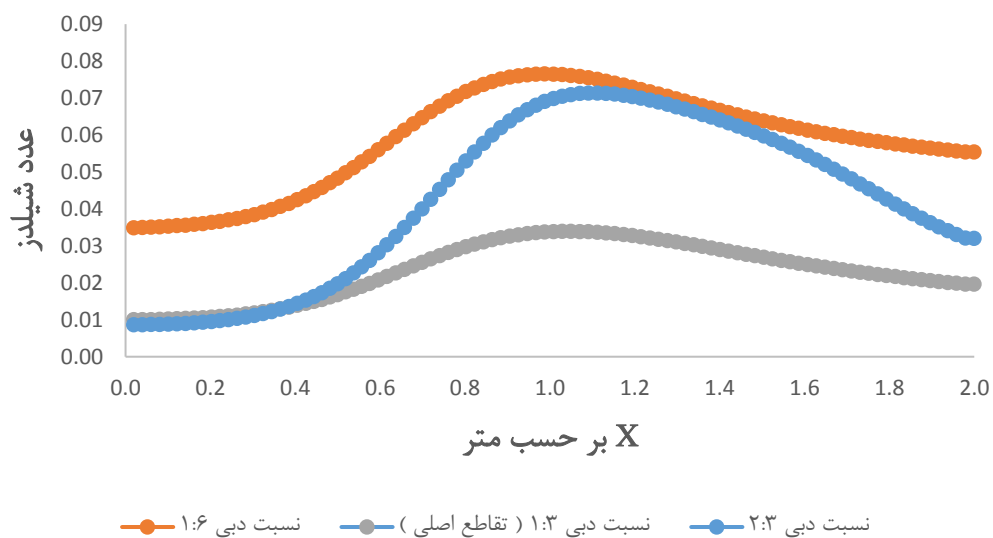


شکل (۱۲-۵) : تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.48 \text{ m}$ و در حالت تغییر نسبت دبی

شکل (۱۴-۵) تغییرات عدد شیلدز را $y = 0.2 \text{ m}$ نشان می دهد. در این شکل نیز با کاهش نسبت دبی از ۱/۳ به ۱/۶ به دلیل افزایش سرعت و تنش برشی بستر در کانال اصلی عدد شیلدز نیز زیاد شده است. با افزایش نسبت دبی از ۱:۳ به ۲:۳ نیز قبل تلاقی تغییرات خاصی دیده نمی شود اما بعد از تلاقی به دلیل ورود جریان با سرعت بالا از کانال فرعی، افزایش سرعت و تنش برشی بستر و عدد شیلدز را شاهد هستیم.



شکل (۱۳-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.25$ m و در حالت تغییر نسبت دبی



شکل (۱۴-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.2$ m در حالت تغییر نسبت دبی

با مقایسه ی سه شکل (۱۲-۵) و (۱۳-۵) و (۱۴-۵) می توان نتیجه گرفت که بیشترین مقدار عدد شیلدز در وسط کانال اصلی اتفاق می افتد.

۵ - ۴ - بررسی اثر تغییر نسبت عرض بر الگوی جریان و رسوب

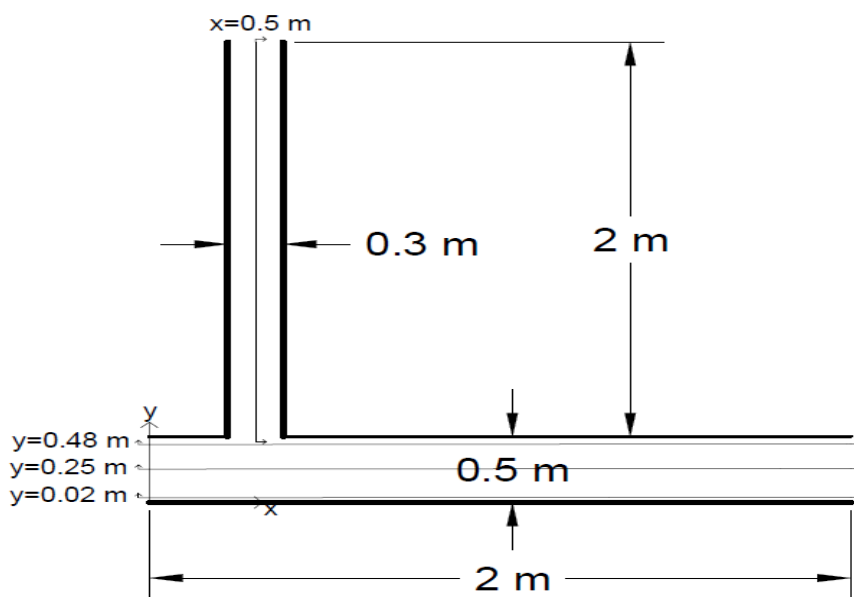
۵ - ۴ - ۱ - بررسی اثر تغییر نسبت عرض بر جریان

بعد از بررسی تاثیر تغییر نسبت دبی بر الگوی جریان و رسوب در تقاطع کانال ها، اکنون به بررسی تاثیر تغییر نسبت عرض کانال فرعی به اصلی $(\frac{B_t}{B_m})$ می پردازیم. مشخصات هیدرولیکی و هندسی تقاطع اصلی به شرح زیر است.

کانال اصلی به طول ۲ متر و عرض ۰/۵ متر و کانال فرعی به طول ۲ متر و عرض ۰/۱۵ متر است. جهت بررسی اثرات تغییر نسبت عرض کانال ها، ابتدا اقدام به شبیه سازی تقاطع اصلی و معرفی شرایط مرزی به آن شد. در این مدل دبی ورودی کانال فرعی ۰/۰۰۲ متر مکعب بر ثانیه و دبی ورودی کانال اصلی ۰/۰۰۶ متر مکعب بر ثانیه است. همچنین شرط مرزی خروجی در انتهای کانال اصلی سطح آب ۰/۰۷ متر و کانال فرعی دارای ۰/۵ درصد شیب است.

قطر ذرات رسوبی $d_{50} = 0.82$ میلیمتر و مدل آشفتگی مورد استفاده توسط نرم افزار، مدل دو معادله ای $k - \epsilon$ است. با توجه به قطر متوسط ذرات و با استفاده از فرمول ساپرامانیا ضریب مانینگ مقدار ۰/۰۱۴ برآورد شده و به نرم افزار معرفی گردیده است. قبل از اجرای برنامه ی رسوب، کف کانال ها به اندازه ی ۵ سانتیمتر رسوب با همان D_{50} مذکور ریخته شده و برنامه بار بستر و بار معلق را توامان شبیه سازی کرده است. لازم به ذکر است که اندازه ی مش ها $0.2 \text{ m} * 0.2 \text{ m}$ است (تجربه نشان داده که کوچکتر کردن اندازه ی مش ها در جواب های نهایی تاثیر بسزایی نداشته و تنها زمان اجرای برنامه را زیاد می کند). این تقاطع کانال ها، تقاطع اصلی نامیده می شود و در مابقی این قسمت هر نوع تغییری نسبت به این تقاطع سنجیده می گردد.

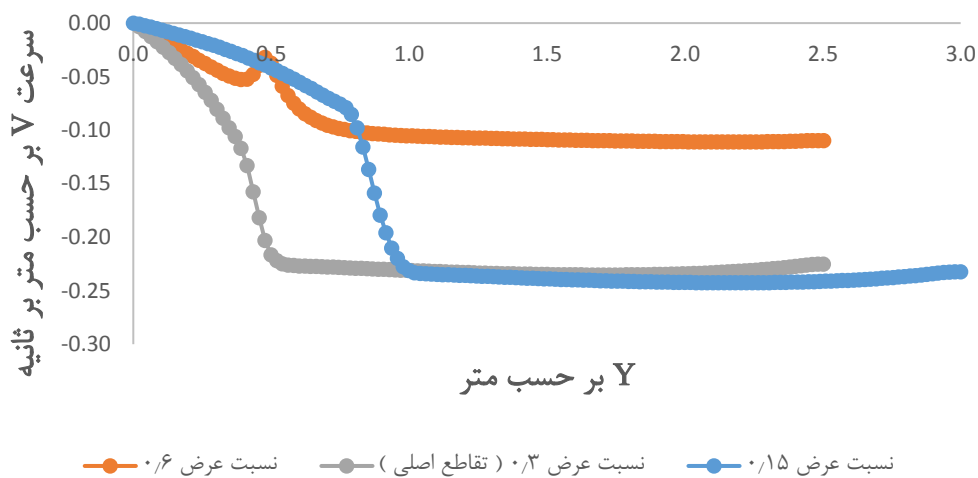
ابتدا به بررسی سرعت V در کانال فرعی و در موقعیت $x = 0.5 \text{ m}$ می پردازیم (شکل (۵-۱۵)). با توجه به عرض کانال فرعی و اصلی (به ترتیب 0.15 و 0.5 متر) که نسبت دبی $(\frac{B_t}{B_m})$ را به دست می دهد، جهت بررسی تغییرات نسبت عرض، این نسبت به دو برابر افزایش یافته (عرض کانال فرعی دو برابر شده و به 0.3 متر تغییر پیدا کرده اما عرض کانال اصلی ثابت و 0.5 متر است) و 0.6 شده است.



شکل (۵-۱۵): موقعیت های مورد مطالعه در حالت تغییر عرض کانال فرعی

شکل (۵-۱۶) تغییرات سرعت V را در موقعیت $x = 0.5 \text{ m}$ نشان می دهد. با افزایش نسبت عرض از 0.3 به 0.6 (افزایش عرض کانال فرعی) و زیاد شدن سطح مقطع (دبی ثابت) سرعت در این کانال کاهش پیدا کرده است. حتی در ورودی کانال فرعی به اصلی نیز سرعت ناگهان کم شده که به دلیل زیاد شدن عرض کانال فرعی در انتهای آن است. با کاهش نسبت دبی از 0.3 به 0.15 (افزایش عرض کانال اصلی) عرض کانال اصلی دو برابر شده و در محدوده $0 < y < 1 \text{ m}$ قرار گرفته است در نتیجه از $y = 1 \text{ m}$ جریان از کانال فرعی وارد کانال اصلی شده و سرعت V کاهش پیدا کرده است. در کانال فرعی (به طول 2 متر) نیز سرعت تغییرات چندانی نداشته است.

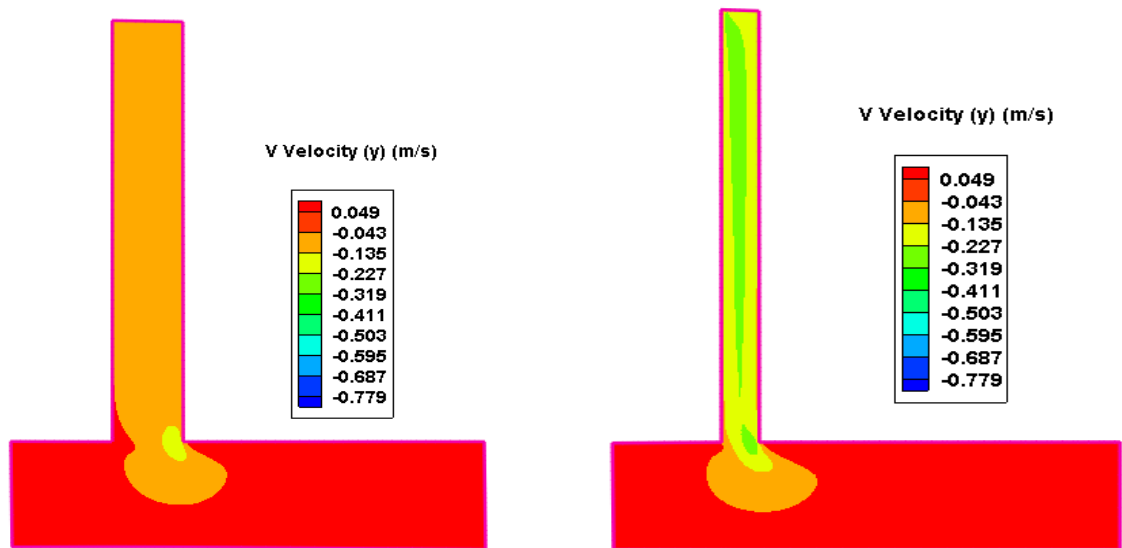
در شکل (۱۷-۵) نیز تغییرات سرعت V در پلان نشان داده شده است. با افزایش نسبت عرض از 0.3 به 0.6 و با دوبرابر شدن عرض کانال فرعی و افزایش سطح مقطع، سرعت که در شکل (۱۷-۵ الف) در حدود 0.227 متر بر ثانیه تا 0.319 متر بر ثانیه است در شکل (۱۷-۵ ب) کمتر شده و به حدود 0.043 متر بر ثانیه تا 0.135 متر بر ثانیه رسیده است (علامت منفی سرعت به دلیل منفی بودن جهت آن و رو به پایین است).



شکل (۱۶-۵): تغییرات سرعت V در $x = 0.5$ m و در حالت تغییر نسبت عرض

حال به بررسی تغییرات سرعت U می پردازیم. جهت بررسی تاثیر تغییر نسبت عرض بر سرعت در کانال اصلی، با توجه به عرض کانال فرعی و اصلی (به ترتیب 0.15 و 0.5 متر) که نسبت دبی $(\frac{B_t}{B_m})$ 0.3 را به دست می دهد، این نسبت نصف شده (عرض کانال اصلی دو برابر شده و به 1 متر تغییر پیدا کرده اما عرض کانال فرعی ثابت و 0.15 متر است) و 0.15 شده است.

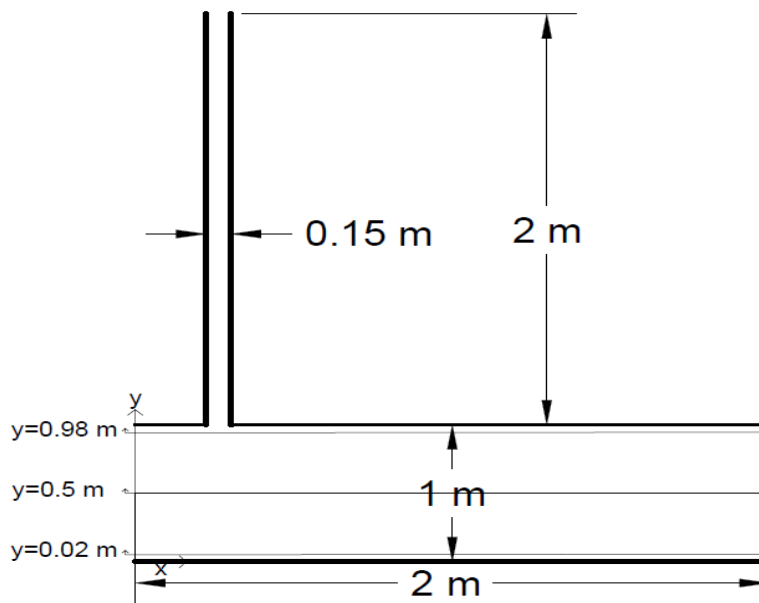
شکل (۱۸-۵) موقعیت های مورد مطالعه در این قسمت را نشان می دهد.



ب (نسبت عرض ۰/۶)

الف (نسبت عرض ۰/۳ (تقاطع اصلی))

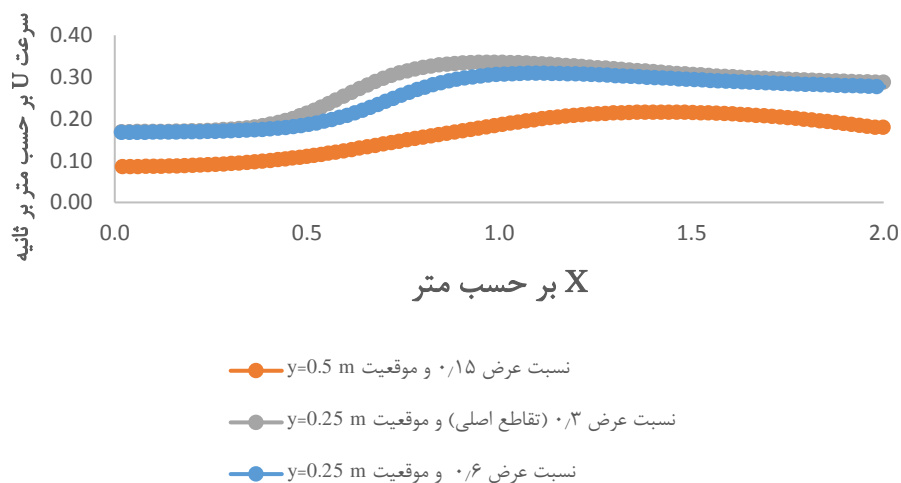
شکل (۱۷-۵): تغییرات V در پلان در حالت تغییر نسبت عرض



شکل (۱۸-۵): موقعیت های مورد مطالعه در حالت تغییر عرض کانال اصلی

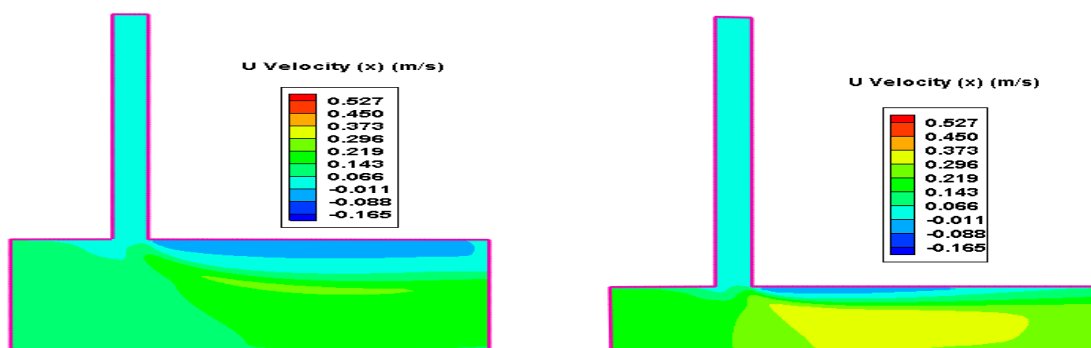
شکل (۱۹-۵) تغییرات سرعت U را در وسط کانال اصلی نشان می دهد. طبیعی است که این موقعیت برای حالت عرض کانال اصلی ۰/۵ متر، $y = ۰/۲۵$ m است (رجوع شود به شکل (۱-۵)) و برای حالت عرض کانال اصلی ۱ متر، $y = ۰/۵$ m است (رجوع شود به شکل (۱۸-۵)). با توجه به شکل (۱۹-۵) با کاهش

نسبت عرض کانال ها از 0.3 به 0.15 (دو برابر شدن عرض کانال اصلی) به دلیل زیاد شدن سطح مقطع (دبی ثابت) از مقدار سرعت در طول کانال کاسته شده است. با افزایش نسبت عرض نیز تغییر چندانی در سرعت U دیده نشده است.



شکل (۵-۱۹): تغییرات سرعت U در وسط کانال اصلی

شکل (۵-۲۰) تغییرات سرعت U را در پلان نشان می دهد. با کاهش نسبت عرض از 0.3 به 0.15 (افزایش عرض کانال اصلی) سرعت کم شده و در ابتدای کانال از حدود 0.143 متر بر ثانیه تا 0.219 متر بر ثانیه در شکل (۵-۲۰-الف) به حدود 0.066 متر بر ثانیه تا 0.143 متر بر ثانیه در شکل (۵-۲۰-ب) رسیده است.

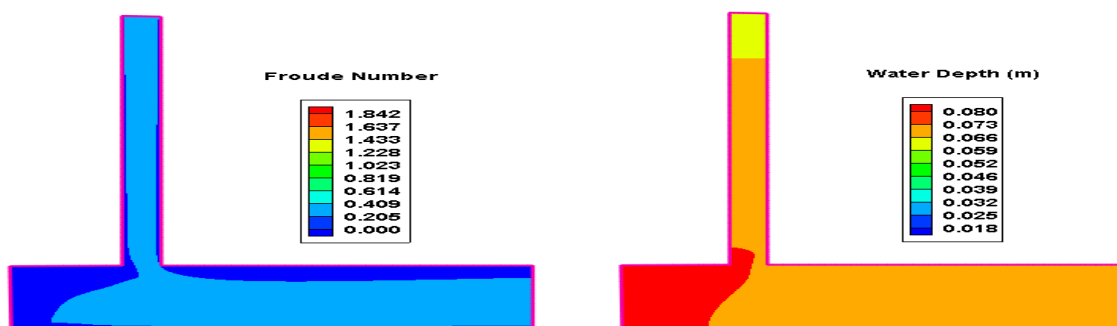


ب (نسبت عرض 0.15)

الف (نسبت عرض 0.3) (تقاطع اصلی)

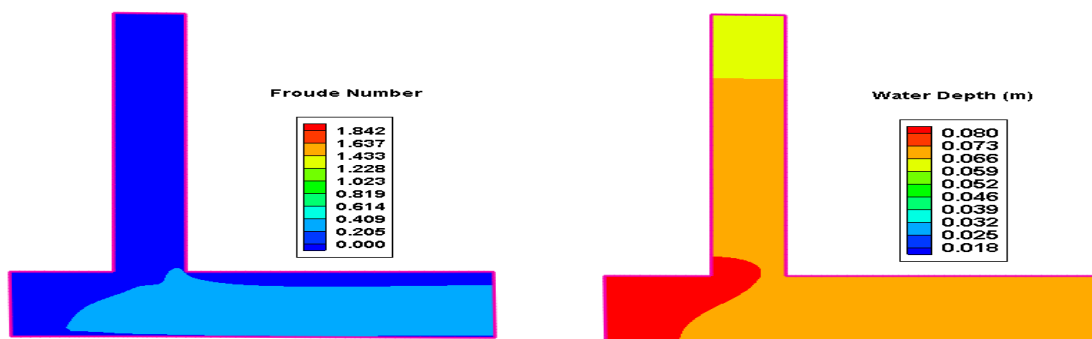
شکل (۵-۲۰): تغییرات سرعت U در پلان در حالت تغییر نسبت عرض

شکل (۵-۲۱) تغییرات عدد فرود جریان و عمق آب را در پلان نشان می دهد. با افزایش نسبت عرض از ۰/۳ به ۰/۶ (افزایش عرض کانال فرعی) و با توجه به تغییرات نه چندان زیاد عمق آب، و با توجه به فرمول عدد فرود جریان ($fr = \frac{v}{\sqrt{gy}}$) و با توجه به کم شدن سرعت در این کانال، عدد فرود نیز کم شده است.



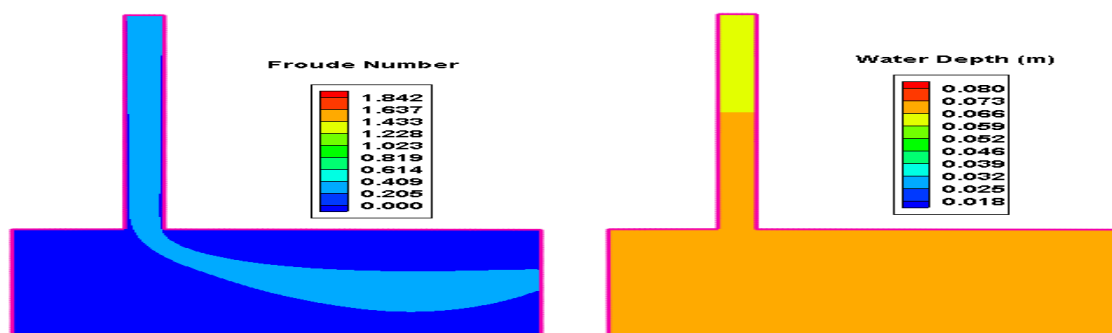
ب) نسبت عرض ۰/۳ (تقاطع اصلی)

الف) نسبت عرض ۰/۳ (تقاطع اصلی)



د) نسبت عرض ۰/۶

ج) نسبت عرض ۰/۶



ه) نسبت عرض ۰/۱۵

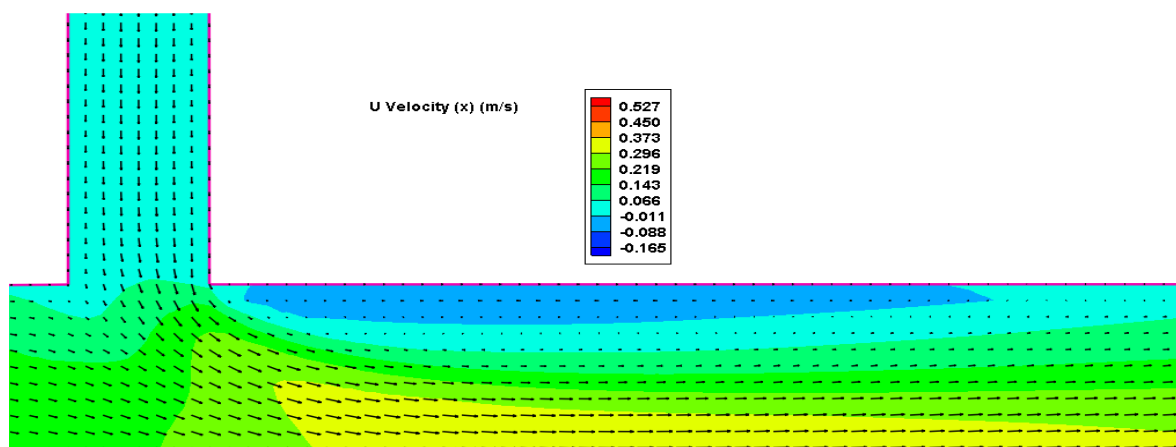
و) نسبت عرض ۰/۱۵

شکل (۵-۲۱): تغییرات عمق آب و عدد فرود جریان در پلان در حالت تغییر نسبت عرض

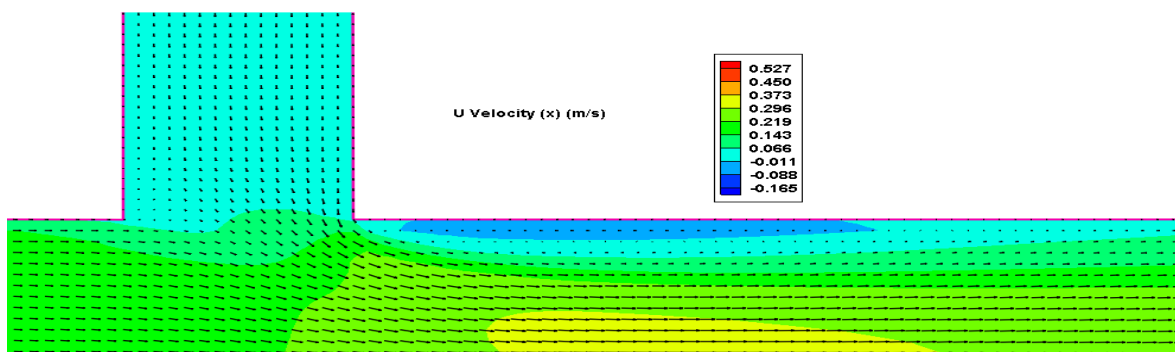
همان طور که مشخص است عدد فرود جریان در شکل (۵-۲۱-ب) که در حدود ۰/۲۰۵ تا ۰/۴۰۹ قرار داشته در شکل (۵-۲۱-د) به حدود ۰/۲۰۵ و کمتر از آن رسیده است. با کاهش نسبت عرض از ۰/۳ به ۰/۱۵ (افزایش عرض کانال اصلی) و کم شدن سرعت در این کانال (شکل (۵-۱۹) و (۵-۲۰)) و تغییرات نه چندان زیاد عمق آب، عدد فرود جریان در شکل (۵-۲۱-ه) به طور کلی کم شده است (تنها به دلیل ورود جریان از کانال فرعی عدد فرود در نقاط بعد از تلاقی و در وسط کانال اصلی افزایش داشته است).

۵ - ۴ - ۲ - تاثیر تغییر نسبت عرض بر ناحیه ی جدا شدگی

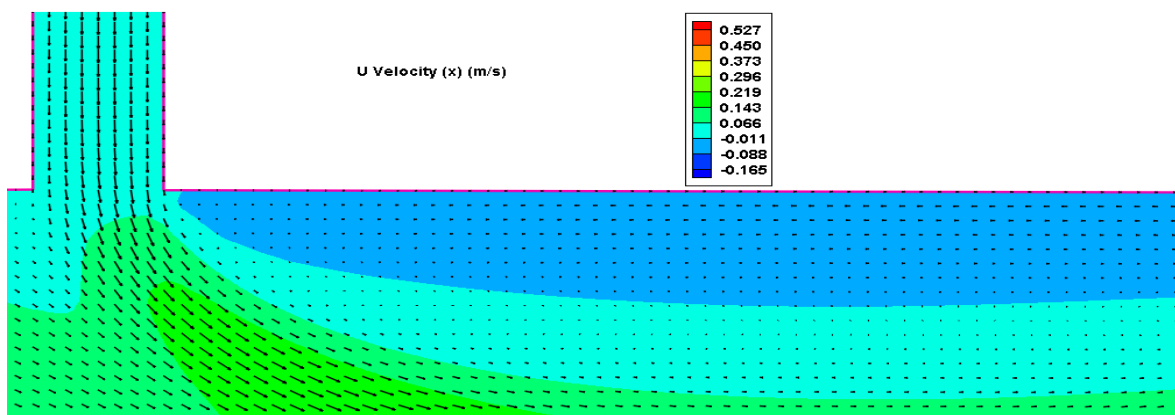
شکل (۵-۲۲) بردارهای سرعت ناحیه ی جداشدگی جریان را در حالت تغییر نسبت عرض نشان می دهد. با افزایش نسبت عرض از ۰/۳ به ۰/۶ (افزایش عرض کانال فرعی) سرعت در کانال فرعی کم شده و سرعت جریان در کانال اصلی بر این سرعت کم غلبه کرده و از طول ناحیه ی جدا شدگی کاسته است. با کاهش نسبت دبی از ۰/۳ به ۰/۱۵ (افزایش عرض کانال اصلی) و کم شدن سرعت جریان در این کانال، طول ناحیه ی جدا شدگی بیشتر شده است.



الف) نسبت عرض ۰/۳ (تقاطع اصلی)



ب) نسبت عرض ۰/۶



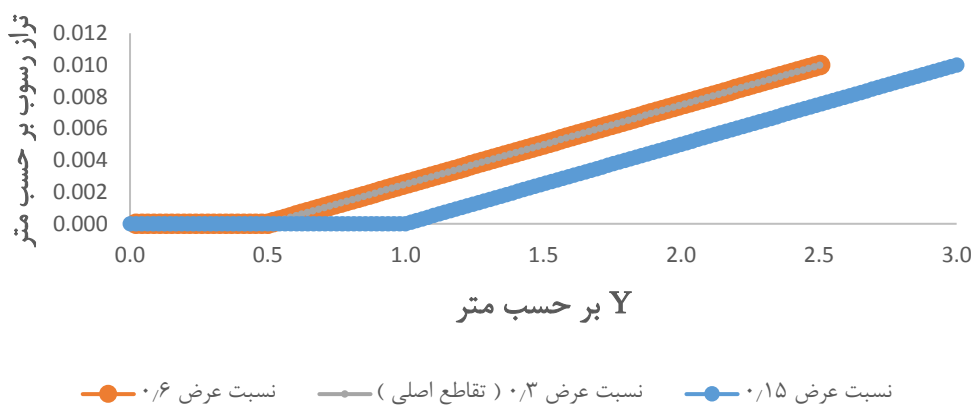
ج) نسبت عرض ۰/۱۵

شکل (۵-۲۲): بردارهای سرعت ناحیه ی جداشدگی جریان در حالت تغییر نسبت عرض

۵ - ۴ - ۳ - بررسی اثر تغییر نسبت عرض بر رسوب

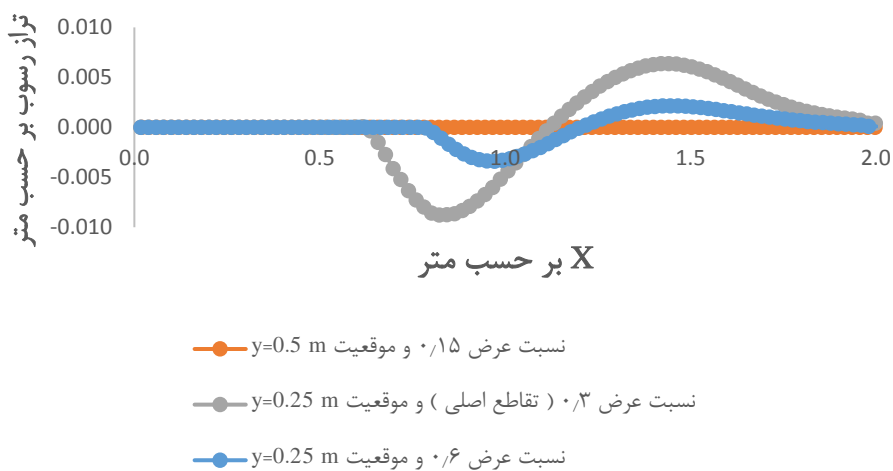
در این قسمت به بررسی تغییرات تراز رسوب می پردازیم. با توجه به اینکه نرم افزار تغییرات تراز رسوب ریخته شده در کف را می دهد، در اینجا ذکر این نکته ضروری است که منظور از تراز صفر سطح روی ۵ سانتی متر رسوب در کانال اصلی است. شکل (۵-۲۳) تغییرات تراز رسوب را در $x = 0.5 \text{ m}$ نشان می دهد. همان طور که در شکل مشخص است با افزایش نسبت عرض از ۰/۳ به ۰/۶ (افزایش عرض کانال فرعی) با وجود کم شدن سرعت در این کانال (اشکال (۵-۱۶) و (۵-۱۷)) تغییری در تراز رسوب پیش

نیامده است در واقع جریان قدرت تغییری در تراز رسوب را نداشته (به دلیل سرعت کم) و تراز رسوب دست نخورده باقی مانده است. با کاهش نسبت عرض، عرض کانال اصلی دو برابر شده و در محدوده $0 < y < 1\text{ m}$ قرار گرفته است در نتیجه از $y = 1\text{ m}$ جریان از کانال فرعی وارد کانال اصلی شده است.



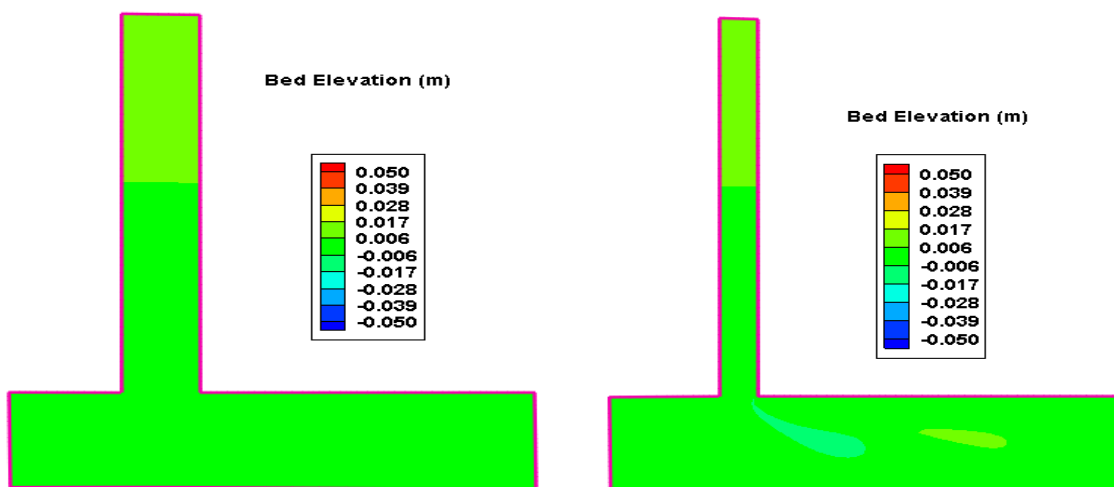
شکل (۲۳-۵): تغییرات تراز رسوب در $x = 0.5\text{ m}$ و در حالت تغییر نسبت عرض

شکل (۲۴-۵) تغییرات تراز بستر را در وسط کانال اصلی نشان می دهد. طبیعی است این موقعیت برای حالت عرض کانال اصلی 0.5 m متر، $y = 0.25\text{ m}$ (رجوع شود به شکل (۱-۵)) و برای حالت عرض کانال اصلی 1 m متر، $y = 0.5\text{ m}$ (رجوع شود به شکل (۱۸-۵)) است.



شکل (۲۴-۵): تغییرات تراز رسوب در وسط کانال اصلی و در حالت تغییر نسبت عرض

با توجه به شکل (۵-۲۴) و با کاهش نسبت عرض از ۰/۳ به ۰/۱۵ (افزایش عرض کانال اصلی) سرعت در این کانال کم شده (اشکال (۵-۱۹) و (۵-۲۰)) و جریان ورودی از کانال فرعی که در حالت نسبت عرض ۰/۳ چاله ی فرسایشی کم عمقی را تشکیل داده، به دلیل سرعت کم جریان در کانال اصلی قادر به تغییر خاصی در تراز رسوب نشده است (تراز رسوب صفر شده و این یعنی ۵ سانتیمتر رسوب اولیه دست نخورده باقی مانده است). با افزایش نسبت عرض از ۰/۳ به ۰/۶ (افزایش عرض کانال فرعی) و کم بودن سرعت ورودی از این کانال به کانال اصلی، عمق چاله ی فرسایشی و ارتفاع تپه ی رسوب گذاری کمتر شده است. شکل (۵-۲۵) نیز بدون تغییر ماندن تراز رسوب را در حالت های مختلف نشان می دهد. البته می توان به دلایل این تغییرات نه چندان محسوس، دبی های ورودی به کانال های فرعی و اصلی را نیز اضافه کرد (دبی ورودی به کانال فرعی ۰/۰۰۲ متر مکعب بر ثانیه و دبی ورودی به کانال اصلی ۰/۰۰۶ متر مکعب بر ثانیه). پیش بینی می شود با تغییر در دبی ها و افزایش یا کاهش آن ها تغییرات بیشتری در تراز رسوب بستر مشاهده شود.



ب (نسبت عرض ۰/۶)

الف (نسبت عرض ۰/۳) (تقاطع اولیه)



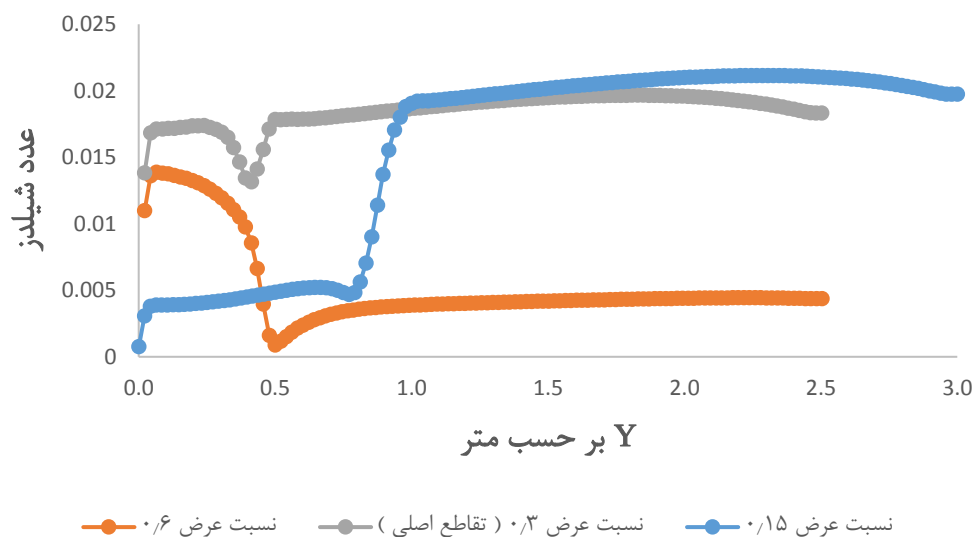
ج) نسبت عرض ۰/۱۵

شکل (۵-۲۵): تغییرات پروفیل بستر در پلان در حالت تغییر نسبت عرض

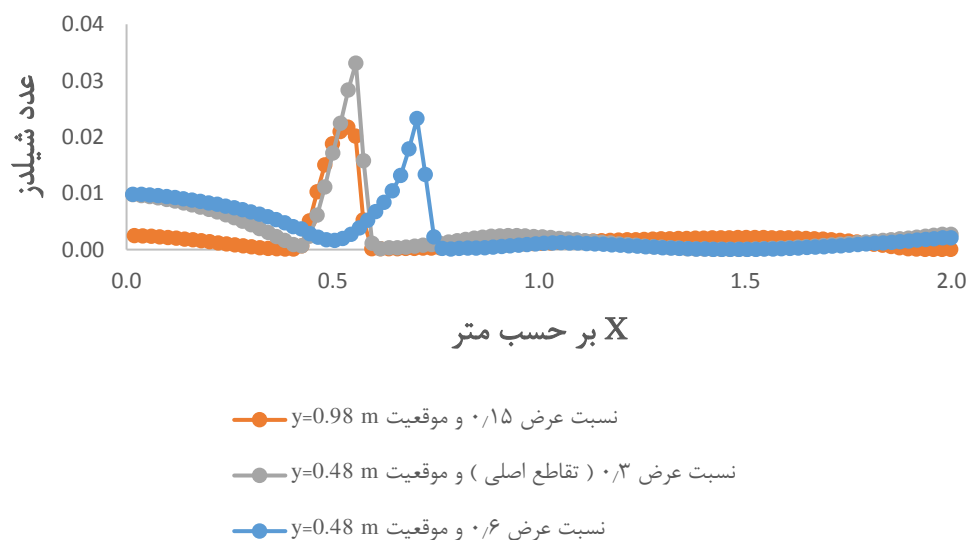
حال به بررسی تغییرات عدد شیلدز رسوب می پردازیم.

شکل (۵-۲۶) تغییرات عدد شیلدز را در $x = 0.5 \text{ m}$ نشان می دهد. با افزایش نسبت عرض (افزایش عرض کانال فرعی) و کم شدن سرعت در این کانال (اشکال (۵-۱۶) و (۵-۱۷)) و در نتیجه کم شدن تنش برشی بستر، عدد شیلدز نیز کم شده است. این کم شدن در دهانه ی ورودی به کانال اصلی از همه جا بیشتر است (غلبه سرعت جریان کانال اصلی U بر سرعت جریان در کانال فرعی V). سپس در کانال اصلی نیز افزایش سرعت و در نتیجه افزایش تنش برشی بستر و عدد شیلدز را شاهد هستیم. با کاهش نسبت عرض از 0.3 به 0.15 (افزایش عرض کانال اصلی) سرعت در کانال فرعی تغییر خاصی نکرده ($1 \text{ m} < y < 2 \text{ m}$) اما از $y = 1 \text{ m}$ و با ورود جریان از کانال فرعی به اصلی و به دلیل کاهش سرعت ناشی از افزایش عرض در این کانال، عدد شیلدز نیز کم شده است. شکل (۵-۲۷) تغییرات عدد شیلدز را در کناره ی دیواره ی سمت چپ کانال اصلی نشان می دهد. طبیعی است که این موقعیت برای حالت عرض کانال اصلی 0.5 متر، $y = 0.48 \text{ m}$ است (رجوع شود به شکل (۵-۱)) و برای حالت عرض کانال اصلی 1 متر، 0.98 m است (رجوع شود به شکل (۵-۱۸)). با کاهش نسبت عرض از 0.3 به 0.15 (افزایش عرض کانال

اصلی) و کم شدن سرعت در این کانال (شکل (۵-۲۰)) تنش برشی بستر نیز کم شده و در نتیجه عدد شیلدز در قسمت های قبل تلاقی و در محل تلاقی کاهش یافته است اما بعد از تلاقی به دلیل کم بودن سرعت جریان (نواحی جدا شدگی و بعد از آن) تغییرات کمی در عدد شیلدز دیده می شود.

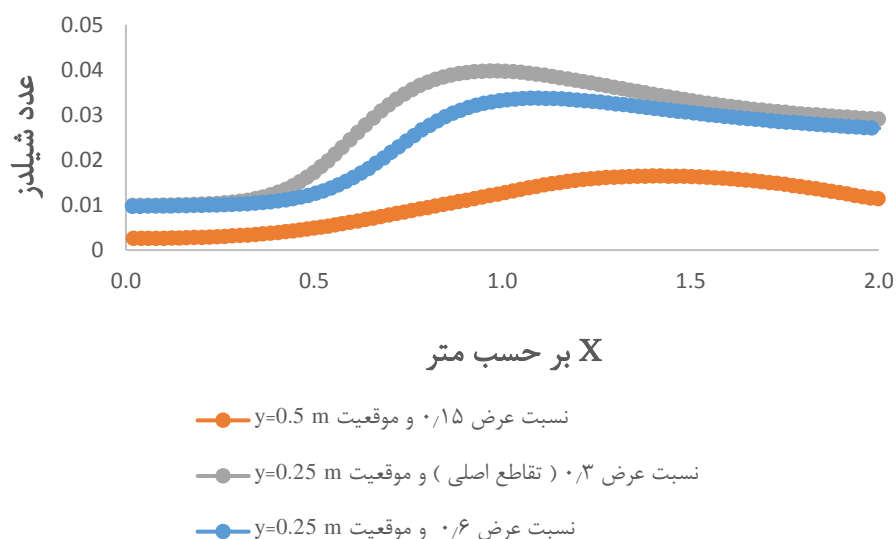


شکل (۵-۲۶): تغییرات عدد شیلدز در $x = 0.5$ m و در حالت تغییر نسبت عرض



شکل (۵-۲۷): تغییرات عدد شیلدز در کناره ی سمت چپ کانال اصلی و در حالت تغییر عرض

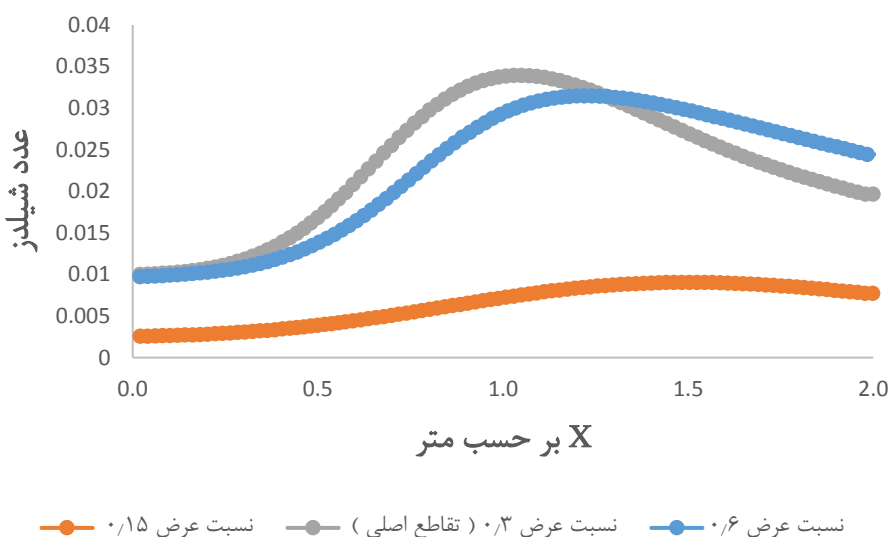
با افزایش نسبت عرض از 0.3 به 0.6 (افزایش عرض کانال فرعی) و کم شدن سرعت ورودی از کانال فرعی به اصلی، عدد شیلدز هم در نقطه ی تلاقی کاهش یافته است (البته به دلیل تغییر در عرض کانال فرعی افزایش عدد شیلدز ناشی از ورود جریان کانال فرعی به اصلی کمی به سمت راست جا به جا شده است). شکل (۲۸-۵) تغییرات عدد شیلدز را در وسط کانال اصلی نشان می دهد. طبیعی است که این موقعیت برای حالت عرض کانال اصلی 0.5 متر، $y = 0.25$ m است (رجوع شود به شکل (۱-۵)) و برای حالت



شکل (۲۸-۵): تغییرات عدد شیلدز در وسط کانال اصلی و در حالت تغییر عرض

عرض کانال اصلی 1 متر، $y = 0.5$ m است (رجوع شود به شکل (۱۸-۵)). با کاهش نسبت عرض از 0.3 به 0.15 (افزایش عرض کانال اصلی) سرعت در کانال اصلی کم شده (شکل (۱۹-۵)) و متعاقباً تنش برشی بستر و عدد شیلدز نیز کاهش یافته است. با افزایش نسبت عرض از 0.3 به 0.6 (افزایش عرض کانال فرعی) نیز به دلیل کم بودن سرعت ورودی کانال فرعی به اصلی در نقاط بعد از تلاقی کاهش عدد شیلدز را شاهد هستیم.

شکل (۲۹-۵) تغییرات عدد شیلدز را در $x = 0.02 \text{ m}$ نشان می دهد (کناره ی دیواره ی سمت راست کانال اصلی). با کاهش نسبت عرض از 0.3 به 0.15 (افزایش عرض کانال اصلی) سرعت در این کانال کم شده و در نتیجه تنش برشی بستر و عدد شیلدز نیز کاسته شده است. با افزایش نسبت عرض از 0.3 به 0.6 (افزایش عرض کانال فرعی) و کم بودن سرعت وارد شده از کانال فرعی به اصلی، در نقاط بعد از تلاقی عدد شیلدز کاهش یافته است. با مقایسه ی اشکال (۲۷-۵) و (۲۸-۵) و (۲۹-۵) می توان نتیجه گرفت ماکزیمم حالت عدد شیلدز در وسط کانال اصلی رخ می دهد.



شکل (۲۹-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.02 \text{ m}$ و در حالت تغییر عرض

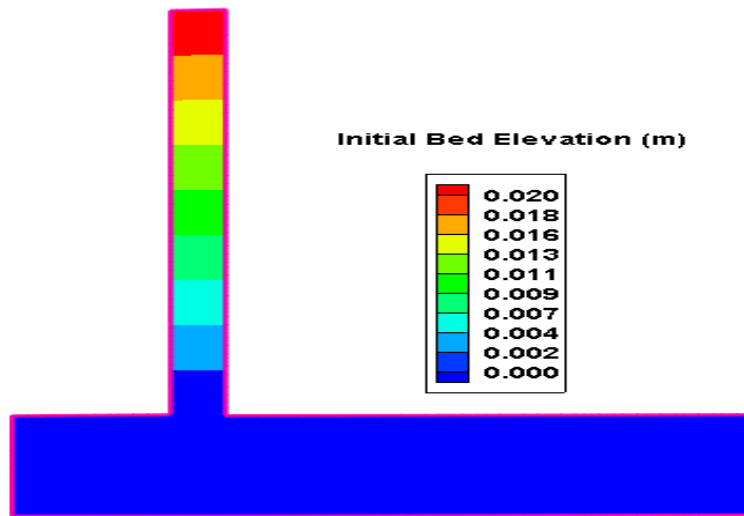
۵ - ۵ - بررسی تاثیر تغییر شیب بر الگوی جریان و رسوب

۵ - ۵ - ۱ - بررسی تاثیر تغییر شیب بر جریان

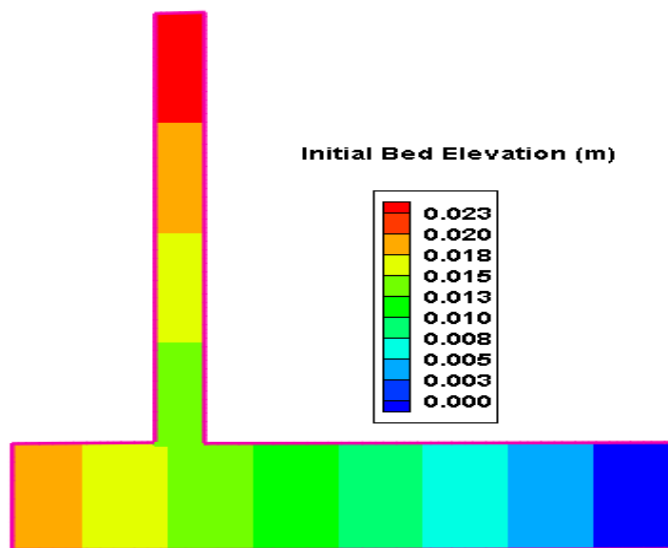
در این بخش به بررسی تاثیر تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی بر الگوی جریان و رسوب می پردازیم. شرایط تقاطع اصلی به این شرح است. کانال اصلی به طول ۲ متر و عرض 0.5 متر و کانال فرعی به طول ۲ متر و عرض 0.15 متر است. جهت بررسی اثرات تغییر شیب شاخه های فرعی و اصلی، ابتدا اقدام به

شبهه سازی تقاطع اصلی و معرفی شرایط مرزی به آن شد. در این مدل دبی ورودی کانال فرعی 0.002 متر مکعب بر ثانیه و دبی ورودی کانال اصلی 0.006 متر مکعب بر ثانیه است. همچنین شرط مرزی خروجی در انتهای کانال اصلی سطح آب 0.07 متر و کانال فرعی دارای 0.5 درصد شیب است.

قطر ذرات رسوبی $d_{50} = 0.82$ میلیمتر و مدل آشفتگی مورد استفاده توسط نرم افزار، مدل دو معادله ای $k - \epsilon$ است. با توجه به قطر متوسط ذرات و با استفاده از فرمول سابرامانیا ضریب مانینگ مقدار 0.14 برآورد شده و به نرم افزار معرفی گردیده است. قبل از اجرای برنامه ی رسوب، کف کانال ها به اندازه ی 5 سانتیمتر رسوب با همان D_{50} مذکور ریخته شده و برنامه بار بستر و بار معلق را توامان شبهه سازی کرده است. لازم به ذکر است که اندازه ی مش ها $0.2 \text{ m} * 0.2 \text{ m}$ است (تجربه نشان داده که کوچکتر کردن اندازه ی مش ها در جواب های نهایی تاثیر بسزایی نداشته و تنها زمان اجرای برنامه را زیاد می کند). این تقاطع کانال ها، تقاطع اصلی نامیده می شود و در مابقی این قسمت هر نوع تغییری نسبت به این تقاطع سنجیده می گردد. لازم به ذکر است تلاقی در تقاطع اصلی در محدوده ی $0.575 \text{ m} < x < 0.425 \text{ m}$ است. جهت بررسی تغییرات شیب کانال فرعی اقدام به افزایش شیب شاخه ی فرعی از 0.5 درصد به 1 درصد و جهت بررسی تغییرات شیب کانال اصلی اقدام به افزایش شیب از صفر به 1 درصد شد. در شکل (۵-۳۰) با اعمال شیب 1 درصد کف به اندازه 0.2 متر ($0.2 \text{ m} = 0.1 * 2 \text{ m}$) بالا آمده است. توضیح این نکته ضروری است که در شکل (۵-۳۱) ابتدا شیب 1 درصد کانال اصلی اعمال شد و ورودی کانال به اندازه ی 0.2 متر بالا آمد ($0.2 \text{ m} = 0.1 * 2 \text{ m}$) و در محدوده ی تلاقی حدود این ارتفاع کف به 0.13 متر رسید (درونیابی توسط نرم افزار) و با توجه به این که ورودی کانال فرعی باید به اندازه ی



شکل (۳۰-۵): تغییرات کف کانال در حالت شیب کانال فرعی ۱ درصد



شکل (۳۱-۵): تغییرات کف کانال در حالت شیب کانال اصلی ۱ درصد

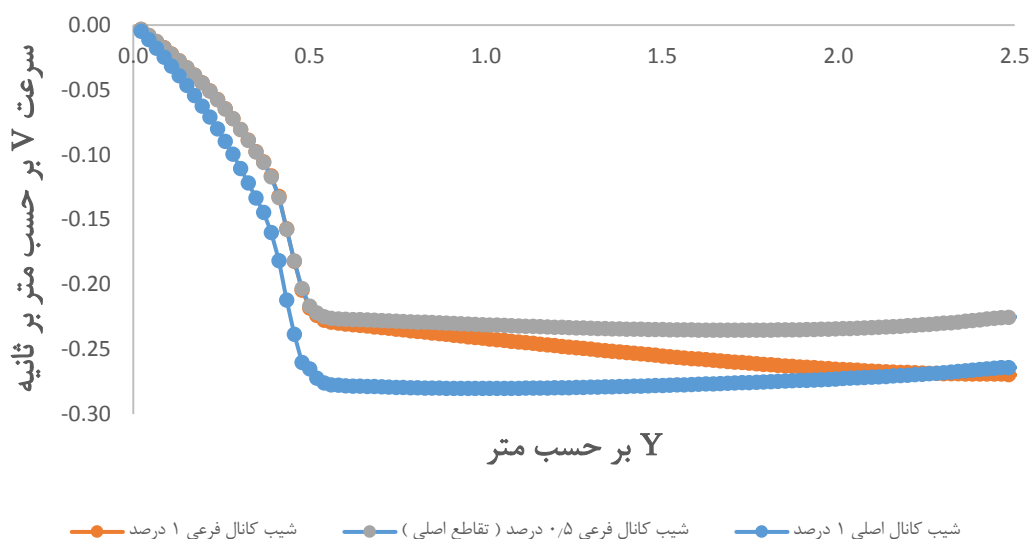
$0.1 \text{ m} (0.1 \text{ m} * 0.05 = 0.005 \text{ m} * 2)$ بالاتر از محدوده ی تلاقی باشد (شیب 0.5 درصد) در نتیجه

کف به اندازه ی $0.13 \text{ m} + 0.1 \text{ m} = 0.23 \text{ m}$ بالا آمده است.

شکل (۳۲-۵) تغییرات سرعت V را در $x = 0.5 \text{ m}$ نشان می دهد (وسط کانال فرعی در شکل (۱-۵)).

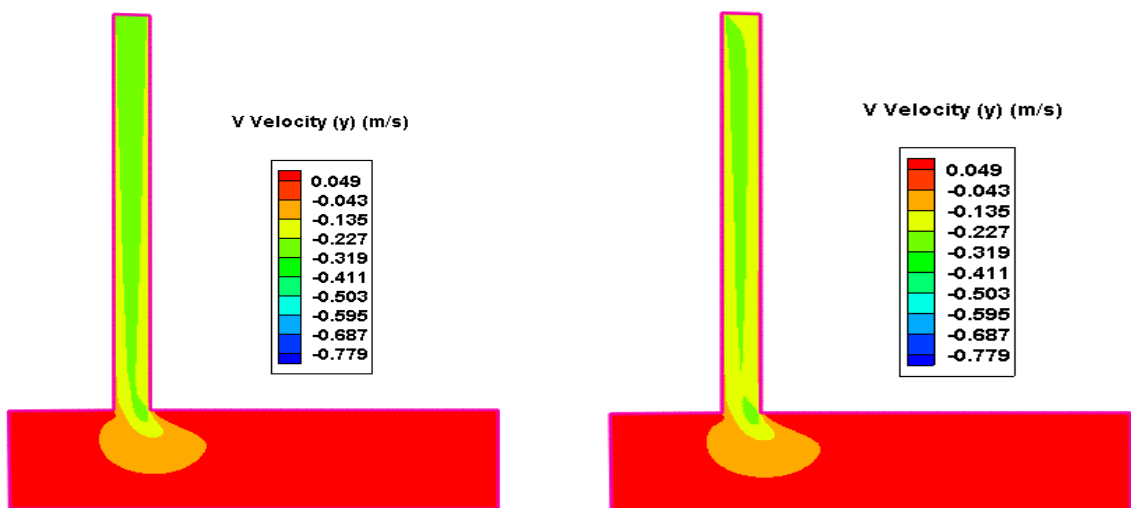
همان طور که در شکل مشخص است با افزایش شیب کانال فرعی عمق آب در این کانال کم شده و در

نتیجه سرعت در این کانال افزایش می یابد (جلوتر توضیح داده می شود). حتی در حالت شیب کانال اصلی ۱ درصد، با توجه به این که کانال اصلی دارای شیب می شود و این شیب همانطور که در شکل (۵-۳۱) توضیح داده شد، بر کانال فرعی نیز تاثیر می گذارد و ابتدای این کانال بالاتر می آید (شیب کانال فرعی ۰/۵ درصد) پس باز هم عمق آب کمتر شده و در نتیجه سرعت در این کانال افزایش می یابد (علامت منفی سرعت به دلیل جهت آن و رو به پایین است).



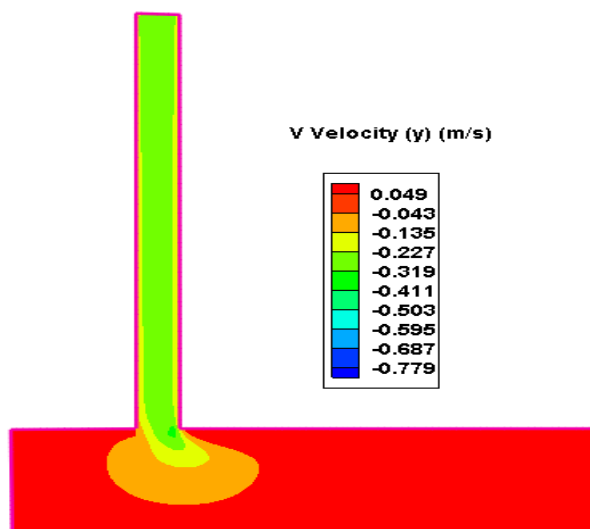
شکل (۵-۳۲): تغییرات سرعت V در $x = 0.5 \text{ m}$ در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی

در شکل (۵-۳۳) تغییرات سرعت V در پلان نشان داده شده است. با افزایش شیب در کانال فرعی و متعاقب آن کم شدن عمق جریان، سرعت افزایش یافته است. در شکل (۵-۳۳-ب) روند افزایش سرعت شروع شده و در نهایت در شکل (۵-۳۳-ج) که افزایش شیب در کانال اصلی بر شیب کانال فرعی نیز تاثیر گذار است (شکل (۵-۳۱)) عمق آب کمتر شده و سرعت زیادتر می شود.



ب) شیب کانال فرعی ۱ درصد

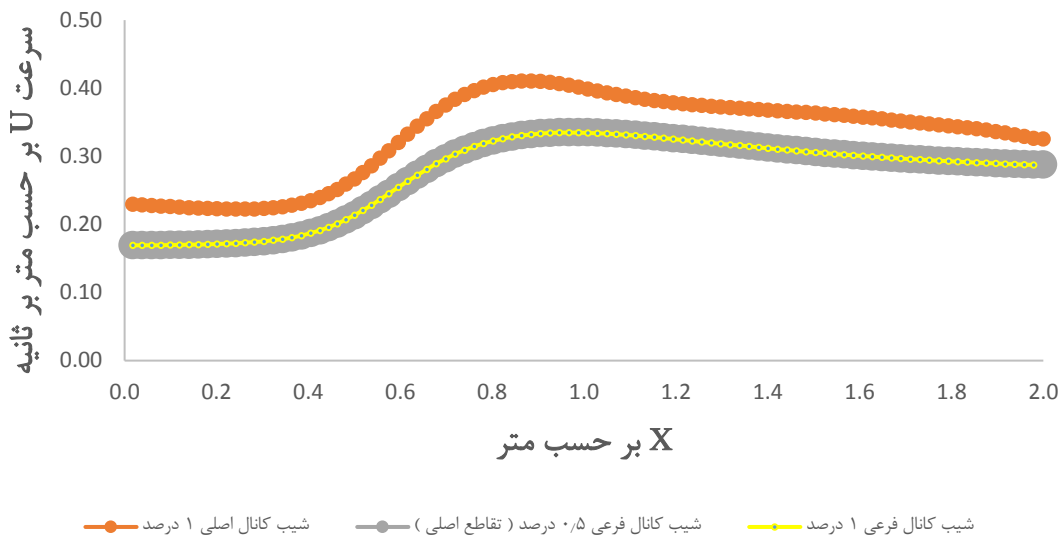
الف) شیب کانال فرعی ۰/۵ درصد (تقاطع اصلی)



ج) شیب کانال اصلی ۱ درصد

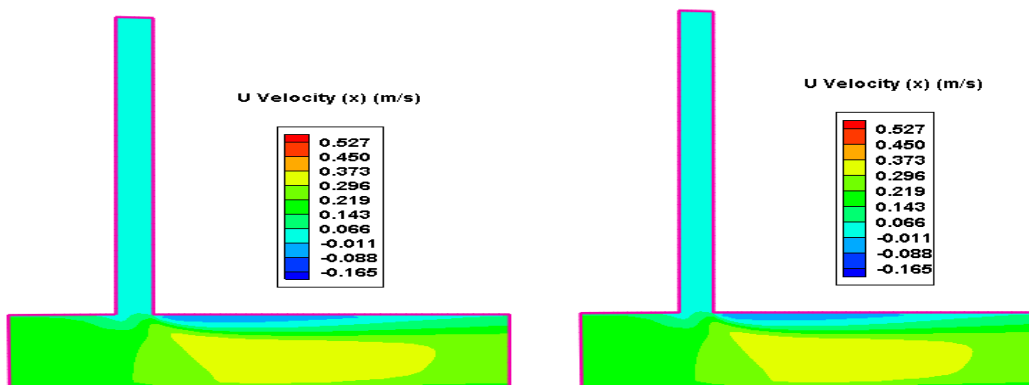
شکل (۳۳-۵): تغییرات سرعت V در پلان در حالت تغییر شیب کانال فرعی

شکل (۳۴-۵) تغییرات سرعت U را در $y = ۰/۲۵ \text{ m}$ (وسط کانال اصلی مطابق شکل (۱-۵)) نشان می دهد. همان طور که مورد انتظار است تغییرات شیب در کانال فرعی تاثیر خاصی بر روند جریان و مقدار آن در کانال اصلی نداشته است (چون تغییر شیب در کانال فرعی تاثیر بر عمق آب در کانال اصلی ندارد).



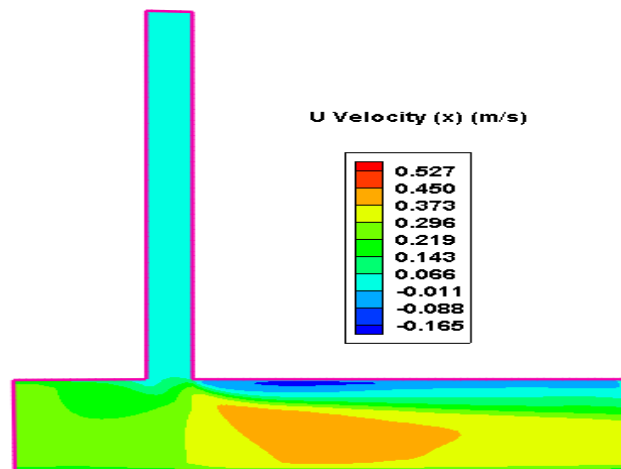
شکل (۳۴-۵) : تغییرات سرعت U در $y = ۰.۲۵$ m در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی

اما با افزایش شیب در کانال اصلی عمق آب در این کانال کمتر شده و شاهد افزایش سرعت هستیم. شکل (۳۵-۵) تغییرات سرعت U را در پلان نشان می دهد. با افزایش شیب کانال فرعی تغییری در سرعت U دیده نمی شود (حتی در خود کانال فرعی چون سرعت V غالب است سرعت U بسیار کوچک و بدون تغییر مانده است).



ب (شیب کانال فرعی ۱ درصد)

الف (شیب کانال فرعی ۰/۵ درصد (تقاطع اصلی))

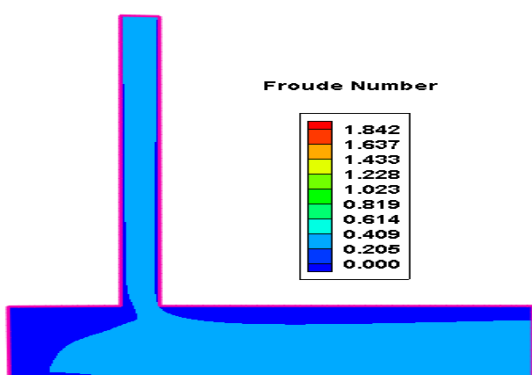


ج) شیب کانال اصلی ۱ درصد

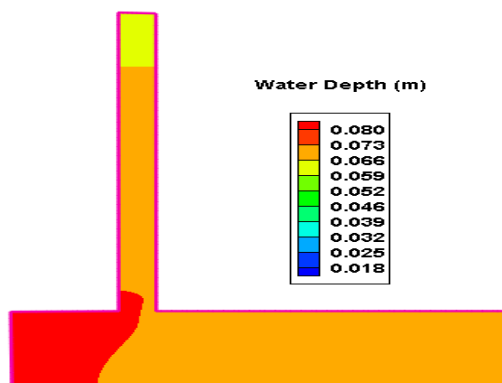
شکل (۵-۳۵): تغییرات سرعت U در پلان در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی

اما در شکل (۵-۳۵-ج) و با افزایش شیب در کانال اصلی و کم شدن عمق در این کانال سرعت افزایش یافته است. حتی در ابتدای کانال سرعت در حدود ۰/۲۱۹ متر بر ثانیه تا ۰/۲۹۶ متر بر ثانیه است و بعد از تلاقی نیز سرعت روند افزایش خود را ادامه داده و تا انتهای کانال اصلی امتداد یافته است.

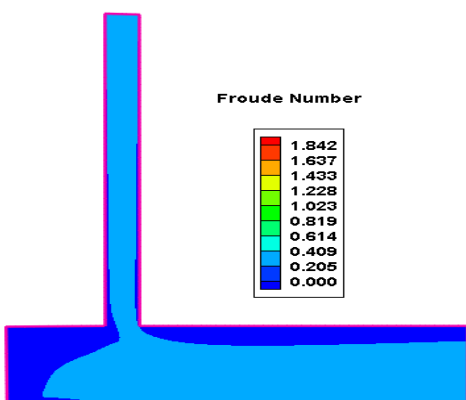
شکل (۵-۳۶) تغییرات عدد فرود جریان و عمق آب را نشان می دهد. با افزایش شیب کانال فرعی عمق آب در این کانال مطابق شکل (۵-۳۶-ج) کاسته شده است اما به دلیل تغییر کم عمق در حالت شیب ۱ درصد (و همچنین اندکی افزایش سرعت در این حالت مطابق شکل (۵-۳۲)) افزایش عدد فرود نیز مطابق فرمول آن $(fr = \frac{V}{\sqrt{gy}})$ کم بوده است ولی در شکل (۵-۳۶-و) با افزایش شیب کانال اصلی به ۱ درصد، عمق آب در ابتدای کانال بسیار کم شده (که افزایش سرعت در این حالت و در شکل (۵-۳۲) را توجیه می کند) و در نتیجه عدد فرود جریان نیز در شکل (۵-۳۶-ه) به ماکزیمم مقدار خود رسیده است.



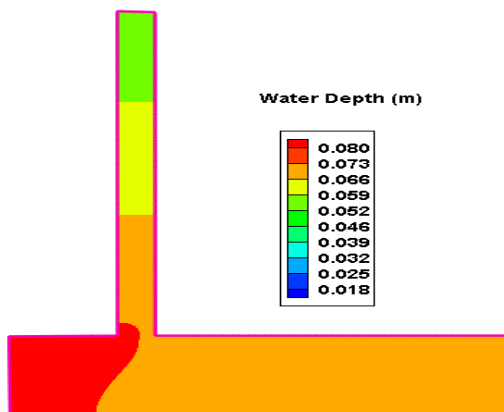
ب) شیب کانال فرعی ۰٫۵ درصد (تقاطع اصلی)



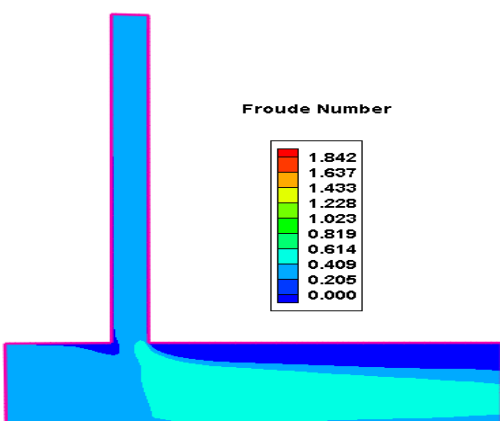
الف) شیب کانال فرعی ۰٫۵ درصد (تقاطع اصلی)



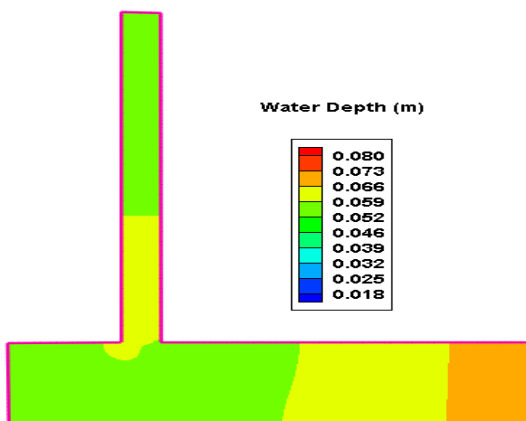
د) شیب کانال فرعی ۱ درصد



ج) شیب کانال فرعی ۱ درصد



ه) شیب کانال اصلی ۱ درصد

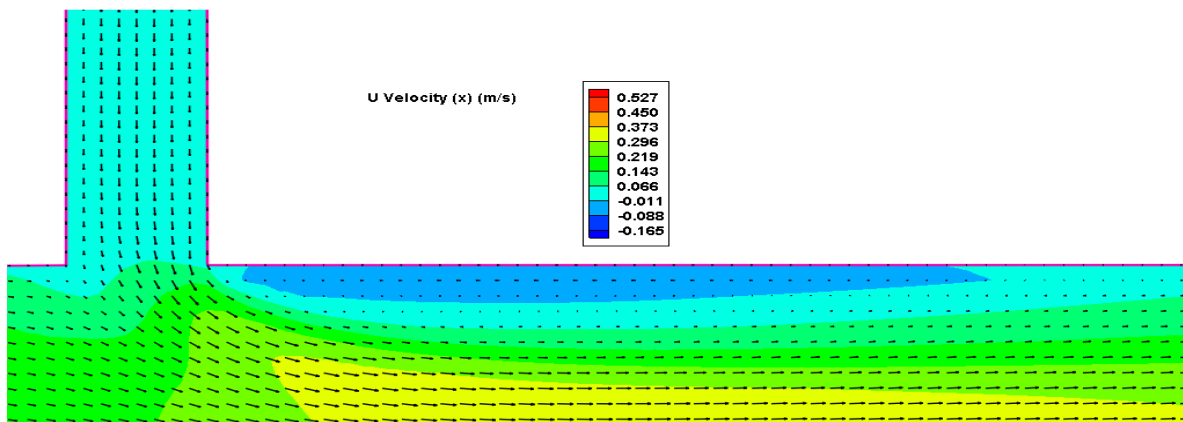


و) شیب کانال اصلی ۱ درصد

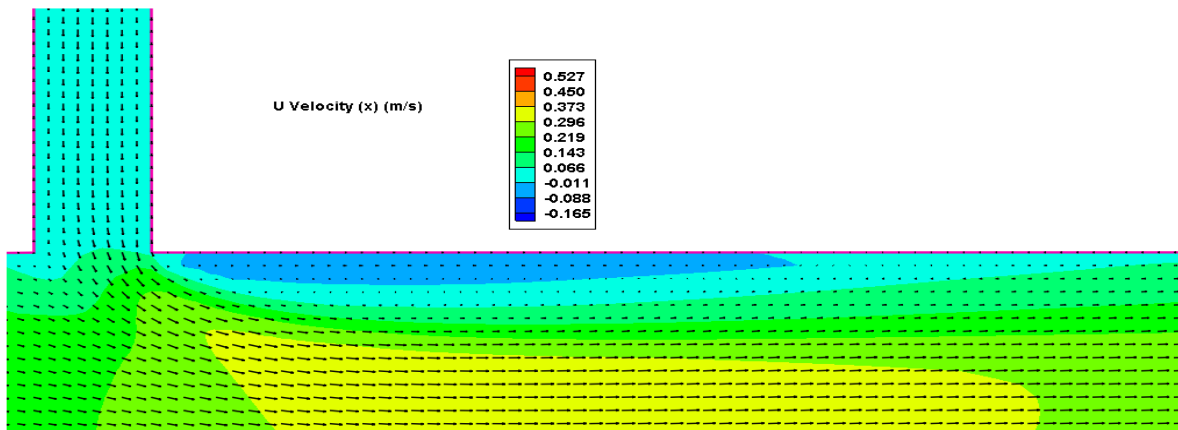
شکل (۵-۳۶): تغییرات عمق آب و عدد فروود جریان در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی

۵ - ۵ - ۲ - بررسی تاثیر تغییر شیب بر ناحیه ی جداشدگی

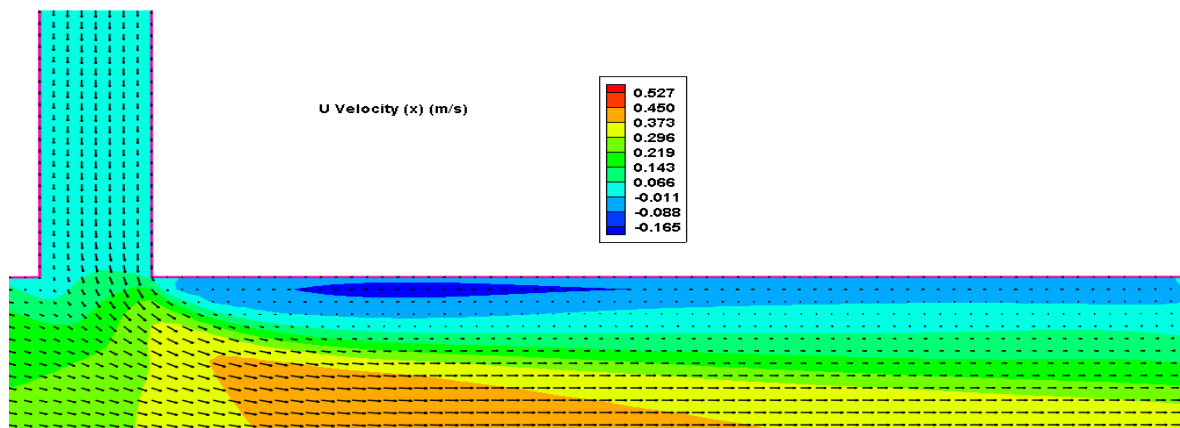
با افزایش شیب کانال فرعی تغییرات خاصی بر مقادیر سرعت مطابق شکل (۵-۳۷-ب) مشاهده نشده است اما با افزایش شیب کانال اصلی و در نتیجه کاهش عمق در این ناحیه که در شکل (۵-۳۶-و) مشهود است، با توجه به شکل (۵-۳۷-ج) سرعت در این قسمت بیشتر (منفی تر به دلیل سرعت خلاف جهت جریان کانال اصلی) شده است.



الف (شیب کانال فرعی ۰٫۵ درصد (تقاطع اصلی)



ب (شیب کانال فرعی ۱ درصد



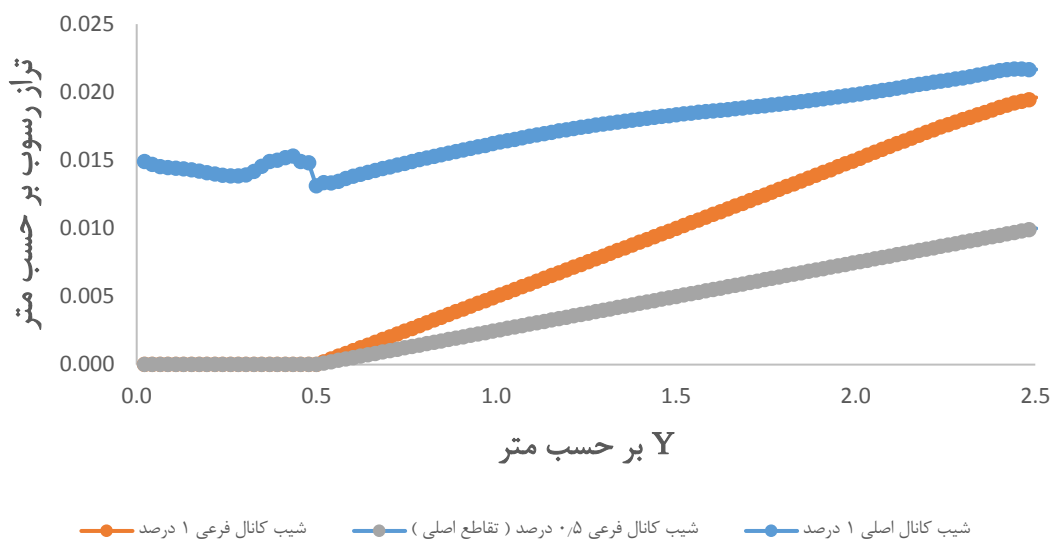
ج) شیب کانال اصلی ۱ درصد

شکل (۳۷-۵): بردارهای سرعت ناحیه ی جداشدگی جریان در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی

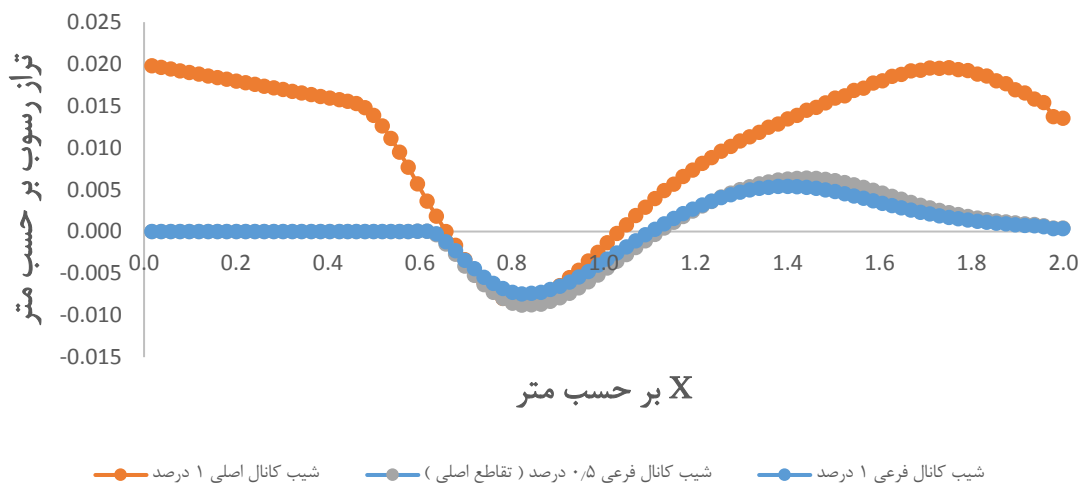
۵ - ۳ - بررسی اثر تغییر شیب بر رسوب

حال به بررسی تغییرات تراز رسوب می پردازیم. با توجه به اینکه نرم افزار تغییرات تراز رسوب ریخته شده در کف را می دهد، در اینجا ذکر این نکته ضروری است که منظور از تراز صفر سطح روی ۵ سانتی متر رسوب است.

شکل (۳۸-۵) تغییرات تراز رسوب را در وسط کانال فرعی نشان می دهد. با افزایش شیب در این کانال و همچنین بالا رفتن تراز کف (شکل (۳۰-۵)) تراز رسوب در ابتدای کانال به حدود ۰/۰۲ متر رسیده است و در طول کانال فرعی نیز به دلیل کاهش شیب کم شدن تراز رسوب ادامه داشته است اما با ورود به کانال اصلی و تاثیر کم تغییر شیب کانال فرعی بر سطح رسوب در این کانال، تغییرات خاصی دیده نمی شود. با افزایش شیب در کانال اصلی و تاثیر آن بر کانال فرعی (شکل (۳۱-۵)) تراز رسوب در ابتدای کانال فرعی به ۰/۰۲۳ متر رسیده است. در طول کانال فرعی نیز کاهش تراز رسوب ادامه داشته و با ورود به کانال اصلی و به دلیل تراز کف حدود ۰/۰۱۳ متر در این کانال و نقطه ی تلاقی (شکل (۳۱-۵)) تراز رسوب نیز تقریباً به همین مقدار رسیده است.



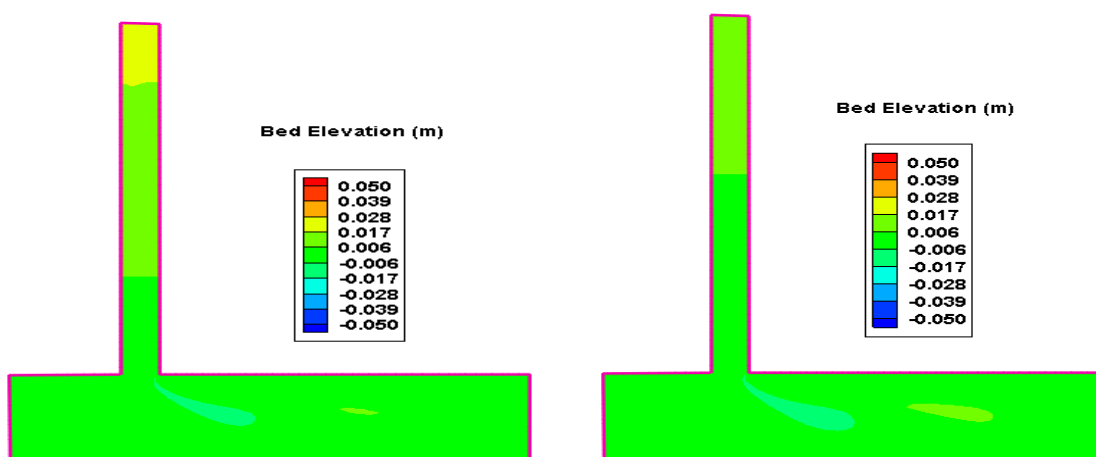
شکل (۳۸-۵) : تغییرات تراز رسوب در $x = ۰٫۵$ m در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی



شکل (۳۹-۵) : تغییرات تراز رسوب در $y = ۰٫۲۵$ m در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی

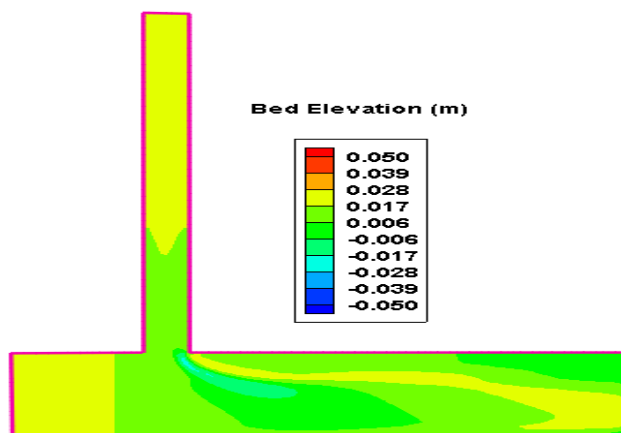
شکل (۳۹-۵) تغییرات تراز رسوب را در وسط کانال اصلی نشان می دهد. افزایش شیب در کانال فرعی تاثیر چندانی بر تراز رسوب در کانال اصلی نداشته اما با افزایش شیب کانال اصلی و با توجه به شکل (۳۱-۵) تراز ابتدای کانال اصلی حدود $۰٫۰۲$ متر بالاتر آمده و تراز رسوب نیز به همین مقدار رسیده است. در طول کانال اصلی با ورود جریان از کانال فرعی شاهد ایجاد چاله ی فرسایشی بعد از محدوده ی تلاقی هستیم و سپس

در ادامه کانال رسوبات کنده شده از چاله ی فرسایشی به انتهای کانال جا به جا شده و تراز را بالاتر برده اند. شکل (۴۰-۵) تغییرات توپوگرافی بستر را نشان می دهد. با افزایش شیب در کانال فرعی و با مد نظر قرار دادن شکل (۳۰-۵) در شکل (۴۰-۵-ب) تراز رسوب در ابتدای این کانال به حدود ۰/۰۲ متر رسیده و کاهش تراز رسوب ناشی از کاهش شیب در طول کانال نیز ادامه داشته اما بر سطح رسوب در کانال اصلی تاثیری نداشته است.



ب) شیب کانال فرعی ۱ درصد

الف) شیب کانال فرعی ۰/۵ درصد (تقاطع اصلی)

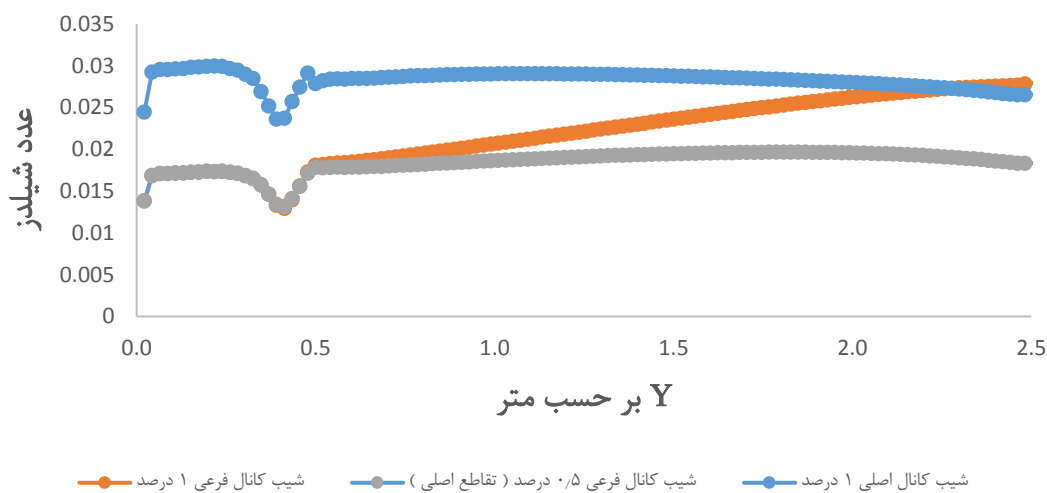


ج) شیب کانال اصلی ۱ درصد

شکل (۴۰-۵): تغییرات توپوگرافی بستر در پلان در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی

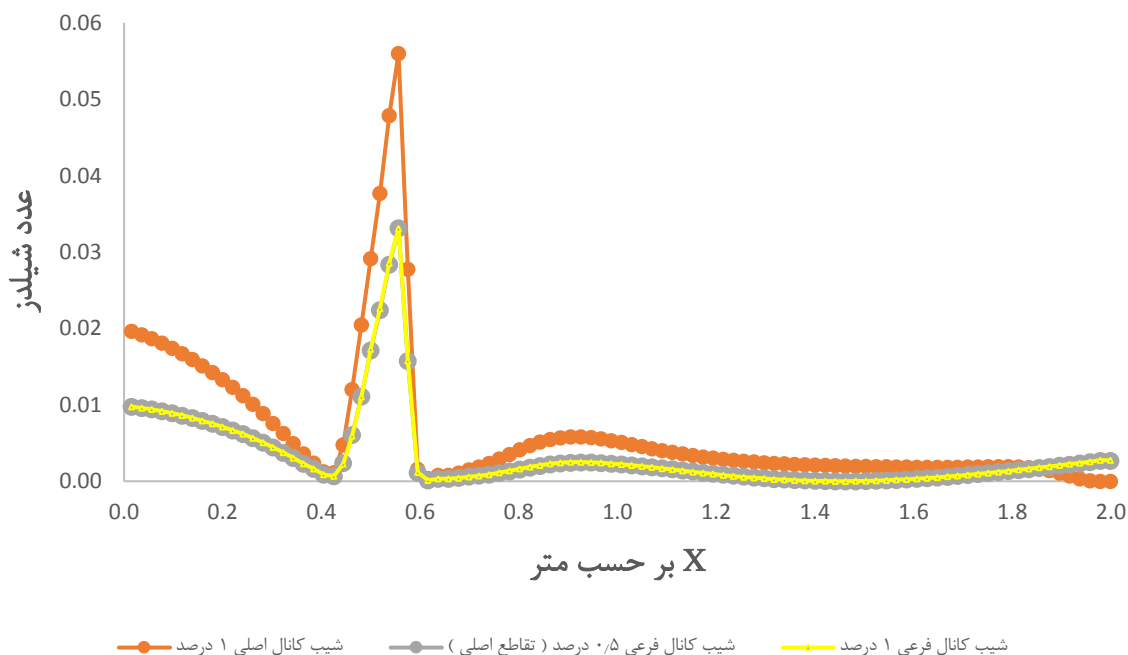
با افزایش شیب در کانال اصلی و با مد نظر قرار دادن شکل (۵-۳۱) در شکل (۵-۴۰-ج) با افزایش تراز رسوب ناشی از افزایش شیب در کانال اصلی، در ابتدای این کانال تراز رسوب در حدود 0.02 متر بالا آمده اما بلافاصله بعد از تلاقی و مطابق شکل (۵-۳۹) چاله ی فرسایشی به عمق حدودی 0.01 متر ایجاد شده و در ادامه ی کانال رسوبات کنده شده در طول کانال پخش شده و باعث افزایش تراز رسوب در بقیه ی قسمت های کانال اصلی شده اند.

حال به بررسی تغییرات عدد شیلدز می پردازیم. شکل (۵-۴۱) تغییرات عدد شیلدز را در وسط کانال فرعی نشان می دهد. مطابق انتظار و با افزایش شیب کانال فرعی به 1 درصد و با توجه به شکل (۵-۳۲) که نشان دهند ی افزایش سرعت در کانال فرعی است، تنش برشی بستر نیز افزایش پیدا کرده و در نتیجه افزایش عدد شیلدز را باعث شده است. این افزایش عدد شیلدز به دلیل افزایش شیب کانال اصلی به 1 درصد و تاثیر این شیب بر کانال فرعی (شکل (۵-۳۱)) و افزایش سرعت نشان داده شده در شکل (۵-۳۲) (به دلیل کاهش عمق) نیز مشهود است. حتی در ادامه و با ورود جریان به کانال اصلی به دلیل کم بودن عمق در این ناحیه (شکل (۵-۳۶) و) عدد شیلدز بیشتر از دو حالت دیگر است.



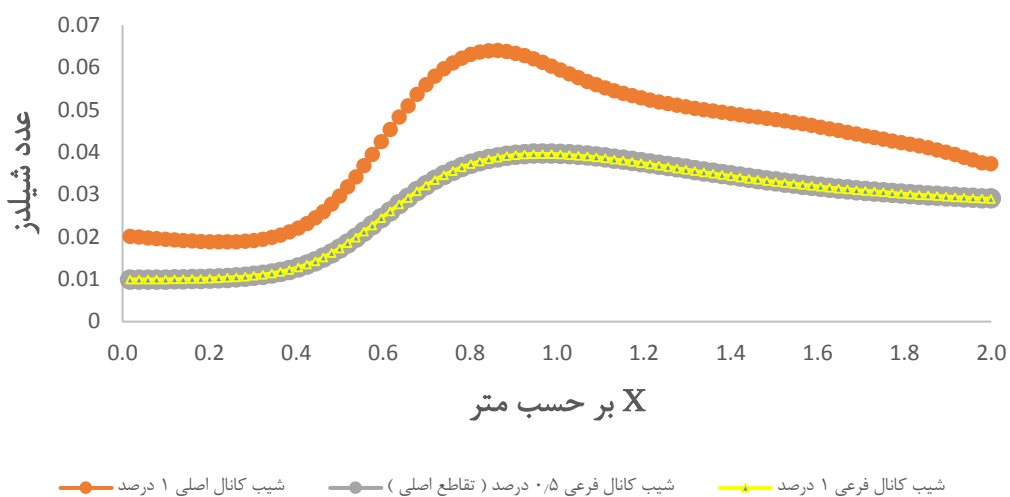
شکل (۵-۴۱): تغییرات عدد شیلدز در $x = 0.5$ m در حالت تغییر شیب کانال های فرعی و اصلی

شکل (۴۱-۵) تغییرات عدد شیلدز را در وسط کانال فرعی نشان می دهد. با افزایش شیب در این کانال و زیاد شدن تراز بستر و افزایش سطح رسوب در این کانال (شکل (۳۸-۵)) از تنش برشی بستر در کف کانال کم شده (آبشستگی کم) در نتیجه با کاهش تنش برشی کف عدد شیلدز نیز کاهش داشته است. شکل (۴۲-۵) تغییرات عدد شیلدز را در کناره ی دیواره ی سمت چپ کانال اصلی نشان می دهد. با افزایش شیب در کانال اصلی و افزایش سرعت و در نتیجه افزایش تنش برشی بستر، عدد شیلدز از همان ابتدای شروع کانال زیاد بوده و در محدوده ی نقطه ی تلاقی به ماکزیمم مقدار خود می رسد (جریان ورودی از کانال فرعی باعث افزایش سرعت جریان در این ناحیه شده است). این روند افزایش عدد شیلدز به دلیل کاهش عمق بیشتر آب (شکل (۳۶-۵) و) و افزایش سرعت در ادامه ی کانال نیز دیده شده است. اما با توجه به شکل (۴۲-۵) افزایش شیب کانال فرعی تاثیری بر عدد شیلدز نداشته است (در شکل (۳۶-۵) ج) عمق آب تغییری نکرده و سرعت افزایش یا کاهش نداشته است).

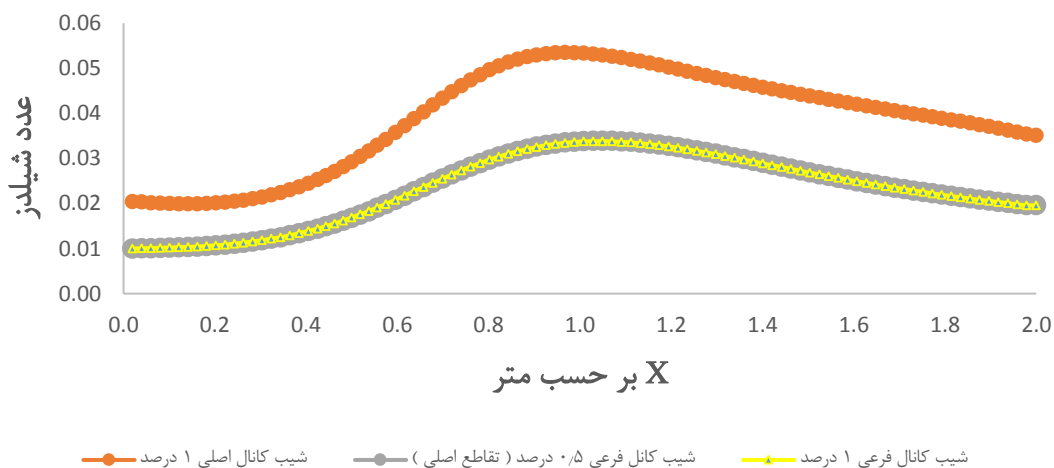


شکل (۴۲-۵) : تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.48 \text{ m}$ و در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی

در اشکال (۴۳-۵) و (۴۴-۵) تغییرات عدد شیلدز به ترتیب در وسط و کناره ی دیواره ی سمت راست کانال اصلی نشان داده شده است. در این اشکال و با توجه به وابستگی تنش برشی بستر به مقدار سرعت و با در نظر گرفتن شکل (۳۴-۵) که افزایش سرعت در وسط کانال اصلی و شکل (۳۵-۵-ج) که افزایش سرعت در کناره ی دیواره ی سمت راست کانال اصلی را نشان می دهد، عدد شیلدز نیز افزایش پیدا کرده است. افزایش شیب کانال فرعی نیز تاثیری بر مقدار سرعت و در نهایت عدد شیلدز نداشته است.



شکل (۴۳-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.25$ m و در حالت تغییر شیب کانال های اصلی و فرعی



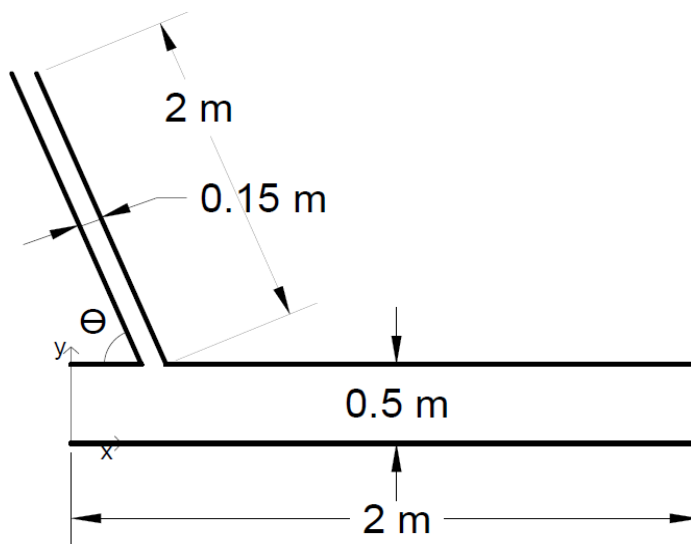
شکل (۴۴-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.2$ m و در حالت افزایش شیب کانال های اصلی و فرعی

ذکر این نکته ضروری است که با مقایسه ی مقادیر عدد شیلدز در سه شکل (۴۲-۵) و (۴۳-۵) و (۴۴-۵) ماکزیمم مقدار عدد شیلدز در وسط کانال اصلی رخ می دهد.

۵ - ۶ - بررسی تاثیر زاویه ی تلاقی بر الگوی جریان و رسوب

۵ - ۶ - ۱ - بررسی تاثیر زاویه ی تلاقی بر جریان

از دیگر پارامترهای مهم و تاثیر گذار بر الگوی جریان و رسوب، چگونگی تلاقی و زاویه ی اتصال کانال فرعی به اصلی است. جهت بررسی این موضوع، دو کانال اصلی و فرعی با سه زاویه ی تلاقی $\Theta = 90^\circ$ (تقاطع اصلی) و $\Theta = 45^\circ$ و $\Theta = 135^\circ$ مورد تحلیل قرار گرفتند. شکل (۴۵-۵) موقعیت زاویه ی تلاقی را نشان می دهد.



شکل (۴۵-۵) : موقعیت زاویه ی تلاقی

شرایط تقاطع اصلی به این شرح است. کانال اصلی به طول ۲ متر و عرض ۰/۵ متر و کانال فرعی به طول ۲ متر و عرض ۰/۱۵ متر است. جهت بررسی اثرات تغییر زاویه ی تلاقی بر جریان و رسوب، ابتدا اقدام به شبیه سازی تقاطع اصلی و معرفی شرایط مرزی به آن شد. در این مدل دبی ورودی کانال فرعی ۰/۰۰۲ متر

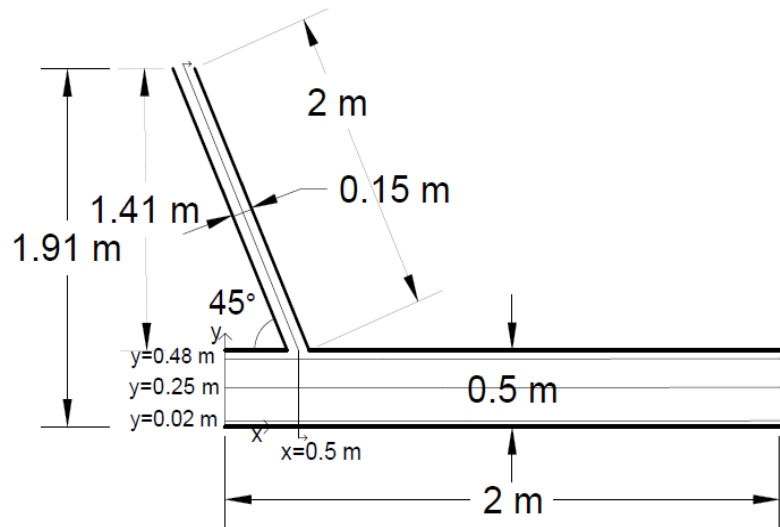
مکعب بر ثانیه و دبی ورودی کانال اصلی 0.006 متر مکعب بر ثانیه است. همچنین شرط مرزی خروجی در انتهای کانال اصلی سطح آب 0.07 متر و کانال فرعی دارای 0.5 درصد شیب است.

قطر ذرات رسوبی $d_{50} = 0.82$ میلیمتر و مدل آشفتگی مورد استفاده توسط نرم افزار، مدل دو معادله ای $k - \epsilon$ است. با توجه به قطر متوسط ذرات و با استفاده از فرمول سابرامانیا ضریب مانینگ مقدار 0.14 برآورد شده و به نرم افزار معرفی گردیده است. قبل از اجرای برنامه ی رسوب، کف کانال ها به اندازه ی 5 سانتیمتر رسوب با همان D_{50} مذکور ریخته شده و برنامه بار بستر و بار معلق را توامان شبیه سازی کرده است. لازم به ذکر است که اندازه ی مش ها $0.02 \text{ m} * 0.02 \text{ m}$ است (تجربه نشان داده که کوچکتر کردن اندازه ی مش ها در جواب های نهایی تاثیر بسزایی نداشته و تنها زمان اجرای برنامه را زیاد می کند). این تقاطع کانال ها، تقاطع اصلی نامیده می شود و در مابقی این قسمت هر نوع تغییری نسبت به این تقاطع سنجیده می گردد.

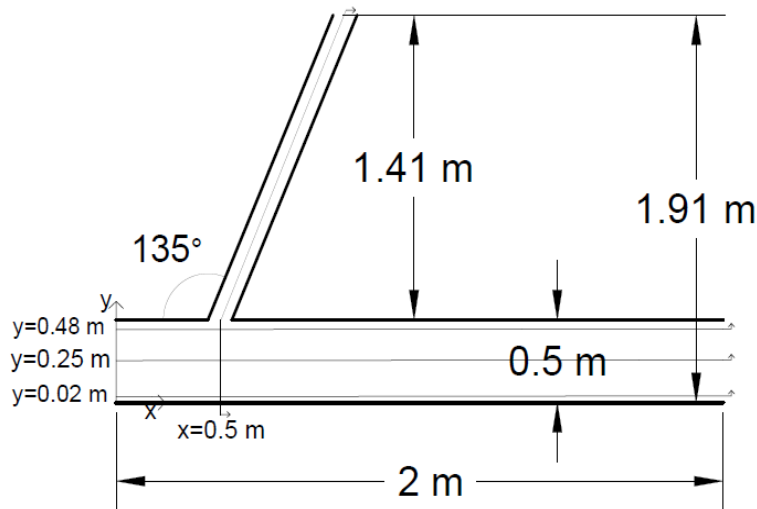
لازم به ذکر است تلاقی در تقاطع اصلی در محدوده ی $0.575 \text{ m} < x < 0.425 \text{ m}$ است. اما با توجه به اینکه محور های مختصات در شکل (۴۵-۵) مشخص هستند و نرم افزار سرعت ها را در کانال فرعی در راستای محور y می دهد، در اشکال (۴۶-۵) و (۴۷-۵)، $0 < y < 1.91 \text{ m}$ است.

در اشکال (۴۶-۵) و (۴۷-۵) $1.41 \text{ m} = 2 \text{ m} * \sin(45)$ و $1.91 \text{ m} = 0.5 \text{ m} + 1.41 \text{ m}$ است.

در این قسمت ابتدا به بررسی تغییرات V و U به طور جداگانه در هر تلاقی می پردازیم (حدود y یکسان نیست) و در آخر تغییرات سرعت (V_t) در وسط کانال فرعی و به شکل کانتوری مقایسه می شود.

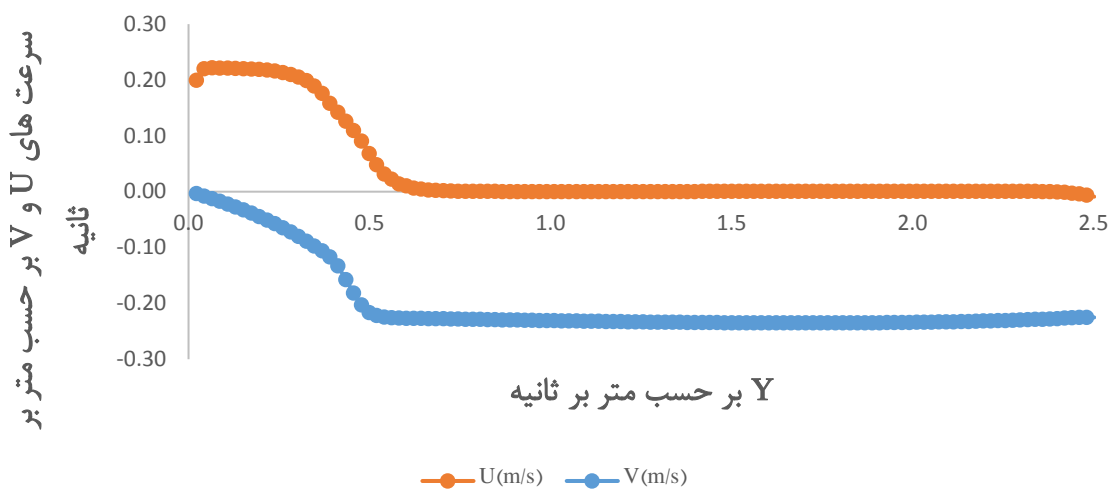


شکل (۴۶-۵) : حدود y در $\theta = 45^\circ$

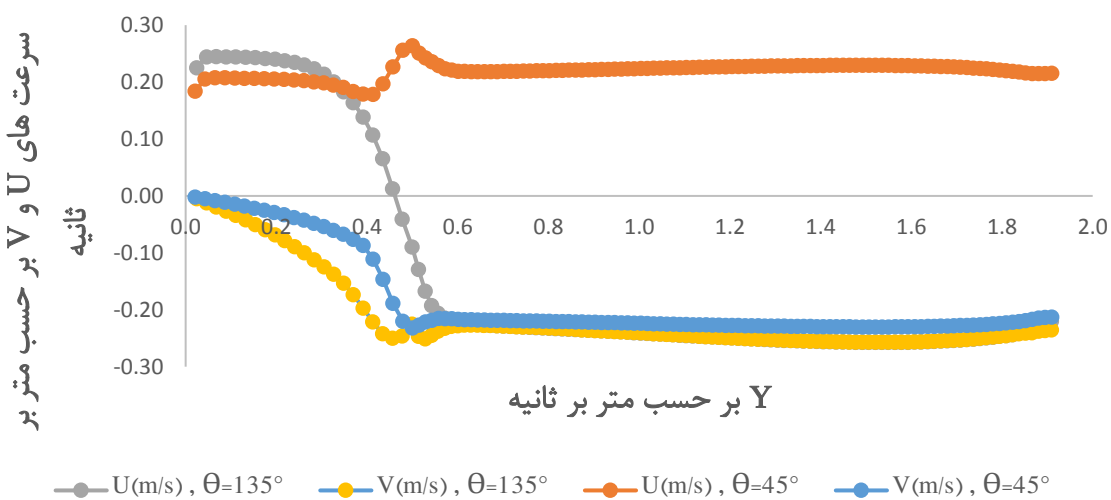


شکل (۴۷-۵) : حدود y در $\theta = 135^\circ$

شکل (۴۸-۵) تغییرات سرعت های U و V را در وسط کانال فرعی و در $\theta = 90^\circ$ نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشخص است سرعت U در کانال فرعی بسیار اندک و نزدیک به صفر است در حالی که سرعت V در این کانال بیشتر است (چون کانال فرعی در این حالت در راستای y است) اما با ورود به کانال اصلی سرعت U افزایش داشته (کانال اصلی در راستای x است) و سرعت V کمتر و به صفر نزدیک می شود.



شکل (۴۸-۵): تغییرات سرعت های U و V در وسط کانال فرعی و در $\theta = 90^\circ$ (تقاطع اصلی)



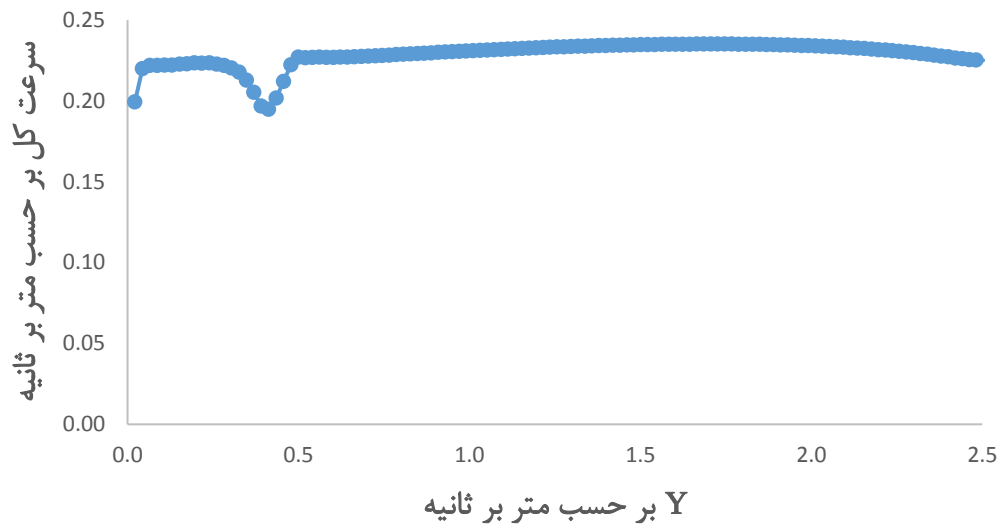
شکل (۴۹-۵): تغییرات سرعت های U و V در وسط کانال فرعی و در $\theta = 45^\circ$ و $\theta = 135^\circ$

شکل (۴۹-۵) تغییرات سرعت های U و V را در وسط کانال فرعی و در حالات $\theta = 45^\circ$ و $\theta = 135^\circ$ نشان می دهد (حدود Y با توجه به اشکال (۴۶-۵) و (۴۷-۵) یکسان است). با کاهش زاویه ی تلاقی به 45° و با توجه به این که دبی و سطح مقطع ثابت مانده اند و عمق آب (جلوتر توضیح داده می شود) تغییری نکرده است، تنها به دلیل نزدیک شدن موقعیت کانال فرعی (عمودی) به حالت افقی و جهت سرعت U در نرم افزار که از چپ به راست مثبت در نظر گرفته شده است، سرعت U به مقادیر مثبت رسیده

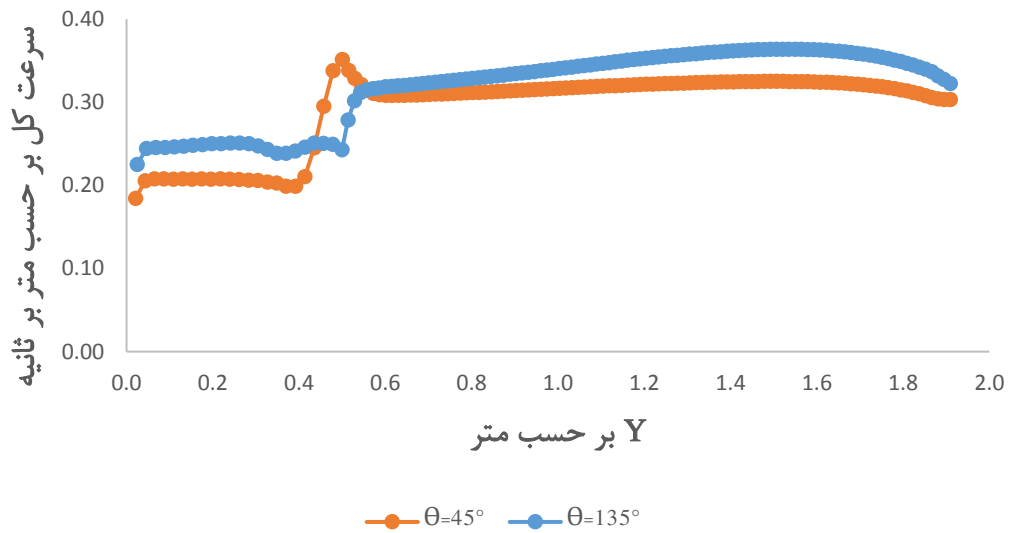
و افزایش پیدا کرده است (در شکل (۵-۴۸) مقادیر سرعت U بسیار کوچک است چون کانال فرعی کاملاً به صورت عمودی است و سرعت V سرعت غالب در کانال است اما در شکل (۵-۴۹) مولفه ی سرعت U به دلیل خارج شدن کانال فرعی از حالت کاملاً عمودی و مایل شدن در راستای افقی افزایش داشته و به دلیل جهت مثبت سرعت مقدار مثبت به خود گرفته است). در مقابل با کاهش زاویه ی تلاقی سرعت V در کانال فرعی تغییر زیادی نکرده است که دلیل آن تغییر زاویه ی تلاقی ایجاد شده با محور X است (به دلیل این که زاویه ی تلاقی ایجاد شده با محور X است در نتیجه سرعت در جهت X که U می باشد دچار تغییر شده است) و طبیعی است اگر کانال اصلی به صورت عمودی و کانال فرعی به صورت افقی بود، تغییر زاویه ی تلاقی با محور Y بود و به دلیل مثبت بودن سرعت V توسط نرم افزار از پایین به بالا، تغییر زاویه ی تلاقی با محور Y بر زیاد و کم شدن سرعت V تاثیر بیشتری می گذاشت. همچنین با تغییر زاویه ی تلاقی و افزایش آن به 135° نیز سرعت U به همان مقدار حدود 0.2 متر بر ثانیه رسیده است که چون علامت سرعت از چپ به راست مثبت است در این قسمت مقدار منفی به خود گرفته اما سرعت V مطابق آنچه در مورد زاویه ی تلاقی 45° ذکر شد کمترین تغییر را داشته است.

سرعت در وسط کانال فرعی و در دو حالت $\Theta = 45^\circ$ و $\Theta = 135^\circ$ از رابطه ی $V_t = \sqrt{U^2 + V^2}$ به دست می آید و در حالت $\Theta = 90^\circ$ سرعت مطلق و غالب بر کانال همان V می باشد. اما جهت یکسان بررسی شدن نمودارها و نتایج، برای حالت $\Theta = 90^\circ$ نیز از رابطه ی V_t استفاده شد (سرعت U بسیار کم و حتی نزدیک به منفی است).

در شکل (۵-۵۱) سرعت کل (V_t) در وسط کانال فرعی و در تقاطع اصلی نشان داده شده است.



شکل (۵-۵۰): تغییرات سرعت کل (V_t) در وسط کانال فرعی و در حالت $\theta = 90^\circ$ (تقاطع اصلی)



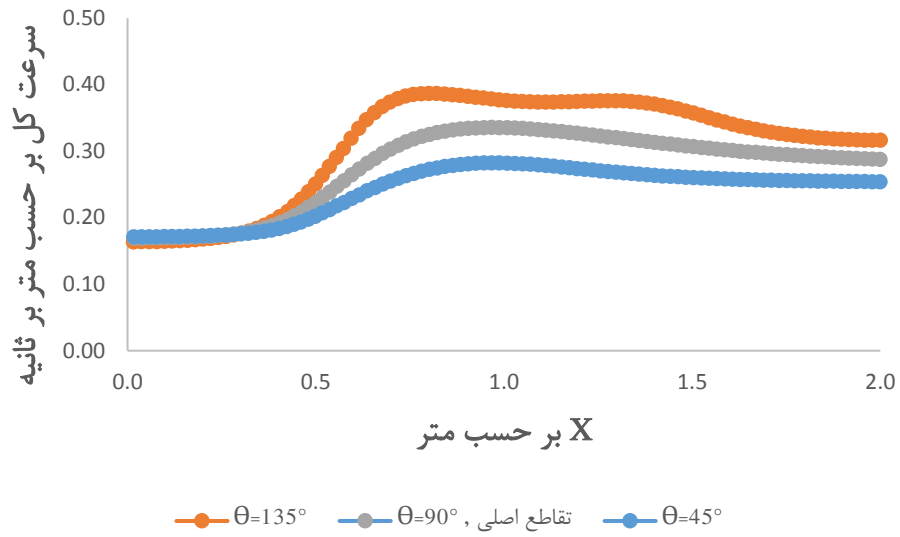
شکل (۵-۵۱): تغییرات سرعت کل (V_t) در وسط کانال فرعی و در حالت $\theta = 45^\circ$ و $\theta = 135^\circ$

با مد نظر قرار دادن تغییرات مولفه های سرعت در شکل (۵-۴۹)، شکل (۵-۵۱) بیانگر تغییرات سرعت کل در وسط کانال فرعی است. ذکر این نکته ضروری است که در دهانه ی ورود جریان کانال فرعی به اصلی با برخورد جریان ورودی از کانال فرعی به جریان موجود در کانال اصلی در حالت $\theta = 135^\circ$ جریان افت سرعت پیدا می کند (شکل (۵-۴۹) تغییرات سرعت U در $\theta = 135^\circ$ و نزدیک شدن این سرعت به صفر

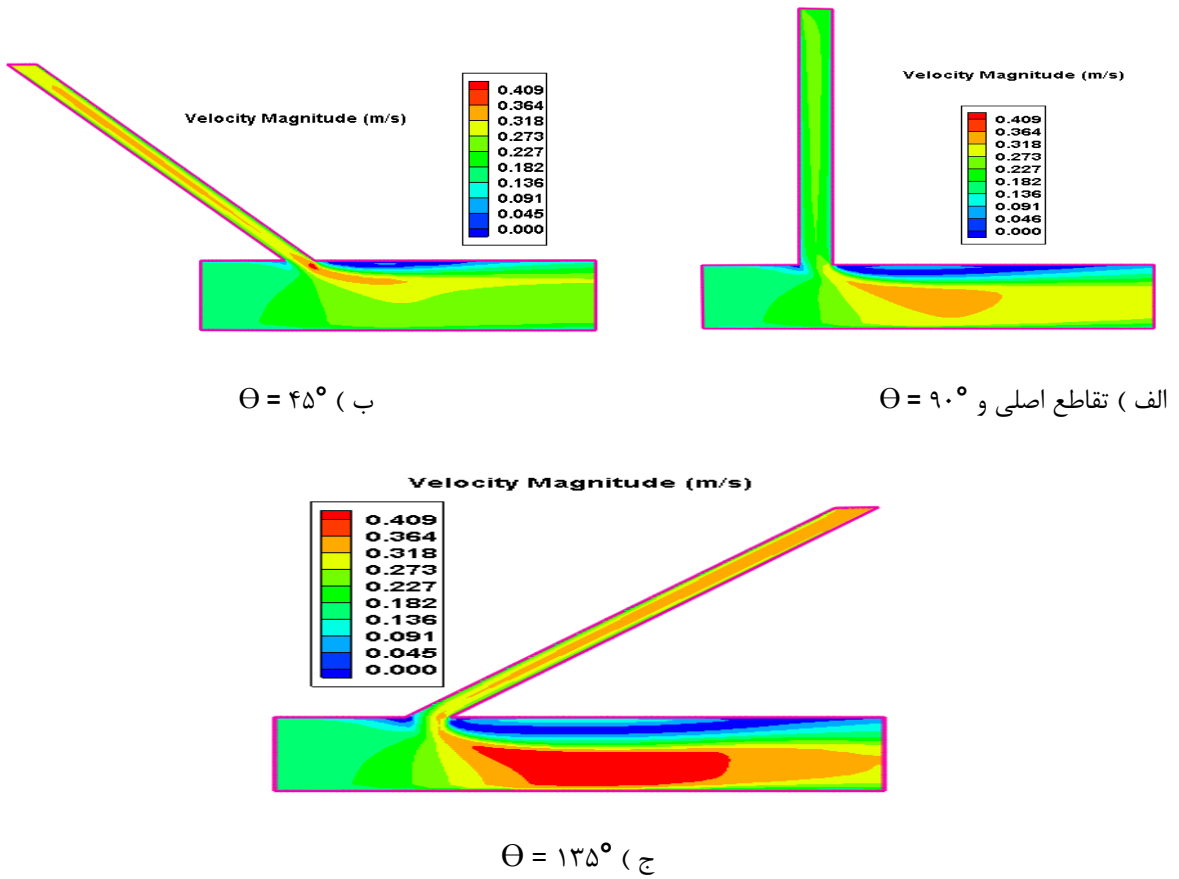
را نشان داده است) اما بعد از این نقطه به دلیل برخورد شدید دو جریان در کانال اصلی (در حالت 135° $\Theta =$) و ایجاد گردابه های جریان بر مقدار سرعت کل در کانال اصلی افزوده شده است (در شکل (۵-۴۹) سرعت U بعد از نقطه ی تلاقی و در نزدیکی دیواره ی سمت راست کانال اصلی افزایش یافته که بیشتر از حالت $\Theta = 45^\circ$ است). افزایش اندک سرعت کل در طول کانال فرعی در شکل (۵-۵۱) به دلیل افزایش اندک سرعت V نشان داده شده در شکل (۵-۴۹) است که بیانگر کاهش سرعت V بر اثر کاهش زاویه ی تلاقی است.

شکل (۵-۵۲) تغییرات سرعت کل را در $x = 0.25 \text{ m}$ (وسط کانال اصلی) نشان می دهد. با کاهش زاویه ی تلاقی جریان وارد شده از کانال فرعی فرصت برخورد با دیواره ی سمت راست کانال اصلی و ایجاد گردابه های جریان را نداشته و با همراه شدن با جریان موجود در کانال اصلی به سمت انتهای کانال امتداد می یابد اما در تقاطع اصلی به دلیل برخورد جریان وارد شده از کانال فرعی به دیواره ی سمت راست کانال اصلی، گردابه های جریان در محل تقاطع ایجاد شده و باعث افزایش سرعت می شوند. همچنین با افزایش زاویه ی تلاقی برخورد جریان وارد شده از کانال فرعی با جریان موجود در کانال اصلی شدت بیشتری داشته و گردابه های قوی تری ایجاد می کند که این باعث افزایش سرعت کل در نواحی بعد از تلاقی می شود. با گذشتن از محدوده ی تلاقی نیز به دلیل آرام شدن جریان و یکنواخت شدن بیشتر آن سرعت جریان در حالات مختلف به هم نزدیک شده است.

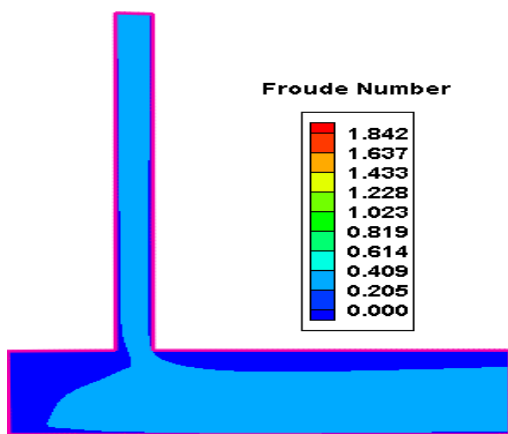
شکل (۵-۵۳) تغییرات سرعت کل را در پلان نشان می دهد. جزییات مشخص شده و توضیحات آن در شکل (۵-۵۱) در وسط کانال فرعی، در شکل (۵-۵۳) نیز مشخص است. همچنین با افزایش زاویه ی تلاقی سرعت کل در (۵-۵۳-ج) و بعد از تلاقی و در وسط کانال اصلی به ماکزیمم مقدار خود رسیده است (توضیحات و جزییات در شکل (۵-۵۲) مشخص است).



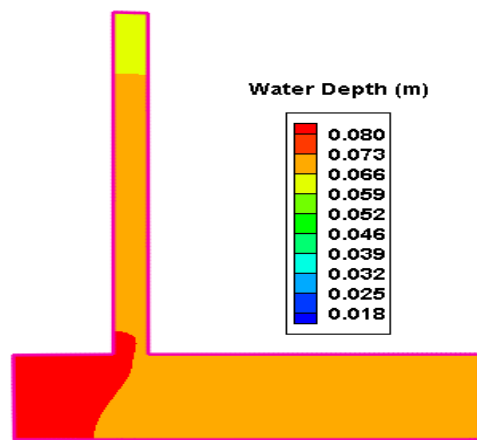
شکل (۵۲-۵): تغییرات سرعت کل در $X = 0.25 \text{ m}$ و در حالت تغییر زاویه ی تلاقی



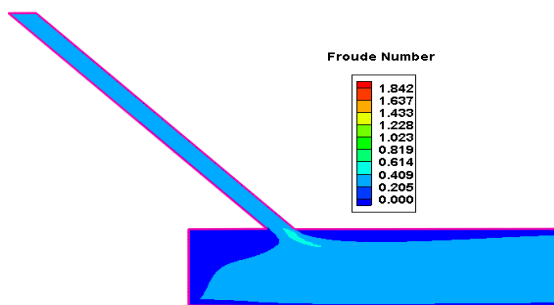
شکل (۵۳-۵): تغییرات سرعت کل در پلان در حالت تغییر زاویه ی تلاقی



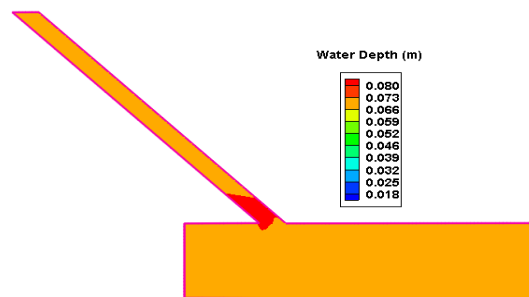
ب) تقاطع اصلی و $\theta = 90^\circ$



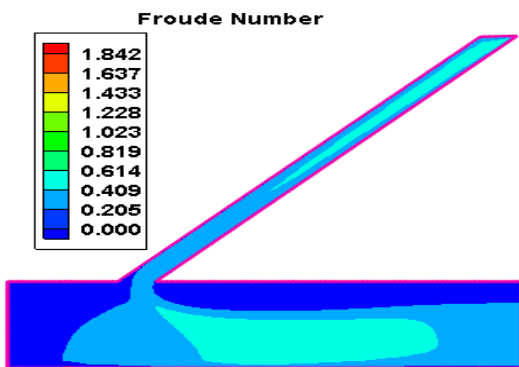
الف) تقاطع اصلی و $\theta = 90^\circ$



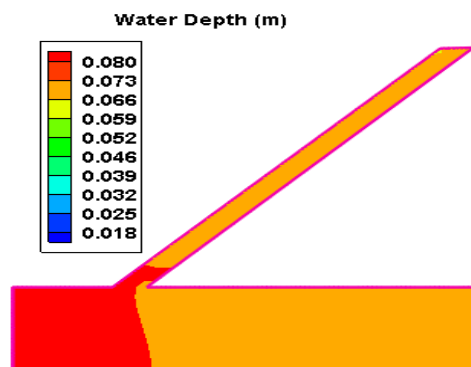
د) $\theta = 45^\circ$



ج) $\theta = 45^\circ$



ه) $\theta = 135^\circ$



و) $\theta = 135^\circ$

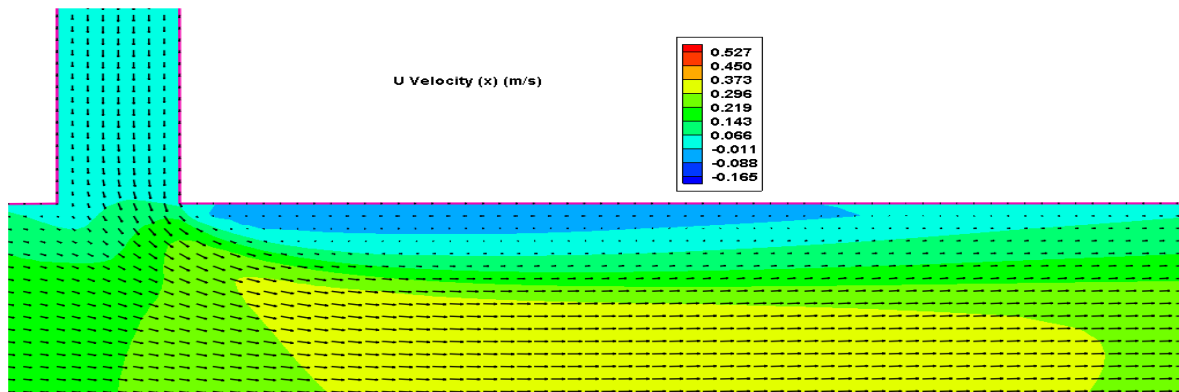
شکل (۵-۵۴): تغییرات عمق آب و عدد فرود جریان در حالت تغییر زاویه ی تلاقی

شکل (۵-۵۴) تغییرات عمق آب و عدد فرود جریان را در پلان نشان می دهد. با کاهش و یا افزایش زاویه ی تلاقی دو کانال عمق آب دچار تغییرات خاصی نشده است اما با توجه به فرمول عدد فرود و وابستگی مستقیم این پارامتر به سرعت، با کاهش زاویه ی تلاقی و افزایش سرعت در شکل (۵-۵۱) ، عدد فرود نیز افزایش داشته اما این افزایش در شکل (۵-۵۴-د) در همان محدوده ی ۰/۲۰۵ تا ۰/۴۰۹ نشان داده شده در شکل (۵-۵۴-ب) قرار داشته است تنها در ورودی کانال فرعی به اصلی به دلیل سرعت زیاد مشخص شده در شکل (۵-۵۳-ب) عدد فرود زیاد شده است.

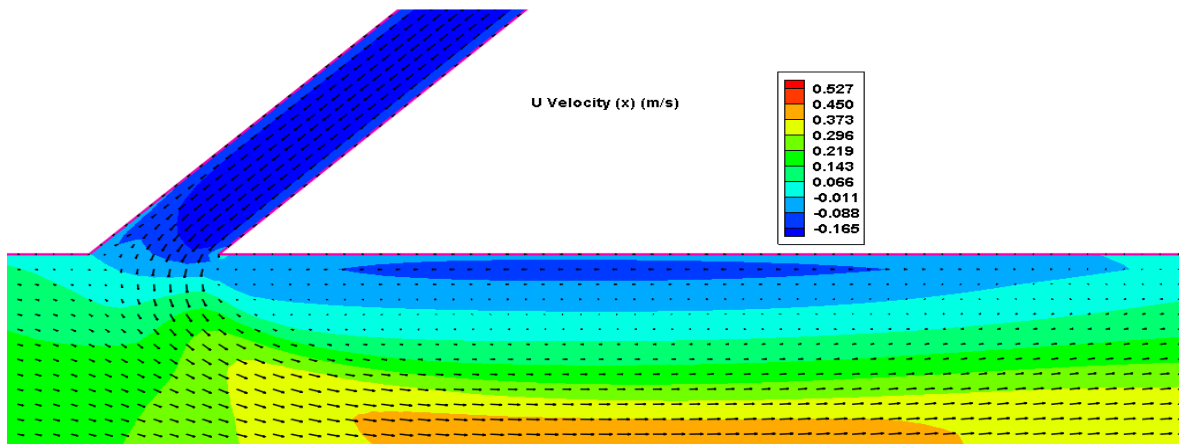
با افزایش زاویه ی تلاقی و با در نظر گرفتن سرعت های نشان داده شده در شکل (۵-۵۳-ج) عدد فرود در محدوده ی بعد از تلاقی در کانال اصلی افزایش قابل توجهی داشته همچنین در کانال فرعی نیز اندکی افزایش عدد فرود دیده می شود.

۵ - ۶ - ۲ - تاثیر تغییر زاویه ی تلاقی بر ناحیه ی جدا شدگی

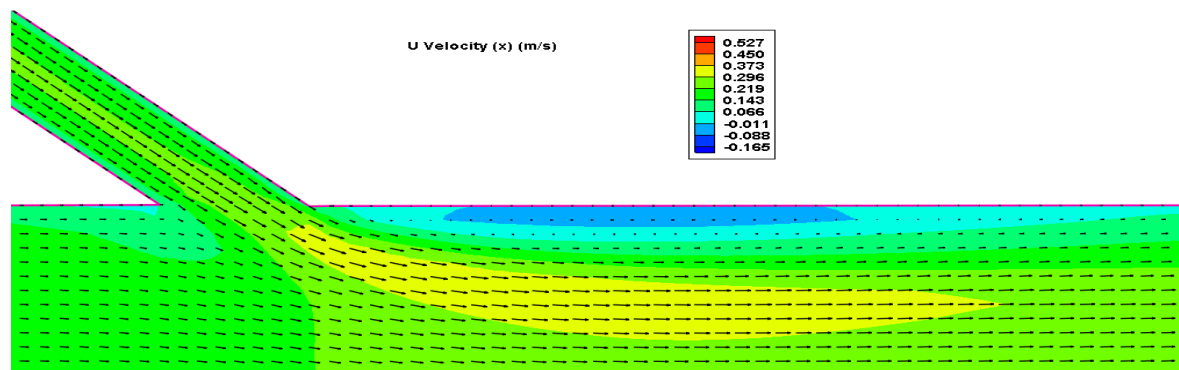
در شکل (۵-۵۵) بردارهای جریان (مولفه ی U) در ناحیه ی جدا شدگی نشان داده شده است. با افزایش زاویه ی تلاقی، جریان ورودی از کانال فرعی به اصلی به جریان موجود در کانال اصلی برخورد شدیدتری داشته در نتیجه ایجاد گردابه های جریان در ناحیه ی جدانشدگی بیشتر بوده و همان طور که در شکل (۵-۵۵-ب) مشخص است سرعت در این ناحیه کاهش بیشتری داشته است. اما با کاهش زاویه ی تلاقی، چون جریان ورودی از کانال فرعی متمایل به چپ بوده و در نقطه ی تلاقی به دلیل برخورد با جریان کانال اصلی سرعت را از چپ به راست تشدید کرده، در نتیجه باعث کم شدن طول ناحیه ی جدا شدگی شده است (سرعت های منفی و خلاف جهت کمتر دیده می شوند).



الف (تقاطع اصلی و $\theta = 90^\circ$)



ب ($\theta = 135^\circ$)



ج ($\theta = 45^\circ$)

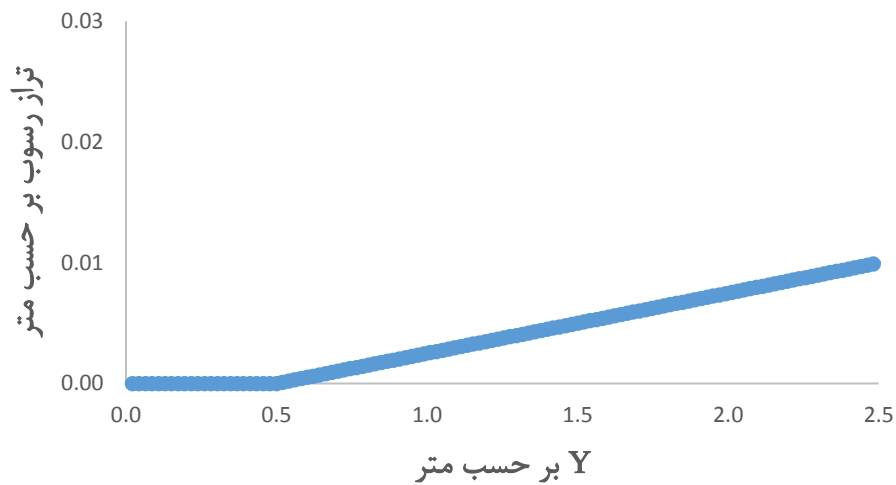
شکل (۵-۵۵): بردارهای جریان در ناحیه ی جدشدگی و در حالت تغییر زاویه ی تلاقی

۵ - ۶ - ۳ - بررسی تاثیر زاویه ی تلاقی بر رسوب

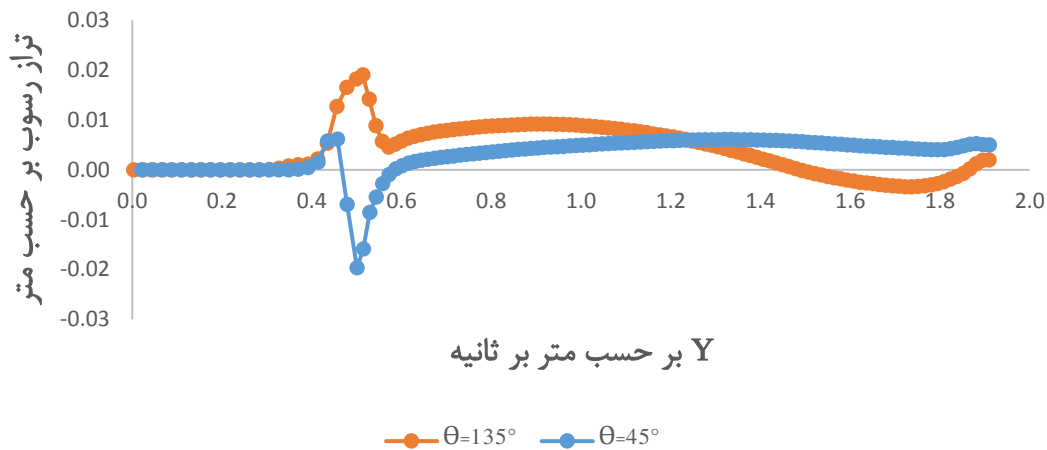
اکنون به بررسی تغییرات تراز رسوب می پردازیم. با توجه به اینکه نرم افزار تغییرات تراز رسوب ریخته شده در کف را می دهد، در اینجا ذکر این نکته ضروری است که منظور از تراز صفر سطح روی ۵ سانتی متر رسوب است. شکل (۵-۵۶) تغییرات تراز رسوب را در وسط کانال فرعی نشان می دهد (به دلیل یکی نبودن حدود Y توضیح داده شده در اشکال (۵-۴۶) و (۵-۴۷) تراز رسوب در زوایای تلاقی مختلف به طور جداگانه بررسی شده اند). شکل (۵-۵۷) تراز رسوب را در وسط کانال فرعی و در زوایای تلاقی 45° و 135° نشان می دهد. با توجه به افزایش سرعت مشاهده شده در شکل (۵-۵۳) با کاهش زاویه ی تلاقی تراز رسوب موجود در کانال فرعی پایین تر رفته در واقع سرعت بیشتر در این حالت رسوبات کف را کنده است. در ورودی جریان از کانال فرعی به اصلی چاله ی فرسایشی مشاهده می شود که دلیل آن نیز برخورد دو جریان کانال فرعی و اصلی در این نقطه با هم، افزایش قدرت جریان و در نتیجه کندن بیشتر رسوبات کف است. در ادامه و در کانال اصلی تغییری در تراز رسوبات دیده نمی شود.

اما با افزایش زاویه ی تلاقی و با افزایش سرعت مشاهده شده در شکل (۵-۵۳) و همچنین به دلیل افزایش کمی که سرعت در این حالت نسبت به حالت $\Theta = 45^\circ$ دارد (شکل (۵-۵۱)) در ابتدای کانال فرعی تراز رسوبات بیشتر کنده شده و در ادامه این رسوبات کنده شده از کف در طول کانال فرعی ته نشین شده و اندکی افزایش تراز رسوب را به همراه داشته است. در ورودی کانال فرعی به اصلی نیز به دلیل برخورد این جریان ورودی از کانال فرعی با جریان در کانال اصلی و همچنین به دلیل خلاف جهت هم بودن این دو جریان در این نقطه رسوبات به جای کنده شدن و ایجاد چاله ی فرسایشی (در $\Theta = 45^\circ$ به دلیل هم جهت بودن جریان ورودی از کانال فرعی با جریان در کانال اصلی در نقطه ی تلاقی، رسوبات کف کنده شده

و چاله ی فرسایشی به وجود آمده است) تشکیل تپه ی رسوب گذاری را داده اند. در ادامه و در کانال اصلی نیز تغییر خاصی در تراز رسوب دیده نمی شود.



شکل (۵-۵۶) : تغییرات تراز رسوب در وسط کانال فرعی و در $\theta = 90^\circ$

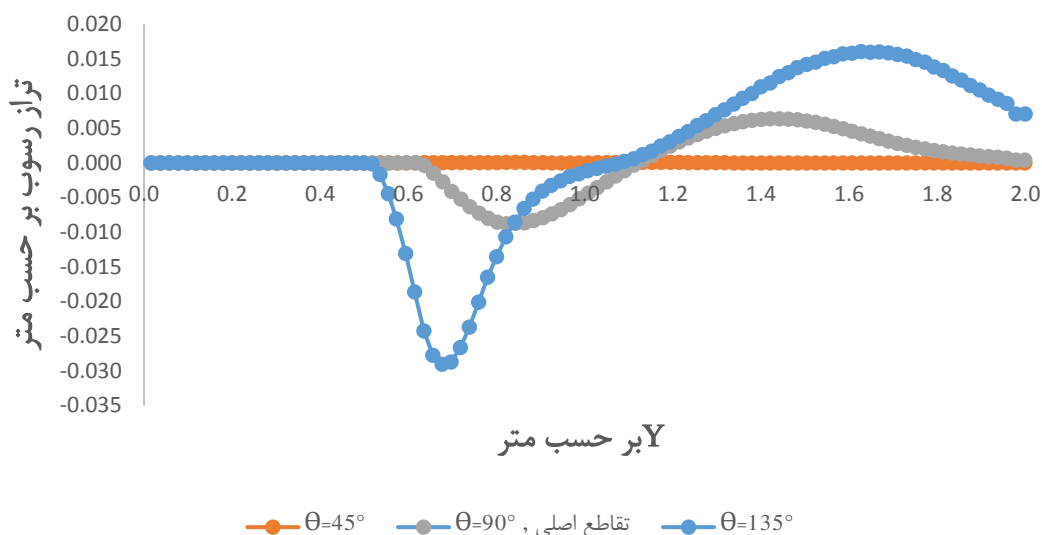


شکل (۵-۵۷) : تغییرات تراز رسوب در وسط کانال فرعی و در $\theta = 45^\circ$ و $\theta = 135^\circ$

شکل (۵-۵۸) تغییرات تراز رسوب را در $y = 0.25 \text{ m}$ (وسط کانال اصلی) نشان می دهد. با کاهش زاویه ی تلاقی و به دلیل کاهش سرعت مشاهده شده در شکل (۵-۵۲) تراز رسوب در صفر باقی مانده است به

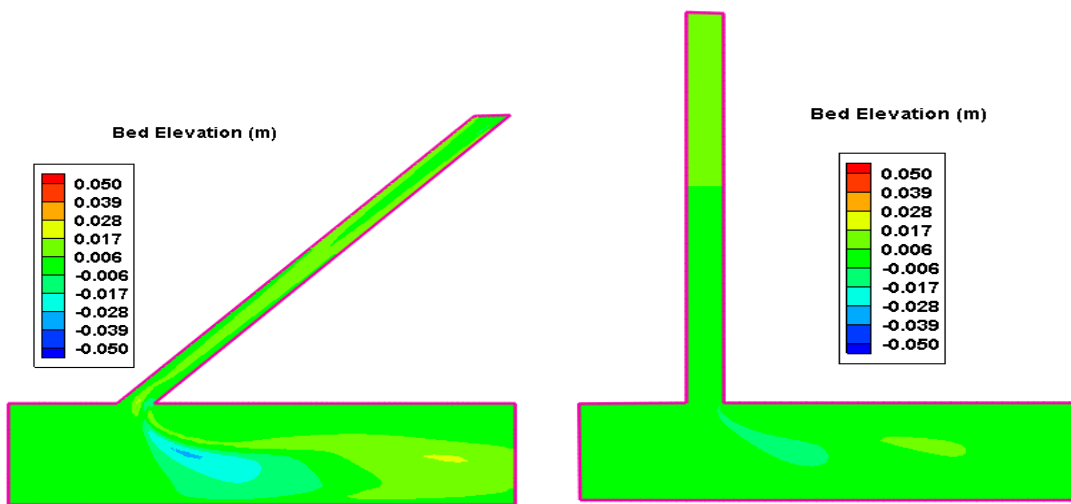
عبارت دیگر جریان به دلیل سرعت کم توانایی تغییر در تراز رسوبات کف را نداشته است. حتی چاله ی فرسایشی و تپه ی رسوب گذاری مشاهده شده در تلاقی اصلی نیز ایجاد نشده اند.

اما با افزایش زاویه ی تلاقی و به دلیل افزایش سرعت مشاهده شده در شکل (۵-۵۲) و با در نظر گرفتن این نکته که در محدوده ی تلاقی جریان ورودی از کانال فرعی با جریان موجود در کانال اصلی برخورد شدیدتری نسبت به حالات دیگر داشته در نتیجه تراز رسوب را در این ناحیه به طور قابل ملاحظه ای کاهش داده است. این رسوبات کنده شده توسط جریان به انتهای کانال جا به جا شده و بعد از ته نشینی افزایش تراز رسوب را به همراه داشته اند.



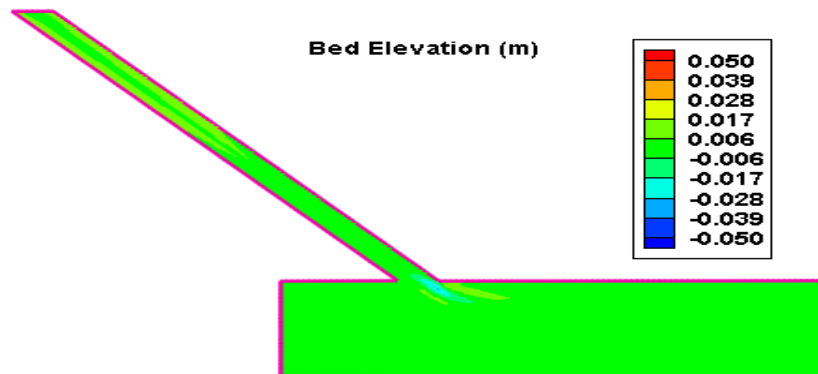
شکل (۵-۵۸): تغییرات تراز رسوب در $y = 0.25$ m و در حالت تغییر زاویه ی تلاقی

شکل (۵-۵۹) تغییرات توپوگرافی بستر را در پلان نشان می دهد. همان طور که مشخص است با افزایش زاویه ی تلاقی در شکل (۵-۵۹-ب) چاله ی فرسایشی مشاهده شده در (۵-۵۸) در وسط کانال اصلی قابل رویت است. همچنین با کاهش زاویه ی تلاقی و به دلیل برخورد دو جریان در دهانه ی ورودی کانال فرعی به اصلی اندکی کاهش تراز دیده می شود که به دلیل شدن رسوبات در این ناحیه است.



ب) $\theta = 135^\circ$

الف) تقاطع اصلی و $\theta = 90^\circ$



ب) $\theta = 45^\circ$

شکل (۵-۵۹): تغییرات توپوگرافی بستر در پلان و در حالت تغییر زاویه ی تلاقی

شکل (۵-۶۰) تغییرات عدد شیلدز را در تقاطع اصلی و در وسط کانال فرعی نشان می دهد.

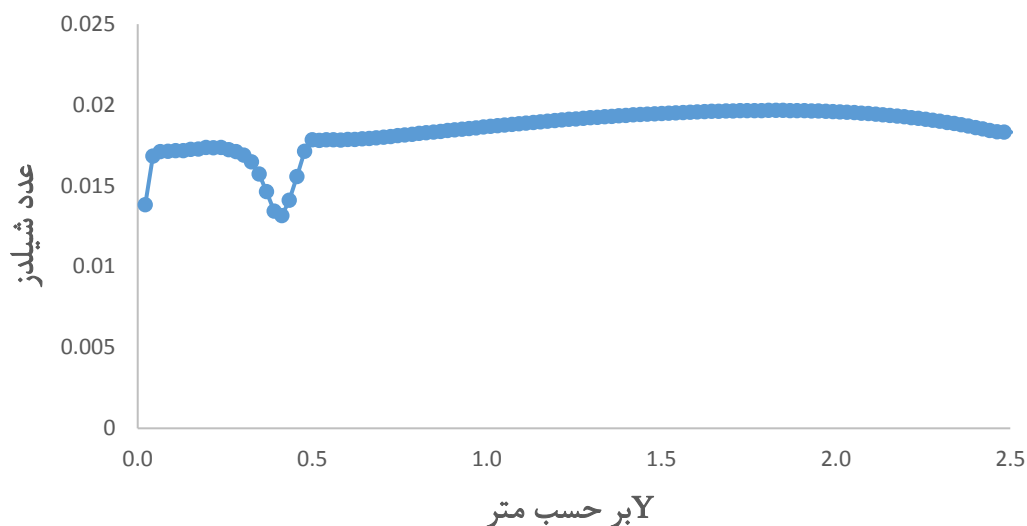
شکل (۵-۶۱) تغییرات عدد شیلدز را در وسط کانال فرعی و در زوایای تلاقی $\theta = 45^\circ$ و $\theta = 135^\circ$ نشان

می دهد. با در نظر گرفتن تغییرات سرعت در شکل (۵-۵۱) و رابطه ی مستقیم تنش برشی بستر و سرعت

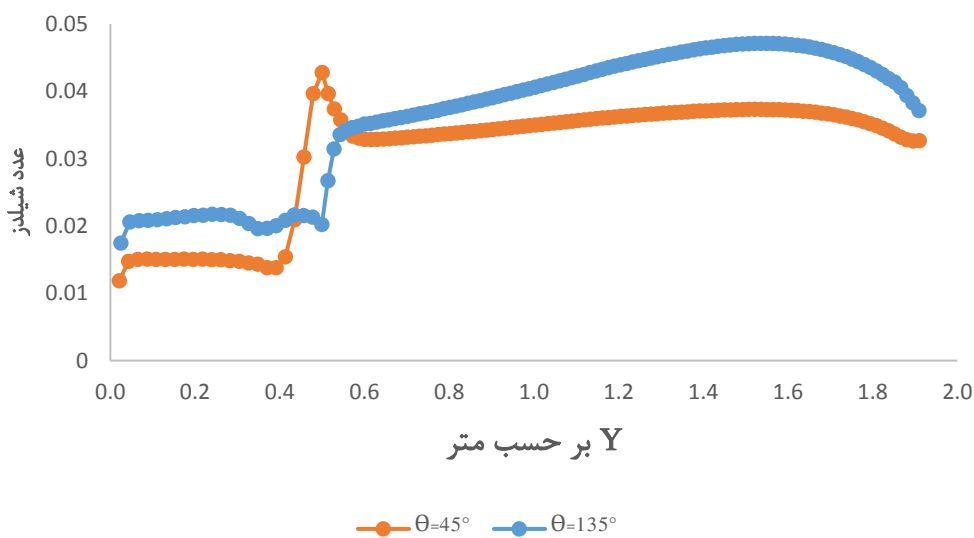
با تغییر زاویه ی تلاقی به 135° در کانال فرعی عدد شیلدز افزایش یافته است. در نقطه ی تلاقی به دلیل

برخورد شدیدتر جریان ورودی از کانال فرعی به جریان در کانال اصلی در $\theta = 135^\circ$ ، افت سرعت مشاهده

شده و در نتیجه تنش برشی بستر و عدد شیلدز کاهش یافته اند.



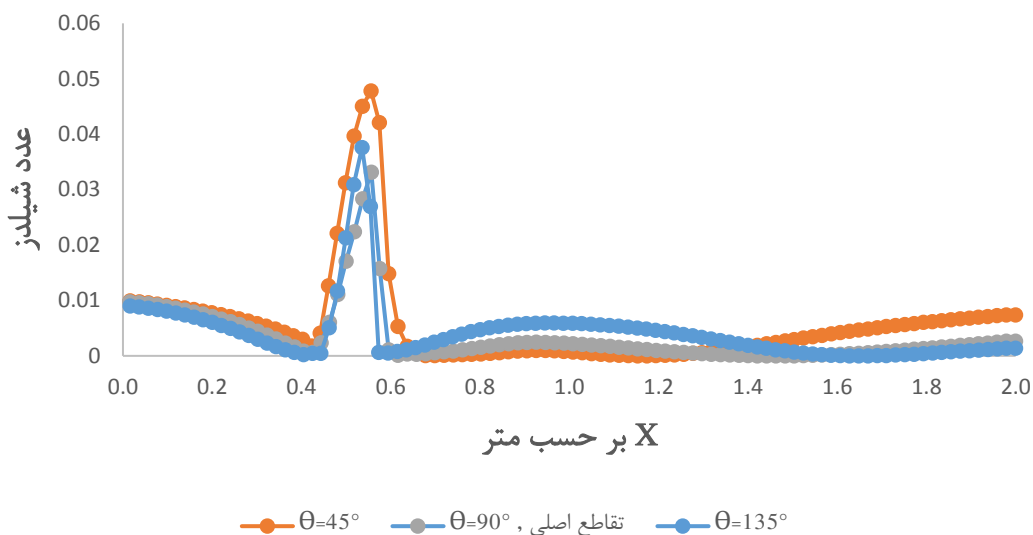
شکل (۵-۶۰): تغییرات عدد شیلدز در وسط کانال فرعی و در $\theta = 90^\circ$



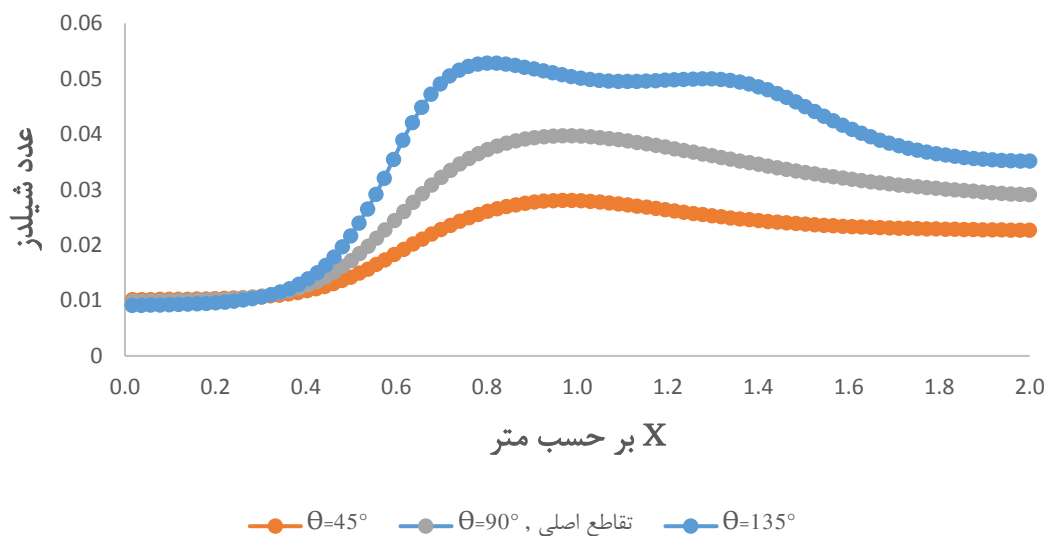
شکل (۵-۶۱): تغییرات عدد شیلدز در وسط کانال فرعی و در $\theta = 45^\circ$ و $\theta = 135^\circ$

شکل (۵-۶۲) تغییرات عدد شیلدز را در کناره ی دیواره ی سمت چپ کانال اصلی نشان می دهد. با کاهش زاویه ی تلاقی و برخورد جریان ورودی از کانال فرعی به اصلی در نقطه ی تلاقی، به دلیل هم جهت شدن این دو جریان در این نقطه سرعت افزایش پیدا کرده و در نهایت با افزایش تنش برشی بستر عدد شیلدز نیز به ماکزیمم مقدار خود رسیده است. با افزایش زاویه ی تلاقی افت سرعت مشاهده شده در ورودی جریان از

کانال فرعی به اصلی که در شکل (۵۱-۵) مشخص است باعث کاهش تنش برشی بستر و در نتیجه عدد شیلدز شده است.



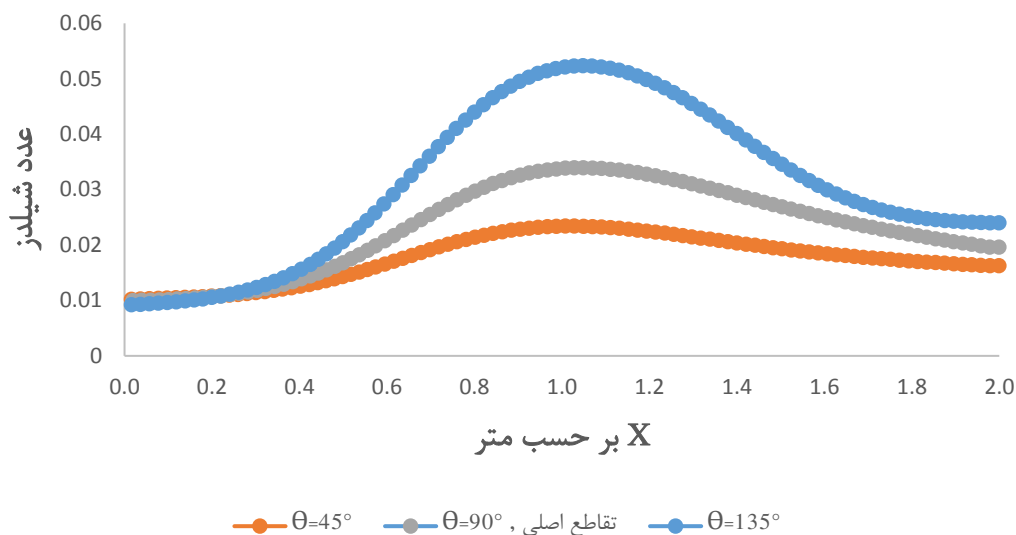
شکل (۶۲-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.48$ m و در حالت تغییر زاویه تلاقی



شکل (۶۳-۵): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.25$ m و در حالت تغییر زاویه تلاقی

شکل (۶۳-۵) تغییرات عدد شیلدز را در وسط کانال اصلی نشان می دهد. با افزایش زاویه ی تلاقی و با مد نظر قرار دادن افزایش سرعت در شکل (۵۲-۵) تنش برشی بستر نیز زیاد شده و افزایش عدد شیلدز را در

پی داشته است همچنین با کاهش زاویه ی تلاقی و کم شدن سرعت در شکل (۵-۵۲) تنش برشی بستر و متعاقبا عدد شیلدز نیز کاهش یافته اند.



شکل (۵-۶۴): تغییرات عدد شیلدز در $y = 0.2 \text{ m}$ و در حالت تغییر زاویه تلاقی

شکل (۵-۶۴) نیز تغییرات عدد شیلدز را در کناره ی دیواره ی سمت راست کانال اصلی نشان می دهد. با افزایش زاویه ی تلاقی و همچنین افزایش سرعت مشاهده شده در شکل (۵-۵۳-ج) تنش برشی بستر و عدد شیلدز نیز افزایش داشته اند اما با کاهش زاویه ی تلاقی و با توجه به کم شدن سرعت مشاهده شده در شکل (۵-۵۳-ب) تنش برشی بستر و عدد شیلدز کاهش یافته اند. با مقایسه ی اشکال (۵-۶۲) و (۵-۶۳) و (۵-۶۴) می توان دریافت که ماکزیمم عدد شیلدز در حالت تغییر زاویه ی تلاقی در وسط و کناره ی دیواره ی سمت راست کانال اصلی رخ می دهد.

فصل ششم

خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات

۶- ۱ - مقدمه

در این فصل به مرور خلاصه ی آنچه تا کنون در این تحقیق گفته شده و جمع بندی نتایج می پردازیم.

۶- ۲ - خلاصه

در فصل اول ابتدا به اهمیت موضوع بررسی جریان و رسوب در تقاطع ها پرداخته و توضیحاتی در مورد کلیات جریان و قسمت های مختلف این تحقیق آورده شد. در فصل دوم آشنایی با مفهوم مدل سازی و درک اهمیت این روش در پدیده های رودخانه ای و رسوبی توضیح داده شد و انواع روش های مدل سازی به طور کلی مرور شد. در فصل سوم و جهت آمادگی بیشتر برای درک موضوع و ساز و کار جریان در تلاقی ها، به بررسی تحقیقات عددی و آزمایشگاهی داخلی و خارجی انجام گرفته در این زمینه پرداخته شد و نتایج آن ها مرور شد. در فصل چهارم ابتدا به معرفی مدل عددی CCHE2D به عنوان نرم افزار مورد استفاده قرار گرفته در این تحقیق پرداخته و سپس معادلات حاکم بر جریان و رسوب، انواع مدل های آشفتگی مورد استفاده، روش های مختلف شبیه سازی بار رسوبی و حل معادلات حاکم بر جریان و رسوب توسط نرم افزار ارائه شد. در ادامه ی این فصل نیز به بررسی نتایج مدل آزمایشگاهی و عددی و مطابقت آن ها جهت صحت سنجی و اطمینان از جواب های نرم افزار پرداخته شد. در فصل پنجم این تحقیق، با استفاده از نرم افزار، نتایج بررسی تاثیر پارامترهای مختلف و مهم بر الگوی جریان و رسوب و بحث و توضیح در مورد چگونگی رخ دادن آن ها بیان و از شکل های کانتوری و نمودارهای رسم شده جهت ارائه ی بهتر مطالب استفاده شد. در فصل حاضر هم مرور نتایج این تحقیق و پیشنهاداتی برای آینده بیان شده است.

۶-۳- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی ۴ پارامتر مهم و تاثیر گذار بر الگوی جریان و رسوب پرداخته شد که عبارتند از (۱) تغییر نسبت دبی در کانال ها (۲) تغییر نسبت عرض کانال ها (۳) تغییر شیب در کانال ها (۴) تغییر زاویه ی تلاقی کانال ها. با تغییر در نسبت دبی کانال ها و با افزایش این نسبت سرعت در کانال فرعی زیاد، و با توجه به تغییرات کم عمق آب، عدد فرود جریان نیز در این کانال افزایش داشته و این افزایش عدد فرود با توجه به ورود جریان از کانال فرعی به اصلی، در طول کانال اصلی و تا انتها نیز ادامه داشته است. با افزایش سرعت در کانال فرعی، سرعت در ناحیه ی جداشدگی جریان کاهش بیشتری داشته و تراز رسوبات هم در این کانال کمتر شده است. همچنین عدد شیلدز با افزایش سرعت در کانال فرعی زیاد شده است. اما با کاهش نسبت دبی و با توجه به افزایش دبی در کانال اصلی، سرعت در این کانال زیاد شده و تراز رسوبات بستر نیز پایین آمده است. همچنین عدد شیلدز نیز افزایش یافته و بر عدد فرود جریان هم به دلیل تغییرات کم عمق افزوده شده است.

با تغییر در نسبت عرض کانال ها و با افزایش این نسبت و با توجه به افزایش عرض کانال فرعی، سرعت در این کانال کم و از مقدار عدد فرود جریان نیز در این کانال کاسته شده است. سرعت در ناحیه ی جداشدگی جریان با افزایش نسبت عرض کانال ها بیشتر و طول این ناحیه کمتر شده است. همچنین تغییر خاصی در تراز رسوبات رخ نداده است. با کاهش نسبت عرض کانال ها و با توجه به افزایش عرض کانال اصلی در این قسمت سرعت در این کانال کم و تراز رسوبات نیز بدون تغییر باقی مانده است. عدد فرود جریان نیز کم شده و از مقدار عدد شیلدز نیز در نقاط مختلف کانال اصلی کاسته شده است.

با تغییر در شیب کانال فرعی عمق جریان در این کم شده و سرعت در آن زیاد شده است. عدد شیلدز نیز افزایش یافته و تراز رسوبات در ابتدای کانال بیشتر شده و مطابق با شیب تا انتهای کانال کشیده شده است.

با کاهش عمق در کانال فرعی عدد فرود جریان هم افزایش داشته اما سرعت در ناحیه ی جداشدگی تغییر خاصی نکرده است. افزایش شیب در کانال اصلی باعث کاهش عمق بیشتر شده و سرعت و عدد فرود جریان را افزایش داده است. تراز رسوبات در کف کانال مطابق با افزایش شیب در ابتدای کانال زیاد شده در محدوده ی تلاقی با ورود جریان از کانال فرعی به اصلی چاله ی فرسایشی را تشکیل داده و در انتها رسوبات کنده شده، ته نشین شده و افزایش تراز رسوب را به همراه داشته اند همچنین سرعت در ناحیه ی جدا شدگی کمتر و منفی تر شده است.

با تغییر در زاویه ی تلاقی دو کانال و با افزایش این زاویه سرعت کل در کانال فرعی زیاد شده و کم شدن تراز رسوب را در پی داشته است. همچنین عدد شیلدز در کانال فرعی افزایش و عدد فرود جریان نیز در این کانال زیاد شده است. سرعت در ناحیه ی جداشدگی هم کمتر و منفی تر شده است. اما با کاهش زاویه ی تلاقی باز هم افزایش سرعت در کانال فرعی دیده شده و تراز رسوبات کمتر شده است. عدد شیلدز افزایش محسوسی داشته و عدد فرود جریان در قسمت های بعد از کانال اصلی افزایش قابل ملاحظه ای داشته است. همچنین طول ناحیه ی جداشدگی جریان هم کاهش یافته است.

۶ - ۴ - پیشنهادات

با توجه به نتایج این تحقیق برای تحقیقات آینده پیشنهاداتی ارائه می شود. پیشنهاد می شود همین تحقیق با دیگر مدل های دو بعدی موجود در دینامیک سیالات محاسباتی انجام شود تا مقایسه ی بهتری بین CCHE2D و دیگر مدل های دو بعدی صورت پذیرد. در این تحقیق شرایط ورودی و معرفی شده ی رسوب به نرم افزار در تمام قسمت ها یکسان گرفته شد بنابراین با تغییر در شرایط رسوب و پارامترهای مختلف آن مانند دبی رسوبی و ریختن بیش از چند لایه رسوب کف کانال ها و ... نتایج قدرت جریان در آبستنگی کانال ها مورد تحلیل قرار گیرند. پیشنهاد می شود ابنیه ای نیز در پایین دست تلاقی تعبیه شود

(مانند پل و ...) تا قدرت جریان در اطراف این سازه و تاثیر رسوب بر آن مشخص شود. بررسی همزمان چند تلاقی متصل به یک رودخانه و تغییر در شرایط هیدرولیکی و رسوبی هم می تواند پیشنهاد دیگری برای ادامه ی این تحقیق باشد.

منابع

۷ - منابع :

[۱] رستمی م، عزیزیان ا، (۱۳۹۳) ” آموزش کاربردی CCHE2D در مدل سازی هیدرودینامیک و انتقال رسوب مجاری رو باز“ چاپ اول، انتشارات نو پردازان.

[2] Best J. L, (1988) , "Sediment transport and bed morphology at river channel confluences ",Sedimentology, 35, 481-498.

[۳] بلوچی ب، شفاعی بجستان م، (۱۳۹۰)، ” بررسی آزمایشگاهی تاثیر آورد رسوب شاخه ی اصلی بر الگوی رسوب در محل تلاقی رودخانه ها “، فصل نامه ی علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ، ص ۴.

[۴] جباری آ، برقی م، (۱۳۸۷)، ” بررسی آزمایشگاهی الگوی رسوب و فرسایش در محل اتصال کانال ها “، چهارمین کنگره مهندسی عمران، ص ۲.

[۵] قبادیان ر، شفاعی بجستان م، آذری ا، (۱۳۸۷)، ” بررسی تاثیر زاوی اتصال بر الگوی فرسایش و رسوب گذاری در محل تلاقی رودخانه ها با استفاده از مدل فیزیکی “، مجله ی پژوهش کشاورزی ، ص ۱۰.

[۶] نظری گیگلو، (۱۳۸۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد : ” بررسی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در اتصال رودخانه ها “، دانشکده ی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

[۷] زینی وند م، شفاعی بجستان م، (۱۳۸۶)، ” بررسی آزمایشگاهی صفحات مستغرق در محل تلاقی رودخانه ها “، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

[۸] شکیبایی نیا، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدلسازی عددی جریان در اتصال رودخانه ها ، دانشکده ی عمران و محیط زیست، دانشگاه پلی تکنیک تهران.

[۹] گوهری س، (۱۳۹۱)، " بررسی عددی و آزمایشگاهی جریان در تقاطع ۹۰ درجه کانالهای مستطیلی "، مجله ی پژوهش های حفاظت خاک "، شماره چهارم، ص ۱۰.

[۱۰] خسروی نیا پ، دلیر ع، شفاعی بجستان م، فرسادی زاده د، (۱۳۹۳)، " بررسی آزمایشگاهی و عددی تاثیر شیب جانبی کانال اصلی بر الگوی جریان در تلاقی ۹۰ درجه کانالهای باز "، نشریه ی دانش آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، ص ۱۴.

[۱۱] حسنی نیا ا، (۱۳۹۱)، " اثر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر تنش برشی بستر در محل تلاقی رودخانه ها با استفاده از CCHE2D "، سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ص ۸.

[12] Mosely, M.P. (1976), "An experimental study of channel confluences" J. of Geol. Elsevier Science, 84, p. 535-562.

[13] Taylor, E. H. (1944). "Flow characteristics at rectangular open-channel junctions. "American Society of Civil Engineers -- Proceedings, 70, 119-121.

[14] Webber N.B, Greated C. A , (1966), "An investigation of flow behavior rectangular channels, "Proc. Institute Civil Engineers, at the junction of London, Vol. 34, 321–334.

[15] Ribeiro, L.(2011) ." Influence of tributary widening on confluence morphodynamics ", Laboratory of Hydraulic Constructions, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland.

- [16] Roy, G.A. and R. Roy, (1988), " Changes in channel Size at river Confluences with coarse bed material", *Earth surface processes and Land forms*, 13, 77 – 84.
- [17] Khan, A.A., R.Cadavid, S.S.-Y.Wang, (2000), "Simulation of channel confluence and bifurcation using the CCHE2D model ." *Proc. Instant Civil. Engineers Water &Mar. Engng*", No.98.
- [18] Shettar A. S. ,K. K. Murthy, (1996) , " A numerical study of division of flow in open channels", *Journal of Hydraulic Research, IAHR* , , 34, No. 5, 651±675.
- [19] Biron, P.M., Richer, A., Kirkbride, D.A.,Roy,G.A., and Han,S. 2002. Spatial patterns of topography at a river confluence. *Earth surface processes and landforms, WILEY*, 28(9): 913-928.
- [20] Zhang Ting. 2009 . Effect of discharge Ratio on flow characteristics in 90 degree equal-width open-channel junction. *J. Hydr. Engng. ,.ELSEVIER. , 541-549.*
- [21] Jia, Yafei., and Wang, Sam. S. Y., (2001), "CCHE2D: Two Dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed", *NCCHE Technical Report, NCCHE-TR-2001-1.*
- [22] Zhang, Yaixin., and Jia, Yafei., (2009), "CCHE-MESH: 2D Structured Mesh Generator User's Manual-Version 3.x." *NCCHE Technical Report, NCCHE-TR-2009-.1.*

[23] Zhang, Yaoxin., (2006), “CCHE-GUI - Graphical Users Interface for NCCHE Model User’s Manual – Version 3.0.” NCCHE Technical Report, NCCHE-TR-2006-2.

[24] Wu, Weiming., (2001), “CCHE2D Sediment Transport Model (Version 2.1).” NCCHE Technical Report, NCCHE-TR-2001-3.

[25] Chow, V.T., (1959), “Open Channel Hydraulics”, McGraw-Hill Book, Singapore.

[26] Parker G, (2004), “ 1D Sediment Transport Morphodynamics With Applications To Rivers And Turbidity Currents” ,Chapter 5,P 4.

[۲۷] حسینی م، ابریشمی ج، (۱۳۹۰)، ” هیدرولیک کانال های باز“، چاپ بیست و هفتم، انتشارات آستان

قدس رضوی، ص ۳۳

Abstract

Nowadays by development of different sciences and technologies, understanding various phenomena and exception their complex mechanism is easy. Fluids and Hydraulic science isn't exception to this rule. By development at different topic such in computational fluid dynamic and the growing number of different models to evaluate the types of river phenomena, Understanding the complex changes in flow and provide a reliable solution to prevent environmental damage easier. River confluence and their multi_branching and the pattern of flow and sediment in these areas, are always interesting and important topics for researchers in the field of hydraulic science. However, most of the researches in this field are experimental rather than numerical, but the laboratory investigations has various restrictions. In this research, various flow and sediment transport are modeled by using 2D CCHE2D program for different critical parameters of the flow. At first a model was validated using experimental results and then flow parameters such as velocity, Froud number, Shields number and sediment levels were computed for different parameters for discharge, width and angle of intersection. Also the area of flow separation as well as an important area for the confluence studied and How to change the velocity and align of bottom sediments in this section checked at the end different researches were suggested for better understanding of flow and sediment transport in confluences.

Keywords: computational fluid dynamic, CCHE2D, River confluence, pattern of flow and sediment



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Water Engineering and Hydraulic Structures

Simulation of Sediment Transport at River Confluence

By: Navid Soleimani Najafabad

Supervisor:

Dr Ramin Amini

July 2017