

بہ نام نزدان



دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و محیط زیست

مدل سازی انتقال رسوب از روی سریزها

نگارنده: امیر صادق تنوری

استاد راهنما:

دکتر رامین امینی

بهمن ۱۳۹۷

شماره: ۹۷/۸۷
تاریخ: ۴۷/۱۱/۸۷

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای امیر صادق تنوری با شماره دانشجویی ۹۴۰۴۷۰۴ رشته عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی تحت عنوان مدل سازی انتقال رسوب از روی سرریزها که در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۰۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود ☒ قبول (با درجه: ۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵، ۱۰۰)			
نوع تحقیق: ☒ نظری ☐ عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	آقای دکتر رامین امینی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-----		
۳- استاد مشاور	-----		
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر مهدی گلی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	آقای دکتر رمضان واقعی	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	آقای دکتر سعید گلپای	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: آقای دکتر رضا نادری

دانشکده مهندسی عمران

آموزش تحصیلات تکمیلی و پژوهش دانشکده

تصريح: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم بہ عزیزانم

تشکر و قدرانی:

اکنون که این تحقیق شمره ماه تلاش و کوشش بی وقفه اینجانب در عرصه علم و فن آوری در جهت رشد و بالندگی کشور عزیزم ایران است، مرهمون زحمات خستگی ناپذیر اساتید محترم و همکمری و شراکت معنوی این عزیزان با این حقیر است.

لذا بر خود لازم می دانم از جناب آقای دکتر اسین اینی که همواره باینش دقیق علمی خود و باروی گشاده بنده رایاری داده اند قدر دانی نمایم. بحق که بسیاری از دانسته های علمی خود را بدون لطف و عنایت این عزیزان می باشم.

الهی بر تمامی عزیزانی که از آثارشان استفاده نمودم و دوستانی که در تهیه این مختصر حقیر رایاری نمودند نظری خاص فرما که بکلی سخت محتاج آن اکسیر نگاه و کیمیای عشق تو، مستیم. باشد که این تحقیق هر چند ناچیز، مورد استفاده دیگران که در این زمینه فعالیت خواهند کرد قرار گیرد.

تعهدنامه

اینجانب امیر صادق تنوری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - گرایش سازه‌های هیدرولیکی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "مدل سازی انتقال رسوب از روی سرریزها" تحت راهنمایی آقای دکتر رامین امینی به عنوان استاد راهنما متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

• کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood University of technology" به چاپ خواهد رسید.

• حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.

• در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

• در کلیه مراحل انجام پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

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

چکیده:

در این مطالعه از یک مدل عددی به منظور بررسی انتقال رسوب بار بستر و بار معلق در سرایشی‌های تند از جمله سرریزها صورت پذیرفته است. به همین منظور از یک سرریز دوزنقه‌ای لبه پهن استفاده شده است. در این پژوهش از نرم افزار SSIIM که به صورت سه بعدی معادلات جریان و رسوب را لحاظ می‌کند، استفاده گردیده است. نرم افزار SSIIM بر مبنای رویکرد احجام محدود با شبکه سازمان یافته سه بعدی طراحی شده و در آن معادلات ناویر استوکس و معادلات انتقال و انتشار برای حمل رسوبات حل می‌شوند. در ادامه به منظور بررسی صحت نتایج و توانایی مدل عددی، نتایج با اطلاعات آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج نشان داد برای یک سرریز، افزایش نیروی جریان که ناشی از افزایش سرعت جریان در اثر کاهش عمق بر روی سرایشی سرریز است؛ باعث حمل و حرکت رسوبات بر روی سرریز می‌شود. با توجه به اثر شیب بر روی حرکت رسوبات در بالا دست سرریز، کل رسوبات به صورت معلق بر روی سرریز منتقل می‌شود و هیچ گونه ته نشین رسوبی قابل توجهی برای ناحیه بالادست سرریز قابل عنوان نیست و ته نشین رسوب در پایین دست همان طور که انتظار می‌رود در ناحیه مربوط به کاهش سرعت اتفاق می‌افتد. نتایج نشان داد مدل عددی SSIIM به خوبی می‌تواند الگوی انتقال رسوب را در اطراف سرریز پیش بینی کند. سپس رسوب عبوری از روی سرریز تحت ۸ دبی به مقادیر ۰.۰۱۵، ۰.۰۲، ۰.۰۲۵، ۰.۰۳۱، ۰.۰۳۶، ۰.۰۴۳، ۰.۰۴۹، ۰.۰۵۷ متر مکعب بر ثانیه و قطرهای مختلف رسوبات مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که برای هر دبی جریان، قطر ذرات تا حدی افزایش می‌یابد که دیگر ذرات قادر به عبور از روی سرریز نباشند و تغییرات بستر فقط قبل از سرریز شکل می‌گیرد در نتیجه، نتایج این آزمایش عددی نشان داد که قطر ذرات رسوبی که قادر به عبور از روی سرریز نبوده‌اند به ترتیب دبی‌های ذکر شده برابر ۰.۰۰۱۷، ۰.۰۰۳۳، ۰.۰۰۶۵، ۰.۰۰۱۶، ۰.۰۰۲۶، ۰.۰۰۵۲، ۰.۰۰۷۲ و ۰.۰۱۱ متر می‌باشد. در نهایت نتایج نشان داد در حالتی که شرایط جریان ثابت باشد، با افزایش قطر رسوبات نیروی مقاوم به محرک در حرکت رسوبات افزایش می‌یابد. ذرات رسوبی سقوط کرده و دیگر ذرات قادر به عبور از روی سرریز نیستند. سپس از نتایج حاصل، رابطه‌ای جهت تخمین حداکثر قطر ذرات رسوبی عبوری از روی سرریز به دست آمد.

کلید واژه: انتقال رسوب، دبی جریان، سرریز، معادله ناویراستوکس

فهرست مطالب

فصل ۱ کلیات

۱-۱	مقدمه.....	۲
۲-۱	ضرورت انجام تحقیق.....	۲
۳-۱	روش تحقیق.....	۴
۴-۱	اهداف تحقیق.....	۵
۵-۱	ساختار پایان نامه.....	۵

فصل ۲ تعاریف و مفاهیم

۱-۲	مقدمه.....	۸
۲-۲	سرریز.....	۸
۱-۲-۲	انواع سرریز.....	۸
۱-۱-۲-۲	سرریزهای لبه تیز.....	۸
۲-۱-۲-۲	سرریز لبه پهن.....	۹
۳-۲	رسوب.....	۱۰
۴-۲	فرم بستر.....	۱۱
۵-۲	آستانه حرکت.....	۱۱
۶-۲	عدد شیلدز.....	۱۱
۱-۶-۲	شیلدز بحرانی.....	۱۲
۲-۶-۲	تأثیر شیب برشیلدز بحرانی.....	۱۲
۷-۲	انتقال بار.....	۱۳
۱-۷-۲	انتقال بار معلق.....	۱۳
۲-۷-۲	انتقال بار بستر.....	۱۳
۳-۷-۲	بار کل.....	۱۴
۸-۲	آب شستگی.....	۱۴
۱-۸-۲	عمق آب شستگی.....	۱۴
۲-۸-۲	آب شستگی همگرا.....	۱۴
۳-۸-۲	آب شستگی موضعی.....	۱۴
۹-۲	فرسایش (کف کنی).....	۱۵
۱۰-۲	رسوب گذاری (بالا آمدگی).....	۱۵
۱۱-۲	اصول تئوری دینامیک سیالات.....	۱۵
۱۲-۲	روش های حل معادلات.....	۱۵
۱-۱۲-۲	انواع مدل های ریاضی.....	۱۶
۲-۱۲-۲	داده های مورد نیاز مدل های ریاضی.....	۱۶

۱۶	۲-۱۲-۱- داده‌های هیدرولوژی
۱۷	۲-۱۲-۲- داده‌های هندسی
۱۷	۲-۱۲-۳- داده‌های هیدرولیکی
۱۷	۲-۱۲-۴- داده‌های رسوبی
۱۸	۲-۱۳- شبکه‌بندی

فصل ۳ پیشینه و سوابق تحقیق

۲۰	۳-۱- مقدمه
۲۰	۳-۲- تحقیقات انجام‌شده در زمینه الگوی جریان بر روی سریز
۲۰	۳-۲-۱- تحقیقات خارجی
۲۱	۳-۲-۲- تحقیقات داخلی
۲۵	۳-۳- تحقیقات انجام‌شده در زمینه الگوی انتقال رسوب
۲۵	۳-۳-۱- تحقیقات خارجی
۲۸	۳-۳-۲- تحقیقات داخلی
	۳-۴- نمونه از تحقیقات انجام‌شده به‌صورت سه‌بعدی توسط نرم‌افزار SSIIM در یک کانال و مقایسه آن با مدل
۳۰	یک‌بعدی و دوبعدی

فصل ۴ آشنایی با نرم‌افزار SSIIM و معادلات حاکم

۳۴	۴-۱- مقدمه
۳۴	۴-۲- کلیات
۳۵	۴-۳- هدف برنامه
۳۵	۴-۴- ساختار و نسخه‌های نرم‌افزار
۳۷	۴-۵- قابلیت‌های برنامه
۳۸	۴-۶- محدودیت‌ها و مشکلات برنامه
۳۸	۴-۷- شبکه‌های با ساختار منظم و غیرمنظم
۳۹	۴-۸- ایجاد شبکه برای مدل عددی SSIIM
۳۹	۴-۹- معادله حاکم بر جریان
۴۱	۴-۱۰- مدل‌های آشفستگی
۴۱	۴-۱۰-۱- مدل‌های صفرمعادله‌ای
۴۱	۴-۱۰-۲- مدل‌های یک معادله‌ای
۴۲	۴-۱۰-۳- مدل‌های دو معادله‌ای $K-\epsilon$
۴۳	۴-۱۱- مزایای و معایب مدل آشفستگی $K-\epsilon$
۴۳	۴-۱۱-۱- مزایا

۴۳	۴-۱۱-۲- معایب.....
۴۳	۴-۱۲- قوانین دیواره.....
۴۴	۴-۱۳- معادلات حاکم بر محاسبه انتقال رسوب.....
۴۷	۴-۱۴- پایداری و همگرایی.....
۴۸	۴-۱۴-۱- معیار همگرایی.....
۴۹	۴-۱۴-۲- ناپایداری‌ها.....
۵۰	۴-۱۵- پارامترهای کالیبراسیون.....

فصل ۵ محاسبات و نتایج

۵۴	۵-۱- مقدمه.....
۵۴	۵-۲- توصیف مدل آزمایشگاهی.....
۵۷	۵-۳- شبیه‌سازی عددی.....
۵۷	۵-۳-۱- تولید و تنظیم شبکه‌بندی میدان حل.....
۵۷	۵-۳-۲- شرایط مرزی.....
۶۲	۵-۴- بررسی نتایج مدل‌سازی انتقال رسوب.....
۶۸	۵-۵- بررسی حداکثر قطر رسوب عبوری از روی سرریز.....
۶۹	۵-۵-۱- پارامترهای مؤثر در تخمین حداکثر قطر رسوب عبوری از روی سرریز.....
۶۹	۵-۵-۲- نحوه بررسی حداکثر قطر عبوری از روی سرریز.....
۷۰	۵-۵-۲-۱- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۵۷ مترمکعب بر ثانیه.....
۷۱	۵-۵-۲-۲- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۴۹ مترمکعب بر ثانیه.....
۷۳	۵-۵-۲-۳- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۴۳ مترمکعب بر ثانیه.....
۷۴	۵-۵-۲-۴- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۳۶ مترمکعب بر ثانیه.....
۷۶	۵-۵-۲-۵- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۳۱ مترمکعب بر ثانیه.....
۷۷	۵-۵-۲-۶- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۲۵ مترمکعب بر ثانیه.....
۷۹	۵-۵-۲-۷- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۲ مترمکعب بر ثانیه.....
۸۰	۵-۵-۲-۸- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۱۵ مترمکعب بر ثانیه.....
۸۲	۵-۵-۲-۹- منحنی و رابطه حاصل از پارامترهای بی‌بعد مؤثر.....
۸۴	۵-۵-۲-۱۰- اعتبارسنجی رابطه حاصل از پارامترهای بی‌بعد مؤثر.....

فصل ۶ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۸۸	۶-۱- خلاصه.....
۸۸	۶-۲- نتیجه‌گیری.....
۸۹	۶-۳- پیشنهادات.....
۹۱	منابع.....

فهرست اشکال

شکل ۲-۱	سریز لبه تیز، (a) مقطع، (b) پلان سرریز لبه تیز هم‌عرض، (c)، (d)، (e) سرریز لبه تیز کوچک‌شده.....	۹
شکل ۲-۲	بعضی از انواع سرریز لبه پهن.....	۹
شکل ۲-۳	چهار رژیم غالب جریان بر روی سرریز دوزنقه‌ای.....	۱۰
شکل ۲-۴	نمودار شیلدز برای تعیین آستانه حرکت ذرات رسوبی.....	۱۱
شکل ۲-۵	توده ذرات روی سطح شیب‌دار.....	۱۲
شکل ۳-۲	انتقال رسوب از روی سرریز شیب‌دار.....	۲۷
شکل ۴-۱	فلوچارت فایل‌های ورودی و خروجی نرم‌افزار SSIIM1.....	۳۷
شکل ۴-۲	منحنی سرعت نقطه‌ای در جریان متلاطم.....	۴۰
شکل ۴-۳	روش تکراری رسیدن به مقدار دقیق با حدس اولیه.....	۴۷
شکل ۴-۴	صفر شدن پسماند قبل از رسیدن به مقدار دقیق.....	۴۹
شکل ۴-۵	یک نمونه از رخداد ناپایداری در ضمن حل.....	۴۹
شکل ۵-۱	مشخصات مدل آزمایشگاهی سرریز لوچلان.....	۵۵
شکل ۵-۲	نمایی از پلان مشبندی توسط نرم‌افزار SSIIM.....	۵۸
شکل ۵-۳	پروفیل انتقال بار بستر (خط توپر) در مدل عددی در امتداد محور طولی کانال پس از ۸ ساعت مطابق بازمان آزمایش لوچلان.....	۶۲
شکل ۵-۴	پروفیل انتقال بار معلق (خط توپر) در مدل عددی در امتداد محور طولی کانال پس از ۸ ساعت مطابق بازمان آزمایش لوچلان.....	۶۳
شکل ۵-۵	نمایی از بالادست سرریز در آزمایش لوچلان بعد از ۸ ساعت.....	۶۴
شکل ۵-۶	نمایی از پایین‌دست سرریز در آزمایش لوچلان بعد از ۸ ساعت.....	۶۵
شکل ۵-۷	پروفیل تراز اولیه کف و تراز کف بعد از ۳۰ دقیق در مدل عددی SSIIM.....	۶۶
شکل ۵-۸	پروفیل تراز اولیه کف و تراز کف بعد از ۲۴۰ دقیق در مدل عددی SSIIM.....	۶۶
شکل ۵-۹	کانتور سرعت (m/s) در مدل عددی SSIIM.....	۶۷
شکل ۵-۱۰	پروفیل تراز اولیه کف و تراز نهایی کف در مدل عددی SSIIM بعد از ۸ ساعت.....	۶۷
شکل ۵-۱۱	تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۵۷ متر مکعب بر ثانیه.....	۷۰
شکل ۵-۱۲	تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۴۹ متر مکعب بر ثانیه.....	۷۲
شکل ۵-۱۳	تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۴۳ متر مکعب بر ثانیه.....	۷۳
شکل ۵-۱۴	تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۳۶ متر مکعب بر ثانیه.....	۷۵
شکل ۵-۱۵	تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۳۱ متر مکعب بر ثانیه.....	۷۶
شکل ۵-۱۶	تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۲۵ متر مکعب بر ثانیه.....	۷۸
شکل ۵-۱۷	تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۲ متر مکعب بر ثانیه.....	۷۹
شکل ۵-۱۸	تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۱۵ متر مکعب بر ثانیه.....	۸۱
شکل ۵-۱۹	منحنی برازش داده شده بر منحنی حداکثر قطر عبوری ذرات رسوب از روی سرریز.....	۸۲
شکل ۵-۲۰	منحنی برازش داده شده بر منحنی حداکثر قطر عبوری ذرات رسوب از روی سرریز.....	۸۴

فهرست جداول

جدول ۱-۵	مشخصات آزمایش لوچلان	.....	۵۶
جدول ۲-۵	جزئیات مدل سازی آزمایش لوچلان (۲۰۰۱) در مدل عددی SSIIM	.....	۶۱
جدول ۳-۵	نتایج حاصل از دبی ۰.۰۵۷ متر مکعب بر ثانیه	.....	۷۱
جدول ۴-۵	نتایج حاصل از دبی ۰.۰۴۹ متر مکعب بر ثانیه	.....	۷۲
جدول ۵-۵	نتایج حاصل از دبی ۰.۰۴۳ متر مکعب بر ثانیه	.....	۷۴
جدول ۶-۵	نتایج حاصل از دبی ۰.۰۳۶ متر مکعب بر ثانیه	.....	۷۵
جدول ۷-۵	نتایج حاصل از دبی ۰.۰۳۱ متر مکعب بر ثانیه	.....	۷۷
جدول ۸-۵	نتایج حاصل از دبی ۰.۰۲۵ متر مکعب بر ثانیه	.....	۷۸
جدول ۹-۵	نتایج حاصل از دبی ۰.۰۲ متر مکعب بر ثانیه	.....	۸۰
جدول ۱۰-۵	نتایج حاصل از دبی ۰.۰۱۵ متر مکعب بر ثانیه	.....	۸۱
جدول ۱۱-۵	جمع بندی نتایج حاصل از ۸ دبی جریان به صورت جدول	.....	۸۳
جدول ۱۲-۵	مشخصات جریان به دست آمده در ۲ دبی جریان از نرم افزار SSIIM	.....	۸۵

فصل اکلیات

فصل ۱

مقدمه

۱-۱ مقدمه

یکی از مشکلات مهم در بحث انتقال رسوب، ورود رسوبات رودخانه‌ها به درون کانال‌ها است و با وجود اقدام‌هایی که برای کاهش ورود رسوبات انجام می‌گیرد؛ امکان جداسازی کامل این رسوبات از آب وجود ندارد. موضوع رسوب و انتقال رسوب ۱ در طی سالیان گذشته باعث شده است که مشکلات و معضلات عدیده‌ای در زمینه‌های مختلف به وجود آید. مسئله رسوب و انتقال آن از روی سریز ۲ باعث ایجاد پدیده‌هایی چون تغییر الگوی جریان، فرسایش، رسوب‌گذاری و خسارت به ابنیه و همچنین تغییر در ریخت‌شناسی رودخانه می‌شود. معمولاً طراحی این سازه‌ها بر اساس پیش‌فرض‌های مربوط به طراحی سریزها با آب خالص و بدون در نظر گرفتن تغییرات مورفولوژیکی بستر انجام می‌شود. درحالی‌که این پیش‌فرض‌ها در طراحی سریزهای ساخته‌شده در داخل کشور که از شرایط بستر طبیعی فرسایش‌پذیر و آب دارای رسوب برخوردارند، به‌ندرت مصداق پیدا می‌کند. درنتیجه عملکرد سریزهای اجراشده مطابق آنچه در طراحی مدنظر بوده نیست به همین علت در این تحقیق برای درک بهتر از این پدیده به شبیه‌سازی الگوی رسوب‌گذاری و انتقال رسوب در روی سریزها پرداخته شده است.

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق

استفاده بهینه از رودخانه‌ها به لحاظ اهمیتی که این منابع طبیعی در برآورد نیازهای بشر، از دیرباز تاکنون داشته است امری ضروری است. به علت نزدیکی سازه‌های تغذیه‌کننده از آب رودخانه و زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه نیاز به یک برنامه‌ریزی علمی جهت حفظ و حراست از این سازه‌ها اجتناب‌ناپذیر است. کلیه

رودخانه‌ها در معرض تغییر و تحول قرار دارند و به مطالعات جهت بررسی تغییرات دبی جریان، دبی رسوبی، مسیر رودخانه، عمق آبراهه و کیفیت آب نیاز است. از جمله مباحث مهم، شناخت شکل رودخانه (مورفولوژی)، تثبیت، سواحل و بستر رودخانه، کانالیزه کردن و کنترل سیلاب است. سیلاب و طغیان در رودخانه باعث ایجاد خسارات جبران‌ناپذیری شده و جهت جلوگیری از خسارت نیاز به ساخت سازه‌های کنترل‌کننده است. روش‌های معمول در راه رسیدن به این هدف استفاده از سازه‌های مختلف، به‌تنهایی یا ترکیبی از آن‌ها مثل سد، سیل بند خاکی یا بتنی، پوشش بدنه، آب‌شکن یا سریز است که در این میان سریزها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند [۱۳].

در حقیقت اگر سریز یک سد، به‌درستی محاسبه و احداث شود، مشکل ناپایداری سازه و بحث سیلاب را در آن منطقه نخواهیم داشت. در واقع در بسیاری از مواقع به هنگام وقوع سیلاب و همچنین در شبکه‌های آبیاری، یکی از مشکلات مهم پیش‌آمده، ورود رسوبات رودخانه‌ها به درون کانال‌ها است که امکان جداسازی کامل رسوبات از آب وجود ندارد. در هر صورت وجود ذرات در آب امری کاملاً طبیعی است که نمی‌توان از تأثیر مخرب این رسوبات (شن، گل و لای، ماسه و غیره) در اطراف سازه‌های هیدرولیکی چشم‌پوشی کرد. جریان حاوی مواد رسوبی باعث بروز پدیده‌های طبیعی زیادی می‌شود؛ که برای عملکرد سازه‌ها مشکل‌آفرین است از قبیل آبشستگی در پایه‌های سریز، خوردگی‌های عمیق حاصل از سایش، ضربه رسوبات و همچنین تأثیر در مورفولوژی رودخانه و تأثیر بر ضریب تخلیه سریز. بنابراین آگاهی از میزان انتقال مواد رسوبی به‌صورت بار بستر یا بار معلق و نحوه‌ی انتقال آن و شناخت درستی از رسوب، فرسایش و انتقال شن و ماسه در سیستم رودخانه یا دشت سیلابی برای مدیریت پایدار رودخانه‌ها و سازه‌های آبی و در نتیجه درک بهتر این پدیده از اهمیت بالایی برخوردار است. بسیاری از آبراهه‌ایی که به‌صورت مصنوعی با ساخت خاک‌ریزها محدود شده است، در امتداد بین کانال اصلی و دشت سیلابی ساخته شده است. در یک رخداد سیلاب، سطح آب ممکن است از ارتفاع ماکزیمم مانع بالاتر رود و جریان آب و رسوب می‌تواند به نواحی دشت سیلابی انتقال یابد که غالباً نتیجه‌ی آن یک الگوی پیچیده از رسوب‌گذاری و فرسایش است. بررسی‌های حاضر در این تحقیق، برای درک

این پدیده و کمک به توضیح الگوهای رسوب‌گذاری، طراحی شده است. به‌همین منظور در این تحقیق به بررسی اثر بستر شیب‌دار بر بار بستر و بار معلق که توسط جریان انتقال می‌یابد، فرسایش، رسوب‌گذاری و اینکه این پدیده‌ها چگونه درک ما را از انتقال رسوب بر دامنه‌های شیب‌دار بهبود می‌بخشد، پرداخته شده است

۱-۳ روش تحقیق

با توجه به مطالب گفته شده علاوه بر اینکه تحقیقات بسیاری بر روی الگوی جریان و انتقال رسوب در رودخانه‌ها و کانال‌ها انجام شده است اما بررسی انتقال رسوب در روی سریزها به ندرت انجام شده است و پی بردن به اینکه فرسایش یا ته‌نشینی بعدی در کجا و در چه مقطعی به وقوع خواهد پیوست با مطالعه رفتار طولانی‌مدت رودخانه از طریق تفسیر عکس‌های هوایی در مقاطع زمانی مختلف و جمع‌آوری اطلاعات محلی امکان‌پذیر نیست. ساختن مدل فیزیکی در مقطعی که در معرض تخریب بیشتر قرار دارند نیز می‌تواند اطلاعاتی کمی به ما بدهد، اما با علم به این مطالب گفتنی است که شناختن شکل و ساختمان کانال‌ها و مورفولوژی رودخانه از طریق مدلی فیزیکی به دلیل پیچیدگی جریان و همچنین تأثیرات ناشی از مقیاس، به تنهایی قادر به ارائه درک روشنی از فیزیک حاکم بر این نوع مسائل نمی‌باشند و مستلزم صرف وقت و هزینه بالایی است که در بسیاری از موارد توجیه اقتصادی ندارد. در مقایسه با مدل‌سازی فیزیکی، مدل عددی کم هزینه‌تر بوده و به راحتی امکان تغییر پارامترهای مختلف و بررسی تأثیر آن‌ها در نتایج وجود دارد. به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه بیشتری به مطالعات عددی در مدل‌سازی جریان شده است. برای داشتن درک بهتر از فیزیک حاکم بر مسئله، لازم است این نوع جریان‌های پیچیده به صورت عددی در کنار مطالعات آزمایشگاهی بررسی شوند. ماهیت سه‌بعدی جریان در روی سریز، تحلیل جریان و رسوب را در آن‌ها مشکل می‌نماید. توسعه مدل عددی سه‌بعدی و پیشرفت قدرت محاسبات رایانه‌ها، منجر به استفاده روزافزون از مدل‌سازی عددی در بررسی‌های هیدرودینامیکی جریان و رسوب شده است؛ در حال حاضر مدل‌های مختلفی در زمینه شبیه‌سازی هیدرودینامیک و انتقال رسوب در کانال‌های روباز توسعه داده شده است که از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل عددی SSIIM اشاره نمود.

مدل SSIIM یک مدل سه بعدی هیدرودینامیکی و انتقال رسوب بر مبنای روش حجم محدود است که در نرم افزار SSIIM معادلات حاکم بر میدان جریان، معادلات ناویر-استوکس می باشند که جهت حل به صورت پیش فرض از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استفاده می شود. این نرم افزار بر مبنای رویکرد حجم محدود با شبکه‌ی سازمان یافته سه بعدی طراحی شده است و معادلات انتقال و انتشار برای حمل رسوب با استفاده از روش حجم کنترل حل می شوند. با توجه به اهمیت مطالب مذکور در این تحقیق سعی شده است تا با شبیه سازی عددی به وسیله مدل عددی سه بعدی SIIM به مطالعه هیدرودینامیک جریان و رسوب در روی سریز پرداخت و سپس صحت آن با مقایسه نتایج حاصله با نتایج آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گیرد.

۴-۱- اهداف تحقیق

اهداف مطالعه حاضر عبارتند از:

- ۱- مدل سازی جریان همراه با رسوب بر روی سریز و نحوی توزیع رسوب آن.
- ۲- بررسی اثر دامنه های بستر شیب دار بر روی بار بستر و بار معلق که تحت جریان، انتقال می یابد.
- ۳- بررسی اثر تغییرات سرعت جریان بر روی انتقال رسوب و چگونگی نقش آن در رسوب گذاری بر روی سریز و دشت سیلابی.

۵-۱- ساختار پایان نامه

تحقیق حاضر در شش فصل به شرح زیر تهیه و تنظیم شده است. فصل یکم شامل مقدمه ای بر توصیف مسئله، ضرورت انجام تحقیق و اهداف است. در فصل دوم ابتدا تعدادی از پرکاربردترین اصطلاحاتی که در این تحقیق مطرح است معرفی شده است، سپس به تعاریفی کوتاهی از مدل سازی پرداخته شده است سپس در فصل سوم بر روی مطالعات صورت گرفته توسط محققین پیشین پرداخته شده است. در فصل چهارم مباحث کوتاهی جهت آشنایی با نرم افزار SSIIM و همچنین کاربردها، معایب و قابلیت و معادلات حاکم مورد استفاده در مدل عددی معرفی می گردد.

در فصل پنجم نتایج مدل سازی های عددی به همراه تجزیه و تحلیل های انجام شده ارائه شده است و در نهایت در فصل ششم به ارائه خلاصه ای از نتایج به دست آمده از تحلیل مدل سازی های عددی به همراه جمع بندی و پیشنهادهایی جهت تکمیل نتایج و ایده های جدیدتر پرداخته شده است.

فصل ۲ تعاریف و مفاهیم

فصل ۲

تعاریف و مفاهیم

۲-۱- مقدمه

علم انتقال رسوب در مورد ارتباط مابین آب‌های جاری و ذرات رسوب بحث می‌کند. از آنجاکه درک خصوصیات فیزیکی آب و ذرات رسوب، به‌منظور مطالعه انتقال رسوب امری اساسی است. در این فصل ابتدا تعدادی از پرکاربردترین اصطلاحاتی که در این تحقیق مطرح است معرفی شده است. سپس به تعاریفی از مدل‌سازی پرداخته شده است.

۲-۲- سرریز

طبق تعریف، هر مانعی که بر سر راه جریان در کانال قرار گیرد و باعث شود تا آب در پشت آن بالا آمده و بر سرعت آب در ضمن عبور از روی آن افزوده شود، سرریز نامیده می‌شود [۱].

۲-۲-۱- انواع سرریز

سرریزها برحسب شکل تاج و اینکه آیا تمام یا قسمتی از عرض کانال را گرفته‌اند، تقسیم‌بندی می‌نمایند. در معمول‌ترین تقسیم‌بندی‌ها، سرریزها به دو گروه سرریزهای لبه تیز ۱ و سرریزهای لبه پهن ۲ تقسیم می‌شوند. همچنین سرریزها می‌توانند به شکل‌های مستطیلی، مثلثی، دوزنقه‌ای و سهموی ساخته شوند [۱].

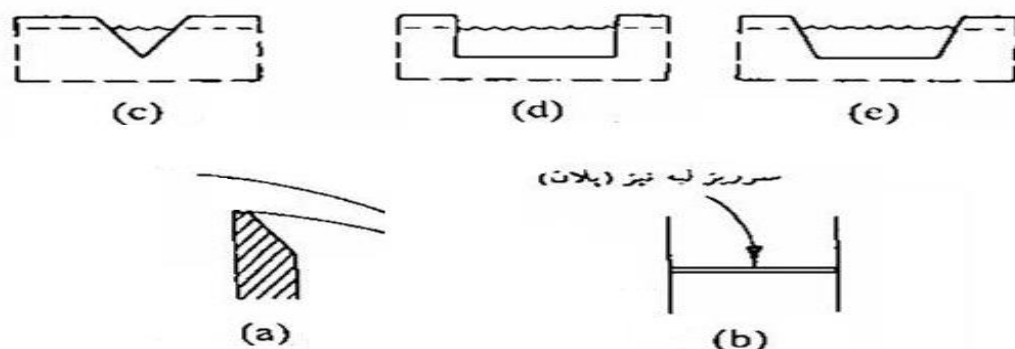
۲-۲-۱-۱- سرریزهای لبه تیز

این نوع سرریزها عموماً از یک صفحه قائم کار گذاشته‌شده در مسیر جریان تشکیل‌شده که دارای لبه و تاجی نسبتاً تیز در بالا، محلی که آب از آن عبور می‌کند است (شکل ۲-۱). سرریزهای لبه تیز علاوه بر اینکه به‌عنوان یک وسیله اندازه‌گیری دبی در کانال‌های باز، مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌عنوان یک سرریز که باعث

1-Sharp Crested Weirs

2-Broad Crested Weirs

افزایش ارتفاع و حجم آب در بالادست شده و آب از روی آن می‌گذرد نیز به کار می‌روند و از آنجا که تئوری هیدرولیکی مربوط به این سرریزها به‌عنوان پایه و اساس محاسبات و طراحی سرریزهای لبه پهن به کار می‌رود از اهمیت خاصی برخوردارند [۱].



شکل ۲-۱ سرریز لبه تیز، (a) مقطع، (b) پلان سرریز لبه تیز هم‌عرض، (c)، (d)، (e) سرریز لبه تیز کوچک‌شده

۲-۱-۲-۲- سرریز لبه پهن

در این نوع سرریزها، لبه سرریز به‌اندازه کافی پهن بوده و در مقایسه با سایر ابعاد، دارای اندازه قابل ملاحظه‌ای است (شکل ۲-۲). تاج سرریزهای لبه پهن، افقی و یا دارای انحناء خاصی بوده و اگرچه برای اندازه‌گیری دبی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند اما بیشتر به‌عنوان سرریز سدها و گاه خود سد، در صورتی که آب مجاز به گذشتن از روی آن باشد به کار می‌روند و در هر حال می‌توان در مواقع لزوم برای ذخیره نمودن حجم‌های زیاد آب و ارتفاع‌های بالا، از سرریز لبه پهن استفاده نمود [۱].



شکل ۲-۲ بعضی از انواع سرریز لبه پهن

پارامترها و عوامل مهم تأثیرگذار در هیدرولیک این نوع سرریزها عبارت‌اند از:

۱- طول تاج

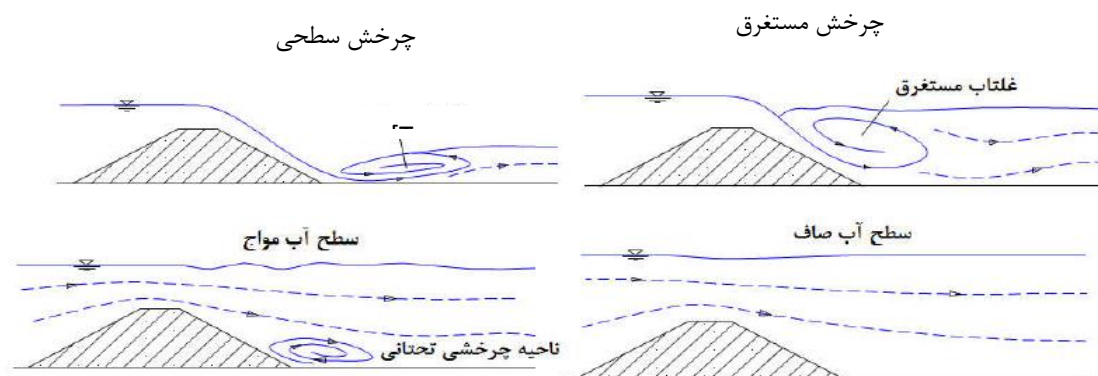
۲- شیب وجوه بالادست و پایین‌دست

۳- ارتفاع سرریز

۴- هد روی تاج

۵- تراز آب پایاب

به جهت انواع مختلف و بسیار زیاد شکل تاج و مقطع سرریز، عملاً امکان به نظم درآوردن رفتار این گونه سرریزها نیست بلکه می‌بایستی در هر حالتی و به تناسب شرایط، موقعیت خاص مربوطه را بررسی نمود. مشابه سایر سرریزها، تراز پایاب تأثیر مهمی بر هیدرولیک سرریزهای لبه پهن دوزنقه‌ای داشته و جریان بر روی این نوع سرریز را نیز می‌توان به دودسته آزاد و مستغرق تقسیم‌بندی نمود. اگر تراز پایین‌دست جریان، بالاتر از تاج سرریز باشد در این صورت جریان مستغرق است. الگوهای مختلف جریان شکل گرفته بر روی یک سرریز لبه پهن دوزنقه‌ای با تغییر تراز پایاب نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ چهار رژیم غالب جریان بر روی سرریز دوزنقه‌ای

۲-۳- رسوب

رسوب به هر ذره‌ای که توسط جریان سیال، منتقل شده و سرانجام نهشته شود، گفته می‌شود: رسوب‌ها در بیش‌تر مواقع توسط آب (فرایندهای رودخانه‌ای)، باد (فرایندهای بادی) و یخچال‌های طبیعی منتقل می‌شوند. حرکت این رسوبات تحت عوامل مختلف و دارای پیچیدگی‌های خاصی می‌باشند؛ از جمله فرایند فرسایش،

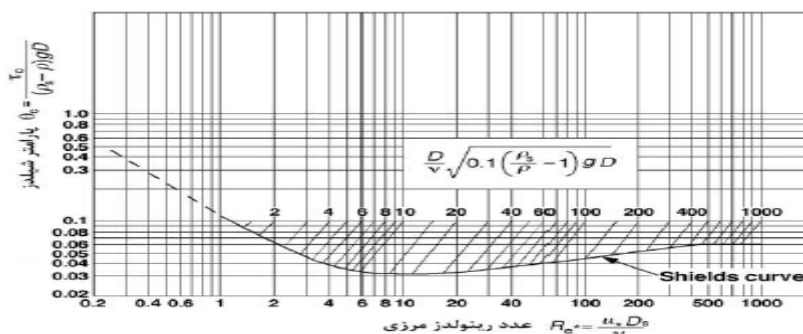
انتقال و رسوب‌گذاری؛ زیرا عوامل مؤثر در به وجود آوردن این فرایندها بسیار زیاد است. در ادامه به چند تعریف پرکاربرد در مورد پدیده انتقال رسوب در این تحقیق پرداخته می‌شود [۱۴].

۴-۲- فرم بستر

فرم بستر یا به عبارتی ناهمواری‌های بستر به شکل‌های مختلف، در بستر رودخانه در اثر حرکت جریان به وجود می‌آید و تأثیر مستقیمی روی زبری بستر و در نتیجه مقاومت در مقابل جریان دارد [۱۴].

۵-۲- آستانه حرکت

با افزایش شرایط جریان (به‌طور مثال افزایش تنش برشی و یا سرعت جریان) ذرات بستر شروع به حرکت خواهند کرد. این حرکت ابتدا به‌صورت بالا و پایین آمدن ذره بدون انتقال است؛ ولی با افزایش تدریجی جریان، ذرات به‌طرف پایین‌دست شروع به حرکت خواهند کرد. لحظه‌ای که ذرات شروع به حرکت می‌کنند اصطلاحاً آستانه‌ی حرکت نامند. شیلدز (۱۹۶۳) با انجام مطالعات بنیادی اولین معیار علمی آستانه حرکت ذرات رسوبی را ارائه کرد. وی مطالعات خود را در زمینه آستانه حرکت بر مبنای تنش برشی بحرانی انجام داد و نموداری کاربردی در این زمینه ارائه داد (شکل ۴-۲) [۱۴].



شکل ۴-۲ نمودار شیلدز برای تعیین آستانه حرکت ذرات رسوبی

۶-۲- عدد شیلدز

عدد شیلدز یک عدد بی‌بعد است که توانایی حرکت رسوب را در جریان نمایش می‌دهد. عدد شیلدز در حقیقت تنش برشی بی‌بعد شده است و با τ^* نشان داده می‌شود.

$$\tau^* = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho)gD}$$

در رابطه فوق:

τ_b تنش برشی

ρ و ρ_s به ترتیب چگالی رسوب و چگالی جریان

D قطر مشخصه ذرات

۲-۶-۱- شیلدز بحرانی

عدد شیلدز بحرانی، کمترین مقدار عدد شیلدز است که رسوبات شروع به حرکت می‌کنند. عدد شیلدز بحرانی از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\tau_c^* = 0.5 \left[0.022 Re_P^{-0.6} + 0.06 \times 10^{(-7.7 Re_P^{-0.6})} \right]$$

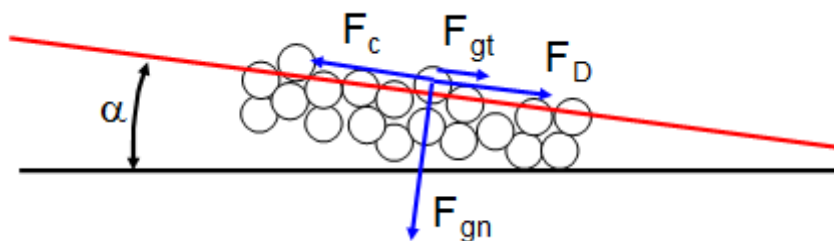
$$Re_P = \frac{\sqrt{RgDD}}{\vartheta}$$

τ_{oc}^* شیلدز بحرانی

ϑ لزجت سینماتیکی آب

۲-۶-۲- تأثیر شیب بر شیلدز بحرانی

شکل (۵-۲) توده‌ای از رسوبات را در زاویه ایستایی و در شرایط آستانه‌ای بیان می‌کند.



شکل ۵-۲ توده ذرات روی سطح شیب‌دار

هرگونه اختلال جزئی باعث ریزش توده رسوب می‌شود. با توجه به شکل در اینجا توده‌ای از رسوبات در زیر آب قرار دارند؛ و تأثیر شیب بر روی شیلدر بحرانی بر روی یک‌ذره در این توده با رابطه زیر در نظر گرفته شده است.

$$\tau_c^* = \tau_{oc}^* \cos \alpha \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\mu_c}\right)$$

در رابطه فوق:

τ_c^* شیلدر بحرانی روی سطح شیب‌دار

τ_{oc}^* شیلدر بحرانی روی سطح صاف

μ_c تانژانت زاویه اصطکاک داخلی ذرات

۲-۷- انتقال بار

۲-۷-۱- انتقال بار معلق

بار معلق ۱ به رسوباتی اطلاق می‌شود که به واسطه مؤلفه جریان آشفته، در آبراهه به صورت معلق باشند و مدت زمان قابل توجهی نیز به همین صورت باقی بمانند. در بیشتر رودخانه‌ها، ذرات رسوب به صورت بار معلق انتقال می‌یابند [۵].

۲-۷-۲- انتقال بار بستر

هنگامی که وضعیت جریان به گونه‌ای باشد که معیار آستانه حرکت تأمین شود، دانه‌های رسوب در طول بستر رسوبی، شروع به حرکت می‌کنند. چنانچه حرکت دانه‌های رسوب، با غلت خوردن، سرخوردن یا پرش‌های متوالی در طول بستر، همراه باشد، به این نوع حرکت، انتقال بار بستر ۲ می‌گویند. عموماً، نرخ انتقال بار بستر رودخانه‌ها در حدود ۵ تا ۲۵ درصد بار معلق است. اگرچه در مورد رسوبات دانه‌درشت، در صد بیشتری از رسوبات ممکن است به صورت بار بستر انتقال یابند [۵].

۲-۷-۳- بار کل

بار کل متشکل از مجموع بار بستر و بار معلق است. بر اساس نوع دانه‌ها و مصالح منتقل شده، بار کل غالباً به صورت مجموع بار بستر و بار شسته تعریف می‌شود. بار شسته، به دانه‌های ریزی اطلاق می‌شود که اندازه آن‌ها در حد اندازه لای و رس باشد [۵].

۲-۸- آب شستگی

به فرسایش بستر و کناره‌های آبراهه در اثر عبور جریان آب، به فرسایش بستر در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی به علت شدت جریان و یا به فرسایش بستر در اثر به وجود آمدن جریان‌های متلاطم موضعی، آب شستگی گویند. از آنجا که مکانیزم عمل آبشستگی در مکان‌های مختلف متفاوت می‌باشد، از این رو آبشستگی را به دو نوع آبشستگی همگرا و موضعی تقسیم می‌کنند [۱۴].

۲-۸-۱- عمق آب شستگی

عمق ناشی از فرسایش بستر نسبت به بستر اولیه را عمق آب شستگی می‌گویند [۱۴].

۲-۸-۲- آب شستگی همگرا

این نوع آب شستگی در مکان‌هایی رخ می‌دهد که سرعت جریان به دلایلی افزایش یابد. به طور مثال کاهش مقطع رودخانه در محل پل‌ها [۱۴].

۲-۸-۳- آب شستگی موضعی

این نوع آب شستگی در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی، در محل پایه‌های پل و به طور کلی هر مکانی که شدت جریان‌های در هم به طور موضعی افزایش یابد، به وجود می‌آیند [۱۴].

۹-۲ - فرسایش (کف کنی)

چنانچه مقدار رسوب خارج شده از بازه‌ای از رودخانه بیش‌تر از مقدار رسوب وارده به آن بازه باشد، نشان‌دهنده‌ی فرسایش کف رودخانه در آن بازه است. در اثر این عمل کف رودخانه به تدریج گود می‌شود [۱۴].

۱۰-۲ - رسوب گذاری (بالا آمدگی)

چنانچه مقدار رسوب خارج شده از بازه‌ای از رودخانه کمتر از مقدار رسوب وارده به آن بازه باشد، نشان‌دهنده‌ی بالا آمدگی کف رودخانه در آن بازه است [۱۴].

۱۱-۲ - اصول تئوری دینامیک سیالات

دینامیک محاسبات جریان، دانش محاسبات جریان سیال و متغیرهای وابسته به آن توسط کامپیوتر است. در این روش معمولاً بدنه جریان به المان‌ها یا سلول‌هایی که در اصل جزئی از یک شبکه می‌باشند، تقسیم می‌شود. سپس معادلات برای تعیین متغیرهای نامعلوم در آن سلول حل می‌شوند [۸].

۱۲-۲ - روش‌های حل معادلات

بهترین روش برای معادلات دیفرانسیل جزئی که با شرایط مرزی معین تعریف می‌شود، به دست آوردن حل تحلیلی آن‌هاست؛ ولی گاهی اوقات تحلیل مسائل در شکل بی‌قاعده و نامنظم با شرایط مرزی مختلف و ناحیه‌هایی با مشخصات متفاوت و یا غیرخطی بسیار مشکل و یا غیرممکن می‌گردد. بنابراین باید در صورت بروز چنین مشکلاتی روش‌های تحلیل محاسباتی را برای به دست آوردن حل تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی بکار گرفت. بعضی از روش‌های عددی برای حل مسائل پیوسته عبارت‌اند از [۱۴]:

۱- روش تفاضل محدود ۱

۲- روش اجزاء محدود ۲

۲-۱۲-۱- انواع مدل‌های ریاضی

مدل‌های مختلف ارائه شده بر پایه نظریه‌ی انتقال رسوب از لحاظ قابلیت شبیه‌سازی جریان آب و رسوب با توجه به پارامترهای مختلفی صورت می‌گیرد؛ از جمله روش‌های حل در نظر گرفته شده در آن‌ها و شرایط مرزی و همچنین در نظر گرفتن پدیده‌هایی همانند تشکیل لایه محافظ، جریانات غلیظ و تغییرات هندسی مقطع و همچنین یکی از معمول‌ترین تقسیم‌بندی‌ها بر اساس ابعاد مکانی است که با توجه به ابعاد مکانی می‌توان تقسیم‌بندی زیر را در نظر گرفت [۱۴].

۱- مدل‌های یک‌بعدی

۲- مدل‌ها دوبعدی

۳- مدل‌های سه‌بعدی

۴- مدل‌های شبه دوبعدی و سه‌بعدی

۲-۱۲-۲- داده‌های موردنیاز مدل‌های ریاضی

برای حل معادلات ریاضی حاکم بر جریان و رسوب در رودخانه‌ها و مخازن سدها، باید شرایط مرزی مدل مشخص شوند. این شرایط داده‌های جریان و رسوب در مرزهای بالا و پایین دست و وضعیت توپوگرافی یا هندسه مدل می‌باشند. هرچه دقت داده‌های ورودی بیش‌تر باشد؛ نتایج حاصل از مدل نیز دقیق‌تر خواهد بود. داده‌های موردنیاز در چهار قسمت شامل داده‌های هیدرولوژی، داده‌های هندسی، داده‌های هیدرولیکی و داده‌های رسوب است [۱۴].

۲-۱۲-۲-۱- داده‌های هیدرولوژی

در بیشتر مدل‌های ریاضی، آب نگار جریان ورودی در مرز بالادست نیاز است. معمولاً آب نگار به دسته‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شود و برای هر دبی فرض می‌شود که در یک مدت‌زمان مشخص، ثابت است. از آنجاکه

رسوب بیشتر تابع دبی‌های زیاد است، این مدت‌زمان را در دبی‌ها کم، طولانی‌تر انتخاب می‌کنند. آب نگار ورودی ممکن است برای دبی‌های با دوره بازگشت‌های مختلف ساخته و سپس استفاده شود. در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در جریان‌های ماندگار تنها از یک دبی استفاده می‌شود که همان دبی سیل با دوره بازگشت مشخص است [۱۴].

۲-۱۲-۲-۲- داده‌های هندسی

داده‌های هندسی وضعیت پستی‌وبلندی‌های بستر، سواحل و مسیر رودخانه و مخزن را مشخص می‌کند. داده‌های هندسی موردنیاز مدل‌های دو و سه‌بعدی به‌صورت سری مختصات نقاط در سه بعد x, y, z و در موقعیت‌های خاصی می‌باشند. بدیهی است وضعیت پستی‌وبلندی بین موقعیت‌هایی که مختصات آن‌ها اندازه‌گیری نشده است؛ با روش‌های درون‌یابی مشخص خواهد شد. برای این منظور در این خصوص می‌توان از روش‌های درون‌یابی ساده‌ی خطی تا روش‌های درون‌یابی پیچیده استفاده کرد [۱۴].

۲-۱۲-۲-۳- داده‌های هیدرولیکی

بیشتر مدل‌های ریاضی ابتدا شرایط هیدرولیکی جریان را در طول مخزن محاسبه می‌کنند. از این‌رو داشتن شرایط مرزی ضروری است. در جریان‌های زیربحرانی معمولاً مقدار دبی یا آب نگار دبی در مرز بالا دست و مقدار اشل برای آن دبی در بازه پایین‌دست موردنیاز است. در صورتیکه برای شبیه‌سازی جریان‌های فوق بحرانی هم‌مقدار اشل و هم دبی در بالادست باید معلوم باشند. در مدل‌های دو و سه‌بعدی، بردارهای سرعت در مرز بالادست موردنیاز است که معمولاً در اختیار نیست از این‌رو باید بر اساس دبی معلوم، بردارهای سرعت در آن مقطع به‌صورت تصنعی، طوری ساخته شوند که رابطه توزیع قائم لگاریتمی سرعت برقرار باشد [۱۴].

۲-۱۲-۲-۴- داده‌های رسوبی

اطلاعات دیگری که مدل‌های ریاضی رسوب نیاز دارند، خصوصیات رسوب بستر و معلق، به‌خصوص دانه‌بندی و وزن مخصوص اولیه می‌باشند. ضریب شکل ذرات و زاویه ایستائی نیز از متغیرهایی است که بهتر است قبلاً اندازه‌گیری و به مدل وارد شود. معمولاً در برنامه مدل‌های ریاضی تعداد زیادی از روابط تجربی برآورد میزان رسوب کل وجود دارد که کاربر می‌تواند یکی از آن‌ها را انتخاب کند [۱۴].

۲-۱۳- شبکه بندی

به طور کلی در CFD جریان مایعات در هر مقطع را به اندازه کوچکتر، به عنوان یک عضو یا سلول تقسیم کرده و برای هر سلول معادلات حل می شود. شبکه ها بر اساس خصوصیات مختلفی از قبیل شکل، نوع شبکه-بندی، ساختمان و موقعیت متغیرها می توان دسته بندی کرد [۸].

فصل ۳ پیشینه و سوابق تحقیق

فصل ۳

پیشینه و سوابق تحقیق

۳-۱- مقدمه

تحقیقات بسیاری در رابطه با بررسی الگوی جریان و انتقال رسوب در کانال‌ها و رودخانه‌ها توسط دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی داخلی و خارجی انجام شده است؛ اما بررسی انتقال رسوب بر روی سریز به‌ندرت انجام شده است که می‌توان به یک مورد که به صورت آزمایشگاهی انجام شده اشاره کرد؛ اما می‌توان به بررسی عددی و آزمایشگاهی الگوی جریان بر روی سریزها و بررسی انتقال رسوب در کانال‌ها و رودخانه‌ها اشاره کرد. در این بخش به خلاصه‌ای از این مقالات اشاره می‌شود. همچنین نمونه از تحقیقات انجام شده به صورت سه بعدی توسط نرم افزار SSIIM در یک کانال و مقایسه آن با مدل یک بعدی و دو بعدی ارائه می‌شود.

۳-۲- تحقیقات انجام شده در زمینه الگوی جریان بر روی سریز

۳-۲-۱- تحقیقات خارجی

عامل اصلی انتقال رسوبات، جریان آب است. رسوبات در اثر جریان آب از جایی به جایی منتقل می‌شوند و یا همواره در حال انتقال هستند. در نتیجه انتقال رسوب با الگوی جریان مرتبط است. از این‌رو شناخت الگوی جریان، در شناخت بهتر روند انتقال رسوب بسیار حائز اهمیت است، در همین رابطه می‌توان به برخی از تحقیقات انجام شده در رابطه با الگوی جریان اشاره کرد.

احتمالاً استفاده از مدل عددی، اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط کسیدی در تعیین فشار روی تاج سریز بر اساس جریان پتانسیل به صورت دوبعدی صورت گرفت. نتایج حاصله از تحلیل عددی جریان بر روی سریز با نتایج آزمایشگاهی تقریباً یکسان بوده و نتیجه حاصل از این تحقیق بیانگر تأثیر کم و ناچیز لزجت در تعیین سطح آزاد بوده است [۲۵]. واشیزو و ایکگاوا (۱۹۷۳) و همچنین بت (۱۹۷۹)، در روش حل خود در حل

معادلات حاکم بر میدان جریان از المان محدود به صورت خطی استفاده نمودند، آن‌ها در روند تحقیق خود نتایج به دست آمده توسط کسیدی را تکرار نمودند، اما سرعت همگرایی در تحلیل عددی افزایش یافت [۲۴ و ۲۰].

در سال ۱۹۹۸ اولسن و کجلسویگ با استفاده روش حجم محدود، جریان عبوری از روی سرریز را به صورت دوبعدی و سه بعدی تحلیل نمودند. در تعیین سطح آزاد جریان، ابتدا کل سرریز به صورت مستغرق در نظر گرفته شده است که با گذر زمان به علت وجود ترم ثقل در معادلات حاکم، سطح آزاد جریان شکل واقعی خود را به دست آورد. نتایج حاصل از تحقیق اولسن و کجلسویگ بیانگر دقت بالا در روش استفاده شده، است. نکته مهمی که از این تحلیل به دست آمد آن است که اثر الگوی پخش در تعیین ضریب دبی سرریز بسیار کم و ناچیز است [۲۹].

چن و همکاران در سال ۲۰۰۲ به روش حجم محدود جریان آشفته عبوری از روی سرریز پلکانی را مدل نمودند و برای تعیین سطح آزاد از روش جزء حجم سیال در معادلات استفاده نمودند. شبکه استفاده شده در میدان جریان شبکه نامنظم مربعی شکل است. نتایج به دست آمده از تحلیل عددی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نشانگر دقت خوب و مناسب روش استفاده شده است [۲۳].

چانسون و مونتز مطالعات مبسوطی بر روی انواع مختلف سرریز استوانه‌ای و شرایط مختلف انجام دادند که نتایج بررسی آن‌ها نشان داد اندازه، قطر و ارتفاع پایه سرریز و ایجاد شیب در بالادست سرریز هیچ گونه تأثیری بر ضریب دبی، ارتفاع جریان در تاج و استهلاک انرژی ندارند و تنها شرایط جریان ورودی نقش بسزایی بر خصوصیات دبی و جریان در تاج دارد. مطالعات این دو نشان می‌دهد که اثر کواندا که در نتیجه تحذب دیواره سرریز و تغییر در میدان فشار باعث کاهش فشار در سطح سرریز شده، موجب چسبندگی تیغه ریزشی جریان روی سرریز می‌شود. این شرایط باعث می‌شود تا خطوط جریان با انحنای بیشتر و جریان با سرعت بالاتری شکل گرفته و در نتیجه ضریب دبی نسبت به سرریزهای لبه تیز و لبه پهن افزایش یابد [۲۲].

۳-۲-۲- تحقیقات داخلی

عبداله پور در سال ۱۳۹۲ در مورد شبیه سازی عددی جریان روی سرریز لبه پهن مستطیلی با وجوه شیب دار بالادست و پایین دست با مدل FLUENT تحقیق نمود. در این تحقیق جریان روی دو نوع سرریز لبه پهن با

وجه‌های شیب‌دار پایین‌دست و بالادست با استفاده از نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی FLUENT به‌صورت دوبعدی شبیه‌سازی شد و سطح آزاد جریان با روش جزء حجم سیال تعیین گردید. نتایج مدل عددی برای پارامترهای هیدرولیکی ضریب دبی، سرعت جریان و توسعه لایه مرزی با نتایج آزمایشگاهی و روابط موجود مقایسه شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که روش جزء حجم سیال برای پیش‌بینی پروفیل سطح آب روی سرریزهای لبه پهن، برآورد ضریب دبی (C_d) و پروفیل‌های سرعت در فواصل مختلف روی تاج مناسب است. مقایسه نتایج مدل عددی برای شبیه‌سازی پروفیل سطح آب با مدل FLUENT نشان می‌دهد که نتایج مدل عددی با مقادیر آزمایشگاهی همخوانی دارد. ضرایب دبی به‌دست‌آمده از مدل عددی نیز با مقادیر آزمایشگاهی تطابق خوبی دارد. یکی دیگر از مزایای مدل عددی این است که می‌توان خصوصیات هیدرولیکی جریان از جمله کانتورهای سرعت، پروفیل‌های سرعت و توسعه لایه مرزی را به‌دست آورد. نتایج نشان می‌دهد که در بالادست سرریز سرعت کم و در پایین‌دست سرریزهای لبه پهن سرعت افزایش می‌یابد. مقادیر سرعت متوسط در بالادست سرریزها با مقادیر عددی شبیه‌سازی شده تطابق دارد. مقایسه توسعه لایه مرزی در سرریزها با مدل سرریز لبه پهن با وجوه قائم نشان داد که در این سرریزها توسعه لایه مرزی در فاصله کوتاه‌تری بر روی تاج سرریز انجام می‌گیرد؛ که این فاصله تقریباً $0/4$ برابر طول تاج (W) به‌دست‌آمده، است. همچنین ضخامت لایه مرزی در سرریزهای با وجوه شیب‌دار کمتر از سرریزهای لبه پهن معمولی است [۱۵].

اسماعیلی و همکاران در سال ۱۳۸۸ با استفاده از کانالی به طول ۱۰ متر، ارتفاع ۵۰ و عرض ۳۰ سانتی‌متر و سرریزهای دارای قطرهای ۵۷، ۶۳، ۱۱۰، ۱۶۰ میلی‌متر و در دو حالت بدون پایه و با پایه (ارتفاع پایه‌ها ۱۰۰، ۷۵، ۴۵، ۲۵ میلی‌متر) و عرض ثابت ۳۰ سانتی‌متر (معادل عرض کانال)، به بررسی الگوی جریان بر روی سرریزهای استوانه‌ای به‌صورت آزمایشگاهی و عددی پرداخت [۳]. در این تحقیق مدل‌هایی از سرریز استوانه‌ای مورد آزمایش قرار گرفت و تغییرات فشار و سرعت در آزمایشگاه اندازه‌گیری و سپس شرایط هیدرولیکی روی سرریز از طریق نرم‌افزار FLUENT مدل‌سازی شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از تطابق خوب الگوی جریان روی سرریز اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و مدل‌سازی شده با FLUENT دارد. همچنین مشاهده می‌شود که محل

تشکیل عمق بحرانی قبل از تاج سرریز و جدایش جریان از روی سرریز در ناحیه انتهایی آن صورت می‌گیرد. محل جدایش بستگی به شدت جریان عبوری از روی سرریز داشته و با افزایش آن به سمت پایین دست منتقل می‌شود. برای تعیین محل تشکیل عمق بحرانی و نیز محل جدایش لایه جریان از سرریز، روابط تحلیلی به دست آمد که با نتایج آزمایشگاهی هماهنگ می‌باشد. مطالعات خرمی و حیدرپور [۱۰] نیز نشان می‌دهد که برای مقادیر ثابت ارتفاع سرریز با افزایش بار، توزیع فشار از حالت هیدرواستاتیک خارج شده و ارتفاع سرریز تأثیر زیادی بر توزیع فشار روی آن ندارد، بنا بر نظر آن‌ها، این شرایط در مقادیر بیشتر از $0/8$ نسبت عمق آب بالادست تاج به قطر سرریز ملاحظه می‌گردد. نتایج توزیع سرعت نیز حاکی از آن است که با فرض جریان غیر لزج، سرعت روی تاج در نزدیکی کف، ماکزیمم مقدار را داشته و بافاصله گرفتن از تاج مقدار آن کاهش می‌یابد. فرسادی زاده و همکاران [۱۶] نیز به منظور بررسی ضریب دبی جریان و با کمک مدل عددی FLUENT، جریان بر روی سرریز استوانه‌ای را با مدل k-e استاندارد که برای شبیه‌سازی جریان آشفته استفاده می‌شود مدلسازی و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و صحت مدلسازی با FLUENT را تأیید کردند.

همچنین تحقیقاتی در رابطه با الگوی جریان به صورت عددی به روش حجم سیال، بر روی سرریز لبه آبریز توسط اکبری و همکاران در سال ۱۳۹۰ انجام شد [۴]. در این تحقیق، از نرم‌افزار Flow-3D برای مدل‌سازی جریان عبوری از روی سرریز اوجی استفاده شده است. نتایج به دست آمده از نرم‌افزار با داده‌های مدل فیزیکی ساخته شده تطابق قابل قبولی داشت. به علاوه در این مقاله با کمک نرم‌افزار Flow-3D مشخصات جریان مانند فشار کف، سرعت و عمق جریان در دو دبی بر روی مدل هیدرولیکی سد زولا که توسط مرکز تحقیقات وزارت نیرو ساخته شد، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده با داده‌های آزمایشگاهی نزدیکی قابل قبولی از خود نشان داد. مقادیر محاسبه شده فشار توسط نرم‌افزار با داده‌های آزمایشگاهی تطابق قابل قبولی داشته و در نواحی با گرادیان بالا نظیر نقاط پایانی شوت سرریز، مقادیر فشار نوسانات زیادی را متحمل بوده است. در محاسبه مقادیر فشار، مدل‌های آشفتگی مختلف جواب‌هایی نزدیک به هم را ارائه کردند و مدل آشفتگی RNG نتایج منطبق‌تری را نسبت به مدلی دیگر نشان داده. با توجه به نتایج، شایان ذکر است که در محل‌هایی که

شیب سطح ملایم است، مقادیر فشار کف محاسبه شده توسط نرم افزار با داده های آزمایشگاهی مطابقت خوبی دارد ولی در نواحی که شیب زیاد است و گرادیان جریان بالا است، میزان انطباق کمتر می شود [۴].

به طور کلی نرم افزار پیش بینی خوبی از فشار کف ارائه کرده است ولی این پیش بینی در مورد سرعت چندان قابل اطمینان نیست زیرا در نواحی با شیب زیاد، اختلاف مابین نتایج زیاد است و میزان نوسانات زیاد است. مقادیر محاسبه شده برای ارتفاع سطح سیال توسط نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی، نزدیکی بسیار خوبی داشته است [۴].

لطیفی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به کمک نرم افزار Fluent به شبیه سازی جریان روی سریز اوجی پرداختند. از این رو در قدم اول در نرم افزار Gambit هندسه مسئله برای حل میدان جریان تعیین شد و مش بندی میدان محاسباتی و نوع مرزهای حاکم بر میدان جریان تعیین شد و مش بندی میدان محاسباتی و نوع مرزهای حاکم بر میدان جریان مشخص شد. پس از تهیه شبکه مورد نیاز و تعیین مرزهای میدان جریان فایل مورد نظر توسط Fluent خوانده شده و شرایط تحلیلی سیال، مشخصات آن، نحوه انفصال معادلات، معادلات حاکم بر مسئله، مشخصات شرایط مرزی و ... بر هندسه جریان اعمال شده و مسئله حل گردید و نتایج آن به شرح زیر است [۱۸].

۱- شبیه سازی جریان روی سریز با استفاده از مدل $k-\epsilon$ به منظور مدل کردن آشفتگی، نتیجه مناسبی ارائه می دهد.

۲- نوع تابع دیواره در تحلیل اثری نداشته و نتایج به دست آمده از مقایسه توابع دیواره بیانگر بی اثر بودن نوع تابع دیواره در توزیع فشار روی سطح سریز و دبی عبوری از سریز است.

۳- تغییر در مقدار دبی عبوری از روی سرریز باعث تغییر در توزیع فشار بر روی سطح سرریز و دبی عبوری از روی سرریز می شود، که این نکته قابل مشاهده بوده و می توان از این نکته در کاهش هزینه سریز و افزایش ظرفیت سرریز استفاده نمود.

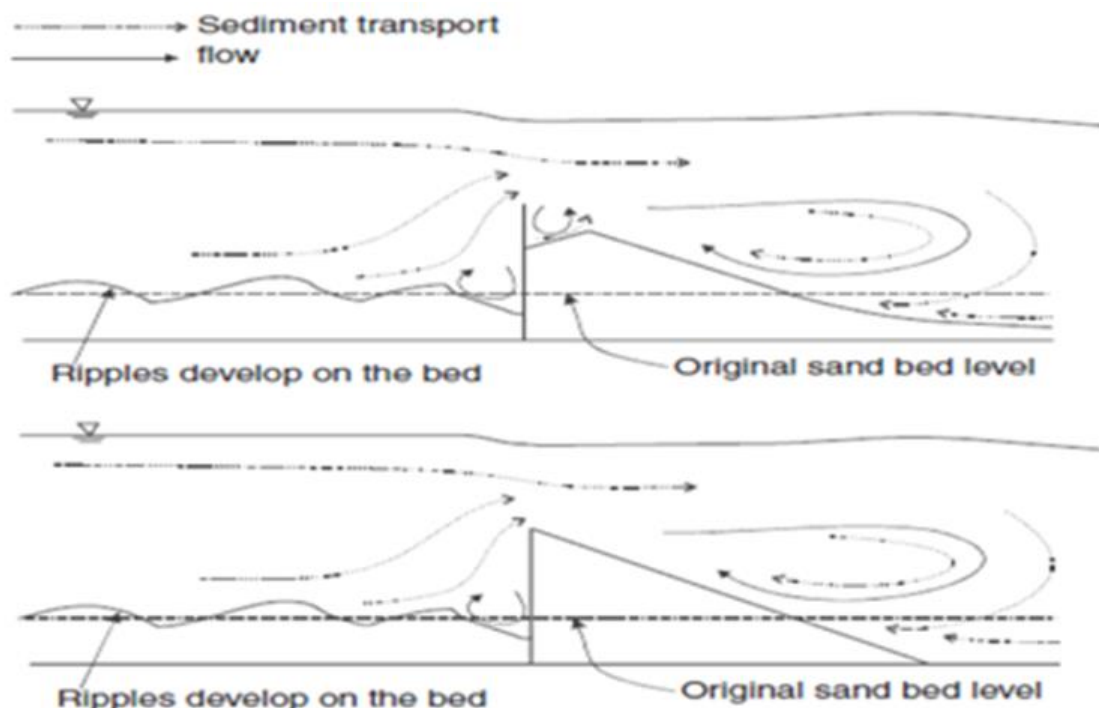
۴- با افزایش دبی فشار استاتیکی وارد به بدنه سرریز و همچنین پاشنه سرریز افزایش می‌یابد اما فشار وارد به دیواره اطراف دریاچه تقریباً ثابت است.

۵- با افزایش دبی سرعت در انتهای سرریز افزایش می‌یابد که این امر در طراحی سازه‌های کنترل‌کننده در پایین‌دست تأثیرگذار است.

۳-۳- تحقیقات انجام شده در زمینه الگوی انتقال رسوب

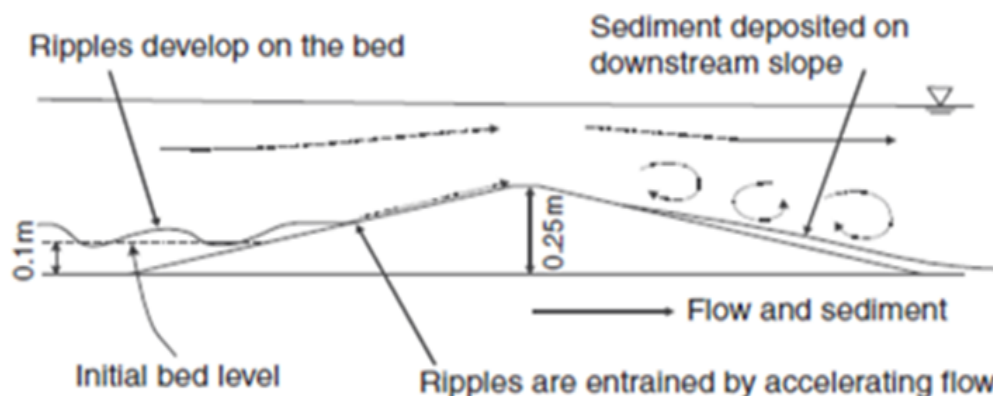
۳-۳-۱- تحقیقات خارجی

اولین بار لوچلان در سال ۲۰۰۴ با استفاده از یک ارزیابی تجربی به مدل‌سازی انتقال رسوب بار بستر و بار معلق در سراسی‌های عمیق از جمله، آب‌بندها و سرریزها پرداخت. در این پژوهش ۶ آزمون با استفاده از یک سرریز با دیواره عمودی و یک سرریز با دیواره شیب‌دار انجام گردید. اندازه‌گیری‌ها، نرخ انتقال بار بستر و بار معلق جریان بالادست و پایین‌دست بخش مربوط به آزمون را مشخص نمود. با توجه به شکل (۳-۱) نتایج این تحقیق نشان داد که جریان بالادست یک سرریز عمودی دارای جریان‌های گردابی قوی به سمت پایین است. این جریان گردابی یک حفره آب‌سستگی در پایه آبریز به وجود می‌آورد که رسوب واردشده به این ناحیه را به دنبال خود می‌کشد به گونه‌ای که تمامی رسوب‌ها به صورت معلق در سرریز منتقل می‌گردد. همچنین جریان پایین‌دست سرریز یک جریان گردابی قوی معکوس است که بخشی از مواد معلق را به تله انداخته و یک ناحیه رسوبی را پدید می‌آورد. منبع رسوب و نرخ جریان، رشد موقتی این رسوب را کنترل می‌کنند [۲۶].



شکل ۱-۳ انتقال رسوب از روی سرریز قائم

همان‌طور که در شکل (۲-۳) مشخص است برای یک سرریز شیب‌دار جریان گردابی به سمت پایین در مواجهه با جریان بالادست حذف می‌گردد. باین‌حال شتاب قدرتمند جریان که در امتداد و طول شیب در حال حرکت است برای همراه ساختن تمامی مواد بستر کافی است و بنابراین کل رسوب به‌صورت معلق در سرریز منتقل می‌شود و هیچ‌گونه ته‌نشست رسوبی قابل توجهی برای ناحیه بالادست سرریز قابل عنوان نیست. گرچه امواج قبل از همراه‌سازی کامل قادر به حرکت جزئی در امتداد شیب هستند. رسوب پایین‌دست همان‌طور که انتظار می‌رود در ناحیه مربوط به کاهش سرعت اتفاق می‌افتد. نتایج برای هر دو سرریز نسبت به الگوهای ته‌نشست رسوبی مورد انتظار متفاوت است [۲۶].



شکل ۳-۲ انتقال رسوب از روی سرریز شیب‌دار

چان برون و گارسيا ویلالبا [۲۱] به بررسی عددی انتقال رسوب در جریان مغشوش در کانال باز پرداختند. نتایج نشان داد ذرات، تمایل دارند تا به دلیل گرانش و وزن در نزدیکی بستر تجمع یابند اما به سبب حرکات اغتشاشی، چرخه و سیکلی از تعلیق و ته‌نشینی مجدد شکل می‌گیرد. این امر منجر به ایجاد یک پروفایل غلظت از ذرات می‌گردد که بافاصله گرفتن از بستر کاهش می‌یابد. وجود و حضور ذرات سرعت میانگین سیال و پروفایل‌های نوسانی جریان مغشوش را به شدت دستخوش تغییر می‌کنند. مشاهدات مختلف نشان داد که اثرات اینرسی ذرات، اندازه ذرات و رینولدزهای محدود به همراه وزن و گرانش نقش مهمی را در پیکربندی جریان بازی می‌کنند.

ویمینگ وو و همکاران [۳۱] در سال ۲۰۰۰ موفق به ارائه یک مدل سه‌بعدی برای محاسبه جریان و انتقال رسوب در کانال‌های باز شدند. جریان را با حل معادلات کامل ناویر-استوکس با اعداد رینولدز متوسط و با مدل اغتشاش $k-\varepsilon$ محاسبه نمودند. همچنین سطح آب، با یک معادله دوبعدی به‌دست‌آمده از معادلات ممنوم با عمق متوسط، تعیین شد و انتقال بار معلق از طریق معادله عمومی انتقال، پخش-انتشار شبیه‌سازی گردید. این معادله و معادلات مربوط به جریان به‌صورت عددی با یک روش حجم محدود در یک شبکه غیر شطرنجی و تطبیقی حل شدند. انتقال بار بستر با یک روش غیرتعادلی شبیه‌سازی شده و تغییر شکل بستر از یک معادله کلی موازنه جرم به‌دست آمد. مدل بار معلق برای موقعیت‌های مختلف جریان کانال با همراه‌سازی خالص از

یک بستر بسته و با رسوب خالص تست شد؛ و مدل بار کلی سه‌بعدی با محاسبه جریان و انتقال رسوب در یک قوس کانال ۱۸۰ درجه با بستر متحرک تأیید و اعتبارسنجی شده است؛ و در تمامی موارد سازگاری خوبی با اندازه‌گیری‌ها حاصل شده است.

گری پارکر در سال ۱۹۹۴ به بررسی شرایط آستانه‌ی حرکت برای آغاز انتقال رسوب چسبیده در شیب هم‌راستا با جریان غیرافقی پرداخت. مطالعه نظری پایداری یک ذره رسوبی قرارگرفته بر روی شیب بستر غیرافقی نشان داد که تنش برشی بحرانی تابعی از شیب بستر هم‌راستا با جریان است. آزمایش‌های انجام‌گرفته با یک جریان در یک مجرای بسته نشان می‌دهد که معادله به‌دست‌آمده از تحلیل نیرو تنش برشی بحرانی، رسوبات واقع شده در شیب‌های مثبت و منفی (منفی) را بطور کافی ارزیابی می‌کند. تست‌های انجام‌گرفته با جریان در مجرای بسته از مشکلات مرتبط با جریان کانال باز جلوگیری به عمل می‌آورد. در شرایط ثانویه جریان، اغلب رسیدن و دستیابی به جریان یکنواخت در یک کانال شیب‌دار دشوار بوده و وقتی شیب بستر هم‌راستا با جریان نامطلوب است، غیرممکن است [۳۰].

۳-۳-۲- تحقیقات داخلی

اروندی و همکاران در سال ۱۳۹۱ به تقابل جریان سرریزی با بار بستر و مورفولوژی بستر در یک کانال با استفاده از نرم‌افزار SSIIIM پرداختند. در این مطالعه پدیده پس‌زدگی جریان آب اطراف سرریز جانبی در یک کانال اصلی و یک کانال جانبی موردبررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در یک کانال اصلی به طول ۲۰ متر به عرض ۱/۵ متر، سرریزی به طول ۳ متر و عرض ۰/۰۳ متر و یک کانال تخلیه به طول ۲۰ متر و عرض ۰/۴۷ متر صورت گرفت. در این مطالعه تغییرات تراز بستر در کانال موردنظر با تغییر مورفولوژیکی بستر و بدون تغییر مورفولوژیکی بستر باوجود سرریز جانبی مدل‌سازی شده است؛ و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. با بررسی الگوی جریان در داخل آبراهه اصلی و در مجاورت سرریز و همچنین تغییرات مورفولوژیکی بستر ناشی از فرسایش و رسوب‌گذاری نشان داد که در محدوده تغییرات دبی ورودی به کانال اصلی از ۱۳۱ تا ۱۸۸ لیتر بر ثانیه تغییراتی در فرم بستر کانال اصلی در پایین‌دست سرریز

جانبی صورت می‌گیرد که موجب افزایش حداقل ۵۰ درصدی دبی عبوری از سرریز جانبی نسبت به بستر ثابت می‌شود. ارزیابی انجام‌شده از نتایج مدل عددی در مقایسه با نتایج مدلی آزمایشگاهی حاکی از دقت بالای در تحلیل شرایط واقعی تأثیر تغییرات مورفولوژیکی بر میزان آبریزی سرریزهای جانبی است [۲].

موسوی [۱۹] در سال ۱۳۸۷ به بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی انتقال بار بستر روی شیب‌های تند پرداخت. بدین منظور برای انجام آزمایش‌های موردنیاز در وضعیت‌های مختلف جریان یکنواخت و دائمی این تحقیق، از آزمایشگاه هیدرولیک موسسه تحقیقات حفاظت خاک (گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل) استفاده شد. فلوم ۸ متری دوبعدی به کاررفته شده در این آزمایشگاه دارای شیبی قابل تنظیم ۰ تا ۹ درصد، عرض ۰/۲۵۵ متر و عمق ۰/۳ متر بوده که امکان مطالعه و اندازه‌گیری بار بستر در آن وجود دارد این فلوم دارای دیواره‌های شیشه‌ای بوده و کف آن با مصالح دانه‌بندی شده غیرچسبنده که D_{50} آن‌ها در محدوده ۱/۷ الی ۸/۲۹ میلی‌متر قرار داشته، تحت شرایط جریان یکنواخت بار بستر انجام گرفت؛ و اعداد شیلدز جریان در محدوده ۰/۰۴۵ تا ۰/۴۵۵ قرار گرفته است. در این مطالعه نتایج داده‌های مدل آزمایشگاهی با فرمول‌های بدون بعد انتقال بار بستر در شیب‌های تند مقایسه شده و درنهایت یک رابطه تحلیلی مناسب پیشنهاد شد.

$$q_{sv} = \frac{10.80(R.S)^{2.40}}{(G-1)^{1.90}D^{0.9}} \quad (1-3)$$

q_{sv} : نرخ انتقال بار بستر (متر مکعب در ثانیه بر واحد عرض)

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \text{ : شیب فلوم}$$

R: شعاع هیدرولیکی جریان

D: قطر میانگین ذرات برحسب متر

دستورانی و نصرآبادی در سال ۱۳۹۱ به بررسی، اثر ته‌نشینی رسوبات در پشت سرریز اوجی بر مشخصات جریان، شامل ارتفاع و سرعت جریان در بالادست، نیمرخ سطح آب، ضریب دبی جریان، محل تشکیل عمق بحرانی، سرعت در پنجه سرریز و جهش هیدرولیکی در پائین‌دست پرداختند. بدین منظور چهار سرریز اوجی متفاوت با شیب وجه بالادست قائم، یک افقی: سه عمودی، دو افقی: سه عمودی و سه افقی: سه عمودی و با

ارتفاع ثابت ۲۵ سانتی متر مورد آزمایش قرار گرفت. برای شبیه سازی ته نشینی رسوبات در پشت سرریز اوجی، از رسوبات یکنواخت با قطر متوسط ۰.۴ میلی متر استفاده شد. نتایج نشان داد با افزایش ارتفاع رسوبات، پشت سرریز، عمق آب و سرعت متوسط جریان در بالادست افزایش می یابد. این تغییر باعث کاهش ضریب دبی سرریز می شود، به گونه ای که مقدار این پارامتر از ۲.۲۵ در حالت اولیه (شرایط بدون رسوب) به ۱.۶۹ در حالت پر بودن مخزن کاهش یافته است. همچنین با افزایش ارتفاع رسوبات در پشت سرریز، مقادیر سرعت و عدد فرود در پای پنجه سرریز افزایش می یابند. مطالب فوق نشان می دهد که طراحی سرریز بندهای انحرافی صرفاً بر اساس شرایط اولیه مخزن صحیح نیست و در طول عمر مفید بند انحرافی باعث بروز مشکلات عمده ای در پایداری سرریز می شود [۱۲].

۳-۴- نمونه از تحقیقات انجام شده به صورت سه بعدی توسط نرم افزار SSIM

در یک کانال و مقایسه آن با مدل یک بعدی و دوبعدی

توکل و همکاران در سال ۱۳۹۲ به مدل سازی جریان و انتقال رسوب در رودخانه به صورت یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی پرداختند. مدل سازی برای یک کانال با حفاری میانی و کانال با آب شکن انجام شد. این تحقیق در سه قسمت به معرفی مدل سازی جریان و انتقال رسوب در رودخانه ها و مقایسه روش های مختلف آن پرداخت. در قسمت اول معادلات یک بعدی جریان و انتقال رسوب به کمک کد نویسی در نرم افزار MATLAB برای هردو مسئله ارائه شد و به نظر می رسد معادلات جریان که برای مدل سازی یک بعدی در این پژوهش به کار گرفته شده اند، نمی توانند تغییرات ناگهانی در تراز بستر کانال را مدل کنند. در این پژوهش با واسطه قرار دادن رابطه برنولی و فرض عدم افت در انرژی جریان، تغییرات تراز سطح آب و در پی آن انتقال رسوب در کانالی با تغییر ناگهانی در کف مدل شده است. همچنین، کانالی عریض با آب شکن به کمک معادلات یک بعدی جریان و انتقال رسوب مدل شد. مدل سازی یک بعدی قادر به نمایش نقش حفاظتی آب شکن از دیواره کانال نیست [۶].

در قسمت دوم دو مسئله معرفی شده با نرم افزار CCHE2D و به روش دوبعدی افقی انجام شد و نتایج مدل سازی دوبعدی افقی و یک بعدی برای مسئله اول (کانال با قسمت حفاری شده) چندان متفاوت نیست. چراکه تغییرات در طول کانال در بعد قائم است که در هیچ یک از مدل سازی ها لحاظ نمی شود. نتایج حاصل از مدل سازی دوبعدی مسئله دوم متفاوت از نتایج حاصل از مدل سازی یک بعدی است. این تفاوت به خصوص پس از آبشکن محسوس است. در مدل یک بعدی عمق جریان پس از آبشکن دوباره زیاد می شود، اما در مدل سازی دوبعدی مشخص شد که به دلیل به وجود آمدن یک ناحیه راکد پشت آبشکن عرض مؤثر جریان برای کانال افقی مورد مطالعه پس از تنگ شدگی تقریباً ثابت می ماند و در نتیجه عمق آب دوباره زیاد نمی شود. به طور کلی می توان گفت مدل سازی یک بعدی آبشکن عملاً بی ثمر است، چراکه وظیفه آبشکن حفاظت دیواره پشت آن است که این وظیفه در مدل سازی یک بعدی آشکار نمی شود [۶].

و در نهایت قسمت سوم مسئله با نرم افزار SSIIM به روش سه بعدی حل شد و نتایج روش ها با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج مدل سازی یک بعدی و دوبعدی افقی برای مسئله اول (کانال با قسمت حفاری شده) چندان متفاوت نیست. چراکه در این مسئله تغییرات هندسی در عمق کانال اتفاق می افتد که هر دو مدل از تغییرات جریان در عمق صرف نظر می کنند. البته لازم به یادآوری است که در مدل سازی یک بعدی از معادله برنولی به عنوان یک شرط مرزی در ابتدا و انتهای قسمت حفاری شده استفاده شد. مدل سازی دوبعدی افقی برخلاف مدل سازی سه بعدی، سرعت های قائم را در شیب های ابتدا و انتهای قسمت حفاری شده نمی بیند و طبیعتاً جریان های ثانویه تشکیل شده را نمی تواند نشان دهد. مدل سازی سه بعدی مسئله اول، اطلاعات مفیدی را درباره شکل نهایی سطح مقطع کانال و ساختار جریان های ثانویه می دهد، با این حال به نظر می رسد نتایج مدل سازی دوبعدی برای این مسئله از دقت کافی برخوردار است. مدل سازی سه بعدی مسئله دوم نیازمند زمان بسیار طولانی برای انجام محاسبات است. اگرچه نتایج جالبی در مورد ساختار جریان با اجرای مدل سه بعدی به دست می آید، به نظر می رسد مدل سازی دوبعدی افقی مسئله دوم عملی تر است و از دقت کافی نیز برخوردار است [۶].

فصل ۴

آشنایی با نرم افزار SSIIM و معادلات حاکم

فصل ۴

آشنایی با نرم افزار SSIIM و معادلات حاکم

۴-۱- مقدمه

مدل SSIIM یک مدل سه بعدی هیدرودینامیکی و انتقال رسوب بر مبنای روش حجم محدود است. این مدل همانند تمام مدل های عددی برای رسیدن به جواب، معادلات زیادی را حل و تحلیل می نماید. در این فصل به معرفی مشخصات مدل عددی SSIIM، ساختار کلی نرم افزار، کاربرد، معادلات حاکم بر جریان، معادلات حاکم بر رسوب، همچنین محدودیت ها و مزیت ها نرم افزار و نکات اساسی در نوع شبکه بندی پرداخت می شود.

۴-۲- کلیات

مدل SSIIM یک نرم افزار سه بعدی برای شبیه سازی حرکت آب و رسوب بوده و توسط اولسن ۱ در دپارتمان مهندسی هیدرولیک و محیط زیست دانشگاه علوم و تکنولوژی نروژ توسعه یافت. SSIIM مخفف "Sediment Simulation in Intakes with Multi Block Option" است. این مدل بر مبنای روش حجم محدود بوده و معادلات ناویر استوکس را بر مبنای مدل آشفتگی $k - \epsilon$ استاندارد (مدل پیش فرض) حل می کند. این مدل در ابتدا به صورت یک برنامه کوچکتر در سال ۱۹۹۰ به وسیله اولسن به اسم SSII ساخته شد. این برنامه با استفاده از کدهای CFD به نام SPIDER توسط پروفیسور ملون ۲ توسعه یافت. ضعف مشترک برنامه SSII و SPIDER دارا بودن فقط یک بلوک در برنامه بود. این ضعف با اضافه کردن توانایی برای محاسبات به برنامه SSII و تغییرات قابل توجه در آن برطرف گردید و نام مدل عددی به SSIIM تغییر یافت. این نرم افزار در شمار زیادی از مطالعات مربوط به جریان آب و حمل رسوب و مهندسی برق آبی به کار برده شده است. این مطالعات

1-Olsen
2-Melaean

شامل ضرایب تله اندازی حوضچه رسوب‌گیر، جریان‌های غلیظ، فرسایش و آبشستگی موضعی، امواج سیلابی، افت انرژی و سرریز ها است [۲۷].

۴-۳- هدف برنامه

این برنامه برای کاربرد در مهندسی رودخانه، هیدرولیک، محیط زیست و مهندسی رسوب ساخته شده است. در اصل انگیزه ابتدایی ساخت برنامه شبیه‌سازی رسوب در رودخانه یا کانال با هندسه معمولی بود زیرا شبیه‌سازی رسوب برای ذرات ریز معلق به وسیله مدل فیزیکی مشکل بود بعدها کاربرد برنامه در موضوعات دیگر مهندسی هیدرولیک مانند مدل‌سازی سرریز، افت هد در تونل‌ها، آبشستگی پایه‌های پل و جریان‌های کدر افزایش یافت. علاوه بر این، این برنامه برای مطالعه زیستگاه ماهی‌های آزاد در رودخانه، خزه‌های دریایی نیز کاربرد داشته، هرچند بیشترین تحقیقات انجام‌شده با این نرم‌افزار در مورد هیدرولیک جریان و رسوب بوده است.

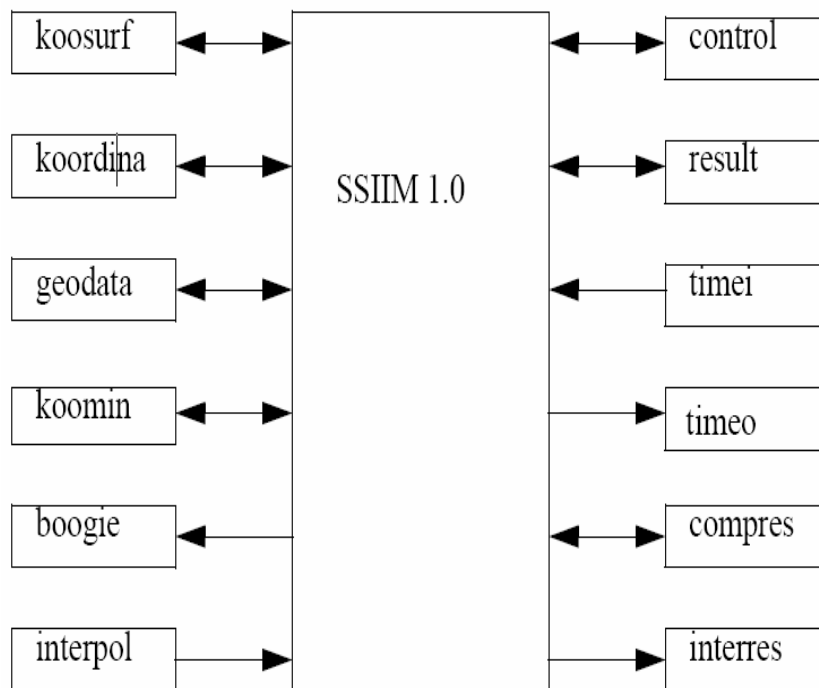
مهمترین قابلیت نرم‌افزار که آن را از دیگر برنامه‌های مدل‌سازی متمایز می‌سازد، توانایی آن در شبیه‌سازی انتقال رسوب در هندسه‌های مرکب با بار بستر متحرک شامل بار معلق و بار بستر، تغییر شکل بستر و تأثیر شیب بستر است [۸].

۴-۴- ساختار و نسخه‌های نرم‌افزار

نرم‌افزار SSIIM تحت دو سیستم‌عامل WINDOWS و OS/2 طراحی شده است که نسخه‌های آن با یکدیگر متفاوت هستند. ولی از لحاظ ورودی و خروجی با یکدیگر تفاوت چندانی ندارند. این نرم‌افزار دارای چهار نسخه مختلف است. نوع اول در سال ۱۹۹۰ تحت عنوان SSIIM 1 و SSIIM 2 با شبکه منظم و نامنظم که فقط روی سیستم‌های OS/2 قابلیت اجرا داشتند، ساخته شدند. نسخه‌های بعدی برنامه با همان عنوان و شبکه، ولی با قابلیت اجرا روی نرم‌افزار WINDOWS در سال ۱۹۹۹ عرضه شدند. همچنین ورژن‌های ۳۲ بیتی و ۶۴ بیتی ورژن‌های ویندوز نیز موجود است. تفاوت اصلی این است که ورژن‌های ۳۲ بیتی تنها می‌توانند به ۲ گیگابایت رم دسترسی داشته باشد به این ترتیب مقدار بیشینه سلول‌ها برابر با ۲ میلیون است. ورژن‌های ۶۴

بیتی دارای این محدودیت نمی‌باشند. فایل‌های ورودی و خروجی نسخه‌های مختلف این برنامه قابل اجرا روی نسخه‌های دیگر می‌باشند.

نرم‌افزار شامل فایل‌ها متعدد خروجی و ورودی است (شکل ۴-۱) که کلیه این فایل‌ها مورد استفاده نیستند، این بدان معنی است که بعضی از فایل‌های مورد بحث تنها برای اهداف خاص استفاده می‌شوند. مهمترین فایل‌های ورودی این نرم‌افزار فایل control که پارامترهای مختلف جریان، رسوب، شبکه و روش‌های حل در آن مشخص می‌شود و فایل koordina که برای توصیف هندسه نقاط، جهت استفاده در مدل است. فایل geodata شامل تعدادی از مختصات‌های شامل تعدادی از مختصات‌های X,Y,Z است و هدف این فایل استفاده از داده‌های هندسی به دست آمده از منطقه، نقشه دیجیتالی و یا سیستم GIS است. فایل result شامل اطلاعات مربوط به خروجی محاسبات جریان آب است و این فایل زمانی نوشته می‌شود که مسئله همگرا شده باشد. دو فایل timei و timeo وجود دارند که فایل اول timei یک فایل ورودی برای مجموعه زمانی دبی، سطح آب، غلظت رسوبی و کنترل خروجی است و فایل دوم timeo یک فایل خروجی با مجموعه‌های زمانی از مدل است. فایل koomin ساختاری مشابه با ساختار فایل koordina دارد و این سطح به عنوان سطح ارتفاعی کمینه برای تغییرات بستر مورد استفاده قرار می‌گیرد. فایل koosurf جهت تبدیل مختصات در نسخه‌های نرم‌افزار SSIIM است. فایل boogie پرینت خروجی از نتایج میانی از محاسبات را نشان می‌دهد و همچنین اگر خطایی رخ دهد، معمولاً یک توضیح قبل از توقف برنامه در این فایل نوشته می‌شود. فایل compres شامل اطلاعاتی درباره ضخامت لایه فعال و غیرفعال و توزیع اندازه دانه در این دولایه است. اگر مختصات مربوط به موقعیت‌ها در جاهایی که پروفیل‌های عمودی سرعت و غلظت مورد درخواست باشند در فایل interpol داده می‌شود و در فایل interres نتایج خروجی چاپ می‌شود. [۸].



شکل ۴-۱ فلوچارت فایل‌های ورودی و خروجی نرم‌افزار SSIIM1

۴-۵- قابلیت‌های برنامه

مدل SSIIM یکی از کامل‌ترین نرم‌افزار، در شبیه‌سازی عملیات رسوب شویی است. این نرم‌افزار قابلیت مدل‌سازی رسوب شویی توسط روابط مختلف انتقال رسوب را دارا است. برخی از قابلیت‌های مدل عددی SSIIM به شرح زیر می‌باشند [۸].

- ۱- توانایی شبیه‌سازی انتقال رسوبات ریزدانه.
- ۲- در نظر گرفتن اثر شیب بر روی سرعت آستانه حرکت.
- ۳- در نظر گرفتن اندازه‌های مختلف رسوب برای بار معلق و بار بستر.
- ۴- توانایی در نظر گرفتن بستر به صورت چندلایه.
- ۵- توانایی شبیه‌سازی جریان غلیظ.
- ۶- اگر بستر چندلایه و با دانه‌بندی غیریکنواخت باشد، می‌توان از این مدل استفاده نموده تا تغییرات بستر و تشکیل کانال رسوب شویی را به خوبی دید.

۴-۶- محدودیت‌ها و مشکلات برنامه

برخی از محدودیت‌های برنامه به شرح زیر می‌باشند.

- ۱- لزجت سینماتیکی آب برای دمای ۲۰ درجه سانتی گراد پیش‌بینی گردیده و در نرم‌افزار قابل تغییر نیست.
- ۲- نرم‌افزار برای محیط‌های آلی ساخته نشده لذا تأثیرات گرادیان چگالی ناشی از تغییر شوری را نمی‌توان در محاسبات منظور نمود.
- ۳- خطوط شبکه در راستای قائم باید دقیقاً مستقیم باشند.
- ۴- نرم‌افزار ترم‌های انتشار غیر قائم را در نظر نمی‌گیرد [۹].

۴-۷- شبکه‌های با ساختار منظم و غیرمنظم

برنامه SSIIM 1 از شبکه با ساختار منظم استفاده می‌نماید درحالی‌که در SSIIM 2 از شبکه غیرمنظم استفاده می‌شود. در شبکه سه‌بعدی منظم، هر سلول دارای سه راستا است که امکان مشخص کردن موقعیت آن سلول توسط آن‌ها امکان‌پذیر است. همچنین موقعیت دیواره‌ها، دبی ورودی و خروجی را می‌توان در فایل‌های ورودی مشخص نمود جایی که نحوه گره‌ها مشخص است. درحالی‌که این قابلیت در شبکه نامنظم وجود نداشته به‌طوری‌که هر گره در شبکه غیرمنظم فقط دارای یک راستا بوده و آن‌هم به‌صورت اتفاقی ایجاد می‌شود و کاربر باید مناطق ورود و خروج دبی جریان را به‌وسیله ویرایشگر هندسی دبی (Graphical discharge editor) مشخص نماید که این ویرایشگر در نوع برنامه با شبکه منظم وجود ندارد. همچنین ویرایشگر شبکه ۱، در شبکه‌های نامنظم وظیفه تولید و اتصال بلوک‌ها ۲ به هم است. درحالی‌که در شبکه منظم فقط روی یک بلوک عمل می‌نماید.

سرعت محاسبات در برنامه‌های با ساختار منظم نسبت به شبکه غیرمنظم نیز بیشتر است؛ زیرا در برنامه‌های نوع دوم بعضی از الگوریتم‌های خاص محاسبات رسوب و کیفیت آب وجود دارد که در نوع اول نیست. مهمترین فایده شبکه با ساختار غیرمنظم قابلیت آن در شبیه‌سازی هندسه مرکب و الگوریتم خشک و تر است [۸].

۴-۸- ایجاد شبکه برای مدل عددی SSIM

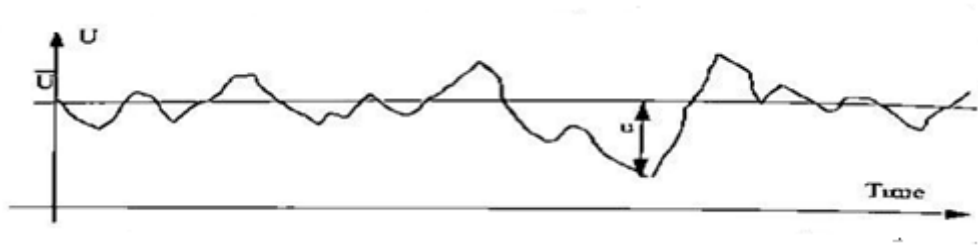
ایجاد هندسه گام اول و یکی از مهمترین گام‌های مسئله است؛ چرا که نرم‌افزار SSIM قابلیت‌های گرافیکی بسیار ضعیفی دارد و نمی‌توان به‌عنوان مثال دستور ایجاد یک دایره در هندسه مسئله را به‌طور مستقیم وارد نمود. اندازه و جهت‌گیری سلول‌ها به‌شدت، دقت محاسبات، همگرایی یا واگرایی و زمان انجام محاسبات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. توصیه‌ها در مورد شکل سلول‌ها برای کاهش زمان محاسبات و افزایش دقت و سرعت محاسبات به‌قرار زیر است.

- ۱- خطوط شبکه حتی‌الامکان بر هم عمود باشند. استفاده از تقاطع‌هایی غیر عمودی به‌ویژه با زاویه کمتر از ۴۵ درجه سرعت همگرایی معادلات را کاهش داده و حتی منجر به واگرایی می‌گردد.
- ۲- نسبت Δx به Δy نباید خیلی بزرگ بوده و حتی‌الامکان از ۱۰ تجاوز نکند.
- ۳- اندازه یک سلول نباید خیلی بزرگ‌تر از سلول‌های مجاور باشد.
- ۴- در جهت طول کانال شبکه‌بندی میدان باید به شکلی باشد که در نواحی‌ای که تغییرات پارامترهای جریان شدیدتر است از شبکه‌بندی ریزتر استفاده کنیم [۸].

۴-۹- معادله حاکم بر جریان

معادلات حاکم بر جریان به معادلات سه‌بعدی ناویر استوکس معروف است. این معادلات که معرف سرعت جریان می‌باشند، از تعادل نیروهای وارد بر یک حجم کوچک آب در جریان آرام به‌دست می‌آیند. سپس از روش میانگین رینولدز برای تبدیل آن‌ها برای جریان متلاطم استفاده می‌شود. روش میانگین رینولدز به شرح زیر است.

فرض کنید ناظری مطابق شکل (۲-۴) در یک زمان به منحنی سرعت در یک مکان مشخص در جریان متلاطم نگاه می‌کند وی با مشاهده این منحنی، سرعت را به چند مؤلف، سرعت متوسط و سرعت‌های نوسانی، تقسیم می‌نماید با قرار دادن این متغیرها در معادله ناویر استوکس برای جریان آرام و مرتب‌سازی آنها، معادله ناویر استوکس برای جریان متلاطم به صورت رابطه زیر درمی‌آید [۷ و ۱۱].



شکل ۲-۴ منحنی سرعت نقطه‌ای در جریان متلاطم

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (-P \delta_{ij} - \rho \overline{u_i u_j}) \quad (۱-۴)$$

در رابطه فوق:

x_i فاصله در سه جهت

U_i در سه جهت

P فشار

δ_{ij} دلتای کرونیکر که برای $i=j$ برابر واحد و در غیر این صورت صفر است.

در رابطه فوق اولین جمله سمت چپ معرف تغییرات جریان نسبت به زمان و دومین جمله معرف انتقال جریان در مسافت معینی است. جمله اول در سمت راست بیانگر تغییرات فشار در سیستم و جمله دوم نیز تنش رینولدز را بیان می‌کند که بر سیال عمل کرده و اثر گردابه‌های آشفتگی را در سیال اعمال می‌کند. در اکثر جریان‌های آشفته مقدار تنش رینولدز بسیار بیشتر از تنش ناشی از لزجت مولکولی است. تعیین پارامتر تنش رینولدز مشکل است که بدین منظور از مدل‌های آشفتگی متفاوتی استفاده می‌گردد.

۴-۱۰- مدل‌های آشفستگی

مدل‌های آشفستگی به دو گروه طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- مدل‌های که تنش رینولدز را مستقیماً به دست می‌آورند.

مدل‌سازی جبری تنش‌های رینولدز تکنیکی است که در آن تنش‌های رینولدز را بدون حل معادلات دیفرانسیل این تنش‌ها به دست می‌آورند. از نکات جذاب این تکنیک این است که مدل فوق نهایتاً متکی به معادله انتقال رینولدز بوده، اما فقط نیاز به حل دو معادله K و ε است.

۲- مدل‌های که از مفهوم لزجت گردابه‌ای استفاده می‌کنند که خود شامل سه گروه می‌باشند:

الف) مدل‌های صفر معادله‌ای

ب) مدل‌های یک معادله‌ای

ج) مدل‌های دو معادله‌ای K - ε

۴-۱۰-۱- مدل‌های صفر معادله‌ای

در این مدل هیچ‌گونه معادله دیفرانسیلی برای کمیت‌های آشفستگی ارائه نمی‌گردد و طول اختلاط برای جریان‌های مختلف متفاوت است. از مزایای مدل‌های صفر معادله‌ای این است که استفاده آسان دارد و برای لایه‌های برشی نازک مانند فواره‌ها، دنباله‌ها و لایه‌های مرزی پیش‌بینی‌های خوبی ارائه می‌نماید. این مدل معایبی نیز دارد به عنوان مثال برای توزیع جریان‌های چرخشی و منطقه جدایی کاملاً ناتوان است. همچنین تنها می‌تواند خواص جریان متوسط و تنش برشی را محاسبه کند [۷].

۴-۱۰-۲- مدل‌های یک معادله‌ای

مدل‌هایی که برای به دست آوردن لزجت گردابه‌ای از یک معادله دیفرانسیلی استفاده می‌کنند، مدل‌های یک معادله‌ای نامیده می‌شوند. با این استدلال که انرژی جنبشی آشفستگی (K)، معیاری برای شدت نوسان‌های تلاطمی در سه جهت باشد. از مزایای مدل یک معادله‌ای این است که رابطه مستقیم بین سرعت و گرادیان سرعت متوسط وجود دارد و از یک معادله دیفرانسیلی انتقال، برای محاسبه سرعت استفاده می‌شود. از معایب

مدل‌های یک معادله‌ای می‌توان به این مورد اشاره کرد که برای تعیین طول اختلاط از معادله جبری استفاده می‌شود [۷].

۴-۱۰-۳- مدل‌های دو معادله‌ای $\epsilon-K$

اگرچه مدل‌های یک معادله‌ای در مقایسه با مدل‌های صفر معادله‌ای، نتایج بهتری به‌ویژه در پیش‌بینی جریان با تقارن محوری در لوله‌ها و نیز جریان بین دو لوله هم‌محور ارائه می‌دهند اما همانند مدل‌های صفر معادله‌ای تأثیر آشفتگی را در محاسبه طول اختلاط محاسبه نمی‌نمایند به‌علاوه با توجه به اینکه مشخص نمودن طول به طریق تجربی در جریان‌های پیچیده دشوار است کاربرد این مدل‌ها اساساً محدود به جریان‌های با لایه‌های برشی ساده می‌شود.

بنا به دلایل فوق، مدل‌های دو معادله‌ای موردتوجه قرار گرفتند که مقیاس طول را نیز از یک معادله انتقال محاسبه می‌کنند. در این مدل، مقیاس طول که مشخص‌کننده اندازه گردابه‌های بزرگ حاوی انرژی است، مانند انرژی جنبشی آشفتگی (K) تابع فرایندهای انتقال و تأثیر زمان است [۷].

تنش‌های متلاطم بسیار پیچیده‌اند و هیچ‌گونه روش مطلوب کاملی وجود ندارد. بوسینسک رابطه زیر را برای بیان ترم تنش رینولدز معرفی می‌نماید:

$$-\overline{u_i u_j} = \nu_T \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (۲-۴)$$

ترم اول در طرف راست معادله، ترم انتشار در معادله ناویر-استوکس است. ترم دوم اغلب حذف می‌شود. ترم سوم در طرف راست در ترم فشار جا داده می‌شود. با این حال این مقدار خیلی کوچک است و مهم نیست. مدل، لزجت گردابی را به‌صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$\nu_T = c_\mu \frac{\kappa^2}{\epsilon} \quad (۳-۴)$$

κ انرژی جنبش جریان آشفته است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\kappa = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i} \quad (۴-۴)$$

و به صورت زیر مدل می‌شود:

$$(۵-۴)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon$$

P_k نیز توسط رابطه زیر معرفی می‌شود:

$$P_k = \nu_T \frac{\partial U_j}{\partial x_j} \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \quad (6-4)$$

افت انرژی جنبشی جریان آشفته (K) با ε مشخص می‌شود و به صورت زیر مدل می‌شود:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{K} P_k - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (7-4)$$

در معادلات بالا، در مدل ε - K مقادیر ثابت‌ها برابر مقادیر زیر می‌باشند:

$$\sigma_\varepsilon = 1.3 \quad \sigma_K = 1.0 \quad C_{\varepsilon 2} = 1.92 \quad C_{\varepsilon 1} = 144 \quad c_\mu = 0.09$$

لازم به ذکر است که لزجت سینماتیکی از خصوصیات سیال بوده در حالی که لزجت گردابی به سرعت بستگی

دارد [۷]. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد مدل آشفته‌گی ε - K مدل پیش‌فرض SSIM است.

۱۱-۴- مزایای و معایب مدل آشفته‌گی ε - K

۱۱-۴-۱- مزایا

- ساده‌ترین مدل آشفته‌گی برای مواردی که شرایط اولیه با شرایط مرزی بایستی تأمین شوند.
- عملکرد عالی برای اغلب جریان‌ها.
- بیشترین وسعت کارایی را دارد.

۱۱-۴-۲- معایب

- عملکرد ضعیف در اغلب جریان‌های غیر محصور
- عملکرد ضعیف در جریان‌های کاملاً توسعه‌یافته درون کانال‌های غیر دایره‌ای [۹].

۱۲-۴- قوانین دیواره

گرادیان سرعت در نزدیک دیواره‌ها معمولاً بسیار پرشیب‌اند. اگر قرار باشد گرادیان سرعت در شبکه‌ها حل شود نیاز خواهد بود که سلول‌ها بسیار کوچک شوند اما به‌جای آن از قوانین دیواره استفاده می‌شود. بدان معنی

که فرض می‌شود پروفیل سرعت از یک تابع تجربی خاصی پیروی می‌کند که قانون دیوار نام دارد. این قانون یک رابطه تجربی برای دیواره زیر است.

$$\frac{U}{U_x} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{30y}{k_s} \right) \quad (۸-۴)$$

k : ثابتی برابر ۰.۴ است

y : فاصله تا دیوار

k_s : زبری معادل قطر ذرات روی بستر است

۴-۱۳- معادلات حاکم بر محاسبه انتقال رسوب

به‌طور متداول رسوب به بار بستر و بار معلق تقسیم می‌شود. دو فرایند مهم در انتقال رسوبات مواد معلق وجود دارد که عبارت است از انتقال و پخش‌شدگی.

فرایند جابجایی خود می‌تواند به‌واسطه سرعت متوسط جریان یا به‌واسطه سرعت سقوط ذرات باشد. روابط فوق‌الذکر به‌طور گسترده بر اساس روش حجم محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این حالت نیروی وارد بر ذره در حال جابجایی F توسط رابطه زیر بیان می‌شود.

$$F = C \times U \times A \quad (۹-۴)$$

در رابطه فوق U سرعت متوسط رسوبات عمود بر سطح (جمع برداری سرعت سقوط و جریان)، A سطح مقطعی که شار رسوبی که از آن عبور می‌کند و C متوسط غلظت رسوبات روی سطوح است. سرعت رسوبات برآیند مجموع سرعت آب و سرعت متوسط ذرات رسوبی است.

دیگر فرآیند جابجایی رسوبات پخش‌شدگی آشفته رسوبات است. این موضوع در اثر آشفته‌گی در هم و تغییرات غلظت است. فرآیند آشفته‌گی در هم معمولاً با ضریب Γ ، آشفته‌گی درهم مدل می‌شود. و بر اساس فلاکس رسوبات تقسیم‌بر شیب غلظت محاسبه می‌شود.

$$\Gamma = \frac{\left(\frac{F}{A} \right)}{\left(\frac{dc}{dx} \right)} \quad (۱۰-۴)$$

معمولاً انتقال ذرات به روش جابجایی حاکم است در بعضی از مواقع مانند محاسبات راندمان تله اندازی، انتقال به روش انتشار تلاطم نیز بسیار مهم است بر این اساس از معادله ذیل موسوم به معادله انتقال و انتشار برای محاسبه انتقال ذرات معلق استفاده می‌شود.

معادله انتقال و پخش‌شدگی برای جابجایی رسوبات در حالت ماندگار به‌صورت زیر است.

$$U_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial c}{\partial x_j} \left(\Gamma_T \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) \quad (11-4)$$

$$\Gamma_T = \frac{v_T}{S_c} \quad (12-4)$$

در معادله فوق:

c غلظت رسوب

w سرعت سقوط ذرات رسوب

x_j فاصله در سه جهت

U_j مؤلفه سرعت در سه جهت

Γ_T ضریب انتشار آشفته‌گی است که از مدل $k - \varepsilon$ به‌دست می‌آید

S_c عدد اشمیت^۱ است که مقدار پیش‌فرض آن یک است [۸].

معادله انتقال و انتشار به روش حجم کنترل برای تمام سلول‌ها جز سلول‌های نزدیک بستر برای تعیین غلظت ذرات معلق حل می‌شود. این روش به‌واسطه تلاطم، باعث کاهش سرعت ته‌نشینی ذرات معلق می‌گردد؛ لذا از رابطه فان راین^۲ برای محاسبه غلظت ذرات معلق نزدیک بستر استفاده می‌شود. رابطه فان راین برای غلظت تعادلی رسوب نزدیک بستر به شکل زیر است [۲۸].

$$c_{bed} = 0.015 \frac{a^{0.3} \left[\frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right]^{1.5}}{\left[\frac{(\rho_s - \rho_w)g}{\rho_w v^2} \right]^{0.1}} \quad (13-4)$$

در رابطه فوق:

1-Schmidt Number

2-Van Rijn

d قطر ذرات رسوب

a یک سطح مرجع معادل با ارتفاع زبری است

τ تنش برشی کف

τ_c تنش برشی بحرانی بستر برای حرکت ذرات رسوب مطابق با منحنی شیلدز

ρ_s و ρ_w چگالی آب و رسوب

v^2 لزجت آب

g شتاب ثقل است.

اگر شیب بستر به سمت بالا و یا کناره‌ها باشد. تنش برشی بحرانی ذرات تغییر کرده و ضریب کاهش تنش برشی بحرانی برای ذرات رسوب، به‌عنوان یک تابع از شیب بر اساس رابطه بروکس^۱ به‌صورت زیر به دست می‌آید.
(۴-۱۴)

$$k = -\frac{\sin \phi \sin \alpha}{\tan \theta} + \sqrt{\left(\frac{\sin \phi \sin \alpha}{\tan \theta}\right)^2 - \cos^2 \phi \left[1 - \left(\frac{\tan \phi}{\tan \theta}\right)^2\right]}$$

در رابطه فوق:

α زاویه بین جهت جریان و خط عمود بر سطح کف

ϕ زاویه شیب در طول

θ زاویه شیب در عرض

فاکتور k محاسبه‌شده و در تنش برشی بحرانی برای سطح افقی ضرب می‌شود تا تنش برشی بحرانی مؤثر

برای ذره رسوب به‌دست آید [۸].

علاوه بر بار معلق، بار بستر q_b ، نیز به‌وسیله رابطه فان راین محاسبه می‌شود. فرمول فان راین برای بار بستر به‌صورت زیر است.

$$\frac{q_b}{D_{50}^{15} \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w}}} = 0.053 \frac{\frac{\tau - \tau_c}{\tau_c}}{D_{50}^{0.3} \left[\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_w)g}{\rho_w v^2}} \right]^{0.1}} \quad (15-4)$$

علاوه بر بار معلق و بستر، ارتفاع شکل بستر نیز با معادله فان راین به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\frac{\Delta}{d} = 0.11 \left(\frac{D_{50}}{d} \right)^{0.3} \left(1 - e^{\left[\frac{\tau - \tau_c}{2\tau_c} \right]} \right) \left(25 - \left[\frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right] \right) \quad (16-4)$$

در رابطه فوق d عمق آب است.

علاوه بر این مدل، زبری مؤثر را بر اساس رابطه فان راین به صورت زیر محاسبه می شود؛

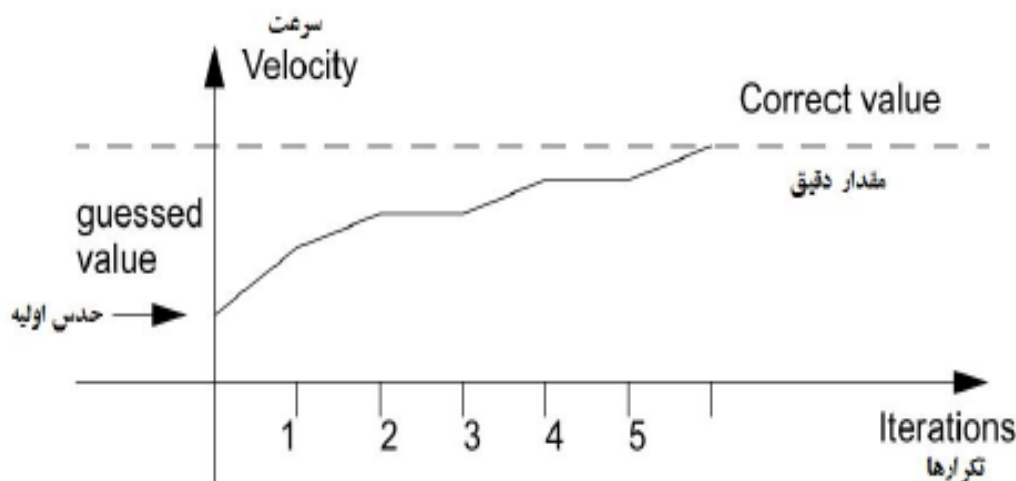
$$k_s = 3D_{90} + 1.1\Delta \left(1 - e^{\frac{25\Delta}{\lambda}} \right) \quad (17-4)$$

$$\lambda = 7.3d$$

در رابطه فوق λ طول شکل بستر است [۸].

۴-۱۴- پایداری و همگرایی

روش حل عددی در برنامه SSIIM به صورت تکراری است. بدین منظور ابتدا یک مقدار اولیه حدس زده می شود و سپس از طریق تکرار، عملیات محاسبه به سمت یک مقدار دقیق تر پیش می رود. نحوه انجام این عمل در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل ۳-۴ روش تکراری رسیدن به مقدار دقیق با حدس اولیه

۴-۱۴-۱- معیار همگرایی

جهت اطمینان از همگرایی حل در یک روش تکراری، بایستی معیار همگرایی را مورد توجه قرارداد. بدین منظور و بر اساس محاسبه پسماندها، چندین معیار مختلف ارائه شده‌اند. پسماند درواقع مقداری است که اختلاف مابین مقدار دقیق و محاسبه‌شده را در گام زمانی فعلی نشان می‌دهد و همچنین چگونگی میزان رشد در ضمن حل عددی را نیز تفسیر می‌نماید.

مقدار پسماند کوچک نشان‌دهنده نزدیک شدن به همگرایی است. برای محاسبه پسماند از فرمولهای زیر می‌توان استفاده نمود:

$$r = (\sum_1^n (a_p U_p - \sum a_{np} U_{nb} - source_p)) / (n F_c U_c)$$

در معادله فوق:

n تعداد سلول‌های شبکه

U_c سرعت مشخصه

F_c شار مشخصه است

اغلب مقادیر در مرز ورودی در نظر گرفته می‌شود. همچنین می‌توان از رابطه زیر که اساس آن برخلاف بین مقادیر به‌دست آمده در دو تکرار متوالی است، استفاده کرد:

$$r = (\sum_1^n (U_i - U_{i-1})) / (n U_c)$$

یکی از معایب این فرمول این است که مقدار پسماند می‌تواند به سمت صفر میل کند، درحالی‌که مقدار حل عددی به سمت مقدار دقیق پیش نرفته است. به‌عنوان مثال در شکل (۴-۴) اگرچه مقدار پسماند با استفاده از فرمول فوق بعد از تکرار ۲، صفر است، اما حل دقیق حاصل نشده است.

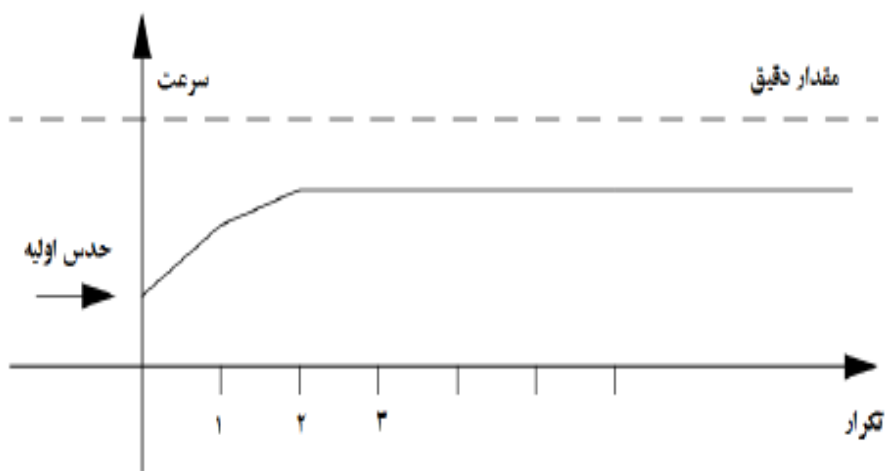
۴-۱۴-۲- ناپایداری‌ها

همواره روش‌های حل تکراری موفقیت‌آمیز نبوده و ممکن است همگرایی حاصل نشود. گاهی اوقات سیستم

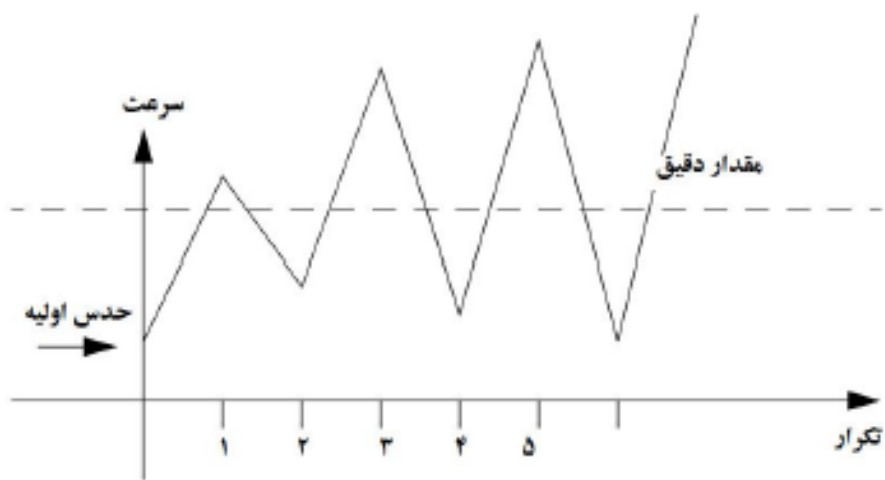
معادلات به صورتی است که ناپایداری در حل رخ می‌دهد. یک نمونه ناپایداری از حل را می‌توان در شکل (۴-۴)

(۵) مشاهده نمود که به صورت نوسانی مقدار پسماند افزایش می‌یابد.

معمولاً در حل عددی از یک مقدار بزرگ برای پسماند جهت تشخیص رخداد ناپایداری استفاده می‌شود.



شکل ۴-۴ صفر شدن پسماند قبل از رسیدن به مقدار دقیق



شکل ۴-۵ یک نمونه از رخداد ناپایداری در ضمن حل

جهت جلوگیری از رخداد ناپایداری در حل و همچنین افزایش سرعت همگرایی چندین روش وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱- روش تخفیف

اساس این روش در تخمین یک مقدار بهتر جهت استفاده در حدس اولیه است که همگرایی را بهبود خواهد بخشید.

۲- روش شبکه چندتایی و تصحیح بلوک

اساس این روش در سرعت بخشیدن به همگرایی حل است. در این روش‌ها، شبکه حل به چندین زیر شبکه ریزتر تقسیم می‌شود و یا اینکه تبدیل به بلوک‌هایی در جهت افقی و عمودی (دوبعدی) می‌شود.

۳- درونیابی رای و چو

از این روش برای زمانی که مقدار جمله چشمه در معادله ناویر-استوکس خیلی بزرگ است نمی‌توان استفاده نمود.

۴- روش‌های بالادست و پخش مصنوعی

۴-۱۵- پارامترهای کالیبراسیون

در مدل عددی سه‌بعدی SSIM جهت کالیبره کردن محاسبات هیدرولیک جریان:

۱- ضریب اصطکاک مانینگ

۲- گام‌های زمانی و تعداد تکرارهای درونی

۳- ضرایب آرامش

و جهت کالیبره کردن محاسبات رسوب پارامترهایی مانند:

۱- استفاده از منحنی شیلدز برای تنش برشی بحرانی به جای استفاده از پارامتر شیلدز

۲- تغییر ضرایب استفاده‌شده در فرمول‌های فن راین

۳- کاهش تنش برشی بحرانی

۴- زبری و ...

را می‌توان استفاده نمود؛ که در هر مرحله می‌توان از یک یا چند عامل فوق جهت واسنجی کمک گرفت. یکی از پارامترهای مهم در کالیبره کردن مدل، تغییر پارامترهای فرمول بار بستر یا بار معلق ون راین یا هر دو است که باعث تغییر در غلظت رسوب ورودی به آبگیر می‌شود. همچنین استفاده از منحنی شیلدز برای تنش برشی بحرانی به‌جای پارامتر شیلدز باعث تغییر غلظت بستر در مجاورت بستر می‌شود. تأثیر دانه‌بندی رسوبات و زبری نیز از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در کالیبره کردن محاسبات رسوب جریان است [۱۷].

فصل ۵ محاسبات و نتایج

فصل ۵

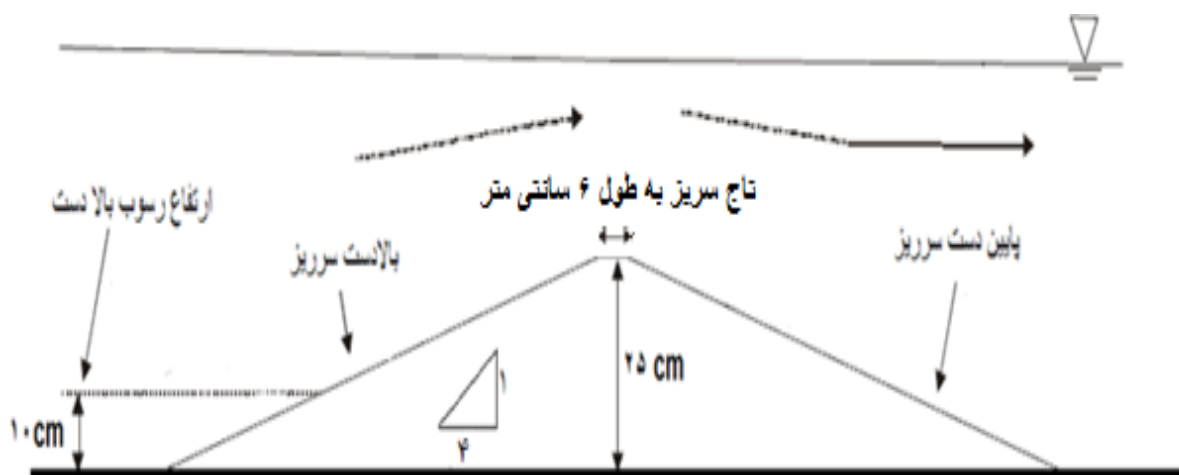
محاسبات و نتایج

۵-۱- مقدمه

در این فصل از مطالعه به منظور آشنایی با شبیه‌سازی الگوی انتقال رسوب در روی سرریز به وسیله نرم‌افزار و بررسی توانایی مدل عددی در این زمینه، با توجه به تحقیقات انجام‌شده توسط لوچلان به شبیه‌سازی موارد مذکور می‌پردازیم. در بخش بعدی که هدف اصلی مطالعه صورت گرفته است با استفاده از مدل عددی لوچلان به بررسی حداکثر اندازه قطر عبوری رسوبات از روی سرریز پرداخته شده است. به همین منظور ابتدا مشخصات مدل آزمایشگاهی معرفی شده و با بهره‌گیری از نتایج مدل آزمایشگاهی به صحت سنجی مدل آزمایشگاهی و ارزیابی و توصیف نتایج پرداخته‌شده، که در ادامه تشریح مراحل فوق بیان شده است.

۵-۲- توصیف مدل آزمایشگاهی

لوچلان در سال ۲۰۰۱ برای بررسی انتقال رسوب روی سرایشی‌های تند از یک سرریز ذوزنقه‌ای مطابق شکل (۵-۱) استفاده کرد. که در این آزمایش‌ها، نحوه‌ی انتقال رسوب روی سرریزها را مورد بررسی قرار داد و نتایج تراز کف و اشکال کف را توصیف کرده است.



شکل ۵-۱ مشخصات مدل آزمایشگاهی سرریز لوچلان

حال در این مطالعه شرایط w2b، سرریز لبه پهن دوزنقه‌ای شیبدار (۴ افقی: ۱ عمودی) مدل شده است. یک فلوم با دیواره شیشه‌ای به طول ۳۵ متر برای آزمایش انتقال رسوب مورداستفاده قرار گرفت. و سرریز در وسط فلوم آزمایشگاهی قرار گرفت. مشخصات رسوباتی که در این آزمایش استفاده شده است عبارت‌اند:

$$D_{50} = 0.164mm$$

$$D_{90} = 0.238mm$$

رسوبات به صورت یکنواخت با ارتفاع ۱۰ cm در طول، در پشت سرریز قرار گرفته شده است و پایین دست سرریز بدون رسوب موجود اولیه در کف است. همچنین این رسوبات به داخل فلوم در ورودی جریان به طور پیوسته در نزدیکی بستر تزریق شده است. برخی از مشخصات آزمایش w2b در جدول (۵-۱) ذکر شده است. اندازه‌گیری غلظت ماسه در آزمایش لوچلان در فاصله ۴ متری از تاج سرریز انجام و سرانجام پروفیل بار معلق محاسبه شده است. سپس پس از اندازه‌گیری، محاسبات رسوب با فرمول فن راین (۱۹۸۴) انجام و مقایسه شده است که نتایج به دست آمده از آن در جدول (۵-۱) ذکر شده است. تمام ترازها با توجه به کف فلوم اندازه‌گیری شد. عرض فلوم برابر ۰.۸ متر است.

جدول ۵-۱ مشخصات آزمایش لوچلان

مشخصات آزمایش‌ها	آزمایش w2b
نوع سرریز	سرریز با دیواره شیبدار
رژیم جریان	مستغرق
تراز آب بالادست (m)	۰.۴۵
تراز آب پایین‌دست (m)	۰.۴۵
متوسط تراز کف بالادست (m)	۰.۱۰
متوسط تراز کف پایین‌دست (m)	۰
تراز تاج سرریز (m)	۰.۲۵
سرعت متوسط بالادست (m/s)	۰.۳۵
میانگین دبی ($/sm^3$)	۰.۰۹۸
نرخ کل انتقال رسوب (kg/s)	۰.۰۰۲۴
نرخ انتقال بار کف (kg/s)	۰.۰۰۱۱
نرخ انتقال بار معلق (kg/s)	۰.۰۰۱۳

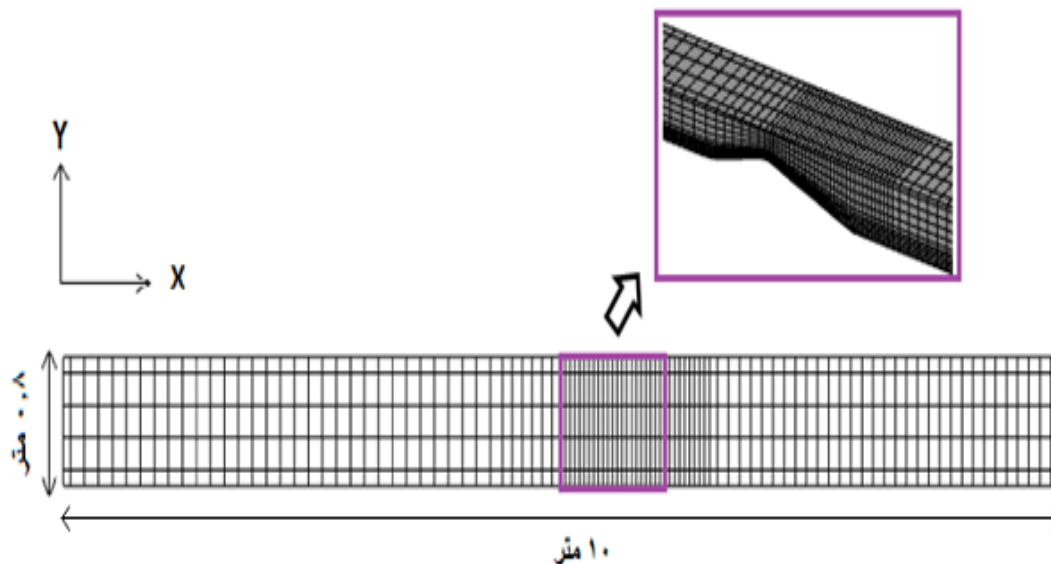
۵-۳- شبیه‌سازی عددی

۵-۳-۱- تولید و تنظیم شبکه‌بندی میدان حل

اولین مرحله قبل از اجرای مدل عددی تقسیم‌بندی ناحیه موردنظر به سلول‌هایی است که معادلات دیفرانسیلی حاکم بر میدان جریان و رسوب باید برای آن‌ها حل گردند. این فرایند مشبندی (شبکه‌بندی) نامیده می‌شود. ساختن شبکه مناسب زمان محاسبات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جهت کاستن حجم محاسبات و افزایش دقت، شبکه ساخته‌شده به تدریج با نزدیک شدن به سرریز، ریز شده است و با توجه به تغییرات مشخصات جریان، تراکم مش بر روی سرریز افزایش یافته است (شکل ۵-۲). تعداد مقاطع استفاده‌شده در پلان در جهت طولی و با توجه به طول در نظر گرفته‌شده فلوم ۱۰۱ و در جهت عرضی ۵ و در جهت قائم ۱۳ عدد است. با اعمال مشخصات جریان مدل عددی اجرا شده و نحوه انتقال رسوب و تغییرات بستر مورد بررسی قرار گرفته شده است. در این تحقیق روش‌های شبیه‌سازی متفاوتی برای بررسی انتقال رسوب از روی سازه‌های هیدرولیکی از قبیل فرمول‌های انتقال رسوب، آشیدا میچیو، انگلند هنس و پارکر و فن راین تست شده است. و در نهایت مطلوب‌ترین روش که فن‌راین بوده است در نظر گرفته شده است.

۵-۳-۲- شرایط مرزی

در این قسمت به بررسی شرایط مرزی اعمال شده در مدل عددی SSIIM پرداخته می‌شود. برای شرایط مرزی جداره، شار (جریان) گذرنده از بستر با دیوار صفر است بنا براین هیچ شرایط مرزی خاصی وجود ندارد. از آنجاکه، گرادیان سرعت جریان نزدیک به دیوار بسیار تند است، بایستی با افزایش قابل توجه تعداد سلول‌های شبکه در این بخش، گرادیان را تا مقدار قابل قبولی تعدیل نمود.



شکل ۵-۲ نمایی از پلان مش‌بندی توسط نرم‌افزار SSIIM

می‌توان به‌جای انجام مراحل فوق از قانون دیوار، رابطه (۵-۱) در سلول‌های مجاور استفاده نمود.

$$\frac{U}{U_x} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{30y}{k_s} \right) \quad (۵-۱)$$

که در رابطه فوق:

U سرعت جریان

U_x سرعت برشی

κ ثابت ون کارمن که معمولاً معادل با ۰.۴ در نظر گرفته می‌شود

y فاصله از جداره

k_s ارتفاع زبری جداره

قانون دیوار را می‌توان هم برای محاسبه سرعت‌ها و هم پارامترهای آشفتگی مورد استفاده قرارداد. در مرز خروجی، برای تمام متغیرها شرط مرزی گرادیان صفر اعمال می‌شود. حال با توجه به ماهیت شرط مرزی مزبور

مبنی بر عدم تغییرات مشخصات جریان بر این مرز، لازم است تا موقعیت این مرز برای حصول شرط فوق در راستای کانال خروجی پایین دست تعیین شود.

در ورودی بالادست میدان برای پارامترهای سرعت و آشفتگی از شرط مرزی دریشلت استفاده شده است. استفاده از شرط مرزی دریشلت به این معنا است که مقادیر متغیرها در مرز معین باشد. اعمال این شرط در مدل SSIIM با دادن دبی در بالادست و سطح در پایین دست و همچنین مشخص کردن عدد استریکلر اعمال می شود. مدل به این ترتیب با استفاده از الگوریتم استاندارد، سطح آب ورودی بالادست میدان را پیدا کرده و سرعت ورودی معین را بالادست اعمال می نمایند. همچنین در این مرز لازم است تا مقادیر پارامترهای آشفتگی نظیر انرژی جنبشی آشفتگی و استهلاك به مدل اعمال می شود.

این کار برای اعمال پارامتر آشفتگی به سادگی پارامتر سرعت نیست. علت این امر آن است که توزیع آزمایشگاهی برای پارامترهای فوق وجود ندارد. لذا در مدل برای تخمین این پارامترها از روابط تقریبی استفاده شده است. با توجه به این که مقدار سرعت در ورودی کانال مشخص است، لذا می توان تنش برشی بستر را در ورودی بستر به دست آورد. سپس مقدار انرژی جنبشی آشفتگی نزدیک بستر در مرز بالادست از رابطه زیر تعیین می شود:

$$k = \frac{\tau}{\rho \sqrt{c_\mu}} \quad (2-5)$$

رابطه فوق بر این فرض به دست آمده است که بین تولید و استهلاك آشفتگی در سلول های نزدیک بستر تعادل وجود دارد. با داشتن لزجت گردابه ای و مقادیر k در بستر با معادله زیر مقدار τ نیز در بستر در مرز ورودی کانال محاسبه می شود:

$$v_t = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3-5)$$

حال مدل با فرض تغییرات خطی k از بستر تا سطح آب در مرز ورودی، توزیع عمودی k و ε را در مرز بالادست به دست می آورد.

در روابط فوق:

k انرژی جنبشی آشفستگی

ε استهلاک انرژی

τ تنش برشی بستر

ρ چگالی سیال است

v_t لزجت گردابه‌ای

برای کالیبره کردن مدل، روش‌های شبیه‌سازی متفاوت برای مدل‌سازی عددی جریان و انتقال رسوب با توجه باقابلیت‌ها و الگوریتم‌های موجود در مدل عددی SSIIM مانند تغییر در مدل‌های آشفستگی و روابط انتقال رسوب، روش‌های حل و ... انجام و مقایسه شده است که با توجه به ازدیاد مطالب از ارائه آن صرف نظر شده است. در نهایت مطلوب‌ترین روش جهت مدل‌سازی عددی در نظر گرفته شده است. برخی جزئیات برای مدل‌سازی در نرم SSIIM برای آزمایش لوچلان در جدول (۵-۲) ارائه شده است.

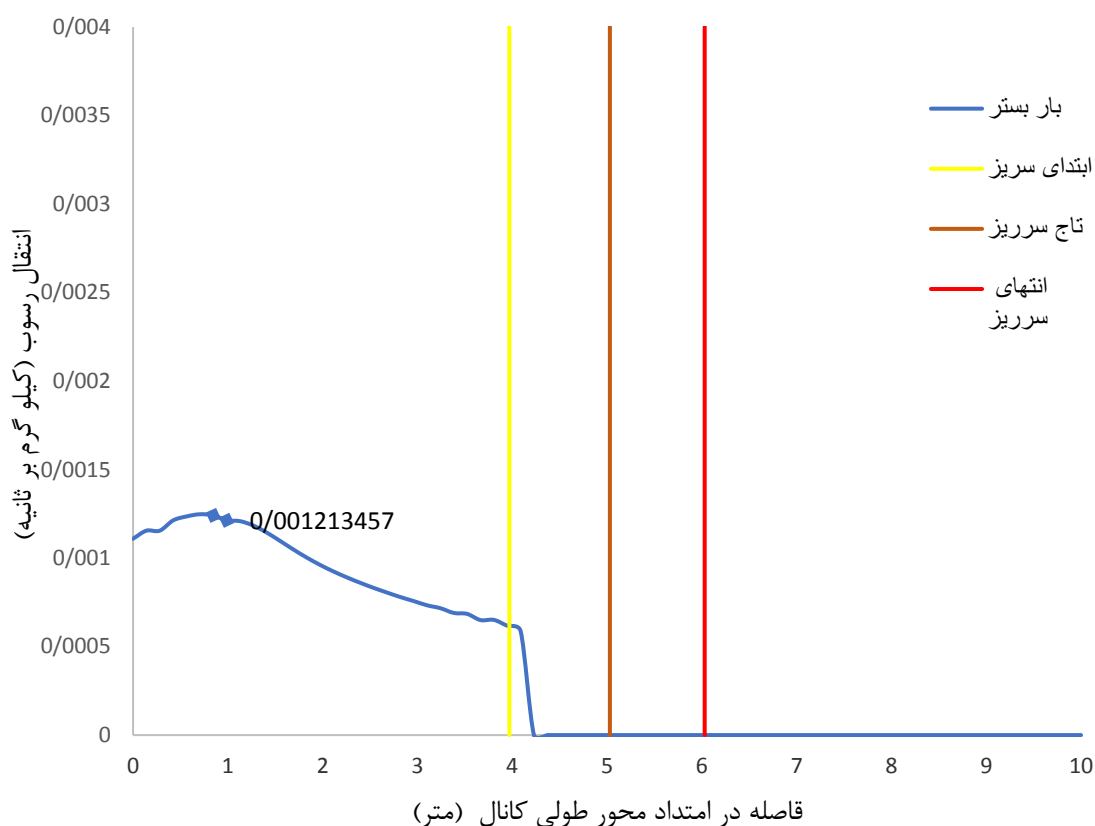
جدول ۵-۲ جزئیات مدل سازی آزمایش لوچلان (۲۰۰۱) در مدل عددی *SSIIM*

مؤلفه	توصیف
طول زمان محاسبات	برابر با زمان آزمایش (۸ ساعت)
طول کانال محاسباتی	۱۰ متر
استپ زمانی	۰.۰۱ ثانیه
مرز ورودی، شرایط جریان	دبی کل، برابر با مقدار آزمایشگاهی
مرز خروجی، شرایط جریان	سطح آب، برابر با مقدار آزمایشگاهی
ضخامت رسوب کف قبل از سرریز	برابر با مقدار آزمایشگاهی (۱۰ سانتی متر)
ضخامت رسوب کف بعد از سرریز	برابر با مقدار آزمایشگاهی (صفر سانتی متر)
سرعت سقوط ذره	۰.۱۶۴ متر بر ثانیه
وزن مخصوص آب	۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب
ویسکوزیته آب	۰.۰۰۰۰۰۱ مترمربع بر ثانیه
مدل آشفتگی	مدل k-epsilon
وزن مخصوص رسوب	۲۶۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب
قطر رسوب	$D_{90} = 0.238mm$ $D_{50} = 0.164mm$

لازم به ذکر است که زمان مدل سازی آزمایشگاهی لوچلان ۸ ساعت بوده است که با استفاده از کامپیوترهای محاسباتی دانشگاه صنعتی شاهرود برای این شبیه سازی حدود ۱۲ ساعت زمان نیاز بوده است.

۴-۵- بررسی نتایج مدل سازی انتقال رسوب

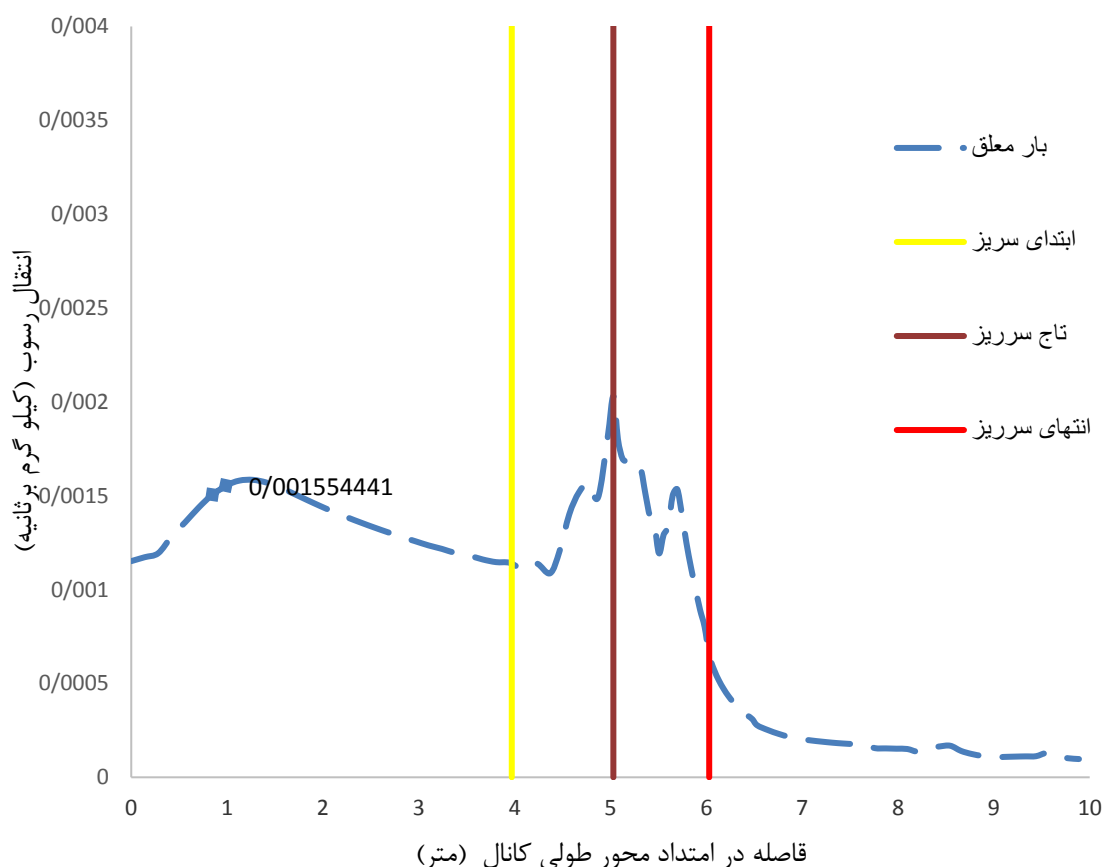
فرمول فن راین (۱۹۹۳) انتقال رسوب را به عنوان تابعی از ویژگی های جریان و رسوب محاسبه می کند. هر دو حالت پروفیل انتقال رسوب بار بستر و بار معلق توسط خط تو پر و منقطع در امتداد محور فلوم به ترتیب در (شکل ۳-۵) و (شکل ۴-۵) نشان داده شده است.



شکل ۳-۵ پروفیل انتقال بار بستر (خط توپر) در مدل عددی در امتداد محور طولی کانال پس از ۸ ساعت مطابق با زمان آزمایش لوچلان

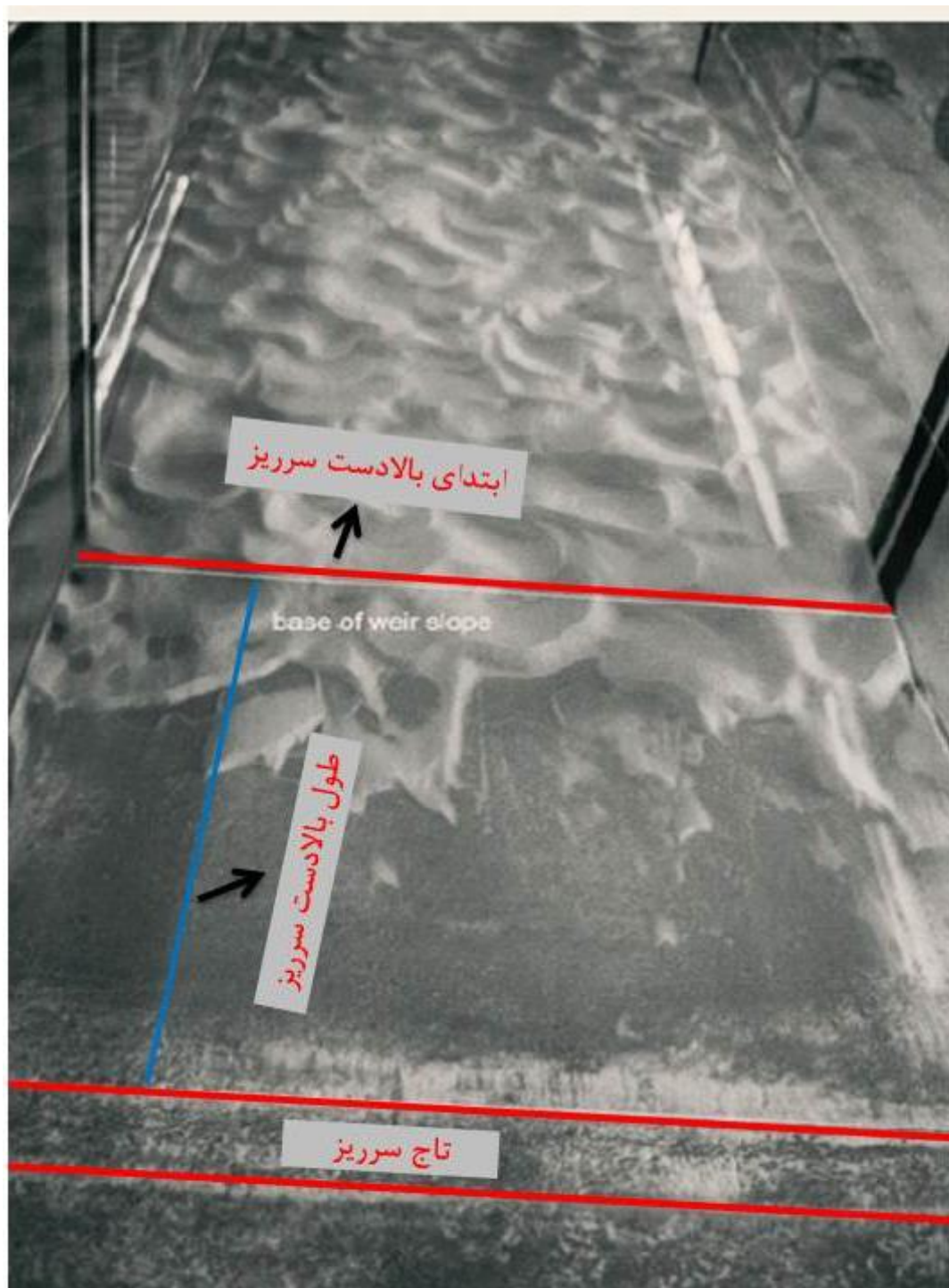
با توجه به (شکل ۳-۵) انتقال بار کف بر روی سرریز با دیواره شیبدار مسدود شده است که به دلیل افزایش شیلدز بحرانی در اثر تأثیر نیروی ثقل، بر روی ذرات رسوب در شیب معکوس بالادست سرریز است.

نرم افزار SSIIM انتقال بار بستر در فاصله ۴ متری از تاج سرریز را حدوداً ۰.۰۰۱۲ کیلوگرم بر ثانیه و انتقال بار معلق با توجه به (شکل ۵-۴)، ۰.۰۰۱۵ کیلوگرم بر ثانیه محاسبه کرده است. که این مقادیر در تطابق خوبی با مقادیر آزمایشگاهی لوچلان به ترتیب ۰.۰۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه و ۰.۰۰۱۴ کیلوگرم بر ثانیه است. همان طور که در آزمایش لوچلان توصیف شده است و رسوبات به صورت معلق بر روی سرریز منتقل می شوند. پایین دست سرریز با توجه به کاهش منبع رسوب کف و کاهش ناگهانی سرعت شکل (۵-۹)، نرخ انتقال رسوب به شدت در حال کاهش است. گام بعدی ارزیابی پیش بینی مورفولوژی مدل است. پروفیل تغییرات نهایی تراز کف در مدل عددی SSIIM بعد از ۸ ساعت برابر با مدت زمان آزمایش لوچلان (۲۰۰۱) در شکل (۵-۱۰) نمایش داده شده است که مطابق با مدل آزمایشگاهی لوچلان شکل (۵-۵) و شکل (۵-۶)

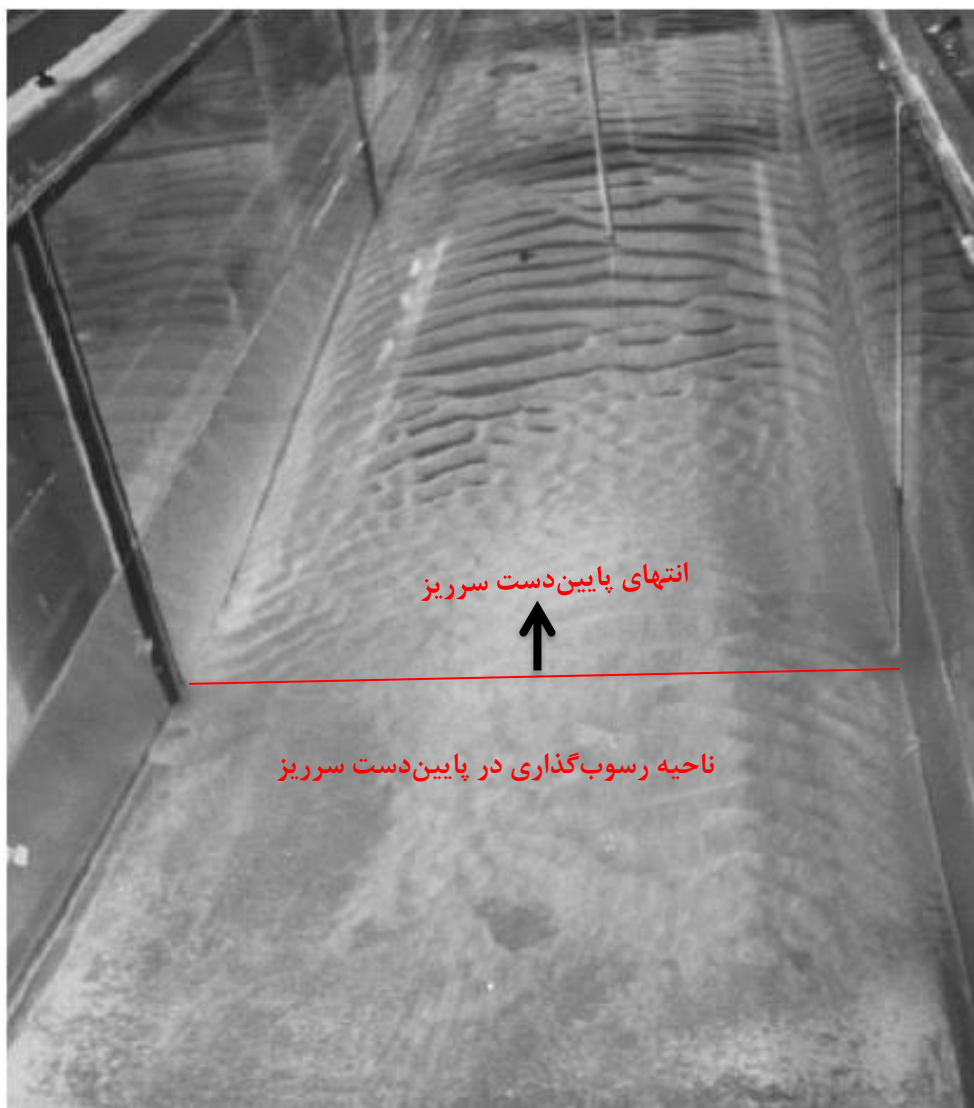


شکل ۵-۴ پروفیل انتقال بار معلق (خط توپر) در مدل عددی در امتداد محور طولی کانال پس از ۸ ساعت مطابق با زمان آزمایش لوچلان

می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در آزمایش لوچلان هیچ ته‌نشینی قابل‌توجهی در بالادست سرریز مشاهده نشده است و ته‌نشینی در امتداد پایین‌دست سرریز رخ داده است.

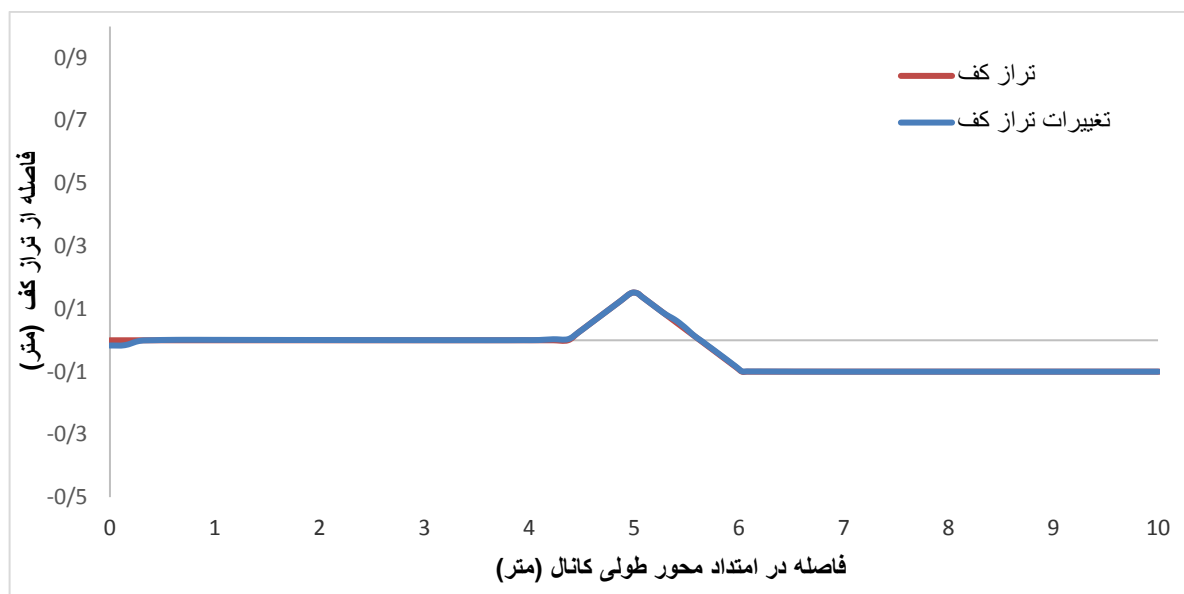


شکل ۵-۵-۵ نمای از بالادست سرریز در آزمایش لوچلان بعد از ۸ ساعت



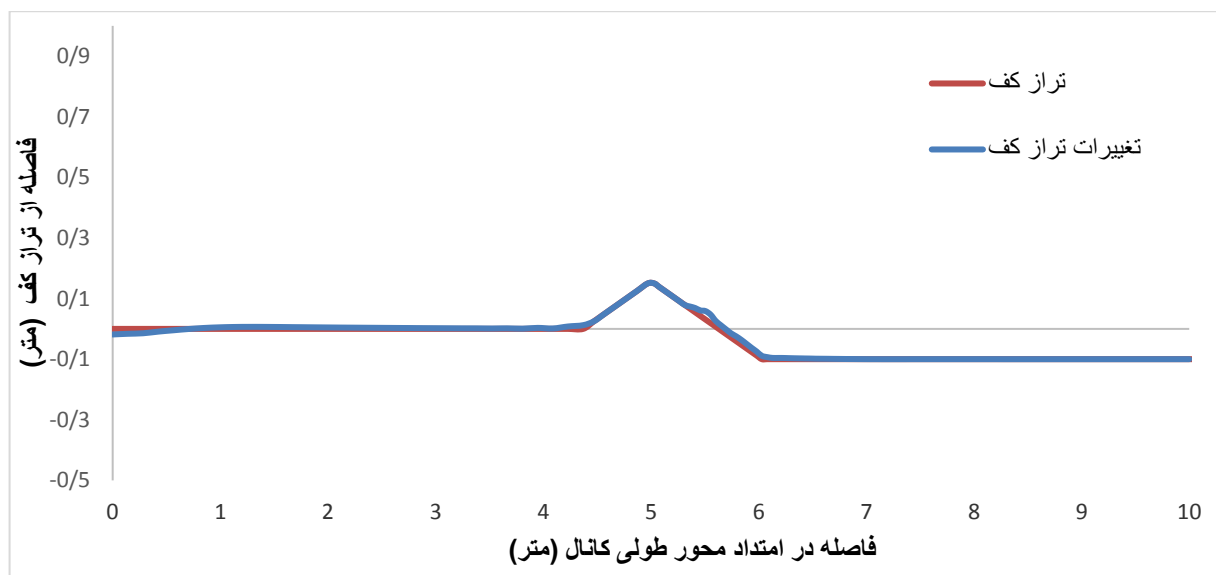
شکل ۵-۶ نمایی از پایین دست سرریز در آزمایش لوچلان بعد از ۸ ساعت

در مدل عددی SSIM شدت فرسایش و رسوب گذاری در کانال در طی زمان همواره روند افزایشی دارد. در فاصله زمانی کوتاهی پس از مدل سازی عددی در حدود ۳۰ دقیقه، دیده می شود که مهم ترین پدیده در کانال، شکل گیری یک ناحیه فرسایشی در ابتدای کانال است و حداکثر عمق آب شستگی در طول زمان مدل سازی در ابتدای کانال حدود ۲ سانتی متر است (شکل ۵-۷).



شکل ۷-۵ پروفیل تراز اولیه کف و تراز کف بعد از ۳۰ دقیق در مدل عددی SSIIM

علاوه بر این مشاهده می‌گردد که با گذشت زمان در حدود ۲۴۰ دقیقه، ذرات رسوب برداشته شده از ناحیه چاله آبستگی، از روی سریز عبور کرده و در ناحیه کم سرعت رسوب کرده و باعث تشکیل یک پشته رسوبی در این ناحیه می‌گردد (شکل ۵-۸).

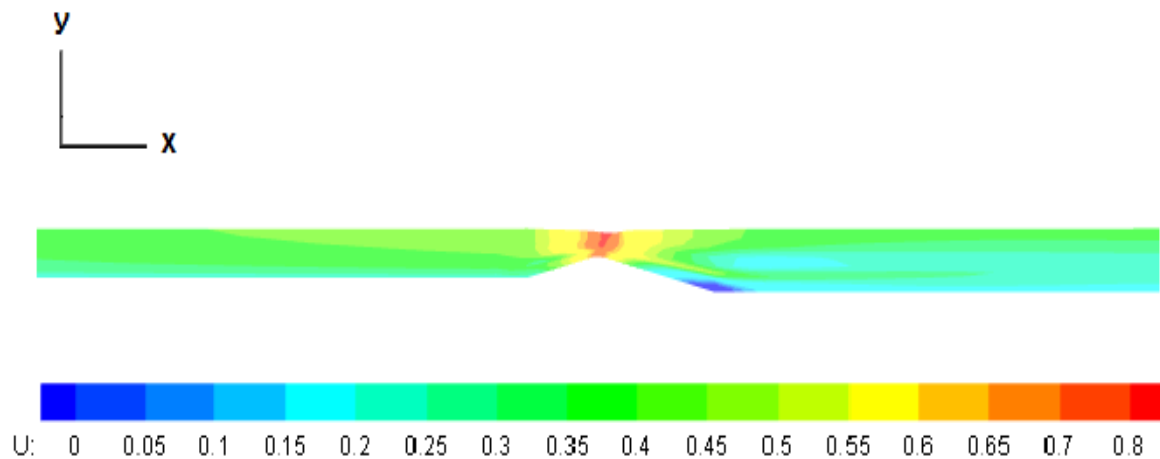


شکل ۸-۵ پروفیل تراز اولیه کف و تراز کف بعد از ۲۴۰ دقیق در مدل عددی SSIIM

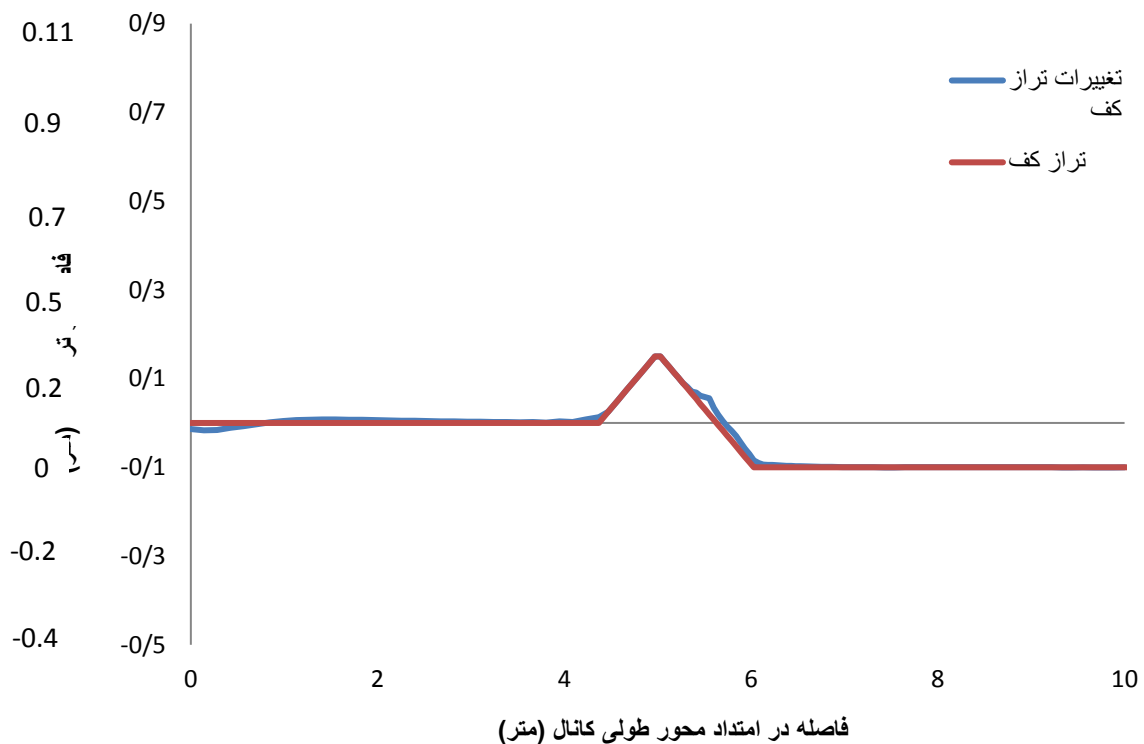
با گذشت زمان از تغییرات بستر به میزان بسیار محسوسی کاسته شده است و تغییرات نسبت به قبل کاهش یافته است و کمتر بوده و پشته رسوبی ایجاد شده در پایین دست سریز و همچنین میزان آبستگی در ابتدای کانال

دارای تغییرات بسیار اندکی است. مهم‌ترین تغییری که مشاهده می‌شود مهاجرت بسیار آرام پشته رسوبی از بالادست به سمت پایین‌دست کانال است.

به‌طور کلی می‌توان گفت که در لحظات اولیه برقراری جریان، اولین نقطه‌ای که در معرض فرسایش قرار می‌گیرد در ابتدای کانال است و این به علت ظرفیت رسوب‌پذیری جریان از شروع ورود جریان به کانال است.



شکل ۵-۹ کانتور سرعت (m/s) در مدل عددی SSIIM



شکل ۵-۱۰ پروفیل تراز اولیه کف و تراز نهایی کف در مدل عددی SSIIM بعد از ۸ ساعت

با توجه به شکل (۵-۱۰) می‌توان از پروفیل طولی کف نتیجه گرفت که مقداری فرسایش مستقیماً در بالادست سرریز ایجاد می‌شود. قبل از سرریز ته‌نشینی قابل توجهی مشاهده نشده است. حفره گردابه قوی در پایین‌دست سرریز، رسوبات را به تله انداخته است و با کاهش ناگهانی سرعت و در نتیجه کاهش انتقال رسوب، ذرات رسوب شروع به ته‌نشینی می‌کنند و در پایین‌دست سرریز ته‌نشینی ایجاد می‌شود؛ در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که نتایج مورفولوژیکی SSIIM مطابق با نتایج آزمایش لوچلان است به‌رغم فرسایش در ابتدای سرریز که ناشی از ظرفیت رسوب‌پذیری جریان است. این نتایج مطابق است با توصیف نتایج به‌دست آمده از آزمایش لوچلان (۲۰۰۱). در نهایت با توجه به مدل آزمایشگاهی لوچلان (۲۰۰۱) و مدل عددی SSIIM می‌توان نتیجه گرفت:

نتیجه	مدل آزمایشگاهی	SSIIM مدل عددی
انتقال رسوب	تمام بارکف و معلق قبل از سرریز توسط جریان انتقال می‌یابد و به‌صورت معلق روی سرریز منتقل می‌شود.	در تطابق با مدل آزمایشگاهی لوچلان می‌باشد.
ته‌نشینی	هیچ ته‌نشینی قابل توجهی در بالادست سرریز مشاهده نشده است. ته‌نشینی در پایین‌دست سرریز رخ داده است.	علاوه بر فرسایش ابتدای کانال که ناشی از شتاب مصنوعی جریان است مطابق با مدل آزمایشگاهی لوچلان است.

۵-۵- بررسی حداکثر قطر رسوب عبوری از روی سرریز

در این بخش، به بررسی تأثیر تغییرات دبی بر روی قطر عبوری از روی سرریز پرداخته شده است و با توجه به دبی‌های متفاوت حداکثر قطر عبوری از روی سرریز و تأثیر آن بر تغییرات بستر مورد بررسی قرار گرفته است. حدود ۱۰۰ آزمون جهت تخمین حداکثر قطر رسوب عبوری از روی سرریز برای دبی‌های متفاوت با قطرهای ذرات رسوب متفاوت جهت رسیدن به حداکثر قطر رسوب عبوری از روی سرریز انجام شده است که در نهایت پارامترهای مؤثر بی‌بعد شده است و بر تأثیر آن‌ها بر نتایج پرداخته شده است، در نهایت با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل عددی، رابطه‌ای جهت برآورد حداکثر قطر عبوری از روی سرریز ارائه گردیده است.

لازم به ذکر است که با استفاده از کامپیوترهای محاسباتی دانشگاه صنعتی شاهرود برای هر اجرا حدود ۱۲ ساعت نیاز بود و برای حدود ۱۰۰ اجرا چیزی نزدیک به ۳ ماه زمان نیاز بوده است.

۵-۵-۱ پارامترهای مؤثر در تخمین حداکثر قطر رسوب عبوری از روی سرریز

پارامترهای مختلفی در رابطه با حداکثر قطر رسوب عبوری از روی سرریز دخیل هستند که در زیر به آنها اشاره شده است.

۱- دبی (Q) یا سرعت متوسط جریان (V)

۲- قطر مشخصه رسوبات (D_{50})

۳- ارتفاع سطح جریان (H)

۴- شتاب ثقل (g)

با توجه به پارامترهای مؤثر می توان دو عدد بی بعد زیر را ساخت :

$$\frac{D_{50}}{H} = f\left(\frac{V}{\sqrt{gH}}\right) \quad (۴-۵)$$

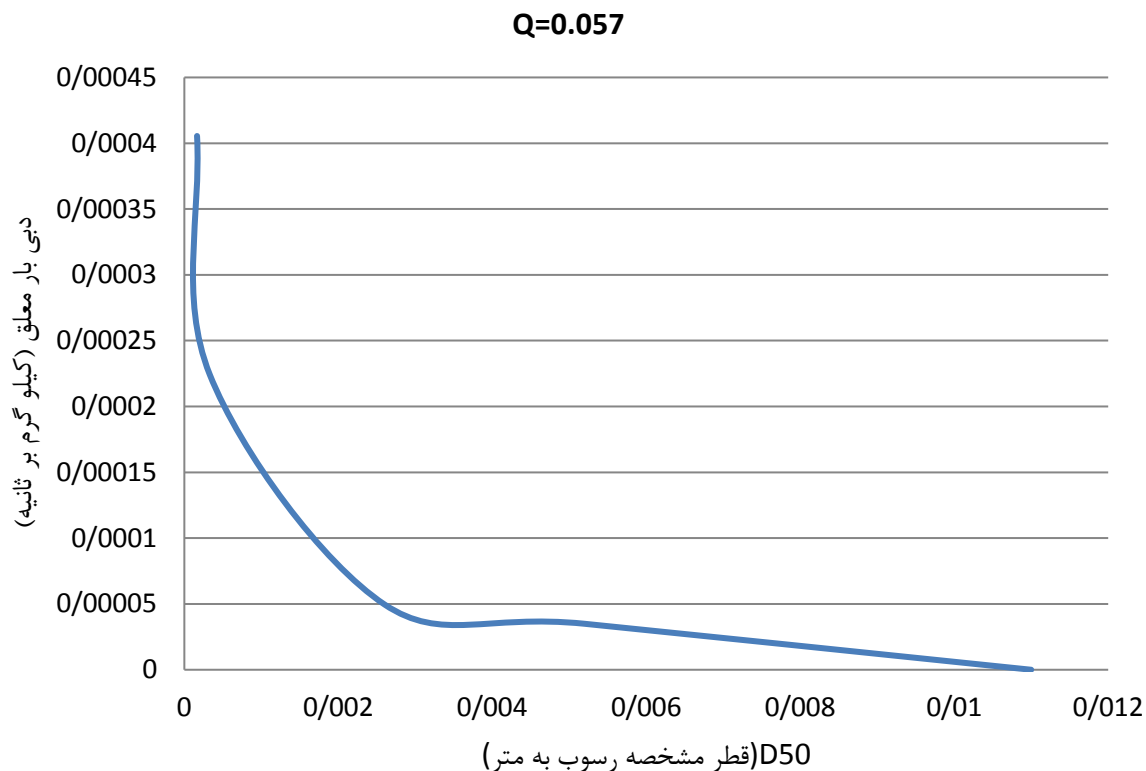
۵-۵-۲ نحوه بررسی حداکثر قطر عبوری از روی سرریز

جهت تخمین حداکثر قطر رسوب عبوری از سرریز، مدل سازی عددی با همان مشخصات مدل سازی عددی آزمایش لوچلان انجام شده است. سپس تغییرات بستر و ارتفاع سطح جریان بر روی سرریز با ۸ دبی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت و برای هر دبی جریان، قطر ذرات افزایش پیدا کرده تا به قطری از ذرات رسیده که دیگر قادر به عبور از روی سرریز نباشد و تغییرات بستر فقط قبل از سرریز شکل گیرد سپس اندازه گیری های پارامترهای مؤثر در ابتدای سرریز برای هر دبی با قطر رسوبات به دست آمده انجام شده است که در ادامه بیان شده است و در نهایت تحلیلی و رابطه ای از نتایج حاصل شده به دست آمده است.

سپس رابطه تحلیلی به دست آمده توسط دو دبی ۰.۰۷۲ و ۰.۰۶۳ مترمکعب بر ثانیه که حداکثر قطر عبوری این دو دبی توسط نرم افزار محاسبه شده است اعتبار سنجی می شود و صحت رابطه به دست آمده توسط قرار دادن مشخصات جریان در دو دبی ذکر شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۵-۵-۲-۱- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۵۷ مترمکعب بر ثانیه

جهت بررسی و رسیدن به حداکثر قطر رسوب عبوری از روی سرریز، قطرهای رسوبی مختلفی از جمله ذرات رسوبی با قطر مشخصه ۰.۰۰۰۱۶۵، ۰.۰۰۰۰۳۳، ۰.۰۰۰۰۶۵، ۰.۰۰۰۱۳، ۰.۰۰۰۲۶، ۰.۰۰۰۵۲، ۰.۰۰۱۱ متر مورد بررسی قرار گرفت. آنچه از شکل (۵-۱۱) مشخص است با افزایش قطر رسوبات در دبی ثابت ۰.۰۵۷ مترمکعب بر ثانیه، مشاهده می‌شود که دبی بار معلق یک روند کاهشی داشته تا به صفر نزدیک شده که به دلیل افزایش قطر رسوبات که باعث افزایش وزن ذرات رسوبی و در نتیجه افزایش نیروی مقاوم به محرک در حرکت جریان رسوبات شده است، باعث سقوط ذرات رسوبی می‌شود.



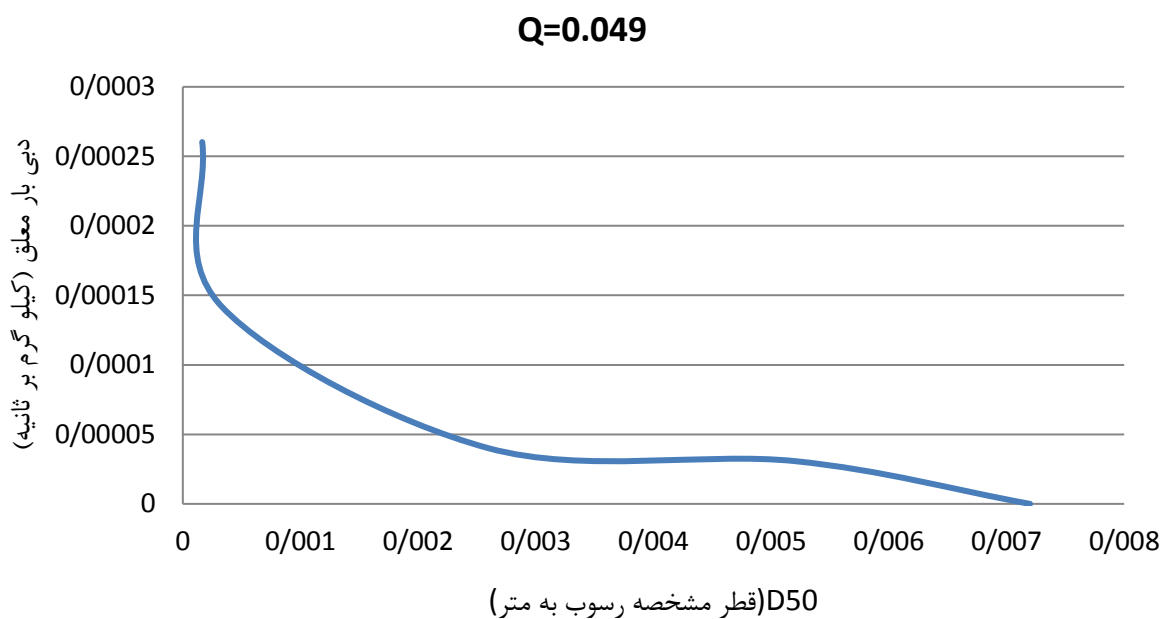
شکل ۵-۱۱ تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۵۷ متر مکعب بر ثانیه
 با توجه به تغییرات بستر در دبی ۰.۰۵۷ مترمکعب بر ثانیه و روند کاهشی دبی بار معلق، ذرات در قطر مشخصه (D_{50}) ۰.۰۱۱ متر قادر به عبور از روی سرریز نیست و هیچ ته‌نشینی قابل توجهی بر روی سرریز و بعد از آن قابل مشاهده نیست؛ که این روند در دیگر دبی‌های جریان هم قابل مشاهده می‌باشد که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است. نتایج حاصل و پارامترهای تأثیر گزار برای دبی ۰.۰۵۷ در جدول (۵-۳) ارائه شده است.

جدول ۳-۵ نتایج حاصل از دبی ۰.۰۵۷ متر مکعب بر ثانیه

دبی جریان ($\frac{m^3}{s}$)	۰.۰۵۷
سرعت متوسط ($\frac{m}{s}$)	۰.۶۲
ارتفاع سطح جریان (m)	۰.۲۶۴
قطر مشخصه (D_{50}) (m)	۰.۰۱۱
$\frac{D_{50}}{H}$	۰.۰۴۲
$\frac{V}{\sqrt{gH}}$	۰.۳۸۵

۵-۵-۲-۲- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۴۹ مترمکعب بر ثانیه

جهت رسیدن به حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۴۹ مترمکعب بر ثانیه ذرات رسوب با قطر مشخصه ۰.۰۰۱۶۵ ، ۰.۰۰۰۳۳ ، ۰.۰۰۰۶۵ ، ۰.۰۰۱۳ ، ۰.۰۰۲۶ ، ۰.۰۰۵۲ متر مورد بررسی قرار گرفته شده است. دبی بار معلق همان‌طور که در شکل (۵-۱۲) مشاهده می‌شود با افزایش قطر در حال نزدیک شدن به مقدار صفر است که با توجه به تغییرات بستر در دبی ۰.۰۴۹ مترمکعب بر ثانیه، ذرات در قطر مشخصه (D_{50}) ۰.۰۰۷۲ متر قادر به عبور از روی سرریز نیست و هیچ ته‌نشینی قابل‌توجهی بر روی سرریز و بعد از آن قابل‌مشاهده نیست و نتایج حاصل و پارامترهای تأثیر گزار در جدول (۵-۴) ارائه شده است.



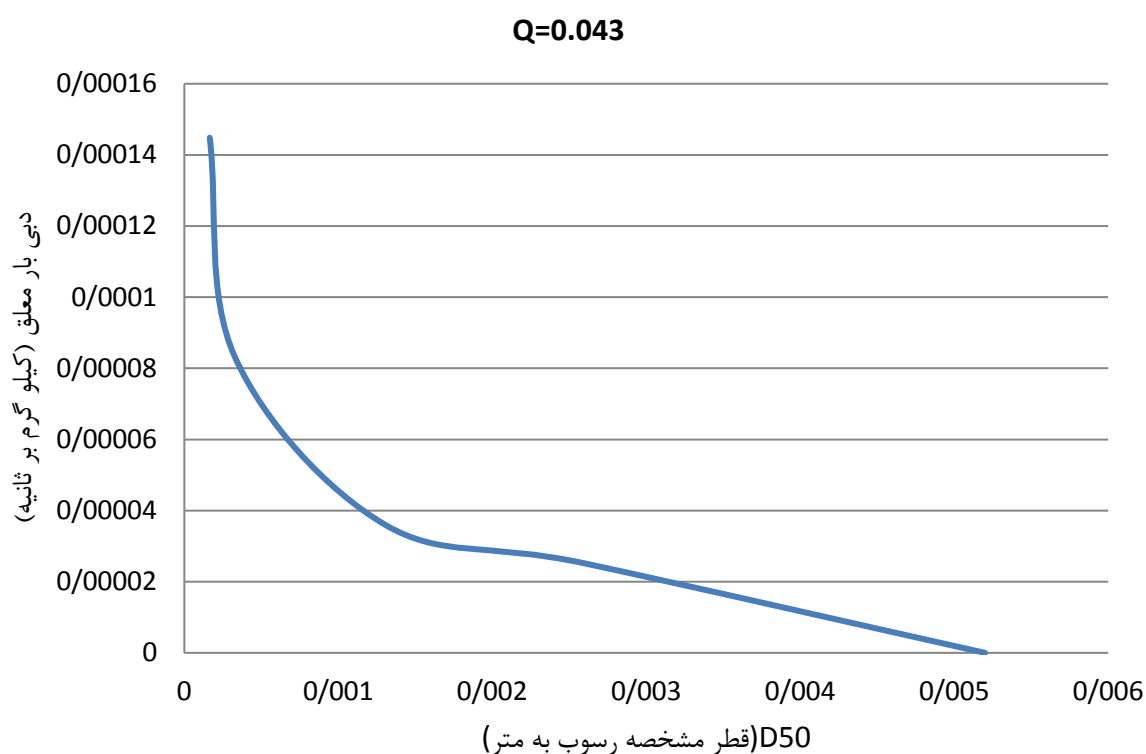
شکل ۵-۱۲ تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۴۹ متر مکعب بر ثانیه

جدول ۴-۵ نتایج حاصل از دبی ۰.۰۴۹ متر مکعب بر ثانیه

$\left(\frac{m^3}{s}\right)$ دبی جریان	۰.۰۴۹
$\left(\frac{m}{s}\right)$ سرعت متوسط	۰.۵۹
ارتفاع سطح جریان (m)	۰.۲۵۵
قطر مشخصه m (D_{50})	۰.۰۰۷۲
$\frac{D_{50}}{H}$	۰.۰۲۸
$\frac{V}{\sqrt{gH}}$	۰.۳۷

۵-۲-۳- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۴۳ مترمکعب بر ثانیه

در دبی ۰.۰۴۳ مترمکعب بر ثانیه ذرات رسوب با قطر مشخصه ۰.۰۰۰۱۶۵ ، ۰.۰۰۰۰۳۳ ، ۰.۰۰۰۰۶۵ ، ۰.۰۰۰۱۳ ، ۰.۰۰۰۲۶ ، ۰.۰۰۰۵۲ متر مورد بررسی قرار گرفته شده است. با توجه به کاهش دبی بار معلق در شکل (۵-۱۳) و تغییرات کف در دبی ۰.۰۴۳ مترمکعب بر ثانیه، ذرات در قطر مشخصه (D_{50}) ۰.۰۰۰۵۲ متر قادر به عبور از روی سرریز نیست و هیچ ته‌نشینی قابل توجهی بر روی سرریز و بعداز آن قابل مشاهده نیست و نتایج حاصل و پارامترهای تأثیرگذار در جدول (۵-۵) ارائه شده است.



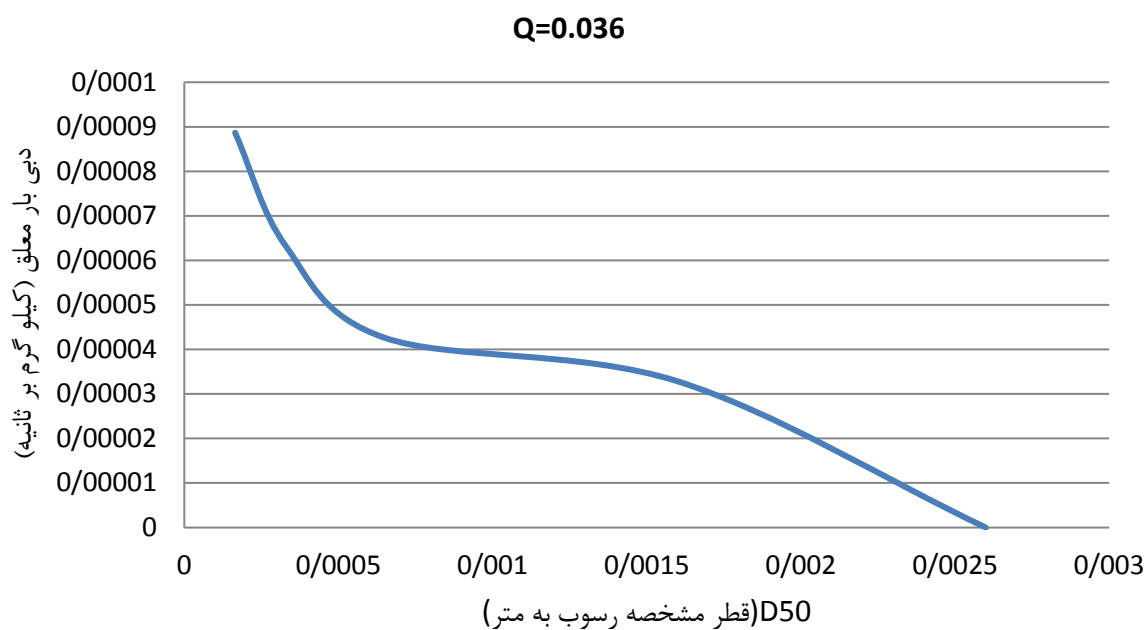
شکل ۵-۱۳ تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۴۳ متر مکعب بر ثانیه

جدول ۵-۵ نتایج حاصل از دبی ۰.۰۴۳ متر مکعب بر ثانیه

دبی جریان ($\frac{m^3}{s}$)	۰.۰۴۳
سرعت متوسط ($\frac{m}{s}$)	۰.۵۶
ارتفاع سطح جریان (m)	۰.۲۴۵
قطر مشخصه (D_{50}) (m)	۰.۰۰۵۲
$\frac{D_{50}}{H}$	۰.۰۲۱
$\frac{V}{\sqrt{gH}}$	۰.۳۶

۵-۵-۲-۴- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۳۶ مترمکعب بر ثانیه

با توجه شکل (۵-۱۴) با کاهش دبی بار معلق در اثر افزایش قطر رسوبات در یک دبی ثابت و تغییرات بستر در دبی ۰.۰۳۶ مترمکعب بر ثانیه، ذرات در قطر مشخصه (D_{50}) ۰.۰۰۲۶ متر قادر به عبور از روی سرریز نیست و هیچ ته‌نشینی قابل توجه‌ای بر روی سرریز و بعداز آن قابل مشاهده نیست و نتایج حاصل و پارامترهای تأثیر گزار در جدول (۵-۶) ارائه شده است. جهت رسیدن به این قطر رسوبی، ذرات رسوبی با قطر مشخصه ۰.۰۰۱۶۵، ۰.۰۰۰۳۳، ۰.۰۰۰۰۶۵، ۰.۰۰۰۱۳، ۰.۰۰۰۲۶ متر مورد بررسی قرار گرفته است.



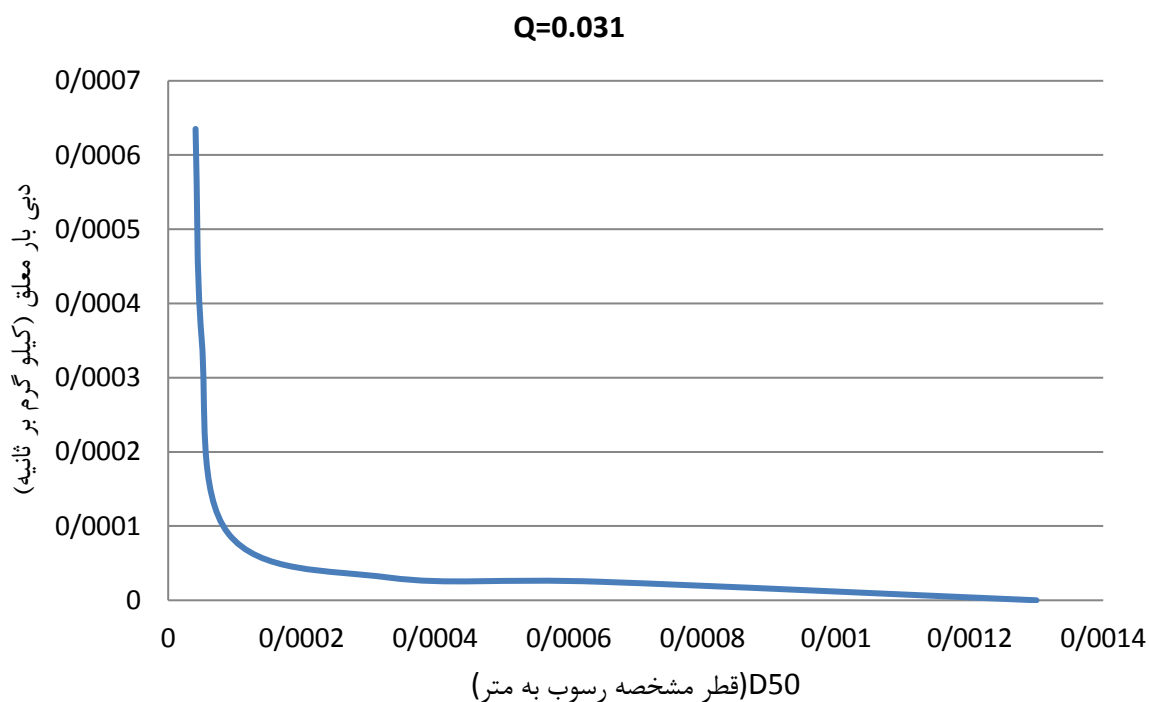
شکل ۵-۱۴ تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۳۶ متر مکعب بر ثانیه

جدول ۵-۶ نتایج حاصل از دبی ۰.۰۳۶ متر مکعب بر ثانیه

$\left(\frac{m^3}{s}\right)$ دبی جریان	۰.۰۳۶
$\left(\frac{m}{s}\right)$ سرعت متوسط	۰.۵۳
ارتفاع سطح جریان (m)	۰.۲۳۵
قطر مشخصه (D ₅₀) (m)	۰.۰۰۲۶
$\frac{D_{50}}{H}$	۰.۰۱۱
$\frac{V}{\sqrt{gH}}$	۰.۳۵

۵-۲-۵-۵- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۳۱ مترمکعب بر ثانیه

برای تخمین حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۳۱ مترمکعب بر ثانیه رسوبات با قطر مشخصه ۰.۰۰۰۰۴۱ ، ۰.۰۰۰۰۰۵ ، ۰.۰۰۰۰۰۶ ، ۰.۰۰۰۰۰۷ ، ۰.۰۰۰۰۰۸۲ ، ۰.۰۰۰۰۰۹ ، ۰.۰۰۰۰۱۶۵ ، ۰.۰۰۰۰۳۳ ، ۰.۰۰۰۰۶۵ ، ۰.۰۰۰۱۳ متر مورد بررسی قرار گرفتند که همان طور که در شکل (۵-۱۵) مشاهده می شود با افزایش قطر رسوبات، دبی بار معلق به صفر نزدیک شده است و همچنین با توجه به تغییرات بستر در دبی ۰.۰۳۱ مترمکعب بر ثانیه، ذرات در قطر مشخصه (D_{50}) ۰.۰۰۱۶ متر قادر به عبور از روی سرریز نیست و هیچ ته نشینی قابل توجهی بر روی سرریز و بعد از آن قابل مشاهده نیست و نتایج حاصل و پارامترهای تأثیرگذار در جدول (۵-۷) ارائه شده است.



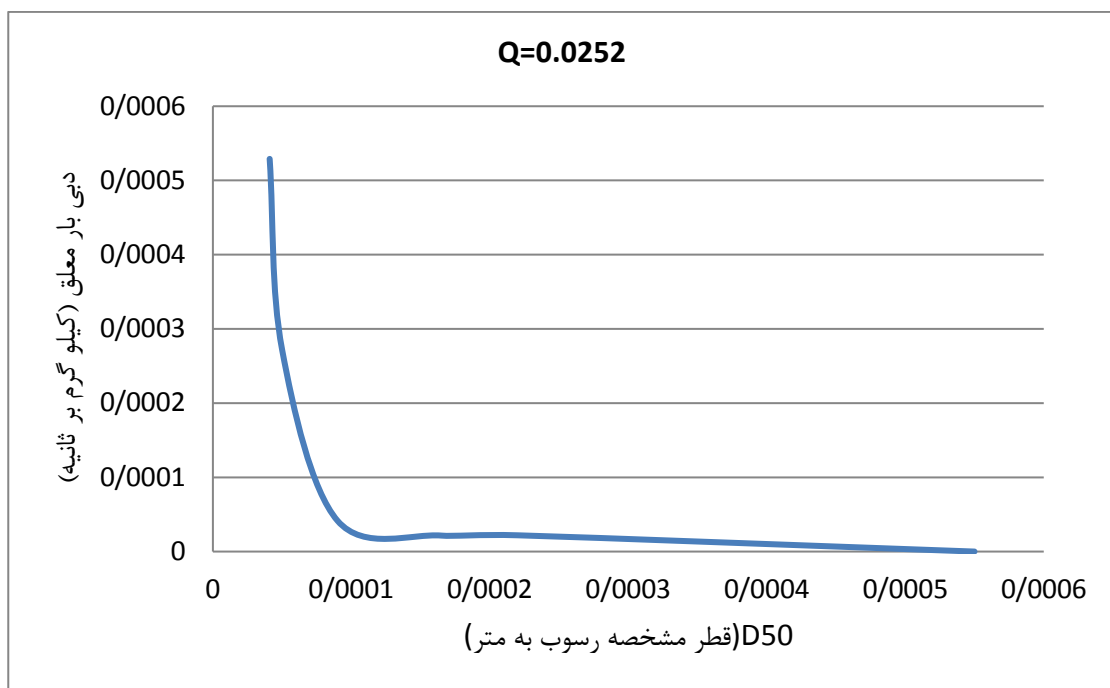
شکل ۵-۱۵ تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۳۱ متر مکعب بر ثانیه

جدول ۵-۷ نتایج حاصل از دبی ۰.۰۳۱ متر مکعب بر ثانیه

دبی جریان ($\frac{m^3}{s}$)	۰.۰۳۱
سرعت متوسط ($\frac{m}{s}$)	۰.۵۱
ارتفاع سطح جریان (m)	۰.۲۲۵
قطر مشخصه (D_{50}) (m)	۰.۰۰۱۶
$\frac{D_{50}}{H}$	۰.۰۰۷
$\frac{V}{\sqrt{gH}}$	۰.۳۴

۵-۵-۲-۶- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۲۵ مترمکعب بر ثانیه

برای تخمین حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۲۵ مترمکعب بر ثانیه رسوبات با قطر مشخصه ۰.۰۰۰۰۴۱ ، ۰.۰۰۰۰۰۵ ، ۰.۰۰۰۰۵۵ ، ۰.۰۰۰۰۰۶ ، ۰.۰۰۰۰۰۷ ، ۰.۰۰۰۰۰۸۲ ، ۰.۰۰۰۰۰۰۹ ، ۰.۰۰۰۰۰۱ ، ۰.۰۰۰۰۱۶۵ ، ۰.۰۰۰۰۶۵ ، متر مورد بررسی قرار گرفتند که همان طور که در شکل (۵-۱۶) مشاهده می شود با افزایش قطر رسوبات، دبی بار معلق به صفر نزدیک شده است و همچنین با توجه به تغییرات بستر در دبی ۰.۰۲۵ مترمکعب بر ثانیه، ذرات در قطر مشخصه (D_{50}) ۰.۰۰۰۰۶۵ متر قادر به عبور از روی سرریز نیست و هیچ ته نشینی قابل توجه ای بر روی سرریز و بعد از آن قابل مشاهده نیست و نتایج حاصل و پارامترهای تأثیرگذار در جدول (۵-۸) ارائه شده است.



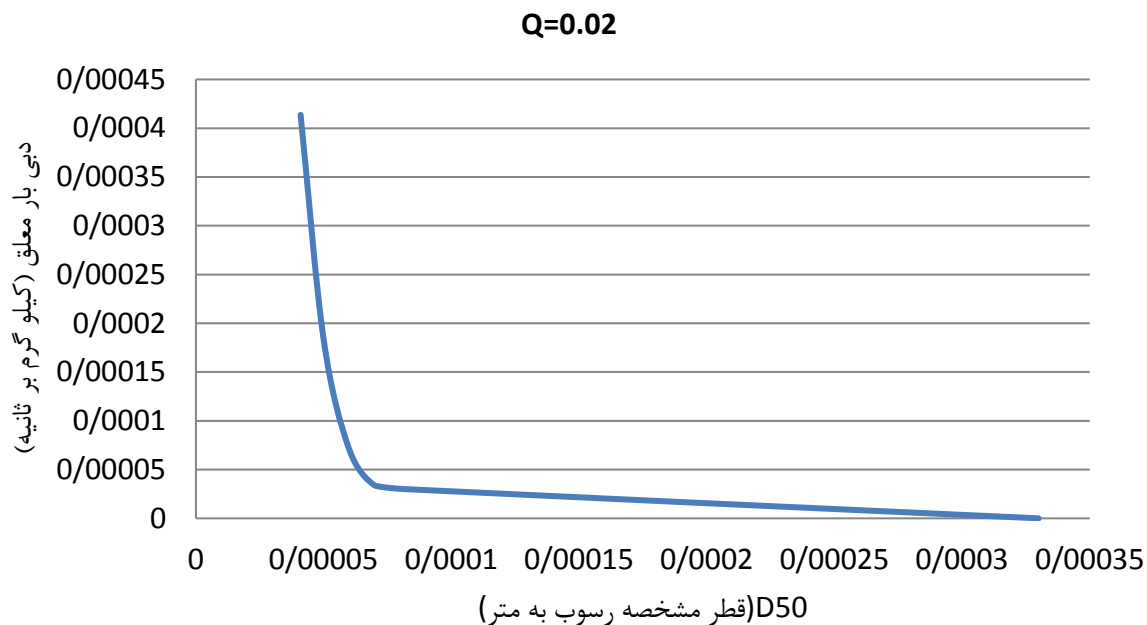
شکل ۵-۱۶ تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۲۵ متر مکعب بر ثانیه

جدول ۵-۸ نتایج حاصل از دبی ۰.۰۲۵ متر مکعب بر ثانیه

$\left(\frac{m^3}{s}\right)$ دبی جریان	۰.۰۲۵
$\left(\frac{m}{s}\right)$ سرعت متوسط	۰.۴۷
ارتفاع سطح جریان (m)	۰.۲۱۶
قطر مشخصه (D_{50}) (m)	۰.۰۰۰۶۵
$\frac{D_{50}}{H}$	۰.۰۰۳
$\frac{V}{\sqrt{gH}}$	۰.۳۲

۵-۲-۷- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۲ مترمکعب بر ثانیه

برای تخمین حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۲ مترمکعب بر ثانیه رسوبات با قطر مشخصه ۰.۰۰۰۰۴۱ ، ۰.۰۰۰۰۵ ، ۰.۰۰۰۰۵۵ ، ۰.۰۰۰۰۶ ، ۰.۰۰۰۰۷ ، ۰.۰۰۰۰۸۲ ، ۰.۰۰۰۰۱۶۵ ، ۰.۰۰۰۰۳۳ متر مورد بررسی قرار گرفتند که همان‌طور که در شکل (۱۷-۵) مشاهده می‌شود با افزایش قطر رسوبات، دبی بار معلق به صفر نزدیک شده است و همچنین با توجه به تغییرات بستر در دبی ۰.۰۲ مترمکعب بر ثانیه، ذرات در قطر مشخصه (D_{50}) ۰.۰۰۰۳۳ متر قادر به عبور از روی سرریز نیست و هیچ ته‌نشینی قابل توجهی بر روی سرریز و بعداز آن قابل مشاهده نیست و نتایج حاصل و پارامترهای تأثیر گزار در جدول (۵-۹) ارائه شده است.



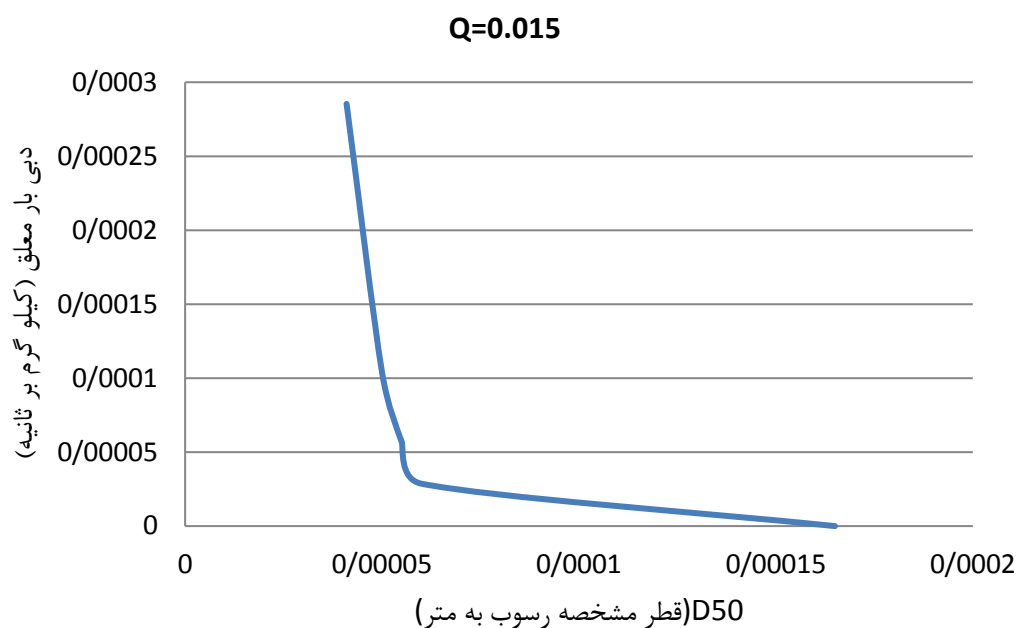
شکل ۱۷-۵ تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۲ متر مکعب بر ثانیه

جدول ۵-۹ نتایج حاصل از دبی ۰.۰۲ متر مکعب بر ثانیه

دبی جریان ($\frac{m^3}{s}$)	۰.۰۲
سرعت متوسط ($\frac{m}{s}$)	۰.۴۳
ارتفاع سطح جریان (m)	۰.۲۰۷
قطر مشخصه (D_{50}) (m)	۰.۰۰۰۳۳
$\frac{D_{50}}{H}$	۰.۰۰۱۵
$\frac{V}{\sqrt{gH}}$	۰.۳۰

۵-۵-۲-۸- بررسی حداکثر قطر عبوری در دبی ۰.۰۱۵ مترمکعب بر ثانیه

در دبی ۰.۰۱۵ مترمکعب بر ثانیه ذرات رسوب با قطر مشخصه ۰.۰۰۰۰۴۱ ، ۰.۰۰۰۰۰۵ ، ۰.۰۰۰۰۰۵۵ ، ۰.۰۰۰۰۰۶ ، ۰.۰۰۰۰۱۷ متر مورد بررسی قرار گرفته شده است. با توجه به کاهش دبی بار معلق در شکل (۵-۱۸) و تغییرات بستر در دبی ۰.۰۱۵ مترمکعب بر ثانیه، ذرات در قطر مشخصه (D_{50}) ۰.۰۰۰۰۱۷ متر قادر به عبور از روی سرریز نیست و هیچ ته‌نشینی قابل توجهی بر روی سرریز و بعداز آن قابل مشاهده نیست و نتایج حاصل و پارامترهای تأثیرگذار در جدول (۵-۱۰) ارائه شده است.



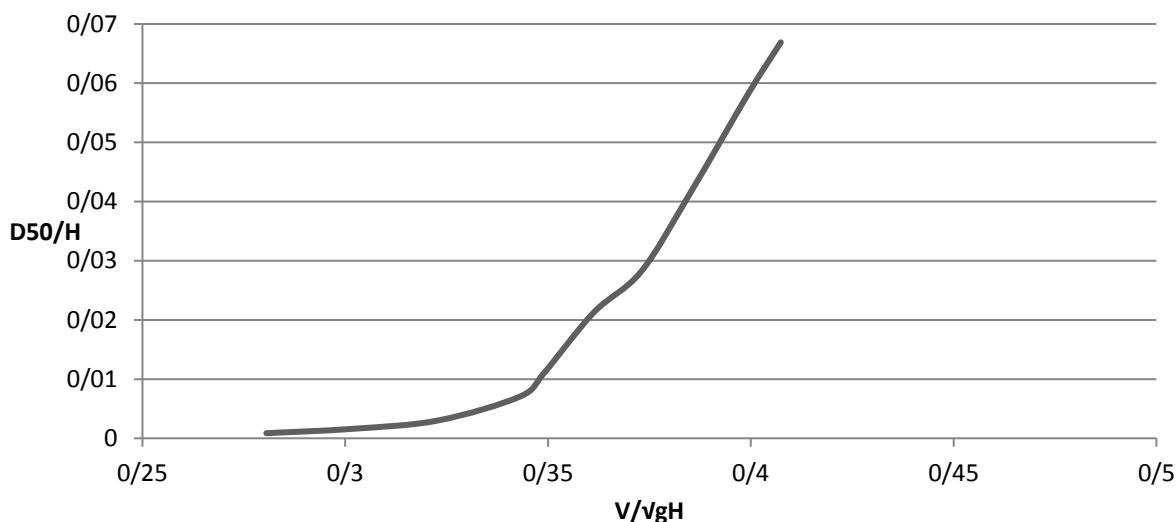
شکل ۵-۱۸ تغییرات دبی بار معلق نسبت به قطر ذرات رسوبی در دبی ۰.۰۱۵ متر مکعب بر ثانیه

جدول ۵-۱۰ نتایج حاصل از دبی ۰.۰۱۵ متر مکعب بر ثانیه

$\left(\frac{m^3}{s}\right)$ دبی جریان	۰.۰۱۵
$\left(\frac{m}{s}\right)$ سرعت متوسط	۰.۳۹
ارتفاع سطح جریان (m)	۰.۱۹۷
قطر مشخصه (D_{50}) (m)	۰.۰۰۰۱۷
$\frac{D_{50}}{H}$	۰.۰۰۰۸۶
$\frac{V}{\sqrt{gH}}$	۰.۲۸

۵-۲-۹-۵- منحنی و رابطه حاصل از پارامترهای بی بعد مؤثر

همان طور که از نتایج مشخص است با کاهش و یا افزایش دبی و ثابت ماندن سطح مقطع، سرعت جریان کاهش و یا افزایش پیدا کرده است و در نتیجه قدرت حمل رسوبات متناسب با سرعت جریان تغییر پیدا کرده است. برای یک دبی هرچه قطر ذرات رسوبی افزایش پیدا کرده در یک سرعت جریان ثابت نیروهای مقاوم به نیروهای محرک غلبه کرده و باعث سقوط ذره و ته نشینی رسوبات و عدم حرکت ذرات رسوبی شده است. به همین جهت سعی شده است که برای تخمین حداکثر قطر عبوری برای دبی های متفاوت از قطرهای عبوری یکسان و نزدیک به هم استفاده شود تا برای یک قطر رسوب یکسان در دبی های متفاوت از کاهش دبی معلق اطمینان حاصل گردد و بتوان این روند کاهشی را به نمایش گذاشت. به همین منظور می توان از نتایج با توجه به جدول (۵-۱۱) که برای پارامترهای مؤثر بر عبور ذرات از روی سرریز به دست آمده است شکل (۵-۱۹) رسم کرد که از پارامترهای مؤثر بی بعد شده به دست آمده است که بیان رابطه ی بین پارامترهای تأثیر گزار و قطر عبوری ذرات رسوب از روی سرریز است.



۵-۱۹- منحنی برازش داده شده بر منحنی حداکثر قطر عبوری ذرات رسوب از روی سرریز

جدول ۵-۱۱ جمع‌بندی نتایج حاصل از ۸ دبی جریان به‌صورت جدول

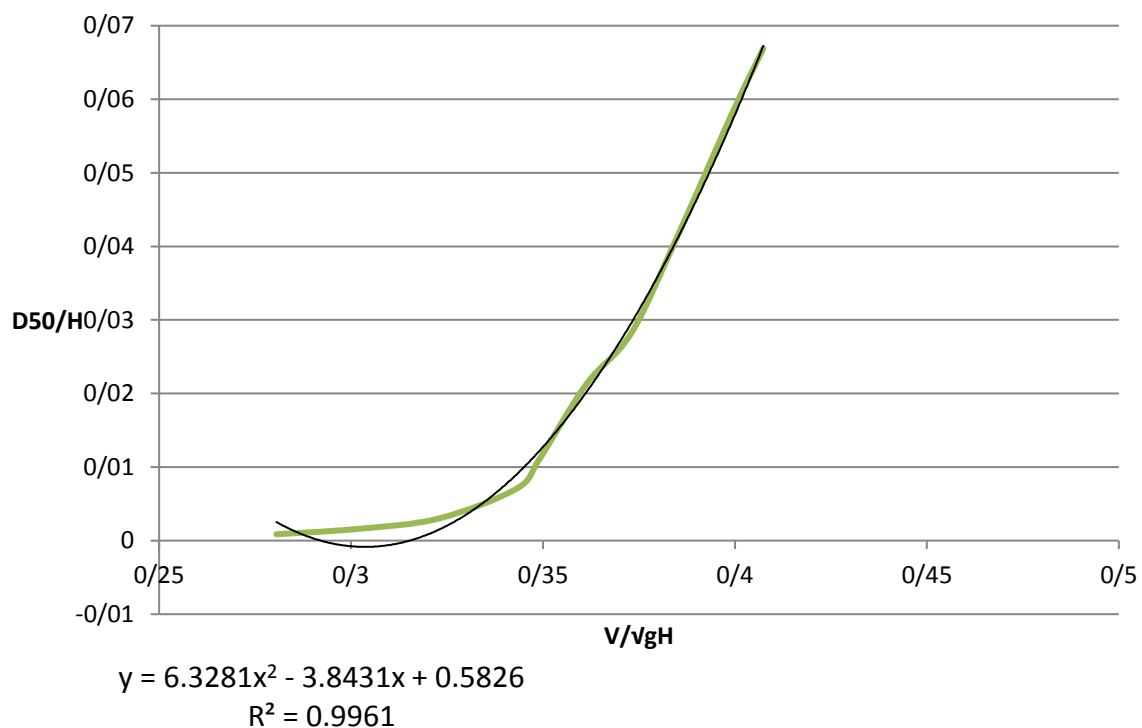
	دبی جریان $\left(\frac{m^3}{s}\right)$	سرعت متوسط $\left(\frac{m}{s}\right)$	ارتفاع سطح جریان (m)	قطر مشخصه (D_{50}) (m)	$\frac{D_{50}}{H}$	$\frac{V}{\sqrt{gH}}$
۱	۰.۰۵۷	۰.۶۲	۰.۲۶۴	۰.۰۱۱	۰.۰۴۲	۰.۳۸۵
۲	۰.۰۴۹	۰.۵۹	۰.۲۵۵	۰.۰۰۷۲	۰.۰۲۸	۰.۳۷
۳	۰.۰۴۳	۰.۵۶	۰.۲۴۵	۰.۰۰۵۲	۰.۰۲۱	۰.۳۶
۴	۰.۰۳۶	۰.۵۳	۰.۲۳۵	۰.۰۰۲۶	۰.۰۱۱	۰.۳۵
۵	۰.۰۳۱	۰.۵۱	۰.۲۲۵	۰.۰۰۱۶	۰.۰۰۷	۰.۳۴
۶	۰.۰۲۵	۰.۴۷	۰.۲۱۶	۰.۰۰۰۶۵	۰.۰۰۳	۰.۳۲
۷	۰.۰۲	۰.۴۳	۰.۲۰۷	۰.۰۰۰۳۳	۰.۰۰۱۵	۰.۳۰
۸	۰.۰۱۵	۰.۳۹	۰.۱۹۷	۰.۰۰۰۱۷	۰.۰۰۰۸۶	۰.۲۸

سپس می‌توان با برازش یک منحنی مطابق با شکل (۵-۲۰) رابطه‌ی (۵-۵) را جهت تخمین قطر ذرات رسوب عبوری از روی سرریز به‌دست آورد که با قرارگیری پارامترهای موجود در رابطه می‌توان حداکثر قطر عبوری ذرات رسوب از روی سرریز را محاسبه نمود.

$$= 6.3281 \frac{V^2}{\sqrt{gH}} - 3.8431 \frac{V}{\sqrt{gH}} + 0.5826 \frac{D_{50}}{H} \quad (5-5)$$

۵-۵-۲-۱۰- اعتبارسنجی رابطه حاصل از پارامترهای بی بعد مؤثر

به پیوست مطالب ذکر شده در روش تحقیق، نتایج رابطه حاصله جهت اعتبار سنجی، با قطر ذرات رسوبی به دست آمده توسط نرم افزار SSIIM مقایسه شد. بدین منظور با استفاده از نتایج جدول (۵-۱۲) و قراردادی پارامترهای به دست آمده از نرم افزار در رابطه (۵-۵)، اختلاف بین نتایج حاصل از رابطه و قطر مشخصه رسوب محاسبه شده توسط نرم افزار مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۵-۲۰ منحنی برازش داده شده بر منحنی حداکثر قطر عبوری ذرات رسوب از روی سرریز

پس از جایگزاری مقادیر جدول ۵-۱۲ در رابطه (۵-۵)، قطر مشخصه به دست آمده از معادله برای دبی ۰.۷۲ و ۰.۶۳ به ترتیب برابر ۰.۰۲ و ۰.۰۱۷ می باشد که با مقادیر حاصل شده از نرم افزار SSIIM که به ترتیب برابر ۰.۰۱۹ و ۰.۰۱۶ بسیار نزدیک می باشد که این می تواند نشان دهنده نتایج قابل اطمینان معادله به دست آمده باشد.

جدول ۵-۱۲ مشخصات جریان به دست آمده در ۲ دبی جریان از نرم افزار *SSIM*

	دبی جریان $\left(\frac{m^3}{s}\right)$	$\left(\frac{m}{s}\right)$ سرعت متوسط	ارتفاع سطح جریان (m)	قطر مشخصه (D_{50}) (m)	$\frac{D_{50}}{H}$	$\frac{V}{\sqrt{gH}}$
۱	۰.۷۲	۰.۶۸	۰.۲۸۴	۰.۰۱۹	۰.۰۶۷	۰.۴۱
۲	۰.۶۳	۰.۶۵	۰.۲۷۴	۰.۰۱۶	۰.۰۵۸	۰.۳۹

فصل ۶ جمع بندی و نتیجه گیری

فصل ۶

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۶-۱ خلاصه

همان‌طور که در ابتدا گفته شد مدل‌سازی جریان همراه با رسوب بر روی سرریز و نحوه توزیع رسوب و اثر دامنه‌های شیب‌دار به انتقال بار بستر و بار معلق اهداف اصلی مطالعه پیش‌رو را تشکیل می‌دهند تا به این شکل بتوان بهترین پیش‌بینی را از نحوه و میزان انتقال رسوب بر روی سرریز به دست آورد.

در این تحقیق ابتدا توضیحاتی درباره‌ی مفاهیم اولیه داده شده است و سپس تاریخچه‌ای در مورد مدل‌سازی عددی و آزمایشگاهی جریان و رسوب به تفصیل مورد مطالعه قرار گرفت. فرآیند مورفولوژی دارای دو مؤلفه هیدرودینامیک و مورفودینامیک است. مؤلفه‌های هیدرودینامیک که مربوط به جریان هستند به وسیله‌ی معادله ناویه استوکس تعیین می‌شوند. همچنین مؤلفه‌های مورفودینامیکی شامل معادلات ون راین، انتقال و انتشار می‌باشند.

در این پایان‌نامه از روش حجم محدود به صورت سه‌بعدی توسط نرم‌افزار SSIIM انجام شده است که از چند بخش تشکیل شده است. در ابتدا با تولید شبکه، اختصاص دبی جریان ورودی و خروجی و نوع دانه‌بندی و شرایط مرزی سپس مشخص کردن نوع حل‌گرها و معادلات و در نهایت اجرا کردن مدل عددی است که همگی به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

۶-۲ نتیجه‌گیری

۱- مدل‌سازی انتقال رسوب در این تحقیق نتایج خوب و مشابه با توصیف لوچلان از آزمایش خود بود؛ بنابراین این مدل‌سازی عددی می‌تواند جایگزین خوبی برای آزمون‌های آزمایشگاهی باشد و هزینه تحقیقات را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد.

۲- برای یک سرریز با دیواره شیب‌دار، جریان تمام رسوبات را به‌صورت معلق بر روی سرریز می‌کشاند و تمام رسوبات به‌صورت معلق از روی سرریز عبور کرده و هیچ رسوب‌گذاری قابل‌توجهی در بالادست سرریز رخ نداده است و رسوب‌گذاری در پایین‌دست سرریز رخ می‌دهد.

۳- با توجه به نوع سرریز، شیب بالادست سرریز به دلیل افزایش مقدار شیلدز بحرانی در اثر نیروی ثقل ذرات به‌صورت بار بستر قادر به عبور از روی شیب معکوس بالادست نیست.

۴- همان‌طور که گفته شد در یک سرعت ثابت با افزایش قطر ذرات رسوبی مقدار انتقال ذرات، کاهش یافته تا به صفر نزدیک می‌شود، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از رابطه (۵-۵) می‌توان حداکثر اندازه قطر عبوری از روی سرریز را تخمین زد.

۵- نتایج خروجی به‌دست آمده از مدل عددی بیان‌گر این است که روش حجم محدود برای محاسبه انتقال بار بستر و بار معلق از دقت خوبی برخوردار است.

۶- از آنجایی که نتایج به‌دست آمده از مدل عددی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی اختلاف ناچیزی دارد، می‌توان آن را جایگزین مناسبی برای مطالعات زمان‌بر و پرهزینه آزمایشگاهی دانست.

۶-۳- پیشنهادات

از آنجایی که هیچ مطالعه و تحقیق علمی از هر نظر کامل و جامع نیست لذا پیشنهادهایی برای محققین گرامی ارائه می‌شود.

۱- در مطالعه صورت گرفته مورد از مدل آشفتگی $k - \epsilon$ استفاده شده است. می‌توان از دیگر مدل‌های آشفتگی استفاده نمود و نتایج را مورد بررسی و مقایسه قرارداد که به مفهوم کامل‌تری از تأثیر مدل‌های آشفتگی بر انتقال رسوب رسید.

۲- در این تحقیق از شیب ۱ به ۴ استفاده شده است که در این شیب ذرات رسوبی قابلیت انتقال به‌صورت بار بستر را ندارند لذا با مدل‌سازی سرریز در شیب‌های مختلف می‌توان به شیبی برای سرریز دست پیدا کرد که ذرات قابلیت عبور از روی سرریز به‌صورت بار بستر را داشته باشند.

۳- به جای روابط استفاده شده در این تحقیق می توان از روابط دیگر جهت محاسبه انتقال رسوب استفاده کرد و به مقایسه نتایج پرداخته و مورد تحلیل قرار داده شود.

منابع

- ۱- ابریشمی ج، حسینی م، (۱۳۷۹) "هیدرولیک کانال های باز" اول، سی پنجم، مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- ۲- اروندی س، خسروجردی ا، باصر ح، رستمی م، (۱۳۹۱) "تحلیل ضریب دبی جزئی سرریزهای جانبی مایل در کانال های غیر منشوری مستطیلی"، همایش ملی عمران و توسعه پایدار، مشهد
- ۳- اسماعیلی ک. نقوی ب، کورش وحید ف، یزدی ج، (۱۳۸۹) "مدل سازی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در سرریزهای استوانه ای" نشریه دانش آب و خاک، شماره ۱، جلد ۲۴: ص ۱۶۶-۱۷۹.
- ۴- اکبری غ، محمدی ع م، محمدی ع ح، (۱۳۹۰) "بررسی عددی جریان آب عبوری از سرریز لبه آبریز به روش حجم سیال"، دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان
- ۵- تد یانگ چ، (۱۳۷۹) "انتقال رسوب" جلد اول، امامی ا، اول، جهاد دانشگاهی، تهران.
- ۶- توکل س، آذرپیرو م، روشن ر، سرکرده ح، (۱۳۹۲) "مدل سازی جریان و انتقال رسوب در رودخانه، به صورت یک، دو و سه بعدی"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان
- ۷- جعفری ا، حسونی زاده ه، شوشتری م، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "مقایسه مدل عددی SSIIM 1 با مدل فیزیکی برای پایه پل استوانه ای"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر،
- ۸- حیدری م ع، غیاثوند س، صانعی م، (۱۳۹۴) "آموزش کاربردی مدل سازی جریان و رسوب در نرم افزار SSIIM" اول، اول، انتشارات ناقوس، تهران
- ۹- خلیلی واسری ح، (۱۳۸۱) "حل عددی تعیین حداکثر عمق آبشستگی موضعی اطراف پایه پل"، ششمین کنفرانس سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۱۰- خرمی ا، و حیدر پور م، (۱۳۸۰) "بررسی توزیع سرعت روی تاج سرریزهای تاج دایره ای و تاثیر پارامترهای مختلف بر آن" سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران
- ۱۱- دهقانی ا. اسماعیلی ت، لشته نشایی ن، (۱۳۸۹)، "مدل عددی سه بعدی تأثیر پارامتر های هندسی و شکاف بر حداکثر عمق آبشستگی" فصلنامه کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، شماره ۱، جلد ۳

۱۲- دستورانی م. نصر آبادی م، (۱۳۹۱) " اثر ته نشینی رسوبات در پشت سرریز اوجی بر شرایط جریان "

مجله پژوهش آب ایران، شماره ۱۰، دوره ۶: ص ۴۷-۵۶.

۱۳- دیزجی ن. محمود خانی ا م، (۱۳۸۸) " بررسی تجربی تأثیر رسوبات بر ضریب تخلیه در سرریز های

مثلثی، مستطیلی، اوجی، و روگذر در کانال باز " مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۸، دوره ۳: ص ۳۹-۵۰.

۱۴- شفاعی بجستان م، (۱۳۸۷) " مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب " جلد اول، چاپ اول،

دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.

۱۵- عباسپور ا. عبدالله پور م، سلماسی ف، (۱۳۹۲) " شبیه سازی عددی جریان روی سرریز لبه پهن

مستطیلی با وجوه شیب دار بالا دست و پایین دست با مدل فلوئنت " نشریه دانش آب و خاک، شماره ۴، جلد ۲۳: ص ۲۶۵ تا ۲۶۷.

۱۶- عشری ع ا، معروفی نیا ا، (۱۳۹۴) " آموزش کاربردی نرم افزار SSIM در مهندسی آب "

اول، اول، انتشارات سخنوران، تهران

۱۷- فرسادی زاده د، خسروی نیا پ، و ورجاوند پ، (۱۳۸۷) " بررسی ضریب جریان در سرریزهای استوانه‌ای

با استفاده از مدل عددی FLUENT، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران

۱۸- لطیفی م ا، صانعی م، امین نژاد ب، (۱۳۹۵) " بررسی عددی جریان آب عبوری از سرریز لبه آبریز

به روش حجم سیال "، کنفرانس مباحث کلیدی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، گرگان

۱۹- موسوی م، حسینی ع، صانعی م، حبیبی م، (۱۳۹۰) " بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی انتقال بار بستر

روی شبیه‌های تند "، اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه های برق آبی، تهران

20- Betts P.L. (1979) "A variation principle in terms of stream function for free surface flows and its application to finite element method" Journal of Computers and Fluids., 7, 2, pp 145-153

21- Chan-braun C., Villalba M.G. and Uhlmann M. (2011) " Direct numerical simulation of sediment transport in turbulent open channel". High performance Computing in Science and Engineering., 10, pp 295-306

- 22- Chanson H., and Montes J.S. (1997) "Over flow Characteristics of Circular Weirs". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* ., 124,3, pp 152-162
- 23- chen Q., Dai G. and Liu H. (2002) "Volume of Fluid model for turbulence numerical simulation of stopped spillway overflow" *Journal of Hydraulic Engineering ASCE.*, 128, 7, pp 683-68
- 24- Ikegawa M. and Washizu K. (1973) "Finite element method applied to analysis of flow over a spillway crest" *Journal of Numerical Methods in Engineering.*, 6, 2, pp 179-189
- 25- john j. and Cassidy. (1965) "Irrotational flow over spillways of finite height" *Journal of the Engineering Mechanics Division ASCE.*, 91, 6, pp 155-173
- 26- Laucalan C. S. (2004) "Experimental investigation of bed-load and suspended-load transport over weirs" *Journal of Hydraulic Research*, 42,5, pp 549-555.
- 27- Melville B M., (1975), PhD.thesis, "Local scour at bridge sites", School of Engineering, The University of Auckland,
- 28- Olsen R. B. and Jimens O. F. and Abrahamsen L. and Lovoll A. (1999) "3D CFD modeling of water and sediment flow in a hydropower reservoir" *Journal of Sediment Research.*, 14,11,
- 29- Olsen R. B. and Kjellesvig M. (1998) "Three-dimensional numerical flow modelling for estimation of spillway capacity" *Journal of Hydraulic Research.*, 36,5,pp 775-784
- 30- Parker G. and Chiew Y.M. (1994) " Incipient sediment motion on non-horizontal slopes" *Journal of Hydraulic Research.*, 32, 5, pp 649-660
- 31- Wu W., Rodi W. and Wenka T. (2000) "3D Numerical Modeling of Flow and Sediment Transport in Open Channels" *Journal of Hydraulic Engineering.*, 1,4,pp 4-15

Abstract

In this study, a numerical model has been developed to investigate the transport of sediment loads of bed and suspended load in steep slopes, including overflows. For this purpose, a wide trapezium overflow has been used. In this study, the SSIIM software, which uses 3D flow and sediment equations, is used. SSIIM software is designed based on finite volume approach with three-dimensional organized network and Navier-Stokes and transfer and release equations for sediment transportation are solved. In order to verify the validity of the results and the numerical strength of the model, the results were compared with the laboratory data. The results showed that for an overflow, the increase of the flow due to the increase of the flow velocity due to the depth reduction on the slope of the overflow; results in transfer and transport of sediments on the overflow. Due to the gradient effect on sediment movement in the upstream of the overflow, all sediments are transferred suspendedly over the overflow. No significant sediment deposits can be identified for the upstream overflow area, and deposition of sediment in the downstream is expected to occur in the velocity reduction region. The results show that the SSIIM model can predict the sediment transport pattern well around the overflow. Then, the sediment flow on the overflow were investigated under 8 discharges with the values of 0.015, 0.02, 0.025, 0.031, 0.036, 0.043, 0.049, 0.057 (m^3/s) and different diameters of sediments was investigated. For each discharge, the particle diameter increases to some extent that other particles cannot pass through the surface, and the bed transformation is formed only before the overflow. As a result, the results of this numerical experiment showed that the diameter of the sedimentary particles that were not able to cross overflow were respectively 0.00017, 0.00033, 0.00065, 0.0016, 0.0026, 0.0052, 0.0072 and 0.011 meters. Finally, the results showed that in the constant flow conditions, increasing the diameter of sediments, the output force to the input force increases in sediment movement. Sedimentary particles fall and other particles are not able to cross the overflow. Then, the relationship of the results are obtained to estimate the maximum diameter of the sedimentary particles passing through the overflow.

Key words: transport sediments, discharges, overflow, Navier-stokes Equation



Shahrood University of Technology

Faculty of civil engineering

MSc Thesis in water and Enviromental Engineering

simulation of sediment transport over weirs

By:

Amir Sadegh Tanoori

Supervisor:

Dr. Ramin Amini

February 2019