

الحمد لله رب العالمين
والصلاة والسلام على
سيدنا محمد وآله الطيبين
الطاهرين



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

مدل سازی عددی مورفولوژی رودخانه در اثر مستقیم سازی رودخانه

نگارنده: امین بنی اسدی مقدم

استاد راهنما :

دکتر رامین امینی

بهمن ۱۳۹۶

شماره: ۹۲۳۲۸
تاریخ: ۹۶/۱۲/۴

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای امین بنی اسدی مقدم با شماره دانشجویی ۹۳۰۴۰۰۴ رشته عمران گرایش آب و سازه های هیدرولیکی تحت عنوان مدلسازی عددی مرفولوژی رودخانه در اثر مستقیم سازی رودخانه که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۱۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با امتیاز درجه) مردود

نوع تحقیق: نظری عملی

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر رامین امینی	۱- استانداره نامی اول
			۲- استانداره نامی دوم
			۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر مهدی گلی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	دکتر احمد احمدی	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر سعید گلیان	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر احمد احمدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تنبه: 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 اثر

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه
درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان
در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم .

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا
که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن
را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر امینی به عنوان استاد راهنما که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند، کمال تشکر را دارم.

امید است که این تحقیق، راهگشای کسانی باشد که در آینده در این مسیر گام می‌نهند.

تعهدنامه

اینجانب امین بنی اسدی مقدم دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "مدل سازی عددی مورفولوژی رودخانه بر اثر مستقیم سازی رودخانه" تحت راهنمایی آقای دکتر رامین امینی متعهد می‌شوم :

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

مستقیم سازی پیچ و خم ها (یا یکسویه سازی) به عنوان یکی از جدی ترین اشکال کانال سازی در رودخانه می باشد. این فرایند موجب کوتاه شدن طول کانال، افزایش شیب و کاهش ارتفاع سیل می شود. اگر چه مستقیم سازی با افزایش ظرفیت انتقال رسوب در محدوده ناحیه مستقیم سازی می شود ولی باعث بی ثباتی در تعادل رودخانه نیز می گردد. چنانچه رودخانه ای مستقیم شود ضریب زاویه ای رودخانه (سینوزیته) کاهش پیدا می کند و باعث ایجاد دریاچه های نعل اسبی می شود و تغییراتی در مورفولوژی رودخانه ایجاد می شود علاوه بر تغییرات در شیب، سرعت و دبی، تغییراتی در اکوسیستم محل ایجاد می شود که حتی موجب به وجود آمدن یک اکوسیستم جدید و یا نابودی یک اکوسیستم منطقه می شود. در این پایان نامه مدل عددی با زبان ویژوال بیسیک نوشته شده است که می تواند رقوم کف یک رودخانه را در اثر مستقیم سازی آن در دراز مدت محاسبه نماید و به این ترتیب مشخص شود که آیا در دراز مدت برای رودخانه مشکلی ایجاد خواهد شد یا خیر. صحت سنجی این شبیه سازی با داده ها و اطلاعات عینی که آقایان پارکر، تالبوت و لاپوینت طی چندین سال بر روی رودخانه سنت مارگاریت کانادا بدست آورده اند انجام می گیرد. این رودخانه به دلیل تسهیل در ساخت بزرگراه مستقیم سازی شده است. در این تحقیق نتایجی دقیق تر از نتایج بدست آمده به وسیله شبیه سازی رودخانه با نرم افزار SEDROUT2.0 که توسط آقایان تالبوت¹ و لاپوینت² انجام شده بود بدست آمده است. نتایج بدست آمده نزدیکتر به اطلاعات و داده های پارکر و نتایج واقعی می باشد.

کلمات کلیدی: مورفولوژی رودخانه، ضریب زاویه ای، اکوسیستم، نعل اسبی

¹ Tracey Talbot

² Michel Lapointe

مقالات ارائه شده :

۱- مدل سازی عددی مورفولوژی رودخانه در اثر مستقیم سازی رودخانه

دومین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران ، معماری و مدیریت بحران

با مجوز شماره ۱۶/۲۸۰۷۳۸ از وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری

۲- تاثیرات مستقیم سازی رودخانه بر شرایط هیدرولیکی و اکوسیستم رودخانه

دومین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران ، معماری و مدیریت بحران

با مجوز شماره ۱۶/۲۸۰۷۳۸ از وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول : مقدمه.....
۲	۱-۱-۱. مقدمه.....
۳	۱-۱-۱. رودخانه مستقیم.....
۴	۱-۱-۲. فرسایش.....
۵	۱-۱-۳. انواع فرسایش رودخانه‌های.....
۵	۱-۱-۳-۱. فرسایش عمومی یا بازهای.....
۶	۱-۱-۳-۲. فرسایش بستر.....
۶	۱-۱-۳-۳. فرسایش بر اثر جریان آب.....
۶	۱-۱-۴. ضریب سینوسیته (خمیدگی).....
۷	۱-۲. بیان مسأله.....
۹	۱-۳. روش تحقیق.....
۹	۱-۴. اهداف پایان نامه.....
۱۰	۱-۵. ساختار پایان نامه.....
۱۱	فصل دوم : مروری بر کارهای گذشته.....
۱۲	۱-۲. مقدمه.....
۱۲	۲-۲. مروری بر تحقیقات پیشین.....
۲۰	۳-۲. جمع بندی.....
۲۱	فصل سوم : معادلات انتقال رسوب.....
۲۲	۱-۳. مقدمه.....
۲۲	۲-۳. قانون بقای جرم.....

۲۲	۳-۳. معادله بقای رسوب اکسندر
۲۶	۳-۴. عدد شیلدز
۲۷	۳-۵. سرعت برشی
۲۷	۳-۶. جریان نرمال
۲۹	۳-۷. رابطه بین دبی آب، شیب بستر و عمق آب در جریان نرمال
۳۱	۳-۸. نیروی فشار جریان
۳۲	۳-۹. قانون مومنوم
۳۴	۳-۱۰. زاویه ایستایی ذرات
۳۷	۳-۱۱. نرخ انتقال رسوب
۳۹	۳-۱۲. اثر پوششی (hiding effect)
۴۲	۳-۱۳. ضریب سیل : I_f
۴۵	فصل چهارم : جزئیات مدل عددی
۴۶	۴-۱. مقدمه
۴۷	۴-۱-۱. خطاها و عدم قطعیت در CFD
۴۷	۴-۱-۲. فرایندهای چندگانه رسوب
۴۸	۴-۲. فرمولبندی تفاضل محدود
۴۸	۴-۲-۱. بسط سری تیلور
۵۱	۴-۳. گسسته سازی معادلات
۵۲	۴-۴ جزئیات مدل عددی پایان نامه:
۵۳	۴-۵ مدل سازی عددی
۵۴	۴-۵-۱ انواع مستقیم سازی
۵۵	۴-۶. مدلسازی عددی مورفولوژی رودخانه بر اثر مستقیم سازی رودخانه
۵۵	۴-۶-۱. سیستم رودخانه سنت مارگاریت
۵۸	۴-۶-۲. شرح مدل
۵۸	۴-۶-۲-۱. حالت ۱
۵۹	۴-۶-۲-۲. حالت ۲
۶۰	۴-۶-۳. دادههای موجود

۶۱	..... ۴-۶-۴. هندسه مدل
۶۲	..... ۵-۶-۴. فلوجارت برنامه
۶۴	..... ۷-۴. تجزیه و تحلیل مدل
۶۴	..... ۱-۷-۴. حالت A
۶۴	..... ۱-۱-۷-۴. بالا دست رودخانه
۶۶	..... ۲-۱-۷-۴. پایین دست رودخانه
۶۷	..... ۲-۷-۴. حالت B
۶۸	..... ۸-۴. اعتبار سنجی
۷۱	..... ۹-۴. تحلیل و مقایسه اطلاعات و داده‌ها
۷۱	..... ۱-۹-۴. مورفولوژی
۷۲	..... ۲-۹-۴. D50
۷۳	..... ۳-۹-۴. میزان برداشت و ته‌نشین شدن رسوبات
۷۴	..... ۴-۹-۴. میزان انتقال رسوب
۷۵	..... ۵-۹-۴. شیب رودخانه
۷۶	..... ۱۰-۴. انواع مدل رودخانه
۷۶	..... ۱-۱۰-۴. مدل رودخانه دروکا
۸۰	..... ۲-۱۰-۴. مدل رودخانه لینا
۸۷	..... فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۸	..... ۱-۵. مقدمه
۸۸	..... ۲-۵. نتایج
۸۹	..... ۳-۵. پیشنهادات
۹۱	..... منابع

شکل ۱-۱. بستر رسوبی.....	۴
شکل ۲-۱. ضریب سینوسیته.....	۶
شکل ۳-۱. بستر رسوبی در حالت دو بعدی.....	۹
شکل ۱-۲ مقایسه طول ، شیب و عدد سینوزیته [۴].....	۱۵
شکل ۱-۳. حجم کنترل برای بدست آوردن معادله اکسنر [۱۷].....	۲۳
شکل ۲-۳. بستر رسوبی در حالت دو بعدی [۱۷].....	۲۴
شکل ۳-۳. حجم کنترل با وجود ذرات معلق [۱۷].....	۲۵
شکل ۴-۳. حجم کنترل برای بدست آوردن تنش برشی [۱۸].....	۲۸
شکل ۵-۳. عدد شیلدز در رودخانه های مختلف [۱۸].....	۳۱
شکل ۶-۳. نیروی وارده از طرف آب.....	۳۲
شکل ۷-۳. حجم کنترل برای بدست آوردن رابطه بقای جرم [۱۸].....	۳۳
شکل ۸-۳. حجم کنترل برای بدست آوردن رابطه بقای مومنتوم [۱۸].....	۳۳
شکل ۹-۳. توده ذرات در حالت سکون.....	۳۵
شکل ۱۰-۳. توده ذرات در حالت جریان آب.....	۳۶
شکل ۱۱-۳. رابطه بین τ_c^* و τ_{co}^* در رودخانه با شیب متفاوت.....	۳۷
شکل ۱۲-۳. شکل مسیر Bed load.....	۳۸
شکل ۱۳-۳. شکل مسیر حرکت رسوبات معلق.....	۳۸
شکل ۱۴-۳. نمایش اثر Hiding effect.....	۳۹
شکل ۱۵-۳. رابطه بین عدد رینولدز ذرات با عدد شیلدز بحرانی.....	۴۰
شکل ۱-۴. نمایش نقاط شبکه در معادله ۳-۴ [۲۳].....	۴۹
شکل ۲-۴. نمایش نقاط شبکه در معادله ۷-۴ [۲۳].....	۵۰

- شکل ۴-۳. نمایش نقاط شبکه در معادله ۴-۱۲ [۲۳]..... ۵۱
- شکل ۴-۴. نمایش شبکه استفاده شده در مدل عددی در مقیاس آزمایشگاهی [۲۴]..... ۵۲
- شکل ۴-۵. نمایش شبکه بندی استفاده شده در مدل ۵۲
- شکل (۴-۶) انواع شکل بستر و تغییرات ضریب زبری و شکل سطح آب در رژیم های مختلف جریان رودخانه های ماسه ای ۵۴
- شکل ۴-۷ نشست و فرسایش در نقاط مختلف رودخانه ۵۴
- شکل ۴-۸ روند طبیعی مستقیم سازی رودخانه ۵۵
- شکل ۴-۹. پلان رودخانه سنت مارگاریت [۵] ۵۶
- شکل ۴-۱۰. پلان رودخانه سنت مارگاریت [۵] ۵۷
- شکل ۴-۱۱ پروفیل رودخانه سنت مارگاریت [۲۵] ۵۸
- شکل ۴-۱۲. روند تغییرات اندازه دانه ها ۵۹
- شکل ۴-۱۳. هندسه مدل [۵] ۶۲
- شکل ۴-۱۴. فلوچارت حل عددی ۶۳
- شکل ۴-۱۵. شیب گودال به مرور زمان ۶۵
- شکل ۴-۱۶. گودال به وجود آمده در بالادست رودخانه پرایری [۲۷] ۶۵
- شکل ۴-۱۷. شیب پایین دست به مرور زمان ۶۶
- شکل ۴-۱۸. بالا آمدن سطح آب در پایین دست [۲۷] ۶۷
- شکل ۴-۱۹. نقاط ارتفاعی در رودخانه به وسیله شواهد و شبیه سازی تالبوت [۵] ۷۰
- شکل ۴-۲۰ تغییرات مورفولوژی ۷۱
- شکل ۴-۲۱ نمودار D50 رودخانه طی مرور زمان [۵] ۷۲
- شکل ۴-۲۲ نمودار D50 رودخانه فرض شده در برنامه ۷۳
- شکل ۴-۲۳ نمودار فرسایش نشست رودخانه طی مرور زمان [۵] ۷۴

- شکل ۴-۲۴. نمودار نرخ انتقال رسوب رودخانه طی مرور زمان [۵]..... ۷۴
- شکل ۴-۲۵. نرخ انتقال رسوب..... ۷۵
- شکل ۴-۲۶. نرخ تغییرات شیب..... ۷۶
- شکل ۴-۲۷. پلان رودخانه دروکا [۴]..... ۷۷
- شکل ۴-۲۸. مورفولوژی رودخانه دروکا..... ۷۷
- شکل ۴-۲۹. نرخ تغییرات انتقال رسوب پارکر..... ۷۸
- شکل ۴-۳۰. نرخ تغییرات دبی رسوب..... ۷۹
- شکل ۴-۳۱. تغییرات شیب..... ۸۰
- شکل ۴-۳۲. پلان رودخانه لینا [۴]..... ۸۱
- شکل ۴-۳۳. مورفولوژی رودخانه..... ۸۲
- شکل ۴-۳۴. نرخ تغییرات دبی رسوب..... ۸۳
- شکل ۴-۳۵. تغییرات شیب..... ۸۴
- شکل ۴-۳۶. رودخانه لینا بعد از مستقیم سازی..... ۸۵

صفحه

فهرست جداول

- جدول ۱-۱. ضریب سینوسیته و حالات آن..... ۷
- جدول ۴-۱. داده های ورودی مدل عددی [۲۶]..... ۶۰

فهرست علائم

B_{bf}	عرض کانال در جریان حالت پر
\hat{B}	عرض حالت پر بدون بعد
C_f	ضریب بی بعد مقاومت بستر
C_z	ضریب بی بعد شزی
D	مشخصه دانه بندی رسوب
Fr_{bf}	عدد بی بعد فرود در جریان حالت پر
g	شتاب گرانش
H	عمق رودخانه
H_{bf}	عمق رودخانه در جریان حالت پر
\hat{H}	عمق بی بعد در جریان حالت پر
I_f	ضریب تناوب جریان
i	شاخص نشان دهنده شماره گره
L	طول ناحیه رسوبی در زمان نهایی مدل عددی
N	تعداد بازه های با طول مساوی در شبکه محاسباتی
Q_{bf}	دبی آب در جریان حالت پر
\hat{Q}	دبی حالت پر بی بعد
Q_{sbf}	نرخ حجمی انتقال ماسه با منافذ در جریان حالت پر
Q_{sbff}	نرخ تغذیه حجمی ماسه با منافذ در جریان حالت پر
q^*	عدد بی بعد انیشتین
q_s	نرخ انتقال حجمی رسوب در واحد عرض

q_{ps}	.....	نرخ حجمی انتقال رسوب در واحد عرض با احتساب منافذ
q_{psf}	.....	نرخ حجمی تغذیه رسوب در واحد عرض با احتساب منافذ
q_{pss}	.....	مقدار q_{ps} در خط ساحلی
q_{sbf}	.....	نرخ انتقال حجمی رسوب در واحد عرض در جریان حالت پر
q_w	.....	دبی آب در واحد عرض
q_{wbf}	.....	دبی آب در واحد عرض در جریان حالت پر
R	.....	وزن مخصوص غوطه وری
S	.....	شیب ناحیه رسوبی
t	.....	زمان
U	.....	سرعت متوسط جریان
U_{bf}	.....	سرعت متوسط جریان در حالت پر
x	.....	طول مستقیم کانال در جهت جریان
$\Delta \bar{x}$	.....	طول بازه های داخلی \bar{x}
$\Delta \bar{t}$	.....	بازه زمانی
$\Delta \eta_j$	.....	مقدار اولیه $\Delta \eta$
λ_p	.....	تخلخل نهشته رسوبی
ρ	.....	چگالی آب
ρ_s	.....	چگالی رسوب
τ^*	.....	عدد بی بعد شیلدز
τ_{bf}^*	.....	عدد شیلدز در جریان حالت پر
τ_{form}^*	.....	عدد شیلدز تشکیل کانال

τ_b تنش برشی بستر.....

τ_{bbf} تنش برشی بستر در جریان حالت پر.....

Ω انحراف کانال.....

فصل اول :

مقدمه

۱-۱. مقدمه

مستقیم سازی پیچ و خم ها (یکسویه سازی) به عنوان یکی از جدی ترین اشکال کانال سازی در رودخانه، باعث کوتاه شدن طول کانال، افزایش شیب و کاهش ارتفاع سیل می شود. هرچند، یکسویه سازی با افزایش ظرفیت انتقال رسوب محدود به ناحیه یکسویه سازی شده باعث بی ثباتی در تعادل یا گرید رودخانه نیز می گردد. اگرچه در تعدادی از مطالعات موردی پاسخ های مختلف رودخانه ها نسبت به یکسویه سازی شرح داده می شود.

رودخانه ها نه تنها منبع مهم تأمین آب بلکه به عنوان یکی از منابع عمده تولید و انتقال رسوب نیز تلقی می شوند. براساس تحقیقات هلمن، سالیانه قریب به ۱۸ میلیارد تن مواد رسوبی حاصل از فرسایش سطح قاره ها از طریق رودخانه ها به سمت دریاها و اقیانوس ها حمل می شود. در این میان قاره آسیا که کشور ما ایران نیز به آن تعلق دارد با رسوبدهی ویژه ۵۳۶ تن در کیلومترمربع در سال بیشترین نرخ انتقال رسوب را دارا بوده و قریب به ۸۰ درصد کل رسوب تولید شده در جهان به این قاره اختصاص دارد (شایان ذکر است که سهم اروپا در تولید رسوب سالیانه با فرسایش ویژه ۳۱ تن در کیلومتر مربع به ۱/۶ درصد محدود می گردد). بدیهی است چنین نرخ بالایی از فرسایش و انتقال رسوب به معنای از دست دادن منابع ارزشمند خاکی و ایجاد نابسامانی های گوناگون رودخانه ای، تشدید سیلاب و معضلات عدیده دیگر می باشد. در عین حال در شرایط فعلی استفاده بهینه و مؤثر از این منبع عظیم طبیعی می تواند گامی در راستای تحقق اهداف عمرانی و ایجاد تعادل و توازن در نظام رودخانه ای و مساعدت به برنامه های توسعه پایدار تلقی شود.

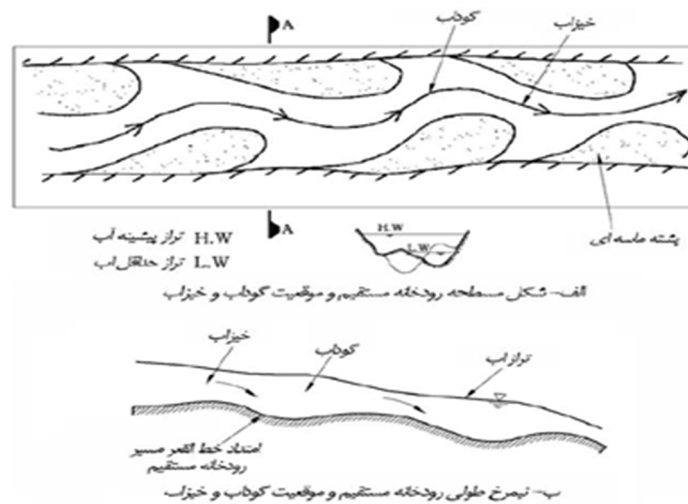
ریخت شناسی رودخانه، علم شناخت سیستم رودخانه از نظر شکل و فرم کلی، ابعاد و هندسه هیدرولیکی، راستا و پروفیل طولی بستر و نیز روند و نحوه تغییرات آن می باشد. عوامل گوناگونی در رفتار یک رودخانه مؤثر هستند که برخی از آن ها مستقیماً در ریخت شناسی مؤثر بوده و برخی دیگر نیز از طریق ارتباط با عوامل دیگر تاثیر گذار می باشند. مهمترین این عوامل عبارتند از: دبی جریان،

مواد بستر و کناره، شیب طولی، بار رسوب رودخانه، پوشش گیاهی، زبری بستر، شرایط زمین‌شناسی منطقه و اقدامات انسانی. پیش‌بینی روند تغییرات رودخانه و ارائه طرح‌های مهندسی در آینده منوط به شناخت رفتار و ریخت‌شناسی فعلی رودخانه و بررسی تغییرات در گذشته می‌باشد. رودخانه‌ها سیستمی کاملاً متغیر هستند که مرزهای جانبی و مشخصات ریخت‌شناسی آن‌ها در طول زمان و به طور پیوسته در حال تغییر است. در واقع سیستم رودخانه‌ای یک سیستم پیچیده است و تغییر در بخشی از این سیستم می‌تواند تغییرات پیچیده‌ای را در رفتار کلی سیستم به وجود آورد. به طور مثال اگر در بخشی از رودخانه عملیات احداث سد، آبگیری، ساماندهی و ... صورت گیرد به دلیل تغییر در شرایط هیدرولیکی جریان، امکان تغییر در رژیم آبی رودخانه وجود دارد. برداشت مصالح رودخانه‌ای از بستر و کناره‌های رودخانه باعث تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه در بالادست و پایین‌دست آن می‌شود که این تغییرات موجب تخریب شرایط طبیعی رودخانه و تغییر در شرایط هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جریان می‌شود و مشکلاتی از قبیل فرسایش بستر و کناره‌ها و تخریب سازه‌های موجود در رودخانه را در پی دارد.

۱-۱-۱ رودخانه مستقیم

رودخانه‌های مستقیم بازه‌های نسبتاً کوتاهی از رودخانه را تشکیل داده و این حالت اکثراً زودگذر می‌باشد چرا که کوچک‌ترین بی‌نظمی در شکل و یا امتداد رودخانه و انسداد موقت می‌تواند موجب بروز آشفتگی موضعی شده و با تشکیل جریان‌های برگشتی بازه مزبور را به بازه پیچانرودی تبدیل کند به طوری که آبراهه‌های مستقیم به ندرت در طولی بیش‌تر از ۱۰ برابر عرضشان مسیری مستقیم دارند این نوع رودخانه‌ها در حالت مقطع پرخمیدگی چندانی نداشته و ضریب خمیدگی آنها عموماً کمتر از ۱.۵ می‌باشد. در ترازهای پایین‌تر، ترکیب جریان اصلی در جهت پایین دست و جریان ثانویه در جهت عرضی مقطع سبب می‌شود که پشته‌های ماسه‌ای به طور متناوب در کناره‌ها تشکیل شده و خط القعر رودخانه، به صورت یک مسیر خمیده از بین این پشته‌ها عبور کند. مشخصه بارز بستر این نوع رودخانه‌ها تشکیل گوداب‌ها و خیزاب‌ها به طور

متناوب می باشد. در زمان های کم آبی، خیزاب ها کم عمق بوده و سرعت جریان در این نواحی بالا می باشد و در مقابل سرعت جریان در گوداب ها کم می باشد. طبق نظر فردسو در رودخانه های مستقیم برای حالت پایدار نسبت عرض به عمق، کوچک تر از ۸ می باشد.



شکل ۱-۱. بستر رسوبی

۱-۱-۲. فرسایش

از مهم ترین پدیده ها در رودخانه، پدیده فرسایش و رسوب می باشد که کم و بیش در تمامی رودخانه ها مشاهده می شود. فرسایش در هر دو دسته از رودخانه های پایدار (رژیم) و ناپایدار وجود دارد.

حفاظت ساحل رودخانه بدون مطالعه منطقه ممکن است چندان موفقیت آمیز نباشد، چراکه همواره باید اثرات احتمالی حفاظت ساحل رودخانه بر پایداری رودخانه مدنظر قرار داشته باشد.

فعالیت های مهندسی در رودخانه برای کاهش خسارات ناشی از سیل، زهکشی، شهرسازی و توسعه و کشتیرانی می توانند اثرات سوء در فرسایش طبیعی کناره های رودخانه داشته باشد. مستقیم کردن رودخانه ها بدون هیچ گونه پیش بینی حفاظتی منجر به آب شستگی بستر و فرسایش کناره های رودخانه می شود که به نوبه خود در طول پروفیل رودخانه ناپایداری به وجود می آورد. لایروبی که اغلب با جابجایی مواد پنجه ساحل رودخانه همراه می باشد می تواند نقش مؤثری در تخریب ساحل رودخانه

داشته باشد. البته لایروبی به نوبه خود سبب تغییر شیب طولی در بازه می شود که منجر به تغییر شکل پلان رودخانه می شود. تخریب پوشش گیاهی در رودخانه و ساحل آن به منظور افزایش ظرفیت رودخانه می تواند عامل مؤثری در توسعه رودخانه به لحاظ عرض باشد. چراکه با این عمل ساحل رودخانه مقاومت خود را نسبت به فرسایش از دست می دهد.

کشتیرانی نیز به نوبه خود می تواند عامل فرسایش ساحل رودخانه باشد. این نکته در حقیقت در رودخانه تایمز در انگلستان مورد مشاهده قرار گرفته است و رقمی حدود ۰/۳۵ متر در سال برآورد شده است. همچنین تنظیم آب در رودخانه به منظور توسعه منابع آب و تغییرات ناشی از استفاده از زمین های بایر از قبیل شهرسازی و ... می تواند تأثیر به سزایی بر روی تعادل رسوب و جریان در رودخانه داشته باشند و این دو به نوبه خود می توانند باعث ناپایداری در طول رودخانه باشند.

مقابله با این پدیده و عوارض آن مستلزم شناخت فرایندهای رودخانه ای و نیازمند بررسی خصوصیات زمین ساختی و سایر مشخصه های مصالح و مواد تشکیل دهنده بستر و دیواره ها و آگاهی از روابط و ضوابط حاکم بر پدیده های هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جریان در شرایط طبیعی و کنترل شده می - باشد.

۱-۱-۳. انواع فرسایش رودخانه ای

شناخت انواع فرسایش رودخانه ای از مواردی است که روند مطالعات پایه و مشخصه های مربوط به مبانی طراحی را متأثر می نماید. فرسایش در رودخانه ها عموماً به دو صورت بازه ای و موضعی انجام می گیرد.

۱-۱-۳-۱. فرسایش عمومی یا بازه ای

ایجاد فرسایش بازه ای ناشی از عوامل مختلفی است که تأسیسات آبی بر روی رودخانه، برداشت مصالح رودخانه ای، پایین رفتن سطح بستر، کاهش عرض مقطع، انجام اصلاحات در خم ها و ایجاد میان بری از آن جمله اند.

۱-۳-۲. فرسایش بستر

از دیدگاه تحلیلی چنانچه میزان آورد رسوب در مقطعی از رودخانه کمتر از حد پتانسیل انتقال و یا ظرفیت حمل آن باشد، احتمال وقوع فرسایش وجود دارد

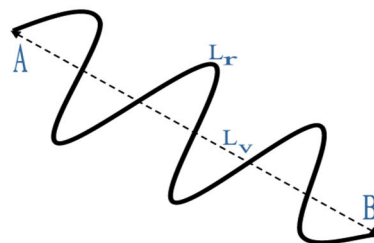
۱-۳-۳. فرسایش بر اثر جریان آب

در کانال‌های عریض مستقیم نیروی تنش برشی و در نتیجه جریان تأثیر مستقیم بر فرسایش ساحل دارد. از آنجایی که در این کانال‌ها نیروی تنش برشی از رابطه $\gamma V S$ (γ وزن آب واحد، V عمق آب، S شیب آب) به دست می‌آید. در صورتی که در اثر تغییر شدت جریان تغییرات قابل ملاحظه‌ای در شیب سطح آب مشاهده نشود، نیروی تنش برشی یا در حقیقت نیروی کششی متناسب با عمق جریان می‌باشد.

در کانال‌های مستقیم با عرض محدود به علت بالا بودن سرعت در نزدیکی کناره‌ها تنش برشی در نزدیکی پنجه کناره‌ها به حداکثر مقدار خود رسیده و باعث فرسایش تدریجی پنجه کناره می‌شود.

۱-۴-۱. ضریب سینوسیته (خمیدگی)

ضریب سینوسیته یا ضریب خمیدگی اولین بار توسط لئوپولد، ولمن و میلر برای طبقه بندی رودخانه‌ها تعریف شده است. بنا به تعریف، ضریب سینوسیته برابر است با طول تالوگ رودخانه (محل عمیق ترین جای جریان) به طول دره‌ای که رودخانه در آن جریان دارد. مطابق شکل L_r طول تالوگ مجرای رودخانه و L_v فاصله مستقیم بین نقاط A و B (ابتدا و انتهای بازه رودخانه) یا همان طول دره است.



شکل ۱-۲. ضریب سینوسیته

به همین دلیل ، بنا به تعریف ، p یا همان ضریب سینوسیته برابر خواهد بود با:

$$p = \frac{Lr}{Lv} \quad (1-1)$$

رودخانه ها را با توجه به مقدار ضریب سینوسیته به سه دسته می توان طبقه بندی کرد:

رودخانه های با ضریب سینوسیته کم ($1 < P < 1.5$)

رودخانه های با ضریب سینوسیته متوسط ($1.5 < P < 2$)

رودخانه های با ضریب سینوسیته بزرگ ($P \geq 2$)

فرد دیگری به نام پیتز رودخانه ها را با توجه به ضریب خمیدگی ب ۴ دسته تقسیم کرده مطابق

جدول زیر:

جدول ۱-۱. ضریب سینوسیته و حالات آن

بیش تر از ۲	۱/۲۵ - ۲	۱/۰۶ - ۱/۲۵	۱ - ۱/۰۵	ضریب پیچشی
پیچان رودی شدید	پیچان رودی	سینوسی	مستقیم	نوع رودخانه

۲-۱. بیان مسأله

جریان آب و بستر رودخانه با یکدیگر در تبادله هستند. با توجه به تغییر مسیر رودخانه که سبب کاهش طول مسیر در اختلاف تراز یکسان باعث می شود تا سرعت جریان آب رودخانه در بالا دست به شدت و ناگهانی بالا رود که موجب کنده شدن رسوبات بستر رودخانه می شود. این رسوبات در پایین دست با کاهش سرعت بر روی کف رودخانه فرود می آیند. این فرایند موجب ایجاد گودال در بالا دست و بالا آمدن بستر می شود در این پژوهش قرار است با مدل سازی عددی، مرفولوژی رودخانه را در طی این فرایند و همچنین تغییراتی که روی هیدرولیک جریان را بررسی کنیم. عکس العمل رودخانه به عوامل طبیعی و غیر طبیعی معمولاً به صورت فرسایش و رسوب گذاری در طول مسیر آن تخریب و

تعریض دیواره ها و سواحل، جابه جایی و تغییر در شکل آن از منظر مستقیم، شریانی، پیچانرودی، میانبری و یا انحراف مسیر رخ می دهد. یکی از پدیده های متداول در رودخانه های پیچانرودی ایجاد میانبر می باشد که در اثر آن بخشی از مسیر رودخانه از آن جدا شده و بصورت دریاچه شاخه گاوی یا نعل اسبی^۱ بر جا می ماند. همچنین با ایجاد میانبر تغییرات چشمگیری در بازه های قبل و بعد از آن آغاز می گردد.

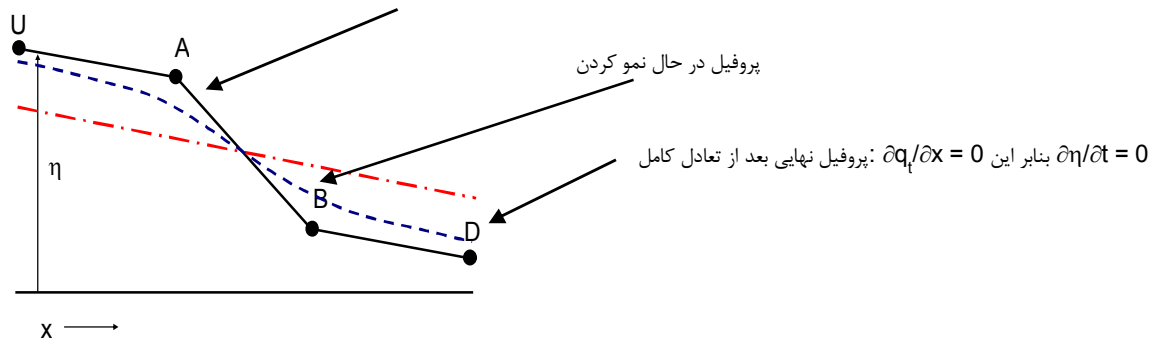
با مستقیم سازی رودخانه با توجه به این که اختلاف ارتفاع بین A و B یکسان است (شکل ۱-۱) ولی فاصله بین آن دو بسیار کمتر از گذشته می شود در نتیجه شیب رودخانه بیشتر می شود و سرعت در این فاصله افزایش می یابد به همین دلیل در محل A که شروع مستقیم سازی است با افزایش ناگهانی سرعت، رسوب در آنجا کنده می شود و گودالی ایجاد می شود. در قسمت UA رسوب خروجی بیشتر از ورودی است.

همچنین در محل B که پایان پروسه مستقیم سازی است با کاهش ناگهانی سرعت، رسوب ته نشین می شود و ارتفاع کف رودخانه در آن قسمت بالا می رود. در قسمت BD رسوب ورودی بیشتر از خروجی است و این باعث می شود که آب به خارج از رودخانه سرریز کند و خساراتی را در پی داشته باشد.

طی مرور زمان رودخانه به حالت تعادل در می آید که در آن زمان تغییرات دبی رسوب و همچنین تغییرات کف رودخانه هم به صفر میل می کند. (شکل ۱-۳)

^۱ - قسمت منحنی رودخانه ها که در اثر مستقیم سازی از مسیر رودخانه جدا شده و مانند یک دریاچه می مانند را دریاچه های شاخه گاوی نعل یا نعل اسبی می گویند.

پروفیل اولیه بعد از فرایند مستقیم سازی



شکل ۱-۳. بستر رسوبی در حالت دو بعدی

۳-۱. روش تحقیق

حل معادلات با روش اختلاف محدود انجام می‌شود. برای انجام مدلسازی از داده‌های سیستم رودخانه سنت مارگاریت کانادا استفاده می‌شود. این مدل‌سازی برای سیستم رودخانه سنت مارگاریت در محل مستقیم‌سازی آن انجام می‌گیرد ابتدا نتایج مدل با نتایج سایر محققین مقایسه شده و مدل تصدیق می‌شود. سپس، فرضیات را بهبود داده و نتایج مدل عددی را با نتایج حاصل از عکس‌های ماهواره‌ای مقایسه می‌کنیم. فرضیاتی را می‌پذیریم که نتایج حاصل از مدل عددی به نتایج واقعی نزدیکتر شوند.

۴-۱. اهداف پایان نامه

هدف اصلی از این پژوهش، شرح دادن مورفولوژی تغییرات رودخانه از ابتدا تا انتهای فرایند مستقیم‌سازی رودخانه و در طی سالیان متوالی بعد از فرایند تا زمانی که رودخانه به حالت پایدار خود برسد و همچنین تغییرات هیدرولیکی رودخانه بررسی می‌شود.

۱-۵. ساختار پایان نامه

در این پایان نامه، پس از بیان کلیاتی در مورد ریخت شناسی رودخانه و عوامل موثر بر رفتار رودخانه، به بیان تاریخچه ریخت شناسی رودخانه و کارهای انجام شده توسط محققین پیشین در فصل دوم پرداخته می‌شود. در فصل سوم، معادلات انتقال رسوب معرفی می‌گردد.

این معادلات شامل معادله بقای رسوب اکسنر، معادلات مناسب برای محاسبه دبی انتقال رسوب و معرفی عدد شیلدز می‌شوند. برای انجام محاسبات استاندارد و عملیات منطقی ریاضی، باید مشتقات متغیرهای وابسته‌ای را که در معادلات دیفرانسیل پاره‌ای ظاهر می‌شوند تقریب زد. جزئیات مدل عددی و گسسته سازی معادلات در فصل سوم ارائه گردیده است. در فصل چهارم مدل سازی عددی انجام شده و نتایج مدل عددی با نتایج واقعی مقایسه می‌گردد. در واقع در این فصل سعی بر این بوده است که با بهبود فرضیات نتایج مدل عددی به نتایج واقعی نزدیکتر گردد. در نهایت فصل پنجم، نتیجه گیری و پیشنهادات ادامه کار را در بر دارد.

روش بررسی در این پژوهش از نوع کاربردی بوده است. این مدل سازی به زبان ویژال بیسیک^۱ نوشته شده است که در مراحل مختلف این تحقیق جهت انجام محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که در مطالعه حاضر ضمن ارزیابی دقت روشهای مختلف در مرفولوژی رودخانه‌ها در مسیر مستقیم سازی رودخانه با روش عددی پیشرفته محاسبه می‌گردد.

^۱ visual basic

فصل دوم :

مروری بر کارهای گذشته

۲-۱. مقدمه

یکی از اهداف مهم در مهندسی آب، بهینه کردن منافع و کمینه کردن خسارات ناشی از جریان در رودخانه‌ها است. این کار با شناسایی، رفتارسنجی و تحلیل جریان در رودخانه‌ها میسر می‌گردد. کنترل و به حداقل رساندن خسارات وارده ناشی از سیلاب، رسوب گذاری و فرسایش به آبراهه‌ها، اراضی کشاورزی، تأسیسات و ابنیه‌های آبی مستلزم این است که فرآیند حرکت جریان، فرسایش بستر، انتقال مواد جامد و ته نشینی مواد رسوبی مورد مطالعه کامل قرار گیرد. امروزه محدودیت داده‌های هیدرولیکی اندازه‌گیری شده از یک سو و توسعه روش‌های عددی از سوی دیگر، شبیه‌سازی ریاضی رفتار جریان، ظرفیت حمل رسوب و روند رسوب‌گذاری و فرسایش را امری ضروری و اجتناب ناپذیر کرده است. به همین دلیل محققین مختلفی شبیه‌سازی عددی را برای بررسی جریان‌های با بستر متحرک در کانال‌های آبرفتی و رودخانه‌های طبیعی مورد توجه قرار داده‌اند.

۲-۲. مروری بر تحقیقات پیشین

ون دیجک و همکاران^۱

در سال ۲۰۱۲ میلادی ون دیجک - ون لاگ وگ و کاینهانس در آزمایشگاه راجع به مهمترین آشفتگی‌های بالا دست و فرایند انحطاط شاخ گاو^۲ بررسی کرده‌اند. آن‌ها با بدست آوردن دینامیک یک رودخانه ی انحنا دار با بند آب طولانی نشان دادند که رشد خم‌ها متناوب بوده که بوسیله ی انحطاط شاخ گاو^۲ شکل پیدا کرده بودند. با از بین رفتن شاخ گاو^۲ ها خمیدگی‌هایی به وجود می‌آید که رسوبات را با خود انتقال می‌دهد و یک دشت سیلاب جدید درست می‌کند تا زمانی که کانال دیگر عریض شود. [۱]

¹ W. M. van Dijk

² cut off

وانگ سویی - جی و نی جین رن^۱

رودخانه های مستقیم به طور کلی به عنوان یکی از الگوهای طبقه بندی مرسوم در شکل بستر رودخانه ها است. ، مشاهدات و استنتاج الگو های کانال ها در نتایج آزمایشگاهی سبب شده است در سال ۲۰۰۲ میلادی نویسندگان این مقاله به این نتایج برسند که الگوهای رودخانه های مستقیم نباید به عنوان یکی از الگوهای خود شکل گرفته شامل شوند به این معناست که محققان در این تحقیق بر این باورند که رودخانه های مستقیم فقط به دست بشر شکل می گیرد و رودخانه ها خود به تنهایی قادر به مستقیم شدن نیستند . در این مقاله نویسندگان به شکل و الگوی رودخانه و تغییر شکل هایی که رودخانه ها دارند را نشان می دهد. [۲]

ویمینگ وو^۲ و همکاران

در این تحقیق که در سال ۲۰۰۰ میلادی انجام شده است، نویسندگان یک مدل ۳ بعدی برای محاسبات جریان و انتقال رسوب در کانال های روباز بدست آورده اند که جریان محاسبه می شود . بوسیله ی حل معادلات رینولدز و ناویر استوکس به همراه مدل آشفتگی $k-\epsilon$ سطح آزاد ویژه و رفتار زبری معرفی می شوند برای جریان کانال های باز به ویژه سطح آب مشخص می شوند . انتقال رسوب کف با روش های غیر پایدار و شکل کف رودخانه که با معادلات تعادل و ریاضی مدل بار معلق بدست آورده می شوند ، حل می شود. مدل ۳ بعدی بار انتقال کل بوسیله ی حل کردن جریان و انتقال رسوب در خم کانال ۱۸۰ درجه با کف متحرک تایید اعتبار شده است. [۳]

¹ Wang sui-ji , NI Jin-ren

² Weiming Wu

کاتارزینا گلین^۱ و همکاران

در سال ۲۰۰۴ میلادی کاتارزینا گلین تاثیرات مستقیم سازی رودخانه بر روی هیدرولوژی رودخانه را مورد بررسی قرار داد. هدف از این تحقیق بررسی مورفولوژی رودخانه Drw eca و رودخانه Łyna واقع در لهستان بود. در قرن ۲۰ به جز تغییرات قابل توجهی که در مورفولوژی این دو رودخانه شکل گرفت، تغییراتی در کاهش طول رودخانه و همچنین کاهش سینوزیته رخ داد. اثر مستقیم رودخانه های مستقیم شده ایجاد شاخه گاوی های بشمار است. [۴]

کانال سازی اجرا شده در قسمت های رودخانه ی لینا و دروکا نتایج مستقیمی را در ساختار سطح زمین و الگوهای اکوسیستم های آبی در دشت های سیلابی آن ها سبب می شود. بخش پر پیچ و خم رودخانه ی لینا تا ۲۷٪ کم شده، در حالی که کانال رودخانه دروکا قبل از کانال سازی ۴۷٪ آن را شامل می شود.

کانال سازی، شیب کانال رودخانه ی لینا را از ۰.۱۸ به ۰.۳۵٪ افزایش داد، در حالی که شیب دروکا به ۰.۶۸٪ رسید. زمانی که شیب کانال افزایش می یابد، سرعت بالا می رود.

همانطور که در شکل ۱-۲ مشاهده می کنید طول رودخانه لینا از ۶/۳۰ کیلومتر به ۴/۶۰ کیلومتر تبدیل شده است و همچنین عدد سینوزیته آن از ۲/۰۱ به ۱/۴ تبدیل شده است. شیب این رودخانه از ۰/۱۸ به ۰/۳۵ تغییر کرده است. و همچنین طول رودخانه دراوکا از ۱۰/۹۲ کیلومتر به ۵/۳۵ کیلومتر تبدیل شده است و همچنین عدد سینوزیته آن از ۲/۴ به ۱/۲ تبدیل شده است. شیب این رودخانه از ۰/۲۲ به ۰/۶۸ تغییر کرده است. این شکل نشان می دهد برای مستقیم سازی رودخانه که با کاهش طول رودخانه منجر می گردد باعث کاهش عدد سینوزیته و افزایش شیب می گردد.

^۱ Katarzyna Glin

Parameter	River							
	Łyna				Drwęca			
	Before regulation		After regulation		Before regulation		After regulation	
		%		%		%		%
Length of the river channel l [km]	6.30	100	4.60	73	10.92	100	5.25	47
Channel sinuosity $s = l/l_v$	2.01	100	1.4	69	2.4	100	1.2	50
Slope of the river channel I [%]	0.18	100	0.35	195	0.22	100	0.68	300

شکل ۱-۲ مقایسه طول ، شیب و عدد سینوزیته [۴]

تریسی تالبوت و مایکل لاپوینت^۱

تریسی تالبوت و مایکل لاپوینت در سال ۲۰۰۲ به بررسی تغییرات شکل کف بستر و پروفیل طولی رودخانه شنی بر اثر مستقیم سازی رودخانه پرداخته اند و این تغییرات را با نرم افزار SEDROUT2.0 مدل سازی عددی کرده اند. شبیه سازی عملیات مستقیم سازی در اوایل دهه ۱۹۶۰ در طول رودخانه سنت مارگاریت کانادا برای تسهیل ساخت بزرگراه در طول دره انجام شد. در سیستم های بستر شنی که سرعت جریان به حدی است که می تواند رسوبات را با خود جا به جا کند مانند رودخانه سنت مارگاریت، درشتی کف پس از مستقیم سازی، سیستم را از فرسایش شدید رسوب حفظ می کند. مستقیم سازی منجر به موجی از گسترش فرسایش رسوب بستر در بالا دست همراه با گسترش نشست رسوب در پایین دست خواهد شد. پارکر و آندرس نشان دادند که یک چنین الگویی در سیستم هایی مانند رودخانه شرق پریری با جنس بستر شنی (که در آن زمخت شدگی کف بستر تداخلی در فرسایش رسوب ایجاد نمی کند) و لبه های متراکم که نسبتاً از بستر شنی در برابر فرسایش مقاوم تر هستند بخوبی عمل می کند. با توجه به اطلاعات نویسنده (تریسی تالبوت و مایکل لاپوینت) هیچ پژوهش منتشر شده ای از نظر کمی با ترکیب فرسایش رسوب، نشست رسوب و تغییر مورفولوژی پاسخ پیچیده ای را مدلسازی نکرده است، که مستقیم سازی رودخانه بستر شنی در مقیاس بزرگ را دنبال کند. [۵]

این مطالعه سه هدف اصلی دارد:

¹ Tracey Talbot and Michel Lapointe

۱. شبیه سازی (استفاده از SEDROUT2.0) پاسخ رودخانه سنت مارگاریت در طول ۳۲ سال از زمان یکسویه سازی و معتبر ساختن پیش بینی های الگو در مقابل مشاهدات میدانی موجود در تحقیق .
 ۲. مدلسازی مقیاس زمانی پاسخ های کامل این سیستم به مستقیم سازی با شبیه سازی سیر تکاملی آینده کانال تا ایجاد ثبات کامل آن.
 ۳. ارائه الگویی کلی برای پاسخ به مستقیم سازی رودخانه های بستر شنی در مقیاس بزرگ مانند رودخانه سنت مارگاریت براساس نگرش های به دست آمده از این شبیه سازی ها.
- الگوی SEDROUT2.0 به منظور تعیین مسیر رسوبات اندازه ی ماسه و شن در طول کانالی که پروفیل طولی و بافت سطح بستر به راحتی سازگار می شوند توسعه یافت. SEDROUT2.0 مجموعه ای با سه جزء است: یک الگوی هیدرولیک ، یک الگوی انتقال رسوب ناهمگن، و یک الگوی تغییر شکل بافت سطح بستر که به منظور شبیه سازی تغییر شکل بستر در طول کانال سطح مقطع منشوری انجام می گردند. [۶]

کریستنسن و فردسو^۱

در سال ۱۹۹۹ کریستنسن و فردسو بر روی تغییرات مورفولوژی رودخانه در مقاطع عرضی آن پرداختند. به صورتی که انتقال در جهت عرضی رسوبات معلق در مقطع عرضی در رودخانه های مستقیم با شکل های منحنی مطالعه می شود که با روش $k-\epsilon$ و مدل آشفتگی تنش رینولدز فول انجام می شود این بدین معنا است که ما وقتی بخواهیم شیوه حرکت رسوبات رودخانه در جهت عرض رودخانه را مورد بررسی قرار دهیم از روش $k-\epsilon$ استفاده می کنیم . به علت عمق های مختلف انتقال

¹ B.Christensen and J.Fredsoe

رسوبات معلق در جهت عرضی بسیار گسترش دارند. این موضوع اساساً به علت شیب کف و آشفتگی بالا در مرکز کانال شکل می گیرد. [۸]

خوزه لوپز و مارکو فالکن^۱

محاسبات جریان و انتقال رسوب در رودخانه‌های کوهستانی به دلیل وجود شیب‌های زیاد، تغییرات ناگهانی در هندسه رودخانه، تغییرات رژیم جریان و وجود المان‌های زبر بسیار پیچیده است. بسیاری از مدل‌های عددی برای پیش‌بینی تغییرات بستر کانال‌های رسوبی برای رودخانه‌های با شیب کم کاربرد دارند. خوزه لوپز و مارکو فالکن در سال ۱۹۹۹ به توسعه یک مدل عددی برای محاسبه تغییرات بستر و تغییرات اندازه ذرات در رودخانه‌های کوهستانی که اندازه ذرات آن در محدوده تخته سنگ است، پرداختند. برای معتبر ساختن مدل از داده‌های میدانی جمع‌آوری شده از قسمت بالادست یک سد کوچک در رودخانه ونزوئلا استفاده شد. این محققین از رابطه انتقال رسوب شوکلیتش^۲ برای محاسبه دبی انتقال رسوب استفاده کردند [۹].

بلر گریمن و کاسی کلامپ^۳

در سال ۲۰۰۰ یک چهارچوب برای مدلسازی رسوب که نیازمند انتقال بین بار بستر و بار معلق نیست ارائه دادند. این مدل از یک رابطه بین سرعت رسوب و سرعت آب استفاده می‌کند. این مدل برای تخمین زدن انتشار رسوب در باتل‌گریک جنوبی استفاده شد. این مدل با شبیه‌سازی انتقال رسوب پس از حذف سد انحرافی تست شد. نتایج اولیه نشان داد که این مدل می‌تواند تغییرات بستر و تغییرات اندازه مواد بستر را به درستی ارائه دهد. نتایج حاصل از مدلسازی نشان داد که رسوب به دام

¹ Jose L. Lopes and Marco A. Falcon

² Schoklitsch

³ Blair Greimann and Cassie Klumpp

افتاده بر مبنای اندازه به سمت پایین دست منتقل می‌شود و پروفیل بستر به شرایط قبل از احداث سد بر می‌گردد. [۱۰].

چینگ چائو گوا و یی چانگ جین^۱

در سال ۲۰۰۲ یک مدل ریاضی برای انتقال رسوبات معلق غیر یکنواخت جهت تخمین تغییرات بستر رودخانه ارائه دادند. این محققین از طریق تقسیم رسوبات ترکیبی به چند گروه با اندازه یکسان که در آن ذرات رسوب یکنواخت تصور می‌شوند، غیریکنواختی و تبادل بین رسوبات معلق و مواد بستر را بررسی کردند. این مدل تغییرات غلظت در جهت جریان، توزیع اندازه ذرات و تغییرات مقاطع عرضی بستر را به خوبی ارائه داد. مقایسه نتایج مدل با نتایج آزمایشگاهی نشان داد که این مدل می‌تواند به خوبی تغییرات بستر کانال را تخمین بزند. از این مدل برای مدلسازی سیستم رودخانه واقعی استفاده شد. متغیرهایی از قبیل سطح آب، غلظت رسوب، توزیع اندازه ذرات معلق و تغییرات بستر رودخانه در این مدل محاسبه شدند [۱۱].

دنگ و لی^۲

در سال ۲۰۰۳ بستر رودخانه را با استفاده از معادلات انتقال رسوب و جریان غیر دائمی مدلسازی کردند. یاداو و سمتانی^۳ در سال ۲۰۰۸ یک مدل ریاضی را با استفاده از تنش برشی موثر و انتقال بار رسوب بستر برای تخمین بار بستر منتقل شده توسط رودخانه توسعه دادند. این محققین نرخ انتقال بار مواد بستر در واحد عرض را برای مواد بستر غیریکنواخت با استفاده از داده‌های رودخانه تاپی در هندوستان، محاسبه کردند [۱۲].

¹ Qing-Chao Guo and Yee-Chung Jin

² Deng and Li

³ Yadav and Samtani

دونگ چن و جنیفر دووان^۱

در سال ۲۰۰۶ از معادله پیوستگی رسوب برای تعیین تغییرات بستر رودخانه جردن جنوبی واقع در ایالت یوتا استفاده کردند. نرخ فرسایش با محاسبه کاهش ضخامت بستر و فرسایش جانبی تعیین شد. برای مشخص کردن تغییرات طولانی مدت رودخانه، از روش تجزیه در بین جریان، انتقال رسوب و مدل فرسایش ساحل استفاده شد. مقایسه بین نتایج محاسبه شده به وسیله مدل و مقادیر مشاهده شده، توانایی این مدل را برای تعیین تغییرات بستر رودخانه جردن جنوبی واقع در ایالت یوتا نشان می‌دهد [۱۳].

یوشا موگید و جاگدیش ساپکاله^۲

در سال ۲۰۱۵ فرآیندهای افزایش ضخامت و کاهش ضخامت بستر رودخانه و تاثیر آنها روی کانال رودخانه را بررسی کردند. این محققین دریافتند که افزایش و کاهش ضخامت بستر رودخانه به دبی رودخانه و انرژی رودخانه که برای انتقال مواد بستر استفاده می‌شود، بستگی دارد [۱۴].

سیمونا فرانکالانسی و لوکا سولاری^۳

در سال ۲۰۰۸ یک روش ساده برای ارزیابی شدت انتقال بار بستر و جهت بسترهای شیب دار با شیب عرضی و طولی بیشتر از ۲۵ درجه و در شرایطی که رسوبات یکنواخت بوده و مقادیر تنش شیلدز کم است را ارائه دادند. این روش از یک سری معادلات که متناسب با نتایج بدست آمده از طریق یک مدل نیمه تجربی که توسط پارکر، سمینارا و سولاری در سال ۲۰۰۳ ارائه شد می‌باشد، تشکیل شده است. این روش یک توصیف کاملاً غیر خطی از انتقال بار بستر را ارائه می‌دهد. روش ارائه شده می‌تواند به

¹ Dong Chen and Jennifer G. Duan

² Usha R. Mugade and Jagdish B. Sapkale

³ Simmona Francalanci and Luca Solari

آسانی در هر مدل مورفودینامیکی برای شرح دادن تغییرات توپوگرافی بستر و دینامیک مربوط به بسترهای شیب دار انجام شود [۱۵].

۲-۳. جمع بندی

در این فصل به بررسی مطالعات انجام شده در زمینه انتقال رسوب و مدلسازی رودخانه پرداخته شد. دانشمندان مختلف بر روی چگونگی انتقال رسوب تحقیقاتی انجام داده اند که بدین وسیله معادلات حاکم بر انتقال رسوبات بدست آورده شد در ادامه به بررسی معادلات انتقال رسوب می پردازیم و مدلسازی مستقیم سازی رودخانه برنامه نویسی شده و برای صحت سنجی نتایج مدل عددی با داده های توپوگرافی مقایسه شده است.

فصل سوم :
معادلات انتقال رسوب

۳-۱. مقدمه

مورفودینامیک شامل مواردی می‌شود که در آن پروفیل آب روی یک بستر، با شکل بستر تعامل دارد و هر کدام از این‌ها نسبت به زمان تغییر می‌کنند. تغییرات مشخصات جریان باعث تغییرات شکل بستر می‌شود. این تغییرات با فرسایش یا دپو شدن رسوبات ایجاد می‌شود.

۳-۲. قانون بقای جرم

قانون پایستگی جرم یا پایستگی ماده اظهار می‌دارد که جرم موجود در یک سیستم بسته صرف نظر از فرایندهایی که در درون آن در حال وقوع است، ثابت و تغییرناپذیر باقی می‌ماند. این قانون امروزه با قانون پایستگی انرژی ترکیب شده و **قانون پایستگی جرم و انرژی** نامیده می‌شود.

سنت ونانت برای قانون بقای جرم آب و مومنتوم معادلاتی بیان کرد که به شرح زیر است:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} = 0 \quad (۱-۳)$$

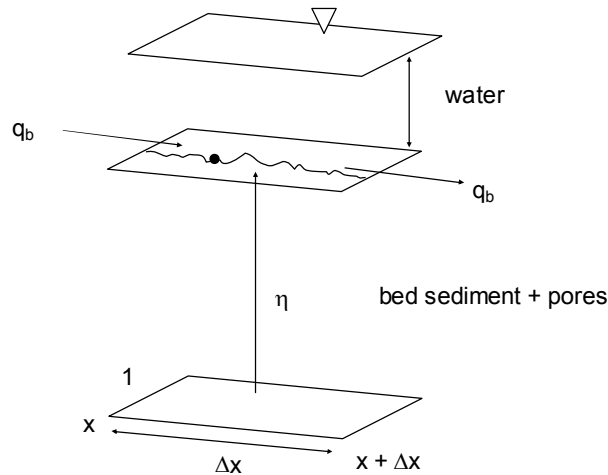
$$\frac{\partial UH}{\partial t} + \frac{\partial U^2 H}{\partial x} = -\frac{1}{2} gH \frac{\partial H}{\partial x} - gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - C_f U^2 \quad (۲-۳)$$

البته قانون مومنتوم سنت ونانت با فرض یک بعدی بودن رودخانه و عرض ثابت در نظر گرفته شده است. [۱۶]

۳-۳. معادله بقای رسوب اکسندر

معادله بقای رسوب ابتدا توسط محقق اتریشی به نام فلیکس ماریا اکسندر در اوایل قرن بیستم بدست آمده است. او با مشتق گیری و به کار گیری یک نسخه از توضیح های متنوع نگه داری رسوب توانست معادله ای را بیان کند که امروزه به نام معادلات اکسندر معروف است و همچنین سهم قابل

توجهی در دینامیک امواج غیرخطی داشت. معادله اکسنر، بقای جرم بین رسوب در بستر کانال و مقدار رسوبی که منتقل می شود را شرح می دهد. یعنی ارتفاع بستر کانال متناسب با مقدار رسوبی که توسط جریان حمل می شود، تغییر می کند. به عبارت دیگر، اگر مقدار رسوب ورودی در یک ناحیه بیشتر از مقدار رسوب خروجی از آن ناحیه باشد، ارتفاع بستر افزایش می یابد. [۱۷]



شکل ۳-۱. حجم کنترل برای بدست آوردن معادله اکسنر [۱۷]

q_t نرخ انتقال حجمی رسوب در واحد عرض و λ_p تخلخل بستر (نسبت حجم بستر همراه با حفره ها به حجم رسوب) را نشان می دهند. $\rho_s \cdot q_t$ نرخ جرمی انتقال رسوب در واحد عرض و ρ_s چگالی رسوب می باشد. بقای جرم در داخل حجم کنترل با عرض واحد به صورت زیر است :

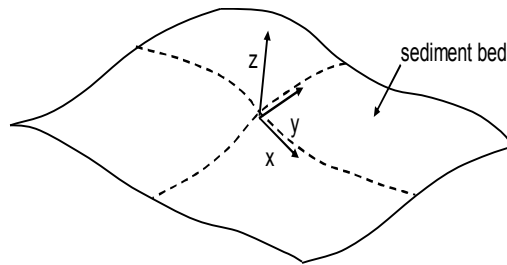
$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_s (1 - \lambda_p) \eta] \Delta x \cdot 1 = \rho_s [q_t |_{x+\Delta x} - q_t |_x] \cdot 1 \quad (3-3)$$

یعنی نرخ تغییرات زمانی جرم رسوب در بستر در داخل حجم کنترل با اختلاف جرم رسوب ورودی و خروجی از حجم کنترل برابر است. در نهایت معادله اکسنر در حالت یک بعدی در صورتی که فقط بار بستر داشته باشیم به صورت زیر می شود :

$$(1 - \lambda_p) \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial q_b}{\partial x}$$

(۴-۳)

معادله اکسندر در حالت دو بعدی به صورت زیر است :



شکل ۳-۲. بستر رسوبی در حالت دو بعدی [۱۷]

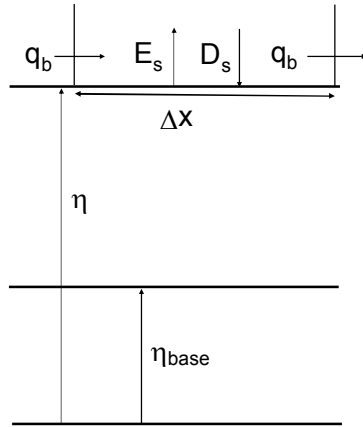
$$(1 - \lambda_p) \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\vec{\nabla} \cdot \vec{q}_b \quad (۵-۳)$$

در اینجا q_b نرخ انتقال حجمی رسوب در واحد حجم در حالت دو بعدی در صورتی که فقط بار بستر داشته باشیم، می باشد.

$$\vec{q}_b = q_{bx} \hat{e}_x + q_{by} \hat{e}_y \quad (۶-۳)$$

e_x و e_y بردارهای واحد را در جهت های x و y نشان می دهند. حال اگر بخواهیم بار ذرات معلق را نیز

در معادله بیاوریم، معادله به صورت زیر می شود :



شکل ۳-۳. حجم کنترل با وجود ذرات معلق [۱۷]

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_s (1 - \lambda_p) \eta] \Delta x = \rho_s [q_b|_x - q_b|_{x+\Delta x}] + \rho_s (D_s - E_s) \Delta x \quad (۷-۳)$$

$$(1 - \lambda_p) \frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{\partial q_b}{\partial x} + D_s - E_s \quad (۸-۳)$$

در اینجا E_s نرخ حجمی رسوبی که وارد ستون آب می‌شود و D_s نرخ حجمی رسوبی که از ستون آب وارد بستر می‌شود، است. اگر غلظت حجمی رسوبات معلق را در (X, Z, t) که روی آشفتگی متوسط گیری شده است باشد، می‌توان مقادیر D_s و E_s را از روابط زیر بدست آورد :

$$D_s = v_s \bar{c}_b \quad (۹-۳)$$

$$E_s = v_s E \quad (۱۰-۳)$$

C_b در اینجا مقدار C در نزدیکی بستر می‌باشد. در نهایت معادله اکسیر به صورت زیر می‌شود: [۱۷]

$$(1 - \lambda_p) \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial q_b}{\partial x} + v_s (\bar{c}_b - E) \quad (11-3)$$

حالت دو بعدی :

$$(1 - \lambda_p) \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + \sigma \right) = -\bar{\nabla} \cdot \bar{q}_b + v_s (\bar{c}_b - E) \quad (12-3)$$

۳-۴. عدد شیلدز

عدد شیلدز، یک عدد بی بعد می باشد که توانایی حرکت رسوب را در جریان نشان می دهد. عدد شیلدز در حقیقت تنش برشی بی بعد شده می باشد و با τ^* نشان داده می شود.

$$\tau^* = \frac{\tau_b}{\rho R g D} \quad (13-3)$$

تنش برشی در بستر است. عدد شیلدز^۱ را نیز می توان به صورت نسبت نیروی τ_b در این رابطه درگ جریان اعمال شده به یک ذره به نیروی مقاومت کولمب تعریف کرد. بر این اساس خواهیم داشت :

$$\tau^* \sim \frac{\tau_b D^2}{\mu_c^{\frac{4}{3}} \pi \rho R g \left(\frac{D}{2}\right)^3} \quad (14-3)$$

ضریب مقاومت مواد بستر می باشد. خصوصیات تحرک بستر نیازمند تعریف تنش برشی μ_c مرزی در بستر می باشد. سرعت متوسط جریان در هر مقطع عرضی طبق رابطه زیر به دست خواهد آمد :

$$U \equiv \frac{Q}{BH} \quad (15-3)$$

^۱. Shields number

در این رابطه Q دبی جریان، B عرض متوسط کانال معادل و H عمق متوسط کانال معادل مستطیلی می باشد.

۳-۵. سرعت برشی

سرعت برشی، یک فرمی است که از طریق آن تنش برشی در واحد سرعت بازنویسی می شود. این فرم به عنوان یک روش در مکانیک سیالات برای مقایسه درست سرعتها نسبت به هم از قبیل نسبت سرعت جریان در رودخانه به سرعت مربوط به تنش برشی بین لایه های جریان می باشد.

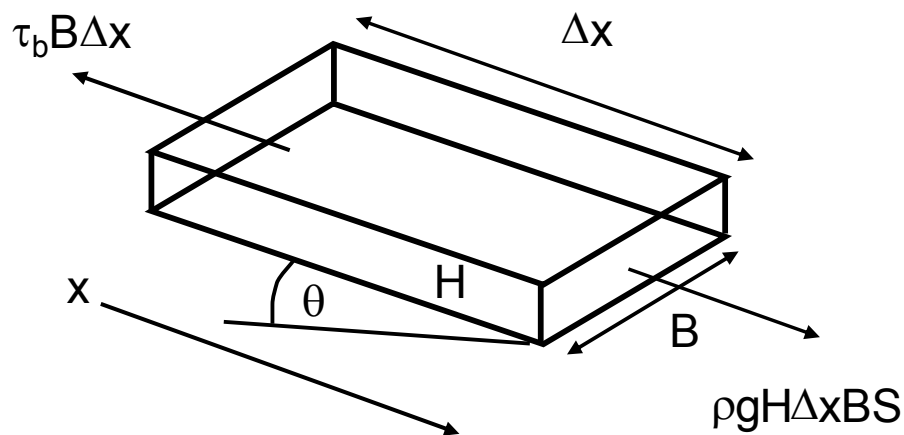
سرعت برشی برای شرح دادن پخش و انتشار ذرات در جریان سیال و پروفیل سرعت نزدیک مرز یک جریان

مناسب می باشد. سرعت برشی به خوبی نرخ انتشار و انتقال رسوب بستر را اندازه می گیرد. سرعت برشی از رابطه زیر بدست خواهد آمد.

$$u_* \equiv \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \quad (3-16)$$

۳-۶. جریان نرمال

جریان نرمال، یک حالت تعادل بین نیروی محرک گرانش به سمت پایین دست و نیروی مقاومت بستر می باشد. در نتیجه خصوصیات جریان نسبت به مکان و زمان ثابت باقی می ماند. بنابراین :



شکل ۳-۴. حجم کنترل برای بدست آوردن تنش برشی [۱۸]

$$\rho g H B \Delta x \sin \theta \cong \rho g H B \Delta x S = \tau_b B \Delta x: \quad (17-3)$$

با ساده کردن رابطه زیر بدست خواهد آمد :

$$\tau_b = \rho g H S \quad (18-3)$$

با جایگذاری معادله (۱۸-۳) در (۱۶-۳) خواهیم داشت :

$$u_* = \sqrt{g H S} \quad (19-3)$$

حال ضریب بی بعد مقاومت سزی را برای جریان نرمال با داشتن سرعت برشی به صورت زیر بدست خواهد آمد:

$$C_{z_{bf}} \equiv \left(\frac{U}{u_*} \right)_{\text{bankfull}} = \frac{Q_{bf}}{B_{bf} H_{bf} \sqrt{g H_{bf} S}}, \hat{H} = \frac{H_{bf}}{D_{50}} \quad (20-3)$$

۷-۳. رابطه بین دبی آب، شیب بستر و عمق آب در جریان نرمال

رابطه‌ای که برای تنش برشی بستر در حالت جریان نرمال بدست آورده شد، با رابطه (۳-۱۸) ساده می‌شود. بنابراین خواهیم داشت :

$$\rho C_f U^2 = \rho g H S \quad (۳-۲۱)$$

$$U = \sqrt{\frac{g}{C_f}} H^{1/2} S^{1/2} = C_{z\tau} \sqrt{g} H^{1/2} S^{1/2} \quad (۳-۲۲)$$

طبق رابطه بقای جرم در حالت جریان نرمال خواهیم داشت :

$$q_w = UH \quad Q_w = q_w B = UHB \quad (۳-۲۳)$$

حال U را از دو طرف معادله (۳-۲۳) حذف کرده و عمق آب (H) بدست خواهد آمد:

$$H = \left(\frac{C_f Q_w^2}{g S} \right)^{1/3} \quad (۳-۲۴)$$

بنابراین عدد شیلدز در جریان نرمال به صورت زیر می‌شود :

$$\tau^* = \frac{\tau_b}{\rho R g D} = \frac{H S}{R D} \quad (۳-۲۵)$$

با جایگذاری رابطه (۳-۲۴) در رابطه (۳-۲۵) خواهیم داشت :

$$\tau^* = \left(\frac{C_f q_w^2}{gS} \right)^{1/3} \frac{S^{2/3}}{RD} \quad (26-3)$$

حال اگر رابطه مانینگ - استریکلر^۱ برای C_f را در رابطه (۲۵-۳) قرار دهیم خواهیم داشت :

$$H = \left(\frac{k_s^{1/3} q_w^2}{\alpha_r^2 gS} \right)^{3/10} \quad (27-3)$$

و رابطه (۲۷-۳) به صورت زیر خواهد شد :

$$U = \sqrt{\frac{g}{C_f}} H^{1/2} S^{1/2} = \alpha_r \frac{\sqrt{g}}{k_s^{1/6}} H^{2/3} S^{1/2} \quad (28-3)$$

$$U = \frac{1}{n} H^{2/3} S^{1/2}, \quad \frac{1}{n} = \alpha_r \frac{\sqrt{g}}{k_s^{1/6}} \quad (29-3)$$

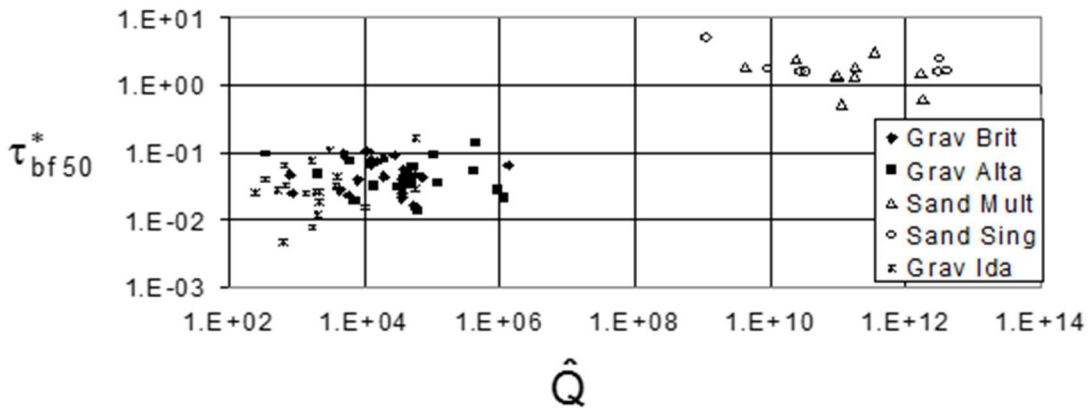
در این رابطه n ضریب مانینگ می‌باشد.

اگر رابطه (۲۸-۳) را در رابطه (۲۶-۳) قرار دهیم، عدد شیلدز به صورت زیر برای جریان نرمال بدست

خواهد آمد: [۱۸]

$$\tau^* = \left(\frac{k_s^{1/3} q_w^2}{\alpha_r^2 gS} \right)^{3/10} \frac{S^{7/10}}{RD} \quad (30-3)$$

^۱ MANNING-STRICKLER



شکل ۳-۵. عدد شیلدز در رودخانه های مختلف [۱۸]

۳-۸. نیروی فشار جریان

جریان طوری فرض شده است که به تدریج تغییر کند و با فرض $H/L_x \ll 1$ می توان فشار p هیدروستاتیک تقریب زده شود.

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad (3-31)$$

$$p = \rho g(H - z)$$

با انتگرال و ارزیابی تحت شرایط صفر (gage) فشار در سطح آب جایی که $y = H$:

$$(3-32)$$

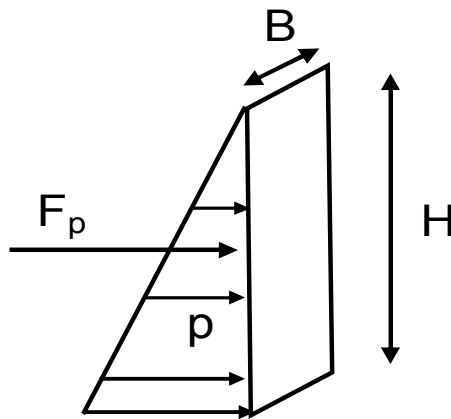
با انتگرال گیری یک مقطع عرضی نیروی فشار جریان برابر خواهد

بود با:

$$F_p = B \int_0^H p dz = \frac{1}{2} \rho B g H^2$$

$$(3-33)$$

$$F_p = \text{نیروی فشار} [ML/T^2]$$



شکل ۳-۶. نیروی وارده از طرف آب

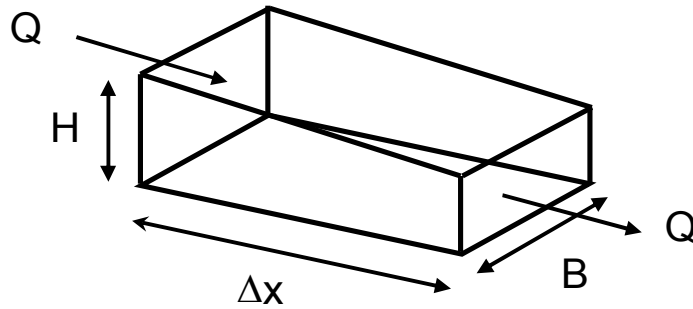
۳-۹. قانون مومنتوم

برای اثبات رابطه بقای جرم، حجم کنترلی مانند شکل (۳-۷) در نظر گرفته می شود نرخ تغییرات زمانی جرم در داخل حجم کنترل برابر با اختلاف جرم خروجی و ورودی به حجم کنترل می باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \rho H B \Delta x}{\partial t} = \rho U H B \Big|_x - \rho U H B \Big|_{x+\Delta x} = -\rho B \frac{\partial U H}{\partial x} \Delta x \quad (3-36)$$

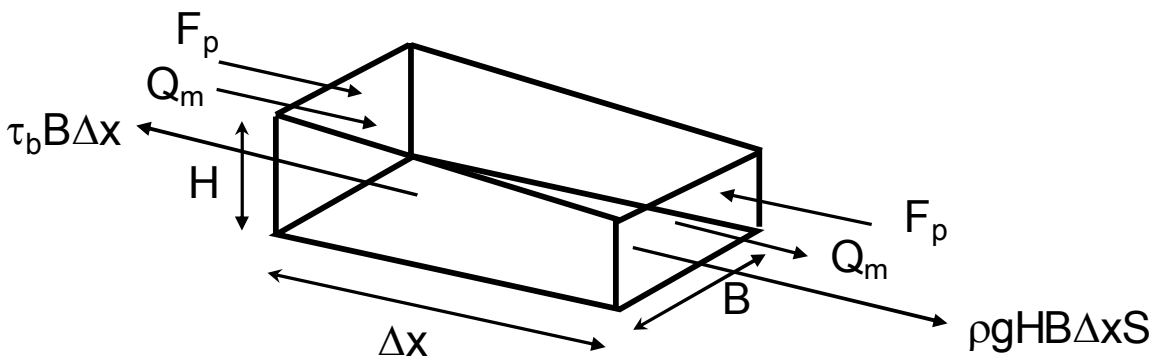
با فرض ثابت بودن مقدار B رابطه (۳-۳۶) به صورت زیر می شود :

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial U H}{\partial x} = 0 \quad (3-37)$$



شکل ۳-۷. حجم کنترل برای بدست آوردن رابطه بقای جرم [۱۸]

برای بدست آوردن رابطه بقای مومنتوم حجم کنترلی مانند شکل (۳-۸) در نظر می‌شود. نرخ زمانی تغییرات مومنتوم در داخل حجم کنترل با مجموع برآیند نیروها و نرخ مومنتوم خالص ورودی برابر است. بنابراین خواهیم داشت:



شکل ۳-۸. حجم کنترل برای بدست آوردن رابطه بقای مومنتوم [۱۸]

$\frac{\partial}{\partial t}$ (مومنتوم در حجم کنترل) = نرخ جریان ورودی شبکه + برآیند نیروها برایند نیروی جاذبه به سمت جریان - نیروهای مقاومتی + نیروی فشار در مقطع X و نیروی فشار در مقطع $x + \Delta x$

$$\frac{\partial \rho H B \Delta x}{\partial t} = \rho U^2 H B \Big|_x - \rho U^2 H B \Big|_{x+\Delta x} + \frac{1}{2} \rho \tau_b^2 B \Big|_x - \frac{1}{2} \rho \tau_b^2 B \Big|_{x+\Delta x} - \rho g H B \Delta x \frac{\partial \eta}{\partial x} - \rho C_f U^2 \Delta x B \quad (3-36)$$

با ساده سازی رابطه بقای مومنتوم بدست خواهد آمد :

$$\frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial U^2 H}{\partial x} = -gH \frac{\partial H}{\partial x} - gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - C_f U^2 \quad (37-3)$$

با استفاده از قانون بقای جرم خواهیم داشت:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} = 0 \quad \rightarrow \quad UH = q_w = \text{ثابت} \quad (38-3)$$

$$U = \frac{q_w}{H} \quad (38-3)$$

با انتگرال گیری از معادله (38-3) خواهیم داشت:

$$\frac{dU}{dx} = -\frac{q_w}{H^2} \frac{dH}{dx} \quad (39-3)$$

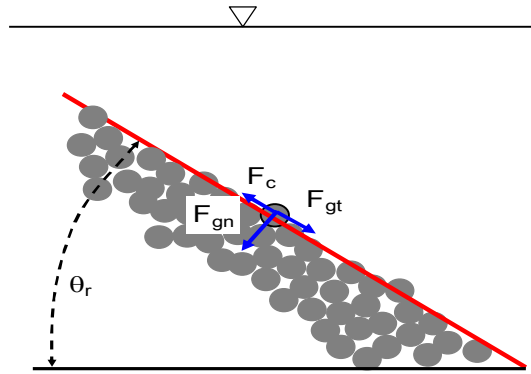
$$\frac{dU^2 H}{dx} = U \frac{dUH}{dx} + UH \frac{dU}{dx} \quad (39-3)$$

با ساده سازی قانون مومنتوم به صورت زیر خواهد بود

$$U \frac{dU}{dx} = -g \frac{dH}{dx} - g \frac{d\eta}{dx} - C_f \frac{U^2}{H} \quad (40-3)$$

۳-۱۰. زاویه ایستایی ذرات

توده ای از رسوبات در زاویه ایستایی θ_r شرایط آستانه‌ای را بیان می‌کند. هرگونه اختلال جزئی باعث ریزش توده رسوب می‌شود. در اینجا توده‌ای از رسوبات زیر آب قرار دارند. یک ذره در این توده در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳-۹. توده ذرات در حالت سکون

نیروی جاذبه در جهت شیب به صورت زیر به دست خواهد آمد :

$$F_{gt} = \frac{4}{3} \rho_s \pi g \left(\frac{D}{2}\right)^3 \sin \theta_r - \frac{4}{3} \rho \pi g \left(\frac{D}{2}\right)^3 \sin \theta_r = \frac{4}{3} \rho \pi Rg \left(\frac{D}{2}\right)^3 \sin \theta_r \quad (41-3)$$

$$R = \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \quad (42-3)$$

نیروی عمودی خالص به صورت رابطه (۴۳-۳) است :

$$F_{gn} = \frac{4}{3} \rho \pi Rg \left(\frac{D}{2}\right)^3 \cos \theta_r \quad (43-3)$$

نیروی مقاومت کولمب نیز به صورت رابطه (۴۴-۳) به دست خواهد آمد :

$$F_{gn} = \frac{4}{3} \rho \pi Rg \left(\frac{D}{2}\right)^3 \cos \theta_r \quad (44-3)$$

طبق تعادل نیروها در جهت شیب خواهیم داشت :

$$F_{gt} - F_c = 0 \quad (45-3)$$

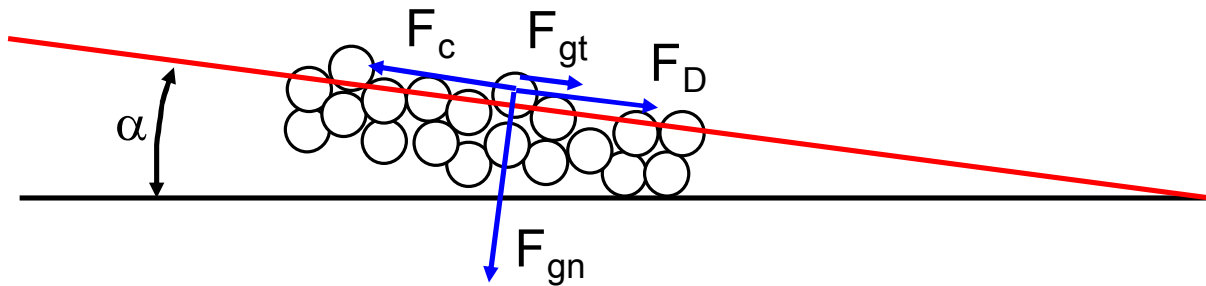
با ساده سازی در نهایت به رابطه (۴۶-۳) خواهیم رسید :

$$\tan \theta_r = \mu_c \quad (46-3)$$

برای رسوبات طبیعی زاویه سکون θ_f بین ۳۰ تا ۴۰ درجه است.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho \pi c_D \left(\frac{D}{2} \right)^2 u_f^2 \quad (۴۷-۳)$$

نیروی که از طرف جریان به ذره وارد می شود:



شکل ۳-۱۰. توده ذرات در حالت جریان آب

با استفاده از تعادل نیروها خواهیم داشت:

$$F_D + F_{gt} = \mu_c F_{gn} \quad (۴۸-۳)$$

با جایگذاری روابط در معادله (۴۸-۳) خواهیم داشت:

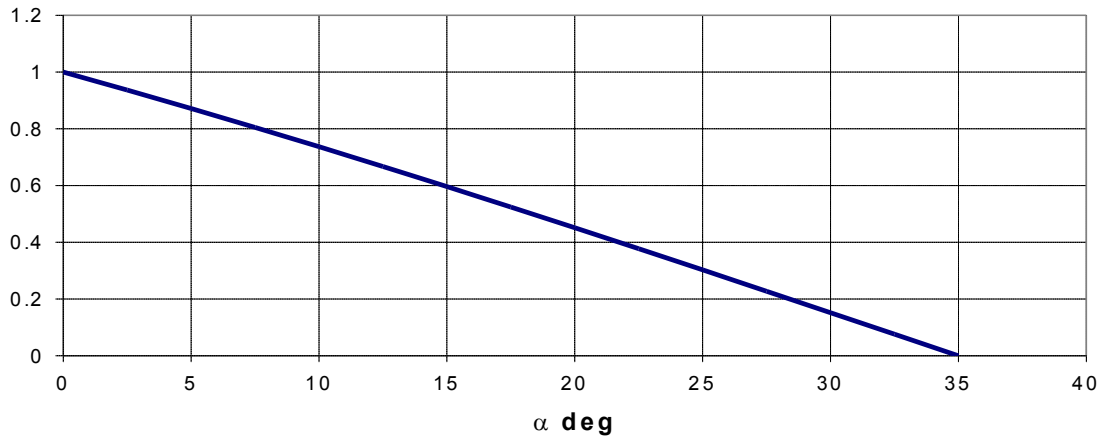
$$(۴۹-۳)$$

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

τ_c^* عدد شیلدز بحرانی بر روی شیب

τ_{co}^* ارزش این عدد بر روی سطح افقی نزدیک به کف

Shields Relation, Streamwise Angle
 $\theta_r = 35 \text{ deg}$



شکل ۱۱-۳. رابطه بین τ_{co}^* و τ_c^* در رودخانه با شیب متفاوت

۱۱-۳. نرخ انتقال رسوب

جریان آب رودخانه می‌تواند با خود موادی را جا به جا کند چنانچه این مواد قسمتی از رسوب باشند و شکل بستر رودخانه را تغییر دهند به آنها بار رسوب کف^۱ و چنانچه در میان جریان انتقال داده شوند بدون تغییر شکل بستر به آنها بار شناور می‌گویند.

و حال بار رسوب کف خود شامل دو قسمت است :

ذرات بستر^۲ : مشخصه این مواد ریزش کردن، غلت خوردن و یا جست و خیز کردن می باشد

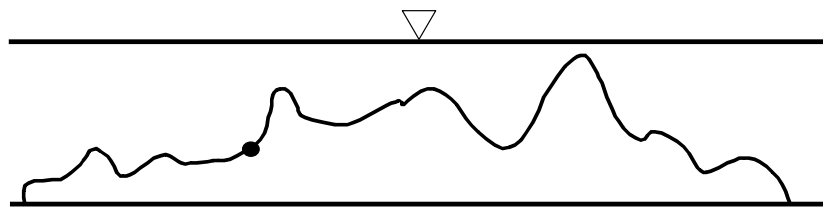
^۱ Bed material load

^۲ Bed load



شکل ۳-۱۲. شکل مسیر Bed load

ذرات معلق^۱: در اثر یک گرداب کوچک پراکنده می شوند و همچنین ممکن است روی سطح آب شناور شوند.



شکل ۳-۱۳. شکل مسیر حرکت رسوبات معلق

هیچ تعریف مشخصی که مورد قبول اکثر محققین باشد برای تفاوت بین دو انتقال وجود ندارد. تعدادی از تعاریف در زیر ارائه خواهد شد.

۱. مطابق با روش انیشتین^۲

هانس آلبرت انیشتین یک محقق برجسته در زمینه انتقال رسوب است. بر اساس تعریف انیشتین به دلیل این که انتقال به وسیله لغزش یا غلتش است بار بستر در فاصله دو برابر قطر ذره از بستر قرار دارد.

۲. مطابق با روش ون راین^۳

ون راین بر اساس روش بگنولد فرمولی به دست آورد تا مقدار پرش ذرات بار بستر را به درون جریان محاسبه کند. فاصله به دست آمده بسیار بیشتر از مقدار انیشتین است.

۳. مطابق با روش اندازه گیری

¹ Suspended load

² Hans Albert Eninstein

³ VAN RIJN

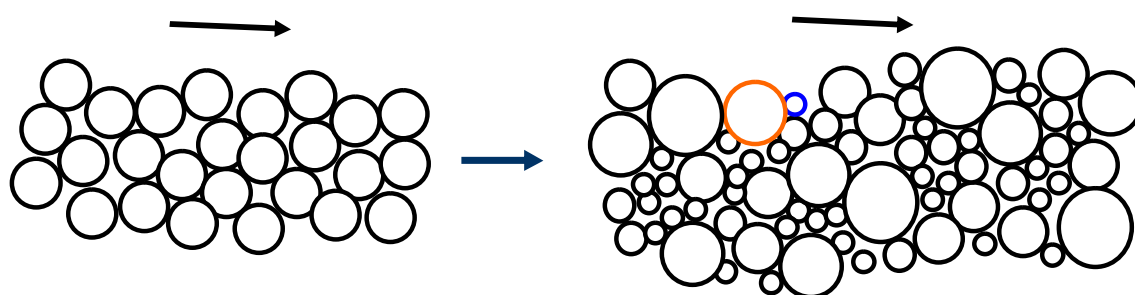
انتقال رسوب در یک رودخانه اغلب به وسیله اندازه گیری تعیین می شود. یک بطری آب وارد رودخانه می شود و آب همراه با رسوبات خارج می شود غلظت رسوب در آزمایشگاه تعیین می شود. بطری آب نمی تواند به طور کامل به بستر برسد بنابراین یک منطقه ۲ تا ۱۰ سانتی متری از بستر، اندازه گیری نمی شوند. اغلب رسوب اندازه گیری رسوب اندازه گیری شده بار معلق نامیده می شود و بار اندازه گیری نشده، بار بستر نامیده می شود.

۴. مطابق با مثال هانتز-رز

به دلیل اینکه هانتز-رز در یک مثال سطح مرجع برای غلظت را ۵٪ عمق آب را در نظر گرفت، تعدادی از افراد فرض می کنند که بالای این سطح بار معلق است و زیر آن بار بستر است. [۲۰]

۳-۱۲. اثر پوششی (hiding effect)

ذرات وقتی در یک مخلوط با اندازه دانه های مختلف هستند دانه های کوچکتر نیروی درگ بیشتری می خواهند نسبت به اندازه همان دانه در یک مخلوط همگن، زیرا دانه های کوچکتر در پشت دانه های بزرگتر مخفی شده و نیروی بیشتری برای به حرکت درآوردن آنها لازم است. به این پدیده hiding effect یا اثر پوششی می گویند.



شکل ۳-۱۴. نمایش اثر Hiding effect

که از اثر این پدیده در مدل سازی این پایان نامه صرفه نظر شده است. [۲۱]

نرخ انتقال رسوب در واحد حجم را با q_b نشان می‌دهیم. فرض افزایش دبی انتقال رسوب با افزایش دبی آب یا سرعت جریان، منطقی می‌باشد. عدد بی بعد انیشتین به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$q_b^* = \frac{q_b}{\sqrt{RgD}} \quad (50-3)$$

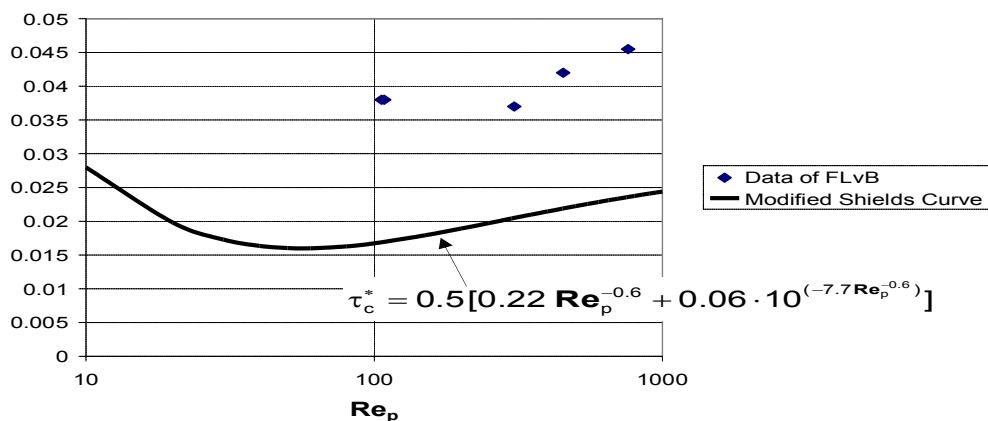
همه روابطی که برای دبی رسوب در این پایان نامه بررسی می‌شوند، به شرط غیاب بار رسوب کف صحیح می‌باشند. رابطه اصلی دبی رسوب، رابطه پیتر و مولر^۱ می‌باشد که به صورت زیر می‌باشد:

$$q_b^* = 8(\tau^* - \tau_c^*)^{3/2}, \quad \tau_c^* = 0.047 \quad (51-3)$$

دانشمندان مختلف شیلدز بحرانی را با رابطه (52-3) بدست آورده‌اند.

در τ_c^* این رابطه عدد شیلدز بحرانی می‌باشد. عدد شیلدز بحرانی، کمترین مقدار عدد شیلدز می‌باشد که رسوبات شروع به حرکت می‌کنند. عدد شیلدز بحرانی از رابطه زیر بدست خواهیم آمد:

$$\tau_c^* = 0.5 [0.22 Re_p^{-0.6} + 0.06 \cdot 10^{(-7.7 Re_p^{-0.6})}] \quad (52-3)$$



شکل ۳-۱۵. رابطه بین عدد رینولدز ذرات با عدد شیلدز بحرانی

¹ Meyer-Peter and Müller

اگر رودخانه ماسه‌ای باشد، انتقال ماسه بر حسب رابطه انتقال رسوب انگلند و هسن^۱ می‌باشد [۲۲]. این رابطه هم برای رودخانه و هم برای کانال‌های آزمایشگاهی مناسب است. این رابطه به صورت زیر خواهیم آمد :

$$q^* = \frac{0.05}{C_f} (\tau^*)^{5/2} \quad (۵۳-۳)$$

روابط معمول دیگر برای تعیین نرخ حجمی انتقال رسوب در واحد عرض به ترتیب، رابطه انیشتین (۵۴-۳) ، رابطه آشیدا و میچئو (۵۵-۳) ، رابطه انگلند و فردسو (۵۶-۳) ، رابطه فرناندز و ون بیکو (۵۷-۳) و رابطه پارکر (۵۸-۳) به صورت زیر می‌باشند :

$$1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-(0.143/\tau^*)^{-2}}^{+(0.143/\tau^*)^{-2}} e^{-t^2} dt = \frac{43.5 q_b^*}{1+43.5 q_b^*} \quad (۵۴-۳)$$

$$q_b^* = 17(\tau^* - \tau_c^*)(\sqrt{\tau^*} - \sqrt{\tau_c^*}), \tau_c^* = 0. \quad (۵۵-۳)$$

$$q_b^* = 18.74(\tau^* - \tau_c^*)(\sqrt{\tau^*} - 0.7\sqrt{\tau_c^*}), \tau_c^* = 0.05 \quad (۵۶-۳)$$

$$q_b^* = 5.7(\tau^* - \tau_c^*)^{1.5}, \tau_c^* = 0.037 \sim 0.0455 \quad (۵۷-۳)$$

$$q_b^* = 11.2(\tau^*)^{1.5} \left(1 - \frac{\tau_c^*}{\tau^*}\right)^{4.5}, \tau_c^* = 0.03 \quad (۵۸-۳)$$

در این تحقیق از رابطه (۵۱-۳) در حل معادلات استفاده شده است که پروسه حل آن به شرح زیر می‌باشد:

با جایگذاری رابطه (۱۶-۳) در رابطه (۳۰-۳) رابطه (۵۹-۳) به دست می‌آید و سپس با قرار دادن آن در رابطه (۵۱-۳) می‌توان نرخ انتقال رسوب را بدست آورد.

¹ Engelund and Hansen

$$u_*^2 = \left(\frac{k_s^{1/3} q_w^2}{\alpha_r^2} \right)^{3/10} g^{7/10} S^{7/10} \quad (59-3)$$

R شعاع هیدرولیکی، S شیب رودخانه، g شتاب جاذبه، D قطر ذرات، α_r ضریب رابطه پایداری مانینگ-استریکلر که در این تحقیق طبق گفته ی پارکر برابر ۸.۱ گرفته شده است، k_s ارتفاع زبری که در این تحقیق طبق گفته ی پارکر برابر ۷۵ میلیمتر گرفته شده است.

۳-۱۳. ضریب سیل : I_f

برای تجزیه و تحلیل عددی جریان رسوب احتیاج به زمان های وقوع سیل می باشد و چون وقوع سیل زمان خاصی ندارد از فاکتور I_f استفاده می کنیم که در این پایان نامه $I_f=0.03$ در نظر گرفته شده است این بدین معناست که اگر زمان ۱۰۰ سال را در نظر بگیریم در طول این ۱۰۰ سال ۳ بار سیل به وقوع می افتد.

$$I_f = \frac{Q_{\tan av}}{Q_{ibf}} \quad (60-3)$$

در دوره های زمانی طولانی، رابطه بین زمان حقیقی t و زمانی که رودخانه در معرض سیلاب قرار گرفته است t_f به صورت زیر بیان می شود.

$$t_f = I_f t \quad (61-3)$$

مقدار کل رسوب کف که در سیلاب انتقال داده می شود q_t که واحد آن m^2/s است و رسوب سالیانه جا به جا شده را که با واحد میلیون تن در سال است را با نماد G_t نشان می دهند که با فرمول زیر محاسبه می شود:

$$G_t = \rho_s q_t B I_f t_a / (1 \times 10^6) \quad (62-3)$$

با استفاده از فرمول اکسنر و فرمول مانینگ برای پایداری جریان می توان به فرمول زیر دست یافت :

$$(1 - \lambda_p) \frac{\partial \eta}{\partial t} = -I_f \frac{\partial q_t}{\partial x} \quad (63-3)$$

و با جایگذاری $S = -\frac{\partial \eta}{\partial x}$ در رابطه (63-3) می توان به فرمول (64-3) دست یافت که با استفاده از آن می توان مسائل عددی را حل کرد.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\kappa_d(S) \frac{\partial \eta}{\partial x} \right] \quad (64-3)$$

κ_d ضریب پخش سینماتیکی رسوب است که واحد آن L^2/T می باشد و با رابطه زیر بیان می شود:

$$\kappa_d = \frac{I_f \sqrt{RgD} D}{(1 - \lambda_p) S} \alpha_t \left\{ \varphi_s \left[\left(\frac{k_c^{1/3} q_w^2}{\alpha_r^2 g} \right)^{3/10} \frac{S^{7/10}}{RD} \right] - \tau_c^* \right\}^{n_t} \quad (65-3)$$

α_t ضریب رابطه انتقال رسوب (در این تحقیق بنا به گفته ی پارکر ۸ در نظر گرفته شده است)، φ_s شکست تنش برشی که به آن اصطکاک سطحی گفته می شود (در این تحقیق بنا به گفته ی پارکر ۱ در نظر گرفته شده است)، n_t توان در رابطه انتقال رسوب که برابر ۱.۵ است. این مقادیر بر اساس آنچه پارکر گفته گرفته شده است.

فصل چهارم : جزئیات مدل عددی

۴-۱. مقدمه

رسوبات ذرات کوچکی مانند ماسه، شن، رس و سیلت هستند. آب یک رودخانه با توجه به سرعت، عمق، خصوصیات رسوب و...، دارای ظرفیت طبیعی برای انتقال رسوبات است. سازه های ساخته دست بشر در یک رودخانه، ممکن است ظرفیت انتقال رسوب را در یک قسمت زیادی از رودخانه یا به صورت محلی، تغییر دهد. در سازه ها، مانند پل ها سیل بندها و... ممکن است فرسایش به وجود آید. یک مهندس هیدرولیک باید قادر به ارزیابی مشکلات احتمالی باشد. در زمان یک سیل، خطر فرسایشی در بیشترین حد قرار دارد.

در بیست سال گذشته، تکامل کامپیوترها، ابزار بسیار مناسبی برای حل مسائل مهندسی هیدرولیک ایجاد کرده است. اکثر الگوریتم های عددی حاضر، در اوایل دهه ی ۷۰ به دست آمده است. در آن زمان، برای اکثر مسائل عملی، کامپیوترها بسیار کند بوده است. ولی در حال حاضر می توان بسیاری از این مسائل را با کامپیوترهای خانگی حساب کرد. از روش CFD برای حل معادلات استفاده شده است.

در این فصل، مدلسازی عددی رودخانه با بستر رسوبی که با مستقیم سازی تغییراتی در مورفولوژی و شیب رودخانه صورت می گیرد را مورد پردازش قرار می دهد. تاکنون در آزمایشگاه ها بر روی این موضوع که پروفیل طولی رودخانه در حین مستقیم سازی دچار تغییرات می شود مورد بررسی قرار نگرفته است و فقط بر طبق مشاهدات میدانی و معادلات انجام شده است بررسی ها و آزمایش های اندکی بر روی پلان و یا مقاطع عرضی رودخانه که باعث تغییرات مورفولوژی رودخانه می شود انجام شده است که در ادامه به بررسی آن ها پرداخته خواهد شد.

۴-۱-۱. خطاها و عدم قطعیت در CFD

در مدل سازی CFD مقداری عدم قطعیت وجود دارد و تقریب الگوریتم ها باعث قدری خطا در نتایج می شود. انجمن اروپایی تحقیق و بررسی جریان، آشفستگی و احتراق (ERCOFTAC) بهترین راهنما برای CFD را ارائه کرده است و در آن خطاها بر اساس لیست زیر طبقه بندی شده است:

۱. خطاهای مدل سازی
۲. خطاها در تقریب عددی
۳. خطاها به دلیل عدم همگرایی کامل
۴. خطاهای گرد کردن
۵. خطاها در شرایط مرزی و اطلاعات ورودی
۶. خطاهای انسانی به دلیل بی تجربگی کاربر
۷. اشکالات موجود در نرم افزار

۴-۱-۲. فرایندهای چندگانه رسوب

اگر هدف اصلی تحقیق رسوبات معلق، فرسایش و انتقال رسوب باشد، در این صورت ، روش های مختلف مقیاس کردن رسوبات ممکن است باعث خصوصیات مدل رسوب متفاوت شود. در این صورت ممکن است امکان مدل کردن تمام حالت ها و فرآیندهای انتقال رسوب وجود نداشته باشد این موضوع یکی از انگیزه های گسترش مدل های CFD در فرایندهای انتقال رسوب بوده است.

۴-۲. فرمولبندی تفاضل محدود

مشتق‌های متغیرهای وابسته‌ای را که در معادلات دیفرانسیل پاره‌ای ظاهر می‌شوند، باید تقریب زد تا بتوان از کامپیوتر رقمی (که تنها قادر به انجام محاسبات استاندارد و عملیات منطقی است) برای حل معادلات استفاده کرد. برای تقریب زدن دیفرانسیل تابع f از دو روش استفاده می‌شود. روش اول، تقریب مبتنی بر بسط سری تیلور یک تابع f است. روش دوم استفاده از یک چند جمله‌ای مرتبه n است. در این فصل بسط سری تیلور را معرفی می‌کنیم [۲۳].

۴-۲-۱. بسط سری تیلور

اگر تابع تحلیلی $f(x)$ موجود باشد، بسط سری تیلور $f(x+\Delta x)$ حول نقطه x برابر است با:

$$f(x + \Delta x) = f(x) + (\Delta x) \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + \dots = f(x) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\Delta x)^n}{n!} \frac{\partial^n f}{\partial x^n} \quad (1-4)$$

اگر این رابطه را بر حسب $\frac{\partial f}{\partial x}$ حل کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x} - \frac{\Delta x}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + \dots \quad (2-4)$$

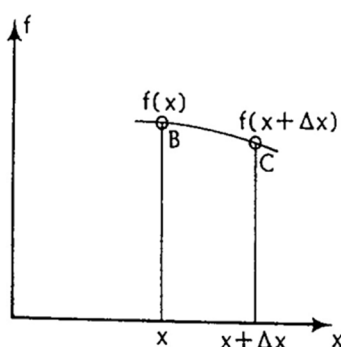
از جمع کردن همه جمله‌هایی که دارای ضریب Δx و یا بالاتر هستند و نوشتن آن‌ها به صورت $O(\Delta x)$

نتیجه می‌گیریم:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (3-4)$$

¹. finite difference

2. European research community on flow . turbulence and combustion



شکل ۴-۱. نمایش نقاط شبکه در معادله ۳-۴ [۲۳]

معادله ۳-۴ تقریبی برای مشتق پاره‌ای مرتبه اول تابع f نسبت به x است. از دیدگاه ترسیمی (شکل ۴-۱)، این تقریب به معنی شیب تابع در نقطه B است که از مقادیر تابع در نقاط B و C استفاده شده است. اگر از اندیس i برای نشان دادن موقعیت نقاط در جهت x استفاده شود، معادله (۳-۴) به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_i = \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (۴-۴)$$

این معادله به عنوان تقریب اول تفاضل پیشروی $\frac{\partial f}{\partial x}$ ^۱ و از مرتبه Δx است. روشن است که با کاهش فاصله Δx عبارت خطا کاهش و خطای تقریب کاهش می‌یابد. حال بسط سری تیلور $f(x - \Delta x)$ را حول x در نظر بگیرید.

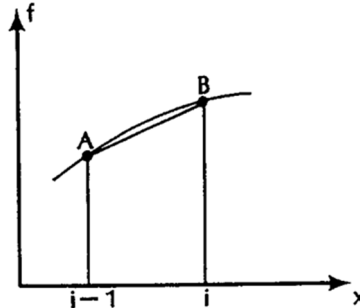
$$f(x - \Delta x) = f(x) - \Delta x \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + \dots = f(x) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\pm \frac{(\Delta x)^n}{n!} \right] \frac{\partial^n f}{\partial x^n} \quad (۵-۴)$$

اگر رابطه فوق را برای $\frac{\partial f}{\partial x}$ حل کنیم، نتیجه می‌شود [۲۳]:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x) - f(x - \Delta x)}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (۶-۴)$$

^۱.backward difference

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_i = \frac{f_i - f_{i-1}}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (7-4)$$



شکل ۴-۲. نمایش نقاط شبکه در معادله ۷-۴ [۲۳]

همانگونه که در شکل ۴-۲ می‌بینید، عبارت بالا شیب تابع را در نقطه B با استفاده از مقادیر نقاط A و B نشان می‌دهد. معادله ۷-۴ تقریب اول تفاضل پس روی $\frac{\partial f}{\partial x}$ و از مرتبه Δx است. حال بسط‌های تیلور ۴-۱ و ۴-۵ دوباره در نظر گرفته می‌شود.

$$f(x + \Delta x) = f(x) + \Delta x \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + \dots \quad (8-4)$$

$$f(x - \Delta x) = f(x) - 2\Delta x \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + \dots \quad (9-4)$$

با کم کردن معادله ۹-۴ از ۸-۴ نتیجه می‌شود:

$$f(x + \Delta x) - f(x - \Delta x) = 2\Delta x \frac{\partial f}{\partial x} + 2 \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \quad (10-4)$$

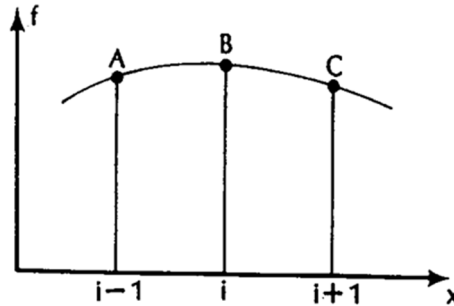
که از حل آن برای $\frac{\partial f}{\partial x}$ نتیجه می‌شود:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x+\Delta x) - f(x-\Delta x)}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \quad (11-4)$$

¹.forward difference

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_i = \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \quad (12-4)$$

که شیب تابع f را در نقطه B با استفاده از مقادیر تابع در نقاط A و C که در شکل ۳-۴ می‌بینید، به دست می‌دهد. این گونه نمایش $\frac{\partial f}{\partial x}$ را تقریب تفاضل محدود مرکزی^۱ می‌نامند و از مرتبه $(\Delta x)^2$ است.



شکل ۳-۴. نمایش نقاط شبکه در معادله ۱۲-۴ [۲۳]

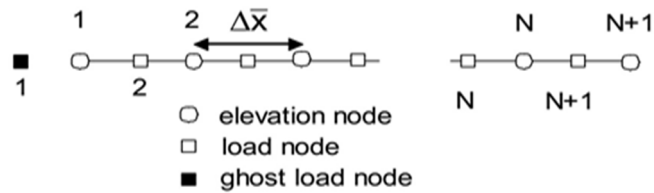
۳-۴. گسسته سازی معادلات

محدوده رسوبی را به N قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم. طول هر قسمت برابر است با :

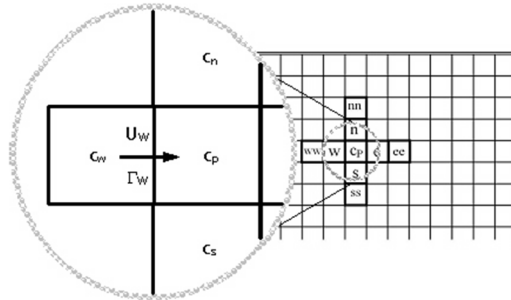
$$\Delta \bar{x} = \frac{1}{N} \quad (13-4)$$

تعداد گره‌های محاسباتی برابر با $N+1$ می‌باشد که به صورت $i=1, \dots, N+1$ شماره گذاری می‌شود. ارتفاع قسمت بالادست و پایین دست به ترتیب برابر است با η_i و η_{N+1} . در این گره‌ها، ارتفاع بستر محاسبه می‌شود. گره‌های مربوط به دبی به فاصله $0.5dx$ از گره‌هایی که ارتفاع بستر در آن محاسبه می‌شود، قرار دارد. اولین گره مربوط به دبی انتقال رسوب، یک گره تصنعی بوده که مقدار دبی در آن جا برابر با نرخ تغذیه رسوب می‌باشد. [۲۴]

^۱. central difference



شکل ۴-۴. نمایش شبکه استفاده شده در مدل عددی در مقیاس آزمایشگاهی [۲۴]



شکل ۴-۵. نمایش شبکه بندی استفاده شده در مدل

۴-۴ جزئیات مدل عددی پایان نامه:

ابتدا تمام داده های اطلاعاتی پروژه به برنامه داده شده است و ریز محاسبات آن انجام شده سپس این داده ها با اسامی مختلف به زبان ویژال بیسیک ثبت گردیده است. شیب رودخانه از رابطه ی (۳-۳۰) محاسبه می شود. سپس ارتفاع آب با فرمول (۳-۲۷) محاسبه می گردد. با این روابط (۳-۳۰) و (۳-۲۷) مجهولات رابطه ی (۳-۲۵) به دست خواهد آمد.

اگر عدد شیلدز به دست آمده از فرمول (۳-۲۵) از عدد شیلدز بحرانی کمتر بود انتقال رسوبی صورت نمی گیرد ولی اگر از شیلدز بحرانی بیشتر شود انتقال رسوب صورت می گیرد که میزان آن با رابطه ی (۳-۵۱) محاسبه می گردد.

با در نظر گرفتن نقطه ای در رودخانه و با معلوم بودن نقاط ابتدایی و نقاط انتهایی مستقیم سازی محاسبات صورت می گیرد چنانچه این نقطه در بین دو نقطه ی آغاز و پایان مستقیم سازی باشد

محاسبات جدید آغاز می شود در غیر این صورت نقطه ی بعدی انتخاب می شود تا این نقطه در این فاصله قرار گیرد. چگونگی این رویداد در برنامه به شکل زیر بیان می شود :

باید شیب در هر نقطه محاسبه گردد که می توان از شیب نقطه ی قبل و شیب نقطه ی بعد آن بهره گرفت . با استفاده از شیب جدید روابط (۳-۳۰) و (۳-۵۱) دوباره محاسبه می شود . میزان انتقال رسوب در هر نقطه در برنامه محاسبه می گردد.

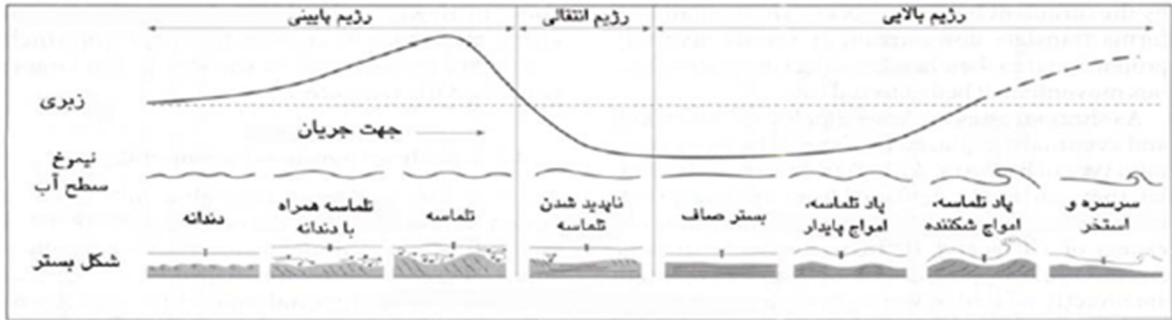
با توجه به تغییرات شیب و میزان انتقال رسوب به طبع آن شیب دچار تغییر می شود که با توجه به روابط زیر و استفاده از روش تقریب تفاضل محدود مرکزی از مرتبه $(\Delta x)^2$ می توان این متغیر ها را بدست آورد:

$$\frac{\Delta q_{t,i}}{\Delta x} = a_u \frac{q_{t,i} - q_{t,i-1}}{\Delta x} + (1 - a_u) \frac{q_{t,i+1} - q_{t,i}}{\Delta x} \quad ۱۴-۴$$

$$\eta_i|_{t+\Delta t} = \eta_i|_t - \frac{1}{1 - \lambda_p} \frac{\Delta q_{t,i}}{\Delta x} I_f \Delta t, \quad i = 1..M \quad ۱۵-۵$$

۴-۵ مدل سازی عددی

بر حسب نوع رسوبات و خصوصیات فیزیکی آب جاری در رودخانه ، سطوح تماس بستر و جریان رودخانه شکل های مختلفی به خود می گیرند که این شکل های مختلف ایجاد شده تابعی از رژیم جریان می باشد رژیم های جریان در رودخانه های با بستر ماسه ای عبارتند از رژیم جریان پایینی ، رژیم جریان انتقالی و رژیم جریان بالایی است.



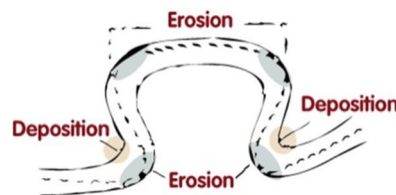
شکل (۴-۶) انواع شکل بستر و تغییرات ضریب زبری و شکل سطح آب در رژیم های مختلف جریان رودخانه های ماسه ای

۴-۵-۱ انواع مستقیم سازی

دو حالت مستقیم سازی وجود دارد :

(۱) حالت غیر طبیعی که توسط بشر انجام میگردد در این حالت مزایا و معایبی وجود دارد که در ادامه به آن پرداخته می شود.

(۲) حالت طبیعی ، در این حالت مطابق شکل (۴-۷) با نشست و فرسایش در نقاط مختلف رودخانه سبب می شود که قسمت هایی از رودخانه جدا شود که این امر موجب افزایش سرعت آب رودخانه می شود.

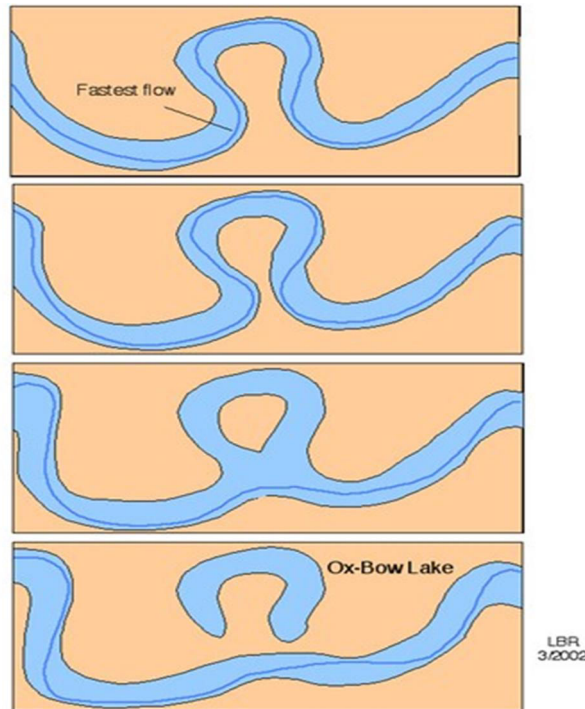


شکل ۴-۷ نشست و فرسایش در نقاط مختلف رودخانه

همانطور که در شکل (۴-۸) مشاهده می شود سرعت آب در نقاط بیرونی انحنا^۱ زیادتیر از سرعت آب در نقاط داخلی انحنا^۲ بوده همین امر موجب می شود فرسایش در نقاط خارجی انحنا زیاد شود و این

^۱ outside curve
^۲ inside curve

دو ناحیه به هم متصل گردد و این باعث کوتاه شدن مسیر رودخانه می شود. مسیر قبلی به صورت دریاچه های نعل اسبی و یا شاخ گاوی بر جای می ماند.



شکل ۴-۸ روند طبیعی مستقیم سازی رودخانه

۴-۶. مدل سازی عددی مورفولوژی رودخانه بر اثر مستقیم سازی رودخانه

۴-۶-۱. سیستم رودخانه سنت مارگاریت

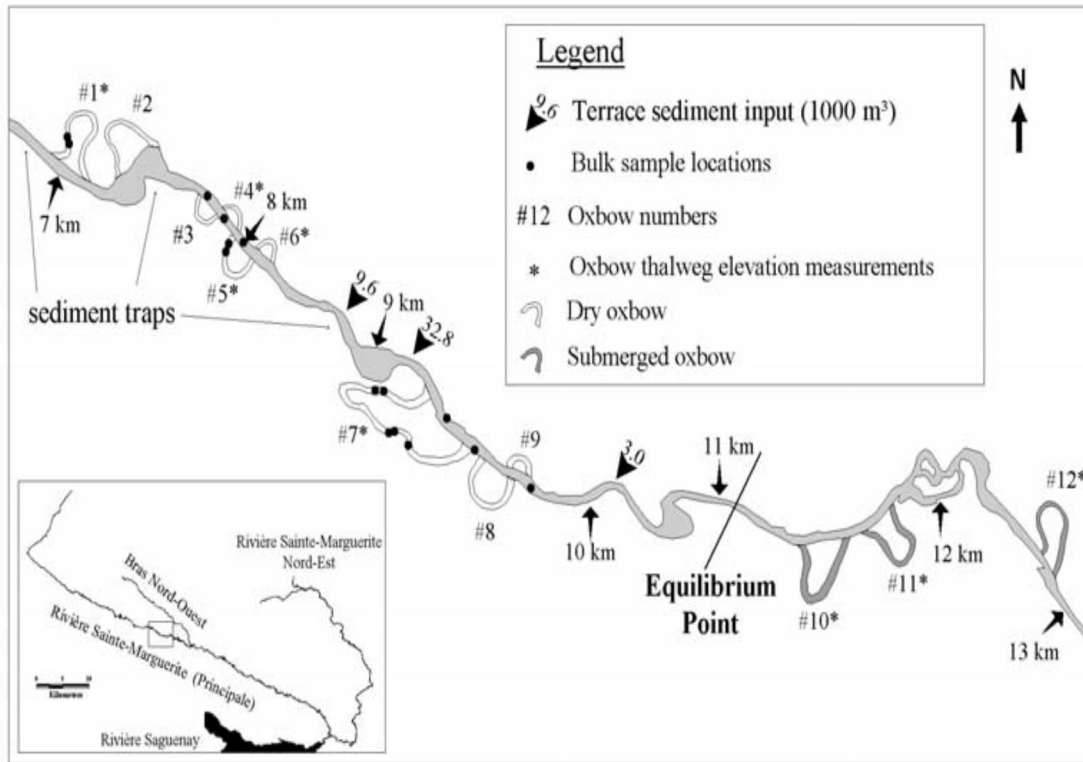
رودخانه سنت مارگاریت به ساگونای جورد منتهی می گردد. حوزه آبریز آن مناطق کوهستانی حفاظتی مونت والین در کبک کانادا با ارتفاع ۵۰۰-۱۰۰۰ متر است. رودخانه دو شاخه اصلی دارد: شاخه شمال شرقی و شاخه اصلی، که هر دو ماهی سالمون آتلانتیک و منطقه ماهیگیری تفریحی قزل آلی مهاجر دریا را دارند. به طور تقریبی ۵۰ کیلومتر از دهانه رودخانه، حوزه ای با بستر سنگ ریزه و شن در شاخه اصلی بالا (یک ناحیه ۵۸۰ کیلومتر مربع را آبریزی می کند) برای تسهیل ساخت

بزرگراه در اوایل دهه ۱۹۶۰ مستقیم سازی شده است. این عملیات مستقیم سازی پیچ و خم های رودخانه در مقیاس بزرگ دارای ۱۲ برکه طوقی شکل است که طول ناحیه مستقیم سازی شده را از ۸/۲ کیلومتر (۱۹۶۰) به ۵/۷ کیلومتر در سال ۱۹۶۵ کاهش و شیب آن را تا حدود ۵۰٪ افزایش داد. هیچ انشعاب مهمی در طول ناحیه ۱۲ کیلومتری که در این تحقیق مدلسازی شده به وجود نمی آید (کیلومتر ۵ تا ۱۷) که در شکل (۴-۱۰) مشاهده می شود، این ناحیه کل بخش مستقیم سازی شده را در بر می گیرد (کیلومتر ۷ تا ۱۳) و تا ۲ کیلومتر در جریان رو به بالا و نیز ۴ کیلومتر در جریان رو به پایین ادامه می یابد. در حوزه مطالعاتی عرض میانگین کانال لبه پر رودخانه سنت مارگاریت ۴۵ متر و جریان سیلابی لبه پر آن تقریباً ۱۸۰ متر مکعب بر ثانیه است. پروفیل طولی فعلی آن، به حالت مقعر و با کاهش شیب بستر از ۰/۰۰۲۴ در کیلومتر ۵ تا ۰/۰۰۰۷۵ در کیلومتر ۱۷ می باشد. در شبیه سازی ها، عرض کانال لبه پر در سراسر حوزه مطالعاتی ثابت فرض شد که با نتایج میدانی و تحلیل عکس های هوایی مطابقت داشت. (تالبوت و لاپوینت^۱، ۲۰۰۲). [۵]



شکل ۴-۹. پلان رودخانه سنت مارگاریت [۵]

¹ Talbot, Lapointe

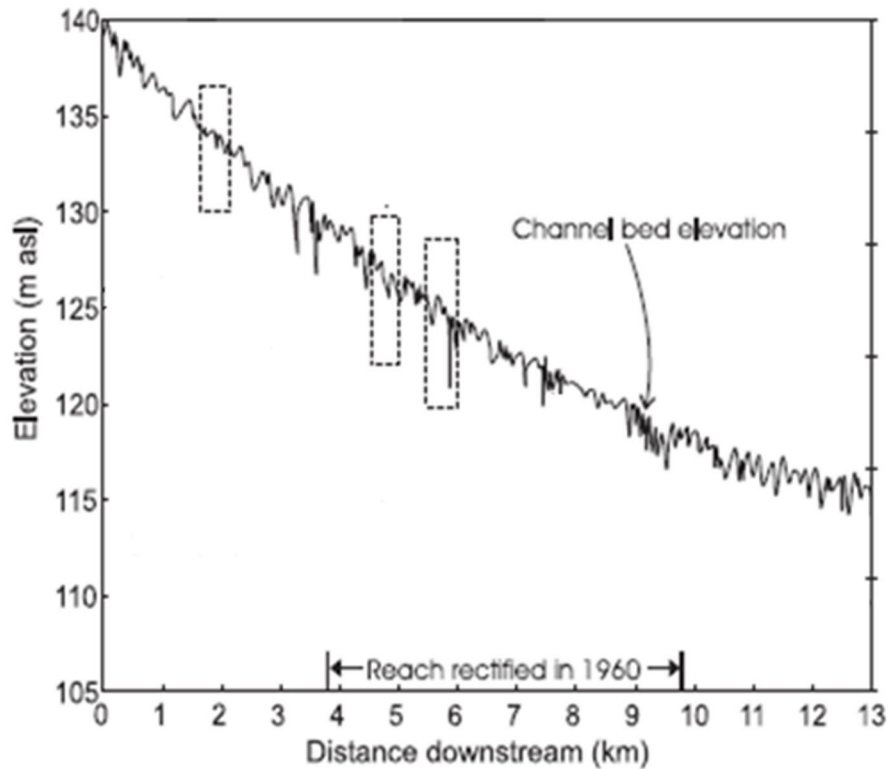


شکل ۴-۱۰. پلان رودخانه سنت مارگاریت [۵]

همان طور که در شکل (۴-۱۰) مشاهده می شود در فاصله ۷ تا ۱۳ کیلومتری رودخانه ۱۲ عدد دریاچه نعل اسبی^۱ وجود دارد که در این میان تعدادی از این دریاچه ها خشک شده اند و تعدادی هم تبدیل به منطقه ای مستغرق در آب شده اند که جریانی در آن وجود ندارد.

نقاط ارتفاعی این رودخانه از روی شکل (۴-۱۱) گرفته شده است. همانطور که در شکل (۵-۶) دیده می شود در هر فاصله طولی، نقطه ارتفاعی آن داده شده است. محور افقی فاصله را بر حسب کیلومتر نشان می دهد و محور عمودی سمت چپ نمودار تراز ارتفاعی کف رودخانه را نشان می دهد. به وسیله این اطلاعات آماری در برنامه نویسی انجام شده، این رودخانه شبیه سازی شده است.

^۱ Oxbow lake



شکل ۴-۱۱ پروفیل رودخانه سنت مارگاریت [۲۵]

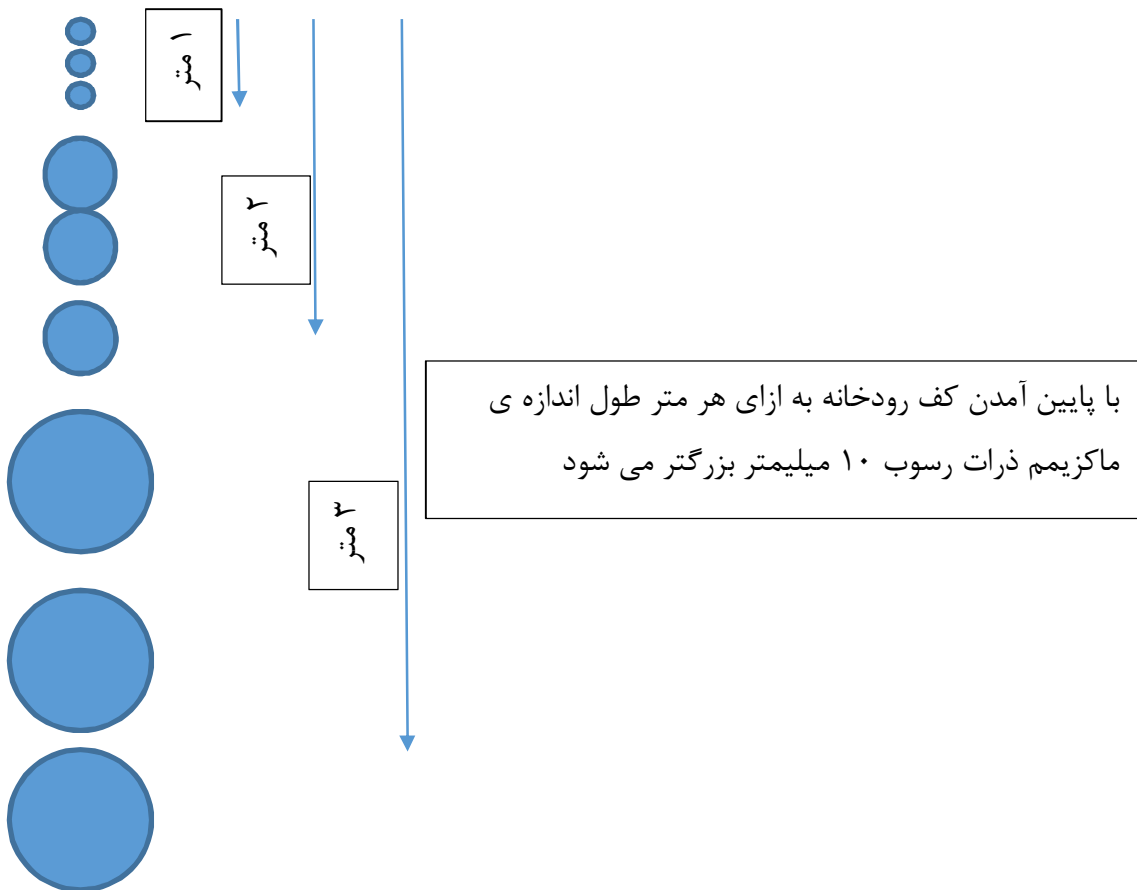
۴-۶-۲. شرح مدل

در این تحقیق با دو حالت مختلف به بررسی و مدل سازی عددی برای تغییرات مورفولوژی رودخانه پرداخته شده است که در ذیل به آن ها پرداخته می شود:

۴-۶-۲-۱. حالت ۱

در این حالت فرض بر این می باشد که در هر نقطه از کف رودخانه اگر از خاک نمونه گیری شود در جهت قائم به ازا هر یک متر پایین رفتن اندازه ذرات آن به اندازه ۱۰ میلی متر افزایش می یابد. که به صورت شماتیک در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است. با کاهش طولی رودخانه به یکباره شیب رودخانه زیاد می شود به همین دلیل سرعت به ناگهان افزایش پیدا کرده و در زمان ابتدا، رودخانه می تواند دانه های بزرگتری از سنگ دانه های کف را با خود برداشته که باعث تشکیل گودال می شود و به پایین دست تا جایی که عملیات مستقیم سازی تمام می شود حمل کند، در آن جا این رسوبات به دلیل افت سرعت ته نشین می شوند. در این حالت به بررسی جداگانه ی بالادست و

پایین دست پرداخته شده است. در این حالت اشکالاتی بوجود می آید، یکی از بزرگترین مشکلات در نظر گرفته نشدن همزمان تغییرات رخ داده در پایین دست و بالادست که این تغییرات روی همدیگر اثر داشته و نمی توان از اثرات آن صرف نظر کرد .



شکل ۴-۱۲. روند تغییرات اندازه دانه ها

۴-۶-۲-۲. حالت (۲)

در این حالت اشکالات و فرضیات که در حالت (۱) در نظر گرفته شده بود تصحیح شده است به عنوان مثال در حالت (۱) رودخانه به ۲ قسمت تقسیم می شود، پایین دست و بالا دست به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین در حالت (۱) در هر مرحله از برنامه نویسی نقاط به صورت جداگانه از هم مورد بررسی قرار گرفته شد که این یعنی اثرات نقاط همسایگی آن ها مورد تاثیر قرار نگرفته به همین دلیل نتایج قابل قبولی گرفته نشده است ولی در حالت (۲) در مراحل

مختلف، هم زمان نقاط همسایگی نقطه مورد نظر مورد بررسی قرار گرفته می‌شود در این حالت به بررسی پایین دست و بالادست هم زمان پرداخته می‌شود.

۴-۶-۳. داده‌های موجود

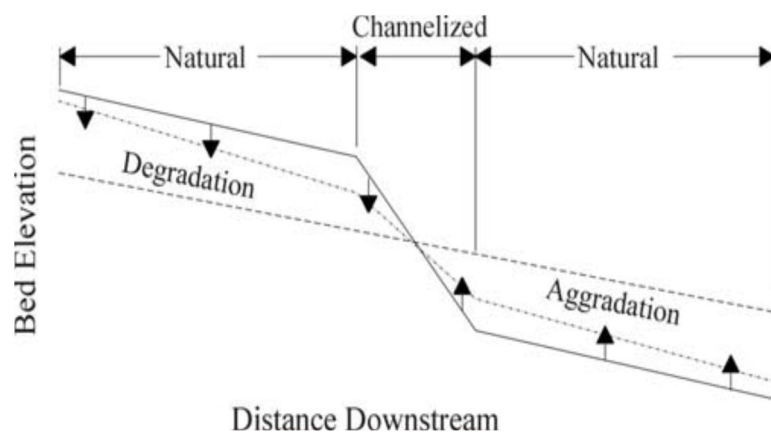
جدول ۴-۱. داده‌های ورودی مدل عددی [۲۶].

پارامتر	مقدار	واحد	شرح پارامتر
Q_{bf}	۱۸۰	$m^3 \cdot sec^{-1}$	دبی حالت پر
I_f	۰.۰۳		ضریب تناوب جریان سیل
α_s	۸		ضریب انتقال رسوب
τ_c^*	۰.۰۴۷		شیلدز بحرانی
d_x	۱۶۷	m	طول هر بازه
C_{zbf}	۲۵		ضریب مقاومت بستر شزی
D	۵۰	mm	خصوصیت اندازه شن
B_f	۴۵	m	عرض دشت سیلابی
d_{x1}	۱۵۰۰۰	m	طول اولیه رودخانه
S_{fi}	۰.۰۰۲		شیب اولیه رودخانه
S_{fore}	۰.۰۰۴		شیب ثانویه رودخانه
L	۱۰۰۰۰	m	طول مختصاتی رودخانه
K_C	۷۵	mm	نرمی ارتفاع
λ_p	۰.۳۵		تخلخل کانال دشت سیلابی
R	۱.۶۵		چگالی مستغرق رسوب
n	۰.۰۴۳		ضریب مانینگ

۴-۶-۴. هندسه مدل

همانطور که در شکل (۴-۱۳) مشاهده می‌شود در این فرایند با شروع مستقیم سازی به دلیل کاهش مسافت بین دو نقطه مورد نظر و ثابت ماندن نقاط ارتفاعی به یک باره شیب افزایش پیدا کرده که این امر به طریق رابطه (۳-۱۹) موجب افزایش سرعت می‌شود و سدیمت بیشتری جابه‌جا می‌کند به همین دلیل در ابتدای این رودخانه و در شروع فرایند گودالی به وجود می‌آید به دلیل کنده شدن رسوبات از کف رودخانه در ابتدای فرایند و ته‌نشین شدن آن‌ها در انتها موجب بالا آمدن کف رودخانه میشود به مرور زمان شیب رودخانه به حالت ثابت و پایداری می‌رسد.

همان طور که در شکل (۴-۱۳) مشاهده می‌شود رودخانه به ۲ قسمت تقسیم بندی می‌شود که یک قسمت شامل منطقه مستقیم سازی شده است و قسمت دیگر شامل بقیه رودخانه که به حالت طبیعی است و تغییری در آن رخ داده نشده است. شیب رودخانه تا شروع منطقه مستقیم‌سازی ثابت که حالت طبیعی خود می‌باشد، بلافاصله بعد از مستقیم سازی در قسمتی که رودخانه مستقیم شده است به یکباره شیب زیاد می‌شود و این شیب تا انتهای مستقیم سازی ثابت بوده و سپس بعد از آن شیب رودخانه دوباره به شکل اولیه خود باز میگردد. این فرایند موجب می‌شود که سرعت به یکباره در ابتدای فرایند مستقیم سازی زیاد شود و همین امر طبق فرمول (۳-۵۱) میزان سدیمت جا به جا شده را بیشتر می‌کند و سپس در انتهای این فرایند به دلیل انتقال به یک شیب کمتر و در نتیجه سرعت کمتر، موجب می‌شود میزان سدیمت کنده شده در بالا دست به این منطقه جا به جا شده و در این جا ته‌نشین شود لذا به مرور زمان کل رودخانه به شیب ثابت خود رسیده و کف رودخانه در بالا دست پایین تر از مقدار قبلی و کف رودخانه در پایین دست بالاتر از ارتفاع آن قبل از فرایند می‌شود.

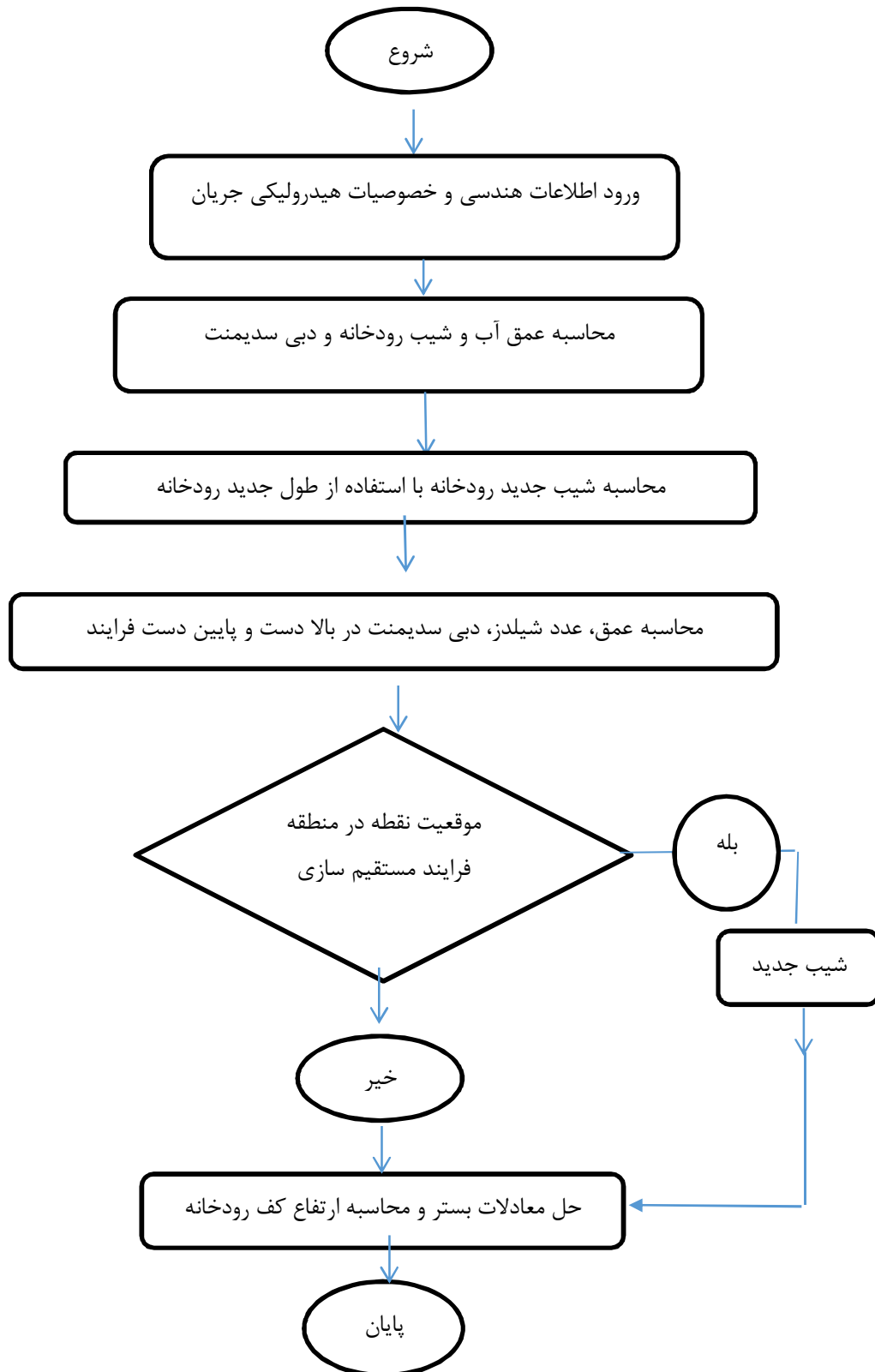


شکل ۴-۱۳. هندسه مدل [۵]

۴-۶-۵. فلوجارت برنامه

مدلسازی با برنامه نویسی به زبان ویژوال بیسیک^۱ انجام شده است. این برنامه با محاسبه شیب، دبی رسوب و نقاط ارتفاعی از قبل مشخص شده در هر لحظه میتواند نقاط ارتفاعی جدید که همان مورفولوژی رودخانه می باشد را محاسبه کرد، همچنین نرخ انتقال رسوب و داده های دیگر را به دست آورد که در ادامه به آن پرداخته می شود. این برنامه مطابق فلوجارت زیر run گرفته شده است.

^۱. visual basic



شکل ۴-۱۴. فلوچارت حل عددی

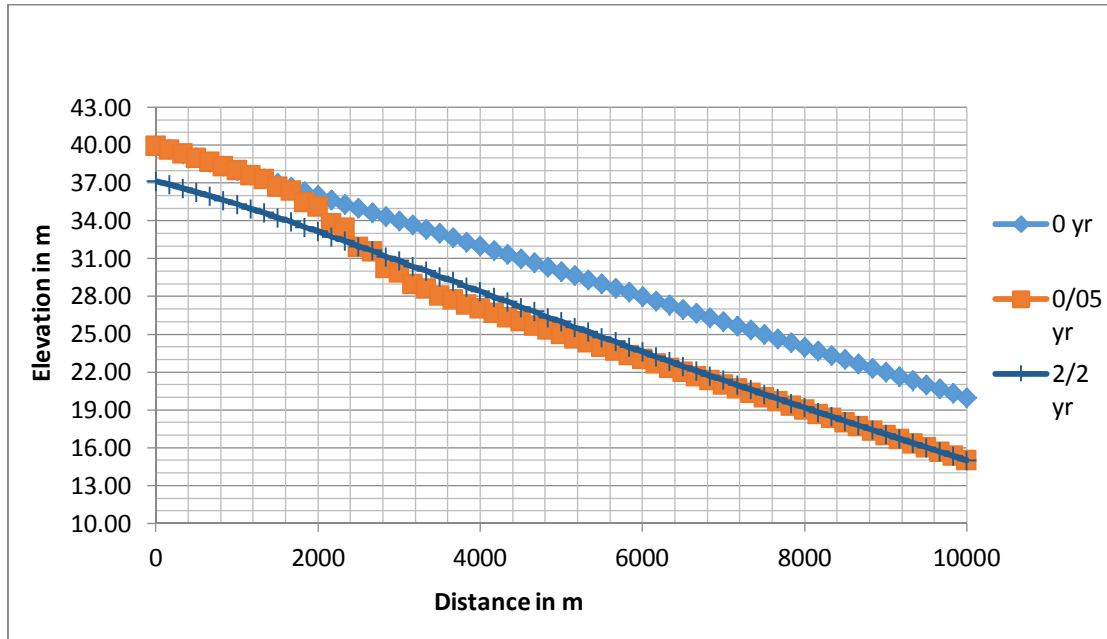
۴-۷. تجزیه و تحلیل مدل

۴-۷-۱. حالت A

در حالت A با افزایش سرعت در بالا دست و کاهش ناگهانی سرعت در پایین دست نرخ انتقال رسوب بیشتر می شود. در این جا با فرض این که بستر رودخانه با پایین آمدن رسوبات کف رودخانه در هر متر، بزرگترین اندازه دانه آن ۱۰ میلی متر بزرگتر شود به بررسی آن پرداخته شده است. هر کدام از نواحی بالا دست و پایین دست به طور جداگانه بررسی شده است. حداکثر اندازه دانه‌ای که رودخانه می تواند حمل کند طی رابطه‌ی (۳-۲۵) محاسبه می شود.

۴-۷-۱-۱. بالا دست رودخانه

با این فرض در ابتدای فرایند مستقیم سازی به علت افزایش ناگهانی شیب کف رودخانه سرعت به ناگهان زیاد شده و همین امر طبق فرمول (۳-۲۵) رسوبات با اندازه دانه‌های بزرگتری جابه جا می شود. در لحظه اولیه که رودخانه مستقیم می شود و در همان مکان شروع فرایند مستقیم سازی، گودالی به وجود می آید که می توان ارتفاع این گودال طبق برنامه محاسبه کرد و همین رسوبات کنده شده به پایین دست رفته و در آن جا ته نشین می شود این رودخانه که از ارتفاع ۴۰ متری شروع می شود و تا ۱۰ کیلومتر بعد که در ارتفاع ۲۰ متری مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد که نتایج آن در شکل (۴-۱۵) مشاهده می شود:



شکل ۴-۱۵. شیب گودال به مرور زمان

همان طور که در شکل (۴-۱۶) مشاهده می‌شود در قسمت مشخص شده گودالی به وجود آمده است این منطقه مربوط به رودخانه پرایری و در محل شروع فرایند مستقیم‌سازی می‌باشد.

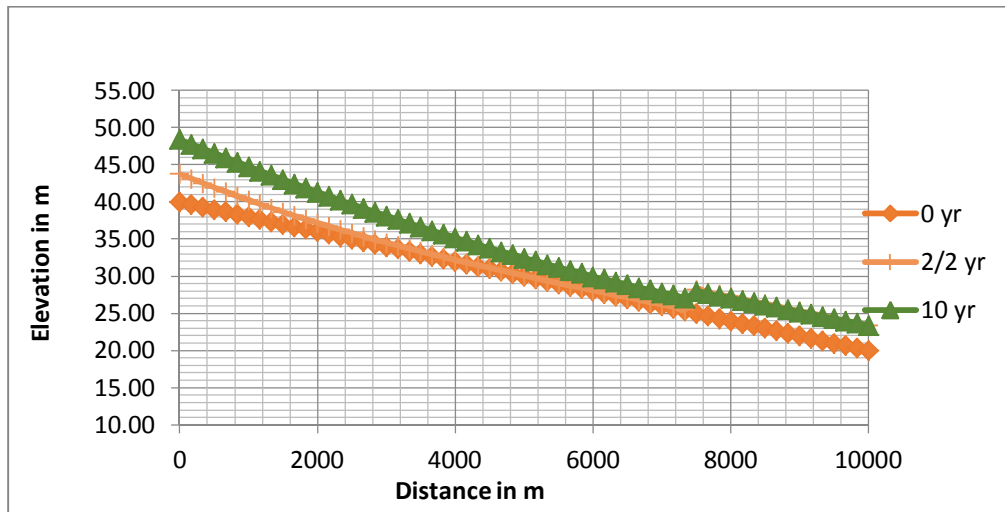


شکل ۴-۱۶. گودال به وجود آمده در بالادست رودخانه پرایری [۲۷]

همانطور که ملاحظه می شود در ابتدای فرایند مستقیم سازی یعنی در بالادست رسوبات به سرعت کنده شده و یک گودال را بوجود می آورد که به مرور زمان این گودال از بین رفته و رودخانه به یک شیب تقریباً یکسان نزدیک می شود. در بالا دست جریان رودخانه از ارتفاع ۴۰ متری شروع و در فاصله ۱۰ کیلومتری ارتفاع کف رودخانه ۲۰ متر می باشد ولی بعد از ۲.۲ سال ارتفاع کف در بالا دست پایین تر از زمان قبل فرایند مستقیم سازی می شود که تقریباً ارتفاع کف رودخانه ۳۷ متر می شود ولی در پایین دست ارتفاع کف همان ارتفاع قبل از فرایند معادل ۲۰ می باشد .

۴-۷-۱-۲. پایین دست رودخانه

حال در پایین دست با کاهش ناگهانی شیب ، سرعت کاهش پیدا کرده که همین امر موجب می شود تا دبی رسوب در آنجا کاهش پیدا کند و با فرض این که بستر رودخانه با پایین آمدن رسوبات کف رودخانه در هر متر بزرگترین اندازه دانه آن ۱۰ میلی متر بزرگتر شود . وقتی سرعت آب رودخانه کاهش پیدا کند رودخانه دیگر نمی تواند دانه های درشت تر را با خود حمل کند و در همان جا ته نشین می شود. که نتایج آن در شکل (۴-۱۷) قابل مشاهده می باشد.



شکل ۴-۱۷. شیب پایین دست به مرور زمان

همان طور که در شکل (۴-۱۸) مشاهده می شود کف رودخانه با ته نشین شدن رسوبات در پایین دست سبب می شود آب رودخانه بالا برود و همین امر موجب می شود تا وقتی سطح آب مقداری بالا رود، آب به زمین های اطراف رودخانه سرریز شود.



شکل ۴-۱۸. بالا آمدن سطح آب در پایین دست [۲۷]

نتایج که به دست آمده در پایین دست با نتایجی که عکس های ماهواره ای و نتایج بدست آمده در رودخانه ها و همچنین آمار نشان داده شده ، نشان می دهد که باید فرض اصلاح شود.

۴-۷-۲. حالت B

در این حالت دیگر فرض حالت A مبنی بر این که کف رودخانه در هر متر ، بزرگترین اندازه دانه آن ۱۰ میلی متر بزرگتر شود در نظر گرفته نشده است و همچنین جدا کردن بالا دست و پایین دست از هم و بررسی جداگانه ی هر کدام فرض اشتباهی است به دلیل اینکه هر تغییری در بالا دست و یا پایین دست رخ دهد بر روی کل نقاط رودخانه اثر گذاشته و تحت تاثیر یکدیگر تغییر می کنند و تاثیر این دو با هم را هم زمان باید در نظر گرفت . حال بالا دست و پایین دست همزمان با هم مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۸. اعتبار سنجی

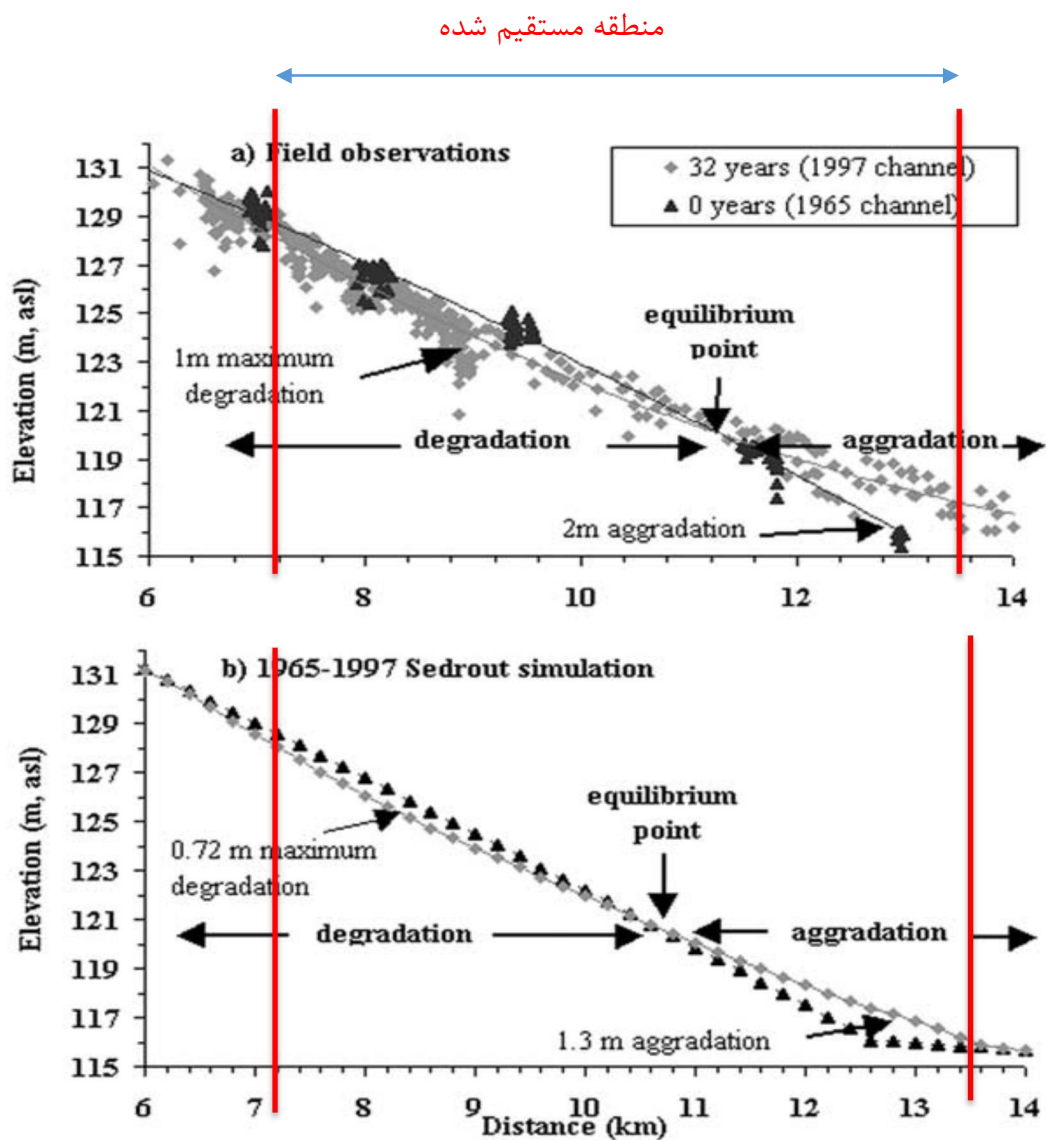
برای اعتبار سنجی از اطلاعات رودخانه سنت مارگاریت که اطلاعات آن در قسمت ۴-۶-۱ ذکر گردید استفاده شده است. تالبوت و همکاران اطلاعات مربوط به این رودخانه را از سالهای ۱۹۶۵ تا ۱۹۹۷ داشتند و توانستند بوسیله آن صحت شبیه سازی های عددی خود را به اثبات برسانند. این شبیه سازی با دبی خود رودخانه یعنی ۱۸۰ متر مکعب در ثانیه و فرایند مستقیم سازی از کیلومتر ۷ تا کیلومتر ۱۳ ادامه پیدا می کند. تا سال ۱۹۹۷ بیشترین میزان پائین آمدگی کف (در مقایسه با سطوح بستر ۱۹۹۷) در کیلومتر ۸/۲ و بیشترین میزان بالا آمدگی کف در کیلومتر ۱۴/۳ است.

همانطور که شواهد میدانی تایید کردند (تالبوت و لاپوینت، ۲۰۰۲، که در ۳۲ سال اول فرسایش رسوب بستر شبیه سازی شده) ، شبیه سازی ها نیز نشان می دهند که بیشترین پائین آمدگی در ابتدای حوزه یکسویه سازی شده (کیلومتر ۷) اتفاق نمی افتد بلکه در ۱ الی ۲ کیلومتر به سمت پایین دست بین کیلومتر ۸ و ۹ روی می دهد. نقطه حداکثر فرسایش طبق مشاهدات عینی و عکس های هوایی در کیلومتر ۸/۸ اتفاق افتاده است ولی طبق برنامه شبیه سازی شده توسط آقایان تالبوت و لاپوینت حداکثر رسوب در رودخانه تقریباً ۶۰۰ متر دورتر از جریان ، به سمت پایین دست حدوداً کیلومتر ۹/۴ اتفاق می افتد که در این تحقیق نتیجه بهتری گرفته شده است و این نقطه در ۸/۱۵ بدست آمده است.

نقطه تعادل طبق مشاهدات عینی و عکس های هوایی در کیلومتر ۱۱/۳ اتفاق افتاده است ولی طبق برنامه شبیه سازی شده توسط آقایان تالبوت و لاپوینت نقطه تعادل ۷۰۰ متر زودتر از جریان در جهت بالادست حدوداً کیلومتر ۱۰/۶ به دست آورده اند در این تحقیق توانسته شد به نتایج بهتری دست یافت و این نقطه در ۱۱/۲ بدست آمده است .

بیشترین نشست طبق مشاهدات عینی و عکس های هوایی در کیلومتر ۱۴/۳ اتفاق افتاده است ولی طبق برنامه شبیه سازی شده توسط آقایان تالبوت و لاپوینت نقطه بیشترین نشست ۱۶۰۰ متر زودتر

از جریان در جهت بالا دست حدودا کیلومتر $12/7$ به دست آورده‌اند که در این تحقیق توانسته شد نتایج بهتری دست یافت و این نقطه با خطای $0/15$ در کیلومتر $14/45$ بدست آمده است که در شکل ۴-۱۹ مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۱۹. نقاط ارتفاعی در رودخانه به وسیله شواهد و شبیه سازی تالیوت [۵] با توجه به صحت مورفولوژی، شیب و نقاط ارتفاعی بدست آمده می توان به داده های بیشتری مانند نرخ انتقال دبی رسوبات و شیب و غیره دست یافت.

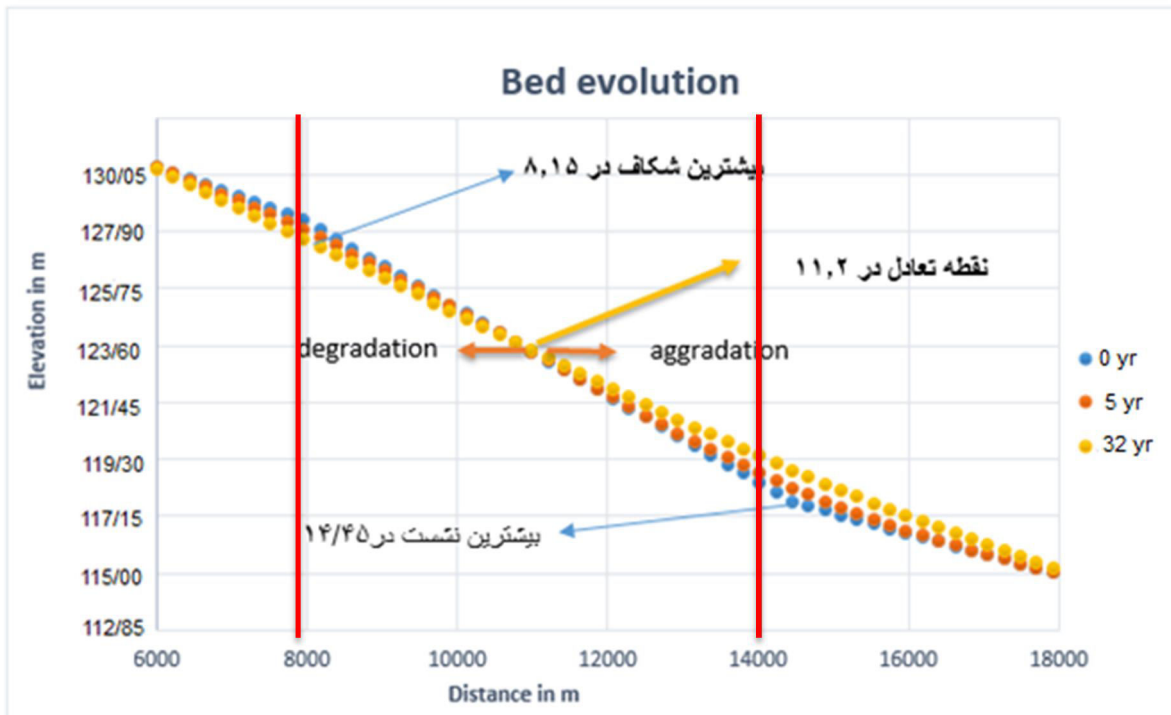
۴-۹. تحلیل و مقایسه اطلاعات و داده‌ها

۴-۹-۱. مورفولوژی

همان طور که در شکل (۴-۲۰) مشخص است در بالا دست به دلیل افزایش سرعت، میزان انتقال دبی افزایش پیدا می‌کند همین امر باعث می‌شود تا به مرور زمان رسوبات از آن جا برداشته شده و در پایین دست به علت کاهش سرعت رودخانه (کاهش شیب) ته نشین می‌شود.

با کاهش انتقال رسوب در پایین دست موجب بالا آمدن ارتفاع کف رودخانه می‌شود که مشکلاتی بوجود می‌آید که در قسمت نتایج به آن پرداخته می‌شود.

منطقه مستقیم شده



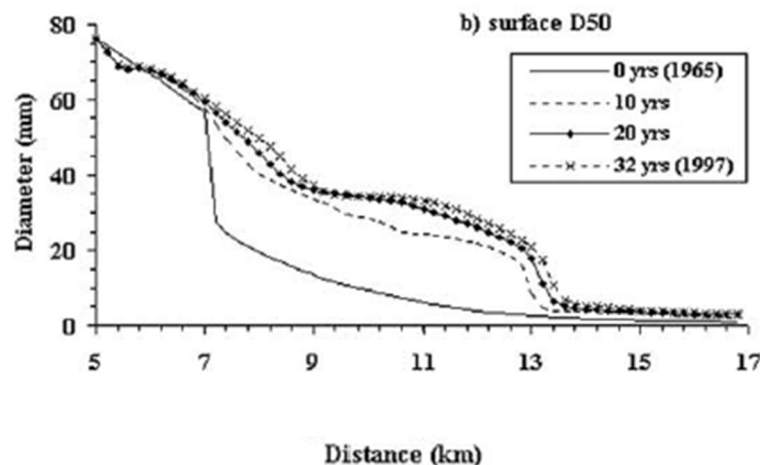
شکل ۴-۲۰ تغییرات مورفولوژی

همانطور که در شکل (۴-۲۰) ملاحظه می‌کنید در بالا دست، منطقه‌ی مورد بررسی رودخانه از ارتفاع ۱۳۲ متری شروع می‌شود و در فاصله ۱۲ کیلومتری ارتفاع کف رودخانه ۱۱۵ متر می‌باشد ولی بعد از

۳۲ سال ارتفاع کف در بالا دست همان ۱۳۲ متر و ارتفاع در پایین دست نیز همان ارتفاع قبل از فرایند ۱۱۵ متر می‌باشد این یعنی شیب رودخانه در اوایل این فرایند به صورت ناپایدار زیاد می‌شود ولی با مرور زمان این شیب به همان شیب قبل از فرایند نزدیک می‌شود که طبق نظریه پارکر صحیح می‌باشد.

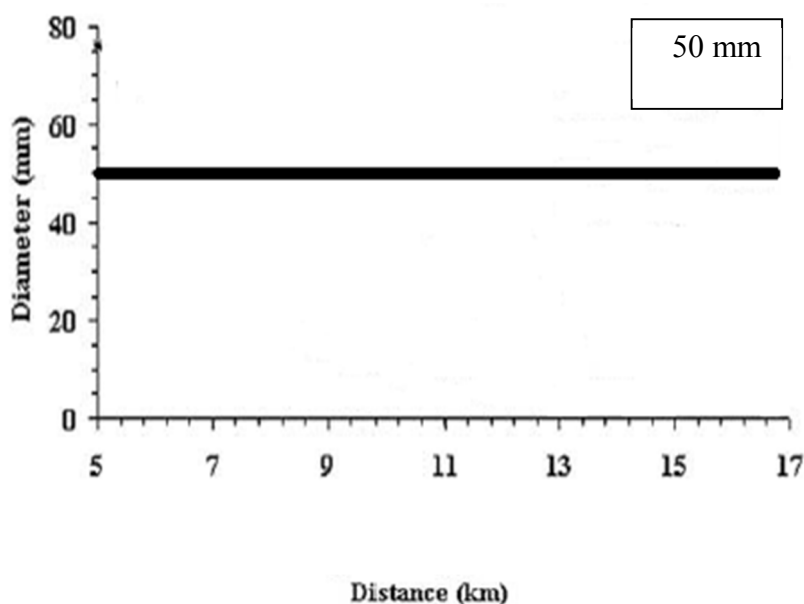
D50. ۲-۹-۴

همانطور که در شکل (۴-۲۱) مشاهده می‌شود به دلیل اینکه قسمتی که رودخانه مستقیم شده است و تا قبل از اینکه جریانی در رودخانه صورت نگیرد ماسه‌های با اندازه‌های ریزتری روی بستر رودخانه قرار دارند همانند بستر رودخانه از بستر طبیعی خود بهره مند نیست به همین خاطر وقتی رودخانه بعد از عملیات مستقیم سازی، جریان وارد این قسمت می‌شود به طور ناگهانی با افت D50 مواجه می‌شود. ولی در طی سالیان متوالی به شکل عادی خود بازگشته و در طول سالیان دراز دیده می‌شود در پایین دست وقتی سرعت به ناگهان کاسته می‌شود با افت شدید D50 مواجه می‌شویم به دلیل اینکه هر چه سرعت کاسته شود اندازه دانه‌های کوچکتری را می‌تواند حمل کند. در شکل (۴-۲۱) نتایج تحقیق لاپوینت و همکاران می‌باشد.



شکل ۴-۲۱ نمودار D50 رودخانه طی مرور زمان [۵]

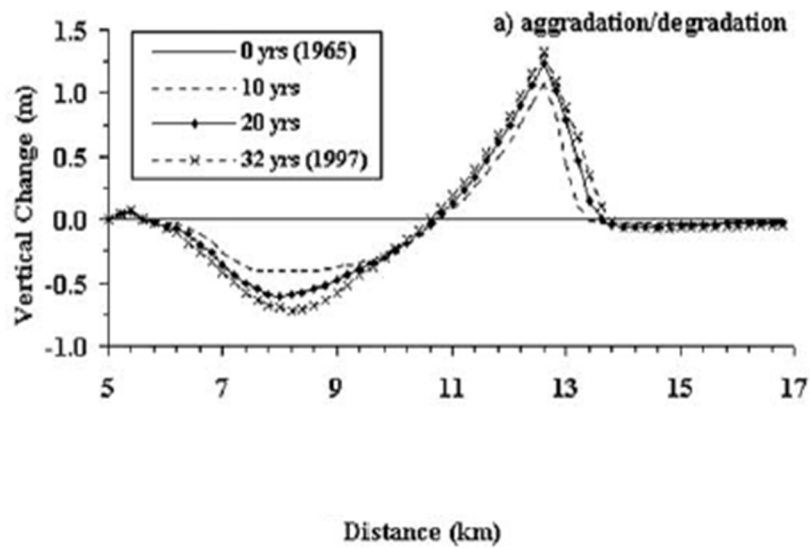
ولی در این برنامه ثابت بودن اندازه دانه ها فرض شده است یعنی از ابتدا تا انتهای رودخانه D_{50} رودخانه یک مقدار و برابر ۵۰ میلیمتر می باشد که در شکل (۴-۲۲) مشاهده می شود.



شکل ۴-۲۲ نمودار D_{50} رودخانه فرض شده در برنامه

۴-۹-۳. میزان برداشت و ته نشین شدن رسوبات

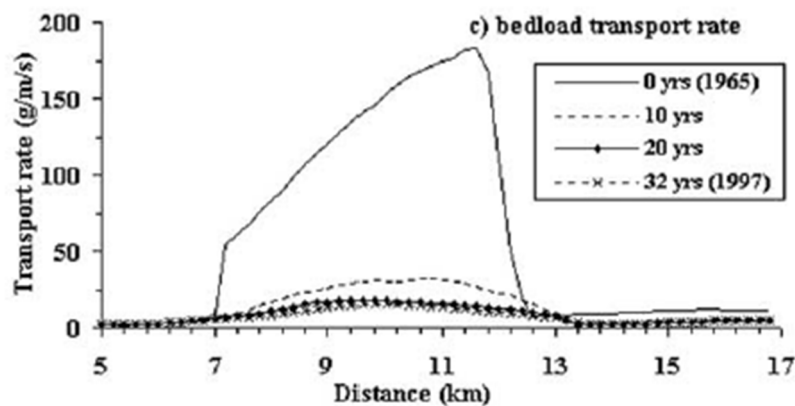
همانطور که در شکل (۴-۲۳) مشاهده می شود میزان برداشت و انتقال رسوب در نیمه اول تا نقطه تعادل بیشتر از نیمه دوم است زیرا در ابتدا با افزایش ناگهانی شیب، با توجه به رابطه (۳-۱۹) سرعت بالا رفته و در انتها با کاهش شیب، سرعت کاهش پیدا می کند به همین دلیل با نشست رسوب مواجه خواهیم شد. شکل (۴-۲۳) منحنی میزان برداشت و رسوب رودخانه سنت مارگاریت که توسط لاپوینت و همکارانش مورد تحقیق قرار گرفته را نشان می دهد.



شکل ۴-۲۳ نمودار فرسایش نشست رودخانه طی مرور زمان [۵]

۴-۹-۴. میزان انتقال رسوب

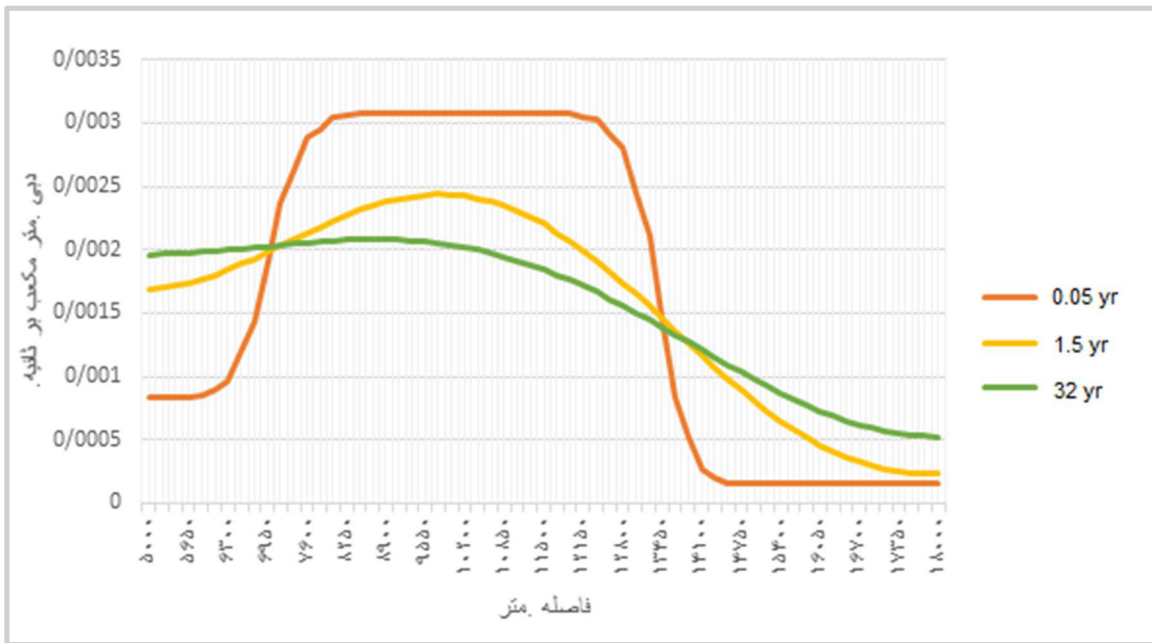
همان‌طور که در شکل (۴-۲۴) مشاهده می‌شود در رودخانه سنت مارگاریت با شروع فرآیند مستقیم سازی با افزایش سرعت، میزان قابل توجهی رسوب برداشته می‌شود و در انتهای این فرآیند با کاهش ناگهانی سرعت جریان، میزان انتقال رسوب کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۴-۲۴. نمودار نرخ انتقال رسوب رودخانه طی مرور زمان [۵]

همان‌طور که در شکل (۴-۲۵) دیده می‌شود نرخ انتقال رسوب قبل از اینکه فرآیند مستقیم سازی انجام شود با توجه به کاهش سرعت (کاهش شیب) در طول رودخانه هر چه از بالادست به پایین دست حرکت شود، نرخ انتقال رسوب نیز کمتر می‌شود. با شروع فرآیند مستقیم سازی و طبق نمودار بالا در

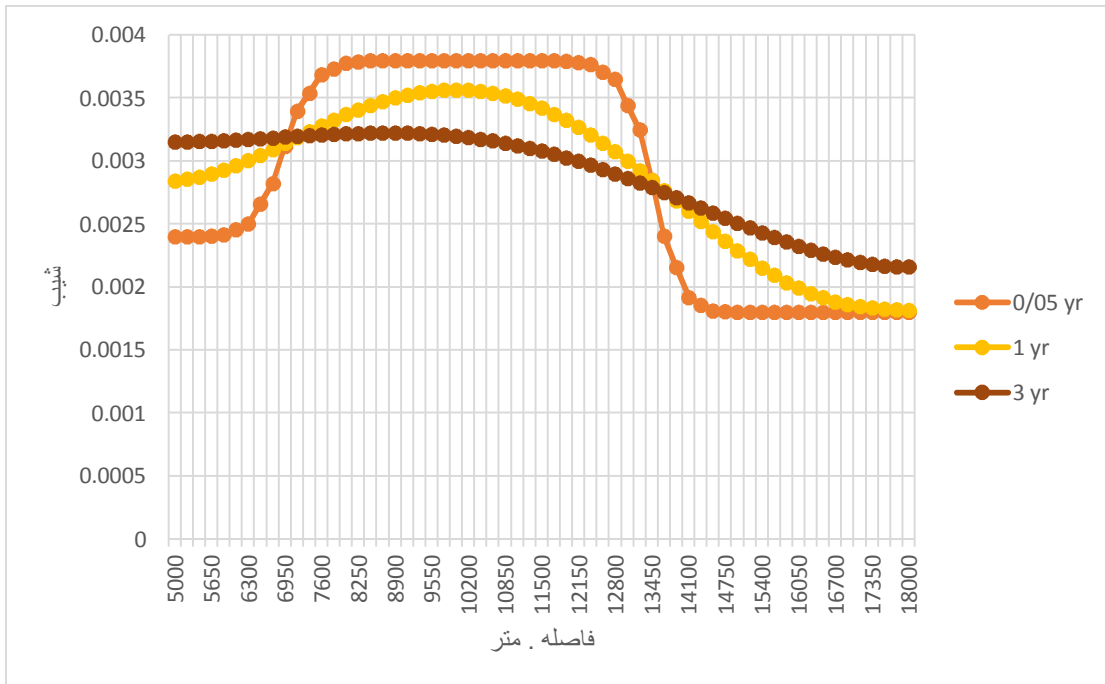
۰.۰۵ سال بعد از فرایند نرخ انتقال رسوب تا نیمه راه افزایش پیدا کرده و به ماکزیمم خود می‌رسد و چون در پایین دست (فاصله ۱۴۴۵۰ متری) دوباره شیب به همان شیب قبلی خود باز می‌گردد نرخ انتقال رسوب به تدریج کاسته شده تا به مینیمم خود در پایین دست می‌رسد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد در اوایل فرایند مستقیم سازی در بالادست ، بالاتر از منطقه مستقیم شده، نرخ انتقال رسوب کاسته می‌شود ولی بعد از گذشت سالیان دراز این نرخ به همان حالت قبل از فرایند باز می‌گردد.



شکل ۴-۲۵. نرخ انتقال رسوب

۴-۹-۵. شیب رودخانه

طی مرور زمان شیب رودخانه به یک حالت پایدار رسیده و به همین خاطر نرخ انتقال رسوب تقریباً یک خط صاف شده و به حالت پایدار خود میرسد. شکل (۴-۲۶) تغییرات شیب رودخانه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۶. نرخ تغییرات شیب

۴-۱۰. انواع مدل رودخانه

۴-۱۰-۱. مدل رودخانه دروگا

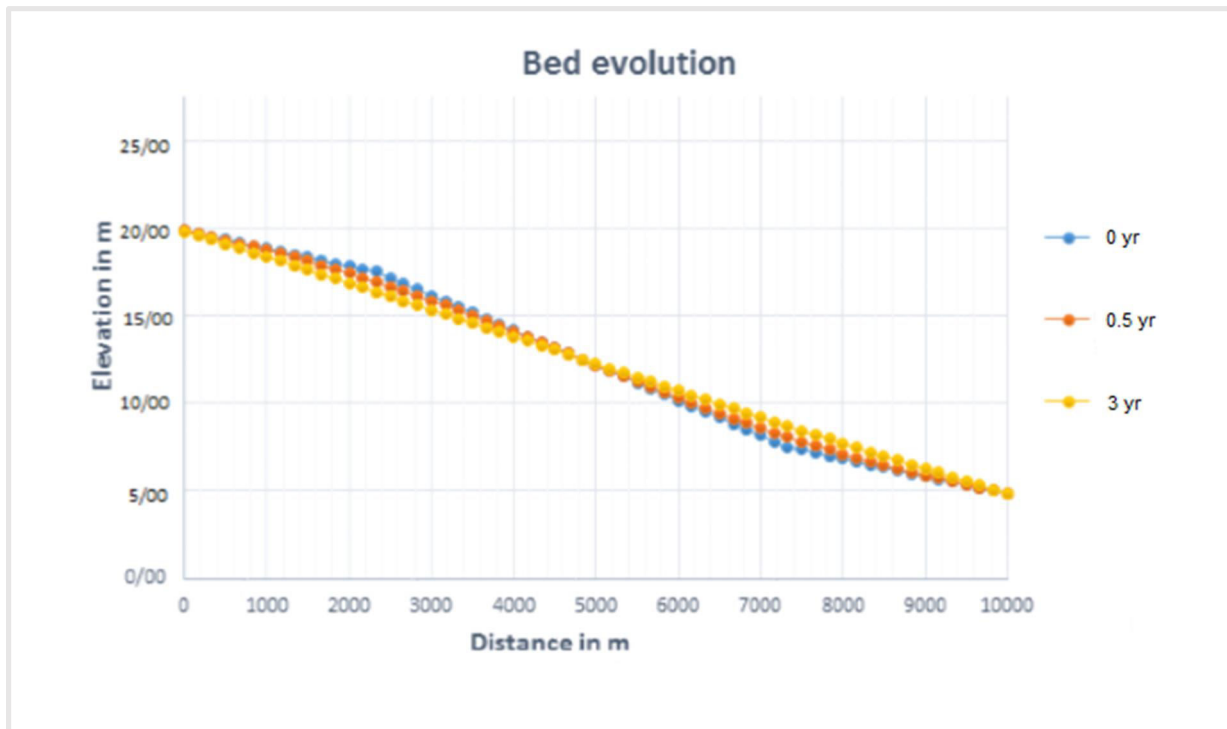
در این مدل طبق داده های رودخانه دروگا^۱ واقع در شمال لهستان که حدود مساحت ۵۳۴۳.۵ کیلومتر مربع را در بر می گیرد و طول آن نزدیک به ۲۰۷ کیلومتر می باشد دبی این رودخانه بین ۹ تا ۴۵ متر مکعب بر ثانیه و به طور متوسط ۱۶ متر مکعب بر ثانیه می باشد، پردازش صورت می گیرد. [۴]

¹ Drwęca River



شکل ۴-۲۷. پلان رودخانه دروکا [۴]

در این مدل قسمتی از رودخانه مورد بررسی قرار می‌گیرد که از ۲۵۰۰ تا ۷۵۰۰ متری رودخانه (۱۰ کیلومتر از طول رودخانه دروکا) فرایند مستقیم سازی انجام شده و نتایج زیر مطابق شکل‌های (۴-۲۸) تا (۴-۳۱) به دست آمده است:

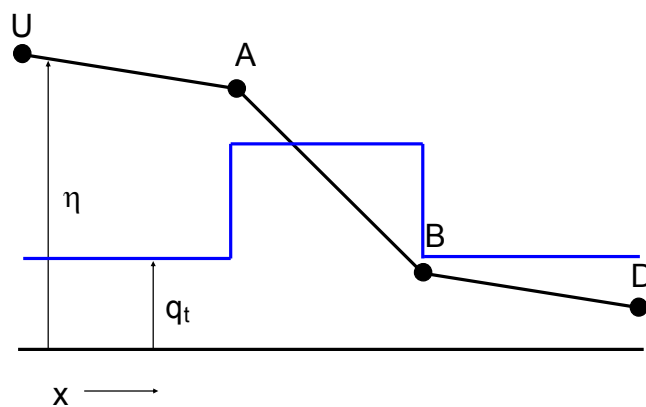


شکل ۴-۲۸. مورفولوژی رودخانه دروکا

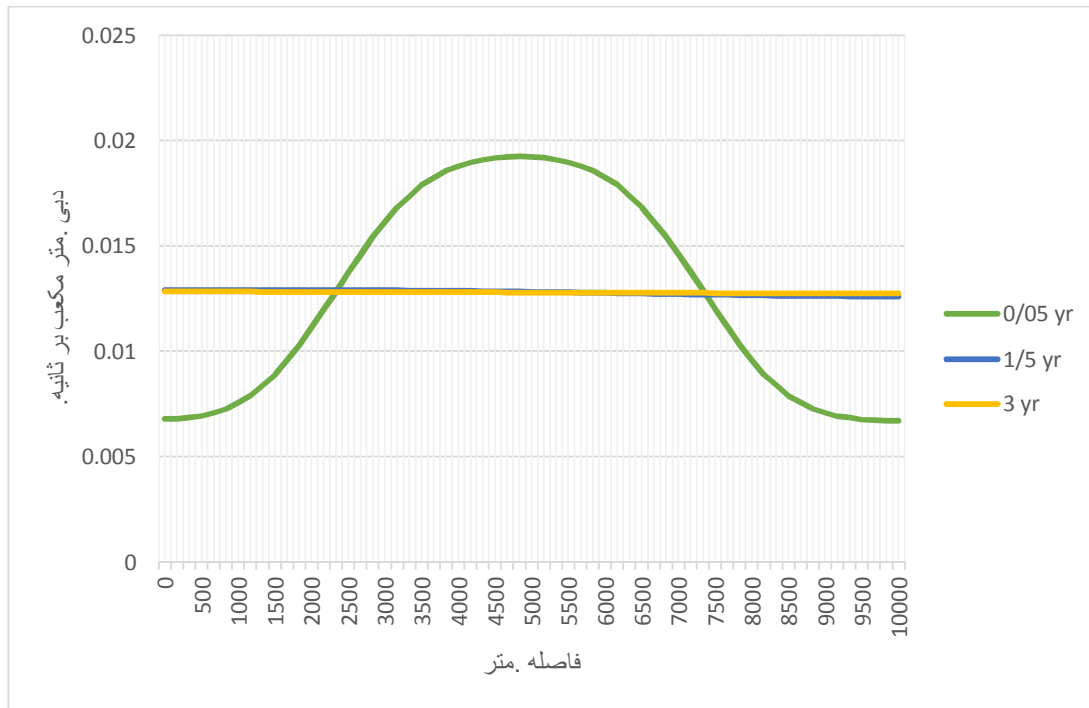
همان طور که در شکل (۴-۲۸) ملاحظه می‌شود از نقطه ۲۵۰۰ متر تا ۷۵۰۰ متر فرایند مستقیم سازی انجام شده است همانطور که مشخص است در بالادست به دلیل افزایش سرعت، میزان انتقال دبی رسوب افزایش پیدا می‌کند همین امر باعث می‌شود تا به مرور زمان رسوبات از آن جا برداشته شده و در پایین دست به علت کاهش سرعت رودخانه (کاهش شیب) ته‌نشین شود.

کاهش انتقال رسوب در پایین دست موجب بالا آمدن ارتفاع کف رودخانه می‌شود که مشکلاتی بوجود می‌آید. در بالادست جریان کف رودخانه از ارتفاع ۲۰ متری شروع و در فاصله ۱۰ کیلومتری ارتفاع کف رودخانه ۵ متر می‌باشد ولی بعد از ۳ سال ارتفاع کف در بالادست همان ۲۰ متر و ارتفاع در پایین دست نیز همان ارتفاع قبل از فرایند یعنی ۵ متر می‌باشد این یعنی شیب رودخانه در اوایل این فرایند به صورت ناپایدار زیاد می‌شود ولی با مرور زمان این شیب به همان شیب قبل از فرایند نزدیک می‌شود که طبق نظریه پارکر صحیح می‌باشد.

با توجه به شکل (۴-۲۹) همان طور که پارکر نشان داده با توجه به شروع فرایند مستقیم سازی در نقطه A، نرخ انتقال رسوب به یک باره افزایش پیدا می‌کند و در پایان این فرایند با کاهش شیب نرخ انتقال رسوب به یک باره کاهش شدیدی پیدا می‌کند. درستی نتایج بدست آمده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



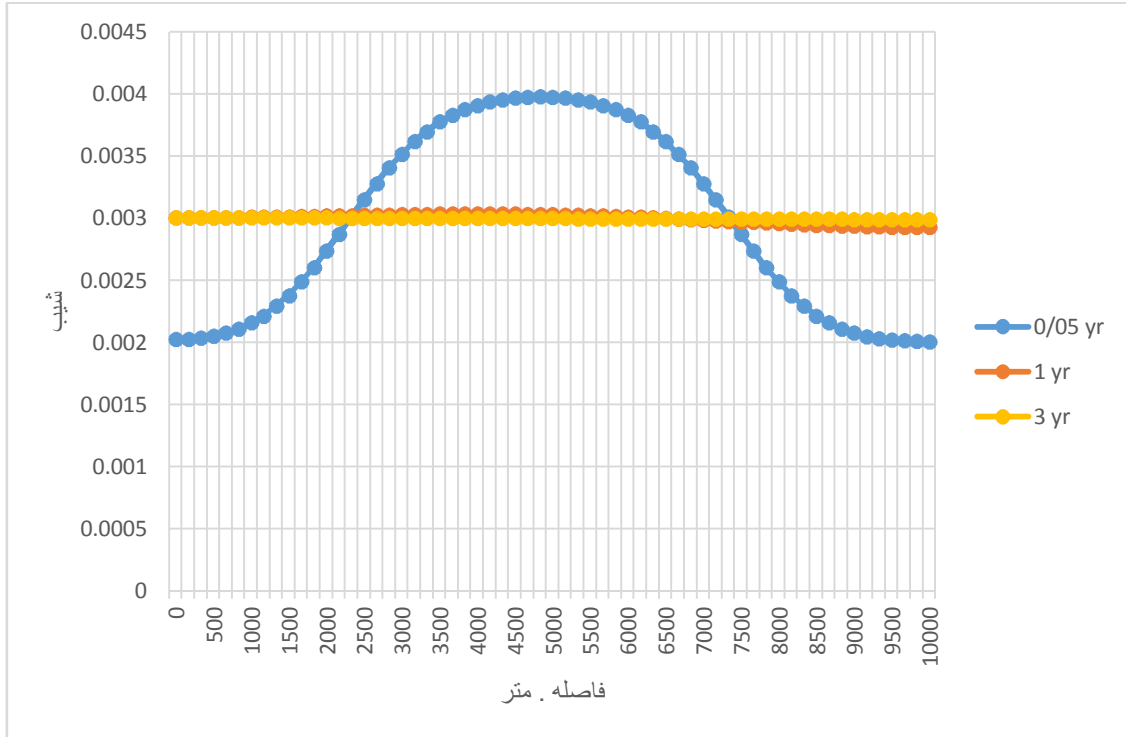
شکل ۴-۲۹. نرخ تغییرات انتقال رسوب پارکر



شکل ۴-۳۰. نرخ تغییرات دبی رسوب

همانطور که در شکل (۴-۳۰) ملاحظه می‌شود نرخ انتقال رسوب قبل از اینکه فرایند مستقیم سازی انجام شود باتوجه به کاهش سرعت (کاهش شیب) در طول رودخانه هر چه از بالا دست به پایین دست حرکت شود، نرخ انتقال رسوب نیز کمتر می‌شود. با شروع فرایند مستقیم سازی و طبق نمودار بالا در ۰.۰۵ سال بعد از فرایند نرخ انتقال رسوب تا نیمه راه، افزایش پیدا کرده و به ماکزیمم خود می‌رسد و به علت اینکه در پایین دست (فاصله ۷۵۰۰ متری) دوباره شیب به همان شیب قبلی خود باز می‌گردد نرخ انتقال رسوب به تدریج کاسته شده تا به مینیمم خود در پایین دست می‌رسد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد در اوایل فرایند مستقیم سازی در بالادست، بالاتر از منطقه مستقیم سازی شده، نرخ انتقال رسوب کاسته می‌شود ولی بعد از گذشت سالیان دراز این نرخ به همان حالت قبل از فرایند باز می‌گردد.

طی مرور زمان شیب رودخانه به یک حالت پایدار رسیده و به همین خاطر نرخ انتقال رسوب تقریباً یک خط صاف شده و به یک حالت پایدار رسیده است.



شکل ۴-۳۱. تغییرات شیب

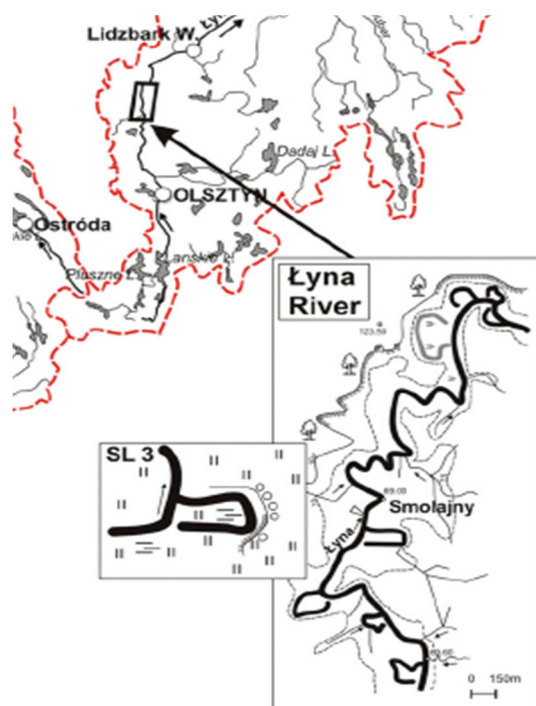
تغییرات بوجود آمده بابت تغییرات شیب رودخانه است. طی فرایند مستقیم سازی در این رودخانه شیب از ۰.۰۰۲ به ۰.۰۰۴ (از نقطه ۲۵۰۰ تا ۷۵۰۰) متر تبدیل شده است.

طی مرور زمان اختلاف شیب کمتر شده و به یک شیب پایدار که در این نمونه ۰.۰۰۳ می باشد رسیده است.

۴-۱۰-۲. مدل رودخانه لینا

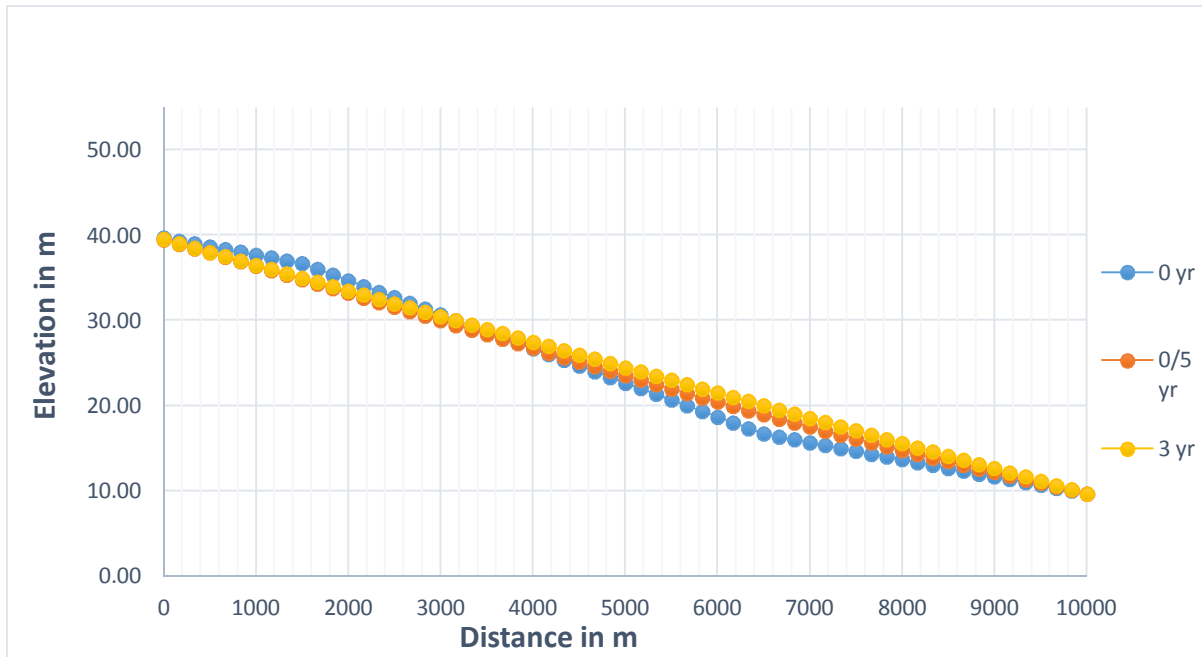
در این مدل طبق داده های رودخانه لینا^۱ واقع در شمال لهستان که حدود مساحت ۷۱۲۶ کیلومتر مربع را در بر می گیرد و طول آن نزدیک به ۲۶۴ کیلومتر می باشد دبی این رودخانه بین ۷ تا ۳۵ متر مکعب بر ثانیه و به طور متوسط ۱۴ متر مکعب بر ثانیه می باشد، پردازش صورت می گیرد. [۴]

^۱ Lyna River



شکل ۴-۳۲. پلان رودخانه لینا [۴]

در این مدل قسمتی از رودخانه مورد بررسی قرار می‌گیرد که از ۱۶۶۶ متر تا ۶۶۶۶ متر طول رودخانه فرایند مستقیم سازی انجام شده و نتایج زیر مطابق شکل های (۴-۳۳) تا (۴-۳۵) به دست آمده است.

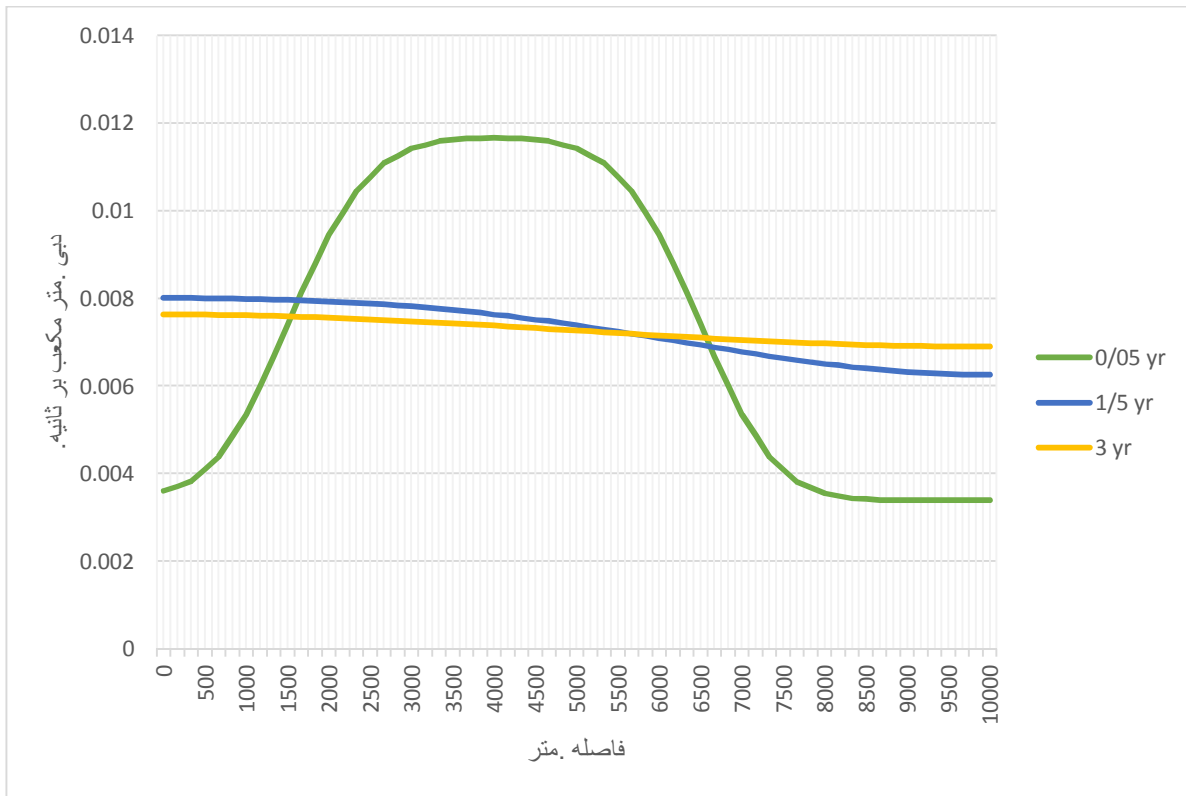


شکل ۴-۳۳. مورفولوژی رودخانه

همان طور که در شکل (۴-۳۳) ملاحظه می شود از نقطه ۱۶۶۶ متر تا ۶۶۶۶ متر فرایند مستقیم سازی انجام می شود همانطور که مشخص است در بالا دست به دلیل افزایش سرعت ، میزان انتقال دبی رسوب افزایش پیدا می کند همین امر باعث می شود تا به مرور زمان رسوبات آن جا برداشته شده و در پایین دست به علت کاهش سرعت رودخانه (کاهش شیب) ته نشین شود .

کاهش انتقال رسوب در پایین دست موجب بالا آمدن ارتفاع کف رودخانه می شود که مشکلاتی بوجود می آید.

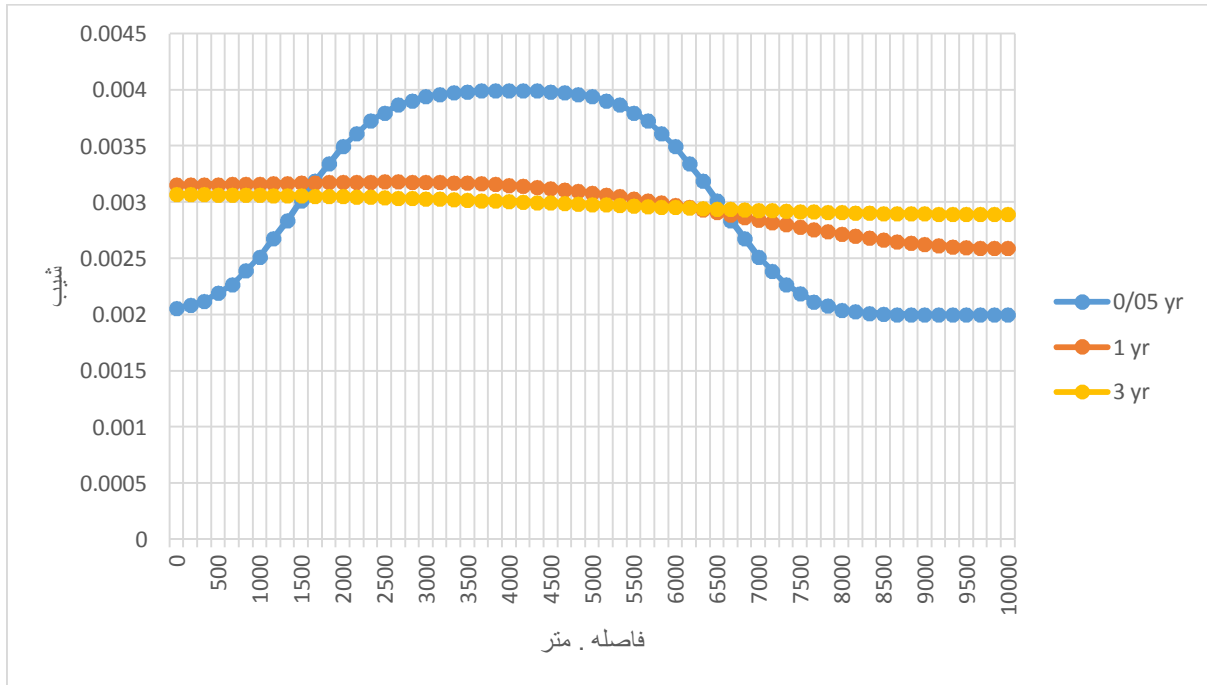
در بالا دست جریان کف رودخانه از ارتفاع ۴۰ متری شروع و در فاصله ۱۰ کیلومتری ارتفاع کف رودخانه ۱۰ متر می باشد ولی بعد از ۳ سال ارتفاع کف در بالادست همان ۴۰ متر و ارتفاع در پایین دست نیز همان ارتفاع قبل از فرایند ۱۰ متر می باشد این یعنی شیب رودخانه در اوایل این فرایند به صورت ناپایدار زیاد می شود ولی با مرور زمان این شیب به همان شیب قبل از فرایند نزدیک می شود که طبق نظریه پارکر صحیح می باشد.



شکل ۴-۳۴. نرخ تغییرات دبی رسوب

همانطور که در شکل (۴-۳۴) مشاهده می‌شود نرخ انتقال رسوب قبل از اینکه فرایند مستقیم سازی انجام شود با توجه به کاهش سرعت (کاهش شیب) در طول رودخانه هر چه از بالا دست به پایین دست حرکت شود، نرخ انتقال رسوب نیز کمتر می‌شود. با شروع فرایند مستقیم سازی و طبق نمودار بالا در ۰.۰۵ سال بعد از فرایند نرخ انتقال رسوب تا نیمه راه افزایش پیدا کرده و به ماکزیمم خود می‌رسد و چون در پایین دست (فاصله ۶۶۶۶ متری) دوباره شیب به همان شیب قبلی خود باز می‌گردد نرخ انتقال رسوب به تدریج کاسته شده تا به مینیمم خود در پایین دست می‌رسد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد در اوایل فرایند مستقیم سازی در بالادست، بالاتر از منطقه مستقیم شده، نرخ انتقال رسوب کاسته می‌شود ولی بعد از گذشت سالیان دراز این نرخ به همان حالت قبل از فرایند باز می‌گردد.

طی مرور زمان شیب رودخانه به یک حالت پایدار رسیده و به همین خاطر نرخ انتقال رسوب تقریباً یک خط صاف تبدیل شده و به حالت پایدار خود می‌رسد.



شکل ۴-۳۵. تغییرات شیب

تغییرات که بوجود آمده بابت تغییرات شیب رودخانه است. طی فرایند مستقیم‌سازی در این رودخانه شیب از نقطه ۱۶۶۶ تا ۶۶۶۶ متر از ۰.۰۰۲ به ۰.۰۰۴ تبدیل شده است که طی مرور زمان اختلاف شیب کمتر شده و به یک شیب پایدار که در این نمونه ۰.۰۰۳ می‌باشد، رسیده است.



شکل ۴-۳۶. رودخانه لینا بعد از مستقیم سازی

همانطور که در شکل (۴-۳۶) مشاهده می شود رودخانه به وسیله مستقیم سازی، بخشی از طول خود را به شکل دریاچه های نعل اسبی یا شاخ گاوی بر جای می گذارد که به مرور زمان به دلیل فقدان جریان در آن خشک می شود.

فصل پنجم :
نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱. مقدمه

در بسیاری از موارد انسان ها مجبور می شوند که با مستقیم سازی رودخانه بتوانند رودخانه را تحت کنترل خود قرار دهند و بتوانند از زمین های بسیار ارزشمند بیشتری استفاده کنند که این امر موجب می شود شکل طبیعی رودخانه را به هم بزنند که مزایا و مشکلاتی را در بر دارد که در ادامه به آن پرداخته می شود.

برای انجام مدلسازی از داده های سیستم سنت مارگاریت کانادا استفاده شده است. ابتدا نتایج مدل با نتایج سایر محققین مقایسه و مدل تصدیق شد. سپس، فرضیات را بهبود داده و نتایج مدل عددی با نتایج حاصل از عکس های ماهواره ای مقایسه شده است. در نهایت فرضیاتی پذیرفته شده است که نتایج حاصل از مدل عددی با آن فرضیات به نتایج واقعی نزدیکتر شده است.

۵-۲. نتایج

- طبق مشاهدات عینی و عکس های هوایی بیشترین بالا آمدگی یا بیشترین محل ته نشینی رسوبات روی آخرین نقطه منطقه مستقیم سازی صورت نمی گیرد بلکه مقداری به سمت پایین دست رفته و در آن منطقه بیشترین ته نشینی رسوبات صورت می گیرد. در این تحقیق بیشترین بالا آمدگی طبق عکس های هوایی در کیلومتر ۱۴/۳ یعنی ۱/۳ کیلومتر بعد از انتهای فرایند مستقیم سازی این اتفاق رخ داده است. طبق مدل سازی این تحقیق با ۰/۱۵ خطا در کیلومتر ۱۴/۴۵ به دست آمده است.
- طبق مشاهدات عینی و عکس های هوایی نقطه میانی (نقطه تعادل) دقیقا وسط فرایند صورت نمی گیرد بلکه مقداری به سمت پایین دست روانه می شود. به طور مثال در این تحقیق فرایند از کیلومتر ۷ تا ۱۳ روی می دهد ولی نقطه میانی در کیلومتر ۱۱/۳ رخ می دهد. در این تحقیق برابر ۱۱/۲ بدست آمده است.

- طبق مشاهدات عینی و عکس‌های هوایی بیشترین فرسایش در ابتدای فرایند صورت نمی‌گیرد بلکه مقداری پایین‌تر به سمت پایین‌دست رخ می‌دهد. به طور مثال در این تحقیق بیشترین فرسایش در کیلومتر ۸/۸ رخ داده است یعنی ۱/۸ کیلومتر دورتر از ابتدای فرایند صورت گرفته است. در مدل‌سازی این تحقیق این نقطه در کیلومتر ۸/۱۵ بدست آمده است.
- مستقیم سازی رودخانه باعث افزایش شیب رودخانه در قسمت مستقیم سازی شده می‌گردد.
- کم شدن ناگهانی سرعت به دلیل کاهش شیب رودخانه موجب می‌شود که در پایین دست نشست رسوب بیشتر شود.

۳-۵. پیشنهادات

۱- بررسی آزمایشگاهی و دقیق بر روی مستقیم سازی و تاثیرات آن

تاکنون نتایج آزمایشگاهی از این موضوع ثبت نشده است و همه این اطلاعات از روی عکس‌های هوایی برداشت شده است که البته انجام این آزمایش نیاز به امکانات و فضای بزرگی دارد.

۲- بررسی و تحلیل مورفولوژی، برشی از مقطع عرضی رودخانه در اثر مستقیم سازی

۳- بررسی دون و آنتی دون‌ها

در این پایان نامه به بررسی کلی تغییرات مورفولوژی رودخانه پرداخته شده است ولی می‌توان به بررسی جزئی این تغییرات مانند تغییرات دون‌ها و آنتی دون‌ها پرداخت .

منابع

1. W.M.van Dijk, W.I.van de Lageweg and M.G.Kleinhans . (2012). “Experimental meandering river with chute cutoffs”, Journal of Geophysical Research, VOL. 117, F03023.
2. Wang sui-ji , NI Jin-ren .(2002), “Straight river: its formation and speciality”, Journal of Geographical Sciences, VOL. 12 , PP. 72-80.
3. Weiming Wu, Wolfgang Rodi, and Thomas Wenka. (2000). “3D Numerical Modeling of Flow and Sediment Transport in open channels”, Journal of Hydraulic Engineering. VOL. 126, PP.4-15.
4. Katarzyna Glin, ska-Lewczuk , Paweł Burandt . (2011). “Effect of river straightening on the hydrochemical properties of floodplain lakes :Observations from the Łyna and Drwęca Rivers, N Poland” Ecological Engineering VOL.37 , PP.786–795
5. Tracey Talbot and Michel Lapointe. (2002) . “Numerical modeling of gravel bed river response to meander straightening: The coupling between the evolution of bed pavement and long profile”. Water Resources Research, VOL. 38, PP. 6, 1074.
6. Ashida, K., and Michiue, H. (1972). “Study of Hydraulic Resistance and Bed-Load Transport rate in Alluvial Stream,” Proceedings of Japanese Society of Civil Engineers, VOL.206, pp. 59-69
7. Taner Pirim, Sean J. Bennett, and Brian D. Barkdoll. (2000). “Morphological Modeling of rivers with erodible banks” Channel & Watershed Processes Research Unit.
8. B.Christensen and J.Fredsoe. (1999). “lateral convection and diffusion of sediment in straight rivers”. River sedimentation jayawardena
9. Lopez J. and Falcon M. (1999). "Calculation of Bed Changes in Mountain Streams." J. Hydraul. Eng., 125, 3, pp 263-270.
10. Greimann B. and Klumpp C. (2000), “Numerical Modeling of Sediment Migration during Dam Removal” Building Partnerships, pp. 1-7.

11. Guo Q. and Jin Y. (2002). "Modeling Nonuniform Suspended Sediment Transport in Alluvial Rivers." J. Hydraul. Eng., 128, 9, pp 839-847.
12. Yadaw S.M. and Samtani B.K. (2008). "Bed load equation evaluation based on alluvial river data, india", KSCE Journal of Civil Engineering, 12, 6, pp 427-433.
13. Chen D. and Duan J. (2006) "Modeling Channel Morphologic Change in the West Jordan River, Utah", World Environmental and Water Resource Congress: pp. 1-10.
14. Mugade U. and Sapkale J., (2015), "Influence of Aggradation and degradation on river channels : A review" international Journal of Engineering and Technical Research (IGETR), Volume-3, Issue-6.
15. Francalanci S. and Solari L. (2008). "Bed-Load Transport Equation on Arbitrarily Sloping Beds." J. Hydraul. Eng., 134, 1, pp 110-115.
16. Engelund, F.(1970). "Instability of erodible beds". J. Fluid Mech.VOL 42(2), PP 225-244
17. Exner, F. M. (1925). "Uber die Wechselwirkung zwischen Wasser und Geschiebe in Flussen, Sitzber. Akad. Wiss Wien", Part IIa, Bd. 134
18. Parker, G., Toro-Escobar, C. M., Ramey, M. and Beck, S. (2003) " Effect Of Floodwater Extraction On Mountain Stream Morphology", J. Hydraul. Engrg., 129(11), 885-895.
19. Gary Parker. (2004) "1D sediment transport morphodynamics with applications to rivers and turbidity currents". Sediment GSD
20. S.R. Khodashenas, B. Khadem Rbe ,J. Yazdi. M.Se and H.Sarkardeh. (2000). "Numerical Modeling in Hydraulic Engineering" VOL.11 , pp.191-216
21. Gary Parker. (2004) "1D sediment transport morphodynamics with applications to rivers and turbidity currents". Thershold motion
22. Mugade U. and Sapkale J., (2015), "Influence of Aggradation and degradation on river channels : A review" international Journal of Engineering and Technical Research (IGETR), Volume-3, Issue-6.

-
23. Hoffmann K.A. and Chiang S.T. (1993), "Computational Fluid Dynamics for Engineers", Vol. 1, Engineering Education System.
 24. Parker G. and Muto T. (2003) "1D numerical model of delta response to rising sea level." Proceedings of the Third IAHR Symposium, River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Barcelona, Spain, 1–5 September, 10 pp.
 25. Michel Lapointe, Brett Eaton, Steve Driscoll, and Christian Latulippe. (2000) .“Modelling the probability of salmonid egg pocket scour due to floods”. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Sci. 57: 1120–1130
 26. Einstein H. A. (1950), "The Bed-load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows", Technical Bulletin 1026, U.S. Dept. of the Army, Soil Conservation Service.
 27. Gary Parker. (2004) "1D sediment transport morphodynamics with applications to rivers and turbidity currents". Intro Morphodynamics [Compatibility Mode]

Abstract

Meander straightening (or rectification), one of the most severe forms of river channelization, shortens channel length, increasing slope and reducing flood heights. However, rectification also destabilizes the river's equilibrium or grade by increasing sediment transport capacity limited to the rectified reach. If we rectify a river, this rectification reduces angular coefficient of river, creating horseshoe lakes and producing many changes in river morphology. In addition to changes in slope, velocity and discharge, the ecosystem of area undertakes changes that even leading to create a new ecosystem or destroying the ecosystem of that area. In this thesis, a numerical model is written in visual basic to validate this simulation with resultant objective data in the studies of Parker, Talbot and Lapointe to facilitate highway construction along the Sainte-Marguerite River and compared to Talbot and Lapointe simulations using SEDROUT2.0 our simulation results show higher accuracy that is closer the data presented by Parker.

Keywords: river morphology, angular coefficient, ecosystem, cutoff



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Water Engineering and Hydraulic Structures

Numerical Modelling of river morphology

due to river straightening

By: Amin Baniasadi moqadam

Supervisor:

Dr. Ramin Amini

January 2018