**دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری**

**دانشکده مهندسی زراعی**

**گروه مهندسی آب**

**عنوان پایان‌نامه:**

# بررسی برآورد رسوب و تعیین ظرفیت برداشت شن و ماسه رودخانه با استفاده از مدل ریاضی (مطالعه موردی: رودخانه تالار)

**جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد**

**رشته سازه‌های آبی**

**استاد راهنما:**

**دکتر رامین فضل‌اولی**

**استاد مشاور:**

**دکتر علیرضا عمادی**

**نگارش:**

**فاطمه زهرا اسدی**

**بهمن ماه ۱۳۹۰**

بسم الله الرحمن الرحیم

سوگند به روز وقتی نور می گیرد و به شب وقتی آرام می گیرد که من نه تو را رها کرده ام و نه با تو دشمنی کرده ام. (ضحی ۱-۲)

افسوس که هر کس را به تو فرستادم تا به تو بگویم دوستت دارم و راهی پیش پایت بگذارم او را که مرا به سخره گرفتی. (یس ۳۰)

و هیچ پیامی از پیام هایم به تو مرسید مگر از آن روی گردانیدی. (انعام ۴) و با خشم رفتی و فکر کردی هرگز بر تو قدرتی نداشته ام (انبیا ۸۷)

و مرا به مبارزه طلبیدی و چنان توهم زده شدی که گمان بردی خودت بر همه چیز قدرت داری. (یونس ۲۴)

و این در حالی بود که حتی مگسی را نمی توانستی و نمی توانی بیافرینی و اگر مگسی از تو چیزی بگیرد نمی توانی از او پس بگیری (حج ۷۳)

پس چون مشکلات از بالا و پایین آمدند و چشم هایت از وحشت فرو رفتند، و قلبت آمد توی گلویت و تمام وجودت لرزید چه لرزشی، گفتم کمک هایم در راه است و چشم دوختم ببینم که باورم می کنی اما به من گمان بردی چه گمان هایی. (احزاب ۱۰)

تا زمین با آن فراخی بر تو تنگ آمد پس حتی از خودت هم به تنگ آمدی و یقین کردی که هیچ پناهی جز من نداری، پس من به سوی تو باز گشتم تا تو نیز به سوی من باز گردی، که من مهربان ترینم در باز گشتن. (توبه ۱۱۸)

وقتی در تاریکی ها مرا بزاری خواندی که اگر تو را بر هانم با من می مانی، تو را از اندوه رهانیدم اما باز مرا با دیگری در عشقت شریک کردی. (انعام ۶۳-۶۴)

این عادت دیرینه ات بوده است، هرگاه که خوشحالت کردم از من روی گردانیدی و رویت را آن طرفی کردی و هر وقت سختی به تو رسید از من ناامید شده ای. (اسرا ۸۳)

آیا من برنداشتم از دوشت باری که می شکست پشتت؟ (سوره شرح ۲-۳)

غیر از من خدایی که برایت خدایی کرده است؟ (اعراف ۵۹)

پس کجا می روی؟ (تکویر ۲۶)

پس از این سخن دیگر به کدام سخن می خواهی ایمان بیاوری؟ (مرسلات ۵۰)

چه چیز جز بخشندگی ام باعث شد تا مرا که می بینی خودت را بگیری؟ (انفطار ۶)

مرا به یاد می آوری؟ من همانم که بادها را می فرستم تا ابرها را در آسمان پهن کنند و ابرها را پاره پاره به هم فشرده می کنم تا قطره ای باران از خلال آن ها بیرون آید و به خواست من به تو اصابت کند تا تو فقط لبخند بزنی، و این در حالی بود که پیش از فرو افتادن آن قطره باران، ناامیدی تو را پوشانده بود! (روم ۴۸)

من همانم که وقتی می ترسی به تو امنیت می دهم (قریش ۳)

برگرد، مطمئن برگرد، تا یک بار دیگر با هم باشیم (فجر ۲۸-۲۹)

تا یک بار دیگر دوست داشتن همدیگر را تجربه کنیم. (مائده ۵۴)

## سپاسگزاری:

### من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق

با حمد و سپاس پروردگار متعال که قطره‌ای از علم بیکران خویش را به من ارزانی داشت، همان گونه که زبانم در بجای آوردن حق شکرانه الطاف الهی قاصر است من نیز در ادای مراتب تقدیر و سپاسم از همه کسانی که به نحوی از انحاء در طی این مسیر پر فراز و نشیب یاورم بوده اند عاجزم.

از پدر و مادر عزیزم که تمام داشته‌های امروزم، مدیون ایثار، فداکاری و دعاهای این عزیزان می باشد

و نیز برادر مهربان و خواهرهای عزیزم که مشوق و حامیان در مشکلاتم بوده اند سپاسگزارم.

آنچه که برای همیشه چون چراغی فراروی مسیر آینده‌ام است چیزی نخواهد بود جزء، راهنمایی‌های علمی و اخلاقی و هم فکری‌های راهگشای اساتید گرامی و ارجمندم جناب آقای دکتر فضل اولی و آقای دکتر عمادی که در این جا کمال تقدیر و تشکر را از آن‌ها دارم و از خداوند متعال سعادت و توفیق روز افزون برای این عزیزان و خانواده محترم شان مسئلت می نمایم.

از اساتید محترم گروه مهندسی آب به خاطر تمام زحماتی که برای اینجانب کشیدند سپاسگزاری نموده و توفیق روز افزون و خیر و سعادت را برای آن‌ها از خداوند متعال خواستارم.

از همه دوستان گرامی و محترم که در طول دوره تحصیلی و انجام این تحقیق مرا یاری کردند صمیمانه تقدیر و تشکر می شود.

**چکیده:**

اطلاع از چگونگی فرسایش و توانایی حمل رسوب در آبراهه‌های مختلف از جمله مواردی است که در هر طرح مهندسی رودخانه و هیدرولوژی باید مورد نظر قرار گیرد. تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها از مهم‌ترین مباحث هیدرولیک رسوب و مهندسی رودخانه می‌باشد. ازبین روش‌های مختلف برای بررسی این پدیده استفاده مدل‌های ریاضی به‌دلیل قابلیت‌های نسبی زیاد، سادگی اجرا و هزینه اندک، مناسب و مقرون به‌صرفه می‌باشد. رودخانه تالار از بخش‌های شمالی رشته کوه‌های البرز سرچشمه می‌گیرد و ازشاخه‌های متعددی چون کبیررود، سرخاب، بزلا، چرات، شش‌رودبار، کسیلیان، تجون و توجی تشکیل شده. طول رودخانه ۱۵۲ کیلومتر و مساحت حوضه آبریز آن ۲۹۰۰ کیلومترمربع است. بستر رودخانه تا شیرگاه دارای شیب نسبتا تندی در حدود ۴ درصد بوده و سپس رودخانه با شیب ملایم حدود ۱ درصد به‌سمت دریا پیش می‌رود. بیش از نیمی از مشکلات رودخانه تالار مربوط به مسائل و مشکلات ناشی از فرسایش بستر و دیواره‌ها می‌باشد. البته باید توجه داشت که در بروز این مشکل علاوه‌بر آثار فرسایشی جریان آب رودخانه، عوامل دیگری از جمله برداشت مصالح به صورت غیر مجاز نیز موثر بوده‌است. نظر به این‌که مدل_های هیدرولیکیGSTARS2/1 و HEC-RAS4.0 دارای قابلیت‌های خوبی برای تحلیل هیدرولیکی جریان و رسوب می‌باشند، در این پژوهش بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده رسوب و دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود، مقاطع مورد نیاز و ... در بازه‌ای به طول ۱۲/۵ کیلومتر رودخانه تالار از ایستگاه هیدرومتری شیرگاه به‌سمت پایین‌دست، با استفاده از این دو مدل شبیه‌سازی شده و تغییرات فرسایش و رسوب مورد بررسی قرار گرفته، آورد رسوب برای دوره آماری سه ساله تعیین شد و تخمینی برای میزان برداشت مجاز به‌دست آمد. استفاده از منحنی سنجه برای دوره آماری ۱۸ ساله نشان داد میزان آورد رسوب معلق برای ایستگاه شیرگاه ۱۵۳۲۱۲ تن در سال می‌باشد. نتایج نشان داد در مدل GSTARS2/1 معادله انتقال رسوب یانگ( ۱۹۹۶) و در مدل HEC- RAS4.0 معادله انتقال رسوب میرپیترمولر بیشترین تطابق را با واقعیت داشته و می‌توانند برای پیش‌بینی روند تغییرات رودخانه مورد استفاده قرار گیرند. همچنین نتایج آنالیز حساسیت نشان داد مدل GSTARS2/1 به ازای تغییرات منحنی سنجه یه میزان ۳۰±٪ دارای حساسیت می‌باشد. همچنین مدل GSTARS2/1 نسبت به تغییرات ضریب زبری به ازای ۱۰±٪ و۳۰±٪ دارای حساسیت می‌باشد ولی مدل HEC- RAS4.0 نسبت به افزایش ضریب زبری به میزان ۱۰٪ و ۳۰٪ دارای حساسیت نمی‌باشد ولی به ازای کاهش به‌میزان ۱۰٪ و ۳۰٪ دارای حساسیت می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** فرسایش و رسوب‌گذاری، مدل‌سازی و برآورد رسوب، برداشت شن و ماسه، رودخانه تالار، مدل HEC-RAS4.0، مدل GSTARS2/1

# فهرست موضوعات

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول ..... ۱**

**مقدمه و کلیات ..... ۱**

۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- GSTARS2.1 و قابلیت‌های آن ..... ۳

۱-۳- HEC-RAS4.0 و قابلیت‌های آن ..... ۶

۱-۴- ضرورت طرح مسئله ..... ۷

۱-۵- اهداف پایان‌نامه ..... ۸

۱-۶- فرضیات تحقیق ..... ۸

**فصل دوم ..... ۹**

**مرور منابع ..... ۹**

۲-۱- سابقه پژوهش رسوب در رودخانه در ایران ..... ۱۰

۲-۲- سابقه پژوهش رسوب در رودخانه در خارج از ایران ..... ۱۳

۲-۳- سابقه پژوهش در زمینه برداشت شن و ماسه در ایران ..... ۱۶

۲-۴- سابقه پژوهش در زمینه برداشت شن و ماسه درسایر کشورها ..... ۲۱

**فصل سوم ..... ۲۳**

**مواد و روش‌ها ..... ۲۳**

۳-۱- مقدمه ..... ۲۴

۳-۲- سیمای عمومی رودخانه تالار ..... ۲۵

۳-۳- تغییرات عرضی رودخانه تالار ..... ۲۸

۳-۴- بازه مورد مطالعه ..... ۲۹

۳-۵- ایستگاه هیدرومتری موجود در مسیر بازه مورد مطالعه ..... ۲۹

۳-۶- مبانی رسوب‌گذاری ..... ۳۱

۳-۶-۱- مقدمه ..... ۳۱

۳-۶-۲- اشکال مختلف انتقال رسوب در رودخانه‌ها ..... ۳۱
۳-۷- روش‌های برآورد بار رسوب ..... ۳۳
۳-۷-۱- مدل‌های برآورد بار رسوب ..... ۳۳
۳-۷-۲- روش‌های تجربی و نیمه تجربی ..... ۳۴
۳-۷-۳- روش‌های صحرایی اندازه‌گیری بار رسوب ..... ۳۵
۳-۸- انواع مدل‌های ریاضی در مطالعات فرسایش و رسوب ..... ۳۵
۳-۸-۱- برخی از مدل‌های کامپیوتری توسعه یافته برای مطالعات فرسایش و رسوب ..... ۳۶
۳-۹- بررسی درجه‌بندی روابط انتقال رسوب و معرفی روابط مناسب ..... ۳۹
۳-۱۰- معرفی مدل GSTARS2/1 ..... ۴۱
۳-۱۰-۱- معادله انرژی ..... ۴۲
۳-۱۰-۲- معادله پیوستگی رسوب ..... ۴۳
۳-۱۰-۳- خطوط و لوله‌های جریان ..... ۴۴
۳-۱۰-۴- توابع حمل رسوب در GSTARS2/1 ..... ۴۶
۳-۱۱- داده‌های مورد نیاز در مدل GSTARS2/1 ..... ۴۹
۳-۱۲- معرفی مدل HEC RAS 4.0 ..... ۵۲
۳-۱۲-۱- تحلیل جریان دائمی ..... ۵۲
۳-۱۲-۲- روش حل عددی معادله انرژی برای یک رودخانه ..... ۵۴
۳-۱۲-۳- روندیابی جریان رسوب در نرم‌افزار HEC-RAS4.0 ..... ۵۴
۳-۱۲-۴- تعیین میزان رسوب‌گذاری یا فرسایش بستر ..... ۵۶
۳-۱۲-۵- معادلات انتقال رسوب در نرم‌افزار HEC-RAS 4.0 ..... ۵۶
۳-۱۲-۶- مدل‌سازی رودخانه برای انجام محاسبات انتقال رسوب ..... ۵۸
۳-۱۳- ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه ..... ۵۹
۳-۱۴- مفاهیم و موارد کاربرد شن و ماسه ..... ۶۵
۳-۱۴-۱- تعریف شن و ماسه ..... ۶۵
۳-۱۴-۲- تقسیم‌بندی انواع شن و ماسه ..... ۶۵
۳-۱۴-۲-۱- شن و ماسه طبیعی ..... ۶۵
۳-۱۴-۲- ۲- شن و ماسه شکسته ..... ۶۶
۳-۱۴-۲-۳- رسوبات رودخانه‌ای ..... ۶۶

۳-۱۵- برداشت مصالح از رودخانه و پیامدهای آن ..... ۶۷
۳-۱۵-۱- آثار منفی برداشت مصالح از رودخانه‌ها ..... ۶۸
۳-۱۵-۲- آثار مثبت برداشت مصالح ساختمانی از رودخانه ..... ۶۸
۳-۱۶- میزان برداشت مصالح ..... ۷۰
**فصل چهارم ..... ۷۱**
**نتایج و بحث ..... ۷۱**
۴-۱- مقدمه و هدف ..... ۷۲
۴-۲- به‌دست آوردن منحنی سنجه در ایستگاه شیرگاه و میزان رسوب معلق سالانه ..... ۷۳
۴-۳- واسنجی هیدرولیکی دو مدل برای ضریب زبری ..... ۷۹
۴-۳-۱- واسنجی ضریب زبری در مدل HEC-RAS ..... ۷۹
۴-۳-۲- واسنجی ضریب زبری در مدل GSTARS ..... ۸۱
۴-۴- واسنجی مدل GSTARS برای تعداد لوله‌های جریان ..... ۸۴
۴-۵- واسنجی و صحت‌سنجی رسوبی مدل GSRATS2/1 ..... ۸۴
۴-۶- واسنجی و صحت‌سنجی رسوبی مدل HEC-RAS4.0 ..... ۸۷
۴-۷- بررسی روند فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه تالار ..... ۹۰
۴-۷-۱- بررسی تغییرات مقاطع عرضی رودخانه ..... ۹۰
۴-۷-۲- بررسی آورد رسوب رودخانه ..... ۹۴
۴-۷-۳- تعیین میزان برداشت شن و ماسه ..... ۹۶
۴-۷-۴- سری زمانی آورد رسوب ..... ۹۸
**فصل پنجم ..... ۱۰۲**
**آنالیز حساسیت ..... ۱۰۲**
۵-۱- مقدمه ..... ۱۰۳
۵-۲- آنالیز حساسیت دو مدل برای تغییرات ضریب زبری ..... ۱۰۴
۵-۲-۱- آنالیز حساسیت مدلHEC-RAS4.0 نسیت به ضریب زبری ..... ۱۰۴
۵-۲-۲- آنالیز حساسیت مدل GSTARS2/1 نسیت به ضریب زبری ..... ۱۰۸
۵-۳- آنالیز حساسیت برای تغییرات منحنی دبی‌سنجه رسوب ..... ۱۱۱
**فصل ششم ..... ۱۱۴**
**نتیجه گیری و پیشنهادات ..... ۱۱۴**

۶-۱- مقدمه ..... ۱۱۵
۶-۲- نتایج ..... ۱۱۵
۶-۳- پیشنهادات ..... ۱۱۶
**منابع ..... ۱۱۷**

# فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


**شکل ۳-۱- حوضه آبریز رودخانه تالار و مراکز جمعیتی واقع در کنار رودخانه تالار ..... ۲۶**

**شکل ۳-۲- تغییرات عرض رودخانه تالار ..... ۲۸**

**شکل ۳-۳- پروفیل طولی رودخانه تالار و محدوده بازه‌های مرفولوژیکی بر روی آن‌ها ..... ۲۹**

**شکل ۳-۴- ایستگاه هیدرومتری شیرگاه ..... ۳۰**

**شکل ۳-۵- پل تلفریک ایستگاه هیدرومتری شیرگاه ..... ۳۰**

**شکل ۳-۶- نحوه‌ی معلق شدن دانه‌های رسوب موجود در بستر ..... ۳۲**

**شکل ۳-۷- نحوه‌ی جابجایی مواد رسوبی در بستر رودخانه و مفهوم لایه بستر ..... ۳۲**

**شکل ۳-۸- تبدیل کردن هیدروگراف به دبی‌های ثابت ..... ۴۱**

**شکل ۳-۹- تصویر خط انرژی و سطح آب ..... ۴۲**

**شکل ۳-۱۰- نمایش شماتیک لوله‌های جریان ..... ۴۴**

**شکل ۳-۱۱- جریان در پیچ رودخانه ..... ۴۶**

**شکل ۳-۱۲- نمونه‌برداری از بستر رودخانه تالار ..... ۵۰**

**شکل ۳-۱۳- نمونه‌های برداشت شده برای آزمایش دانه‌بندی ..... ۵۰**

**شکل ۳-۱۴- نمایی از بازه شبیه‌سازی شده در مدل GSTARS2/1 ..... ۵۱**

**شکل ۳-۱۵- حجم کنترل دوبعدی به‌صورت شماتیک ..... ۵۵**

**شکل ۳-۱۶- حجم کنترل سه-بعدی به-صورت شماتیک ..... ۵۵**

**شکل ۳-۱۷- نمای کلی از از پلان و مقاطع عرضی شبیه‌سازی شده در بازه ..... ۵۸**

**شکل ۳-۱۸- نمایی از بازه مورد مطالعه جهت تخمین ضریب زبری ..... ۶۲**

**شکل ۳-۱۹- نمایی از بازه مورد مطالعه جهت تخمین ضریب زبری ..... ۶۲**

**شکل ۳-۲۰- نمایی از بازه مورد مطالعه جهت تخمین ضریب زبری ..... ۶۳**

**شکل ۳-۲۱- نمایی از بازه مورد مطالعه جهت تخمین ضریب زبری ..... ۶۳**

**شکل ۳-۲۲- نمایی از بازه مورد مطالعه جهت تخمین ضریب زبری ..... ۶۴**

**شکل ۳-۲۳- نمایی از بازه مورد مطالعه جهت تخمین ضریب زبری ..... ۶۴**

**شکل ۴-۱- منحنی سنجه ایستگاه شیرگاه ..... ۷۳**

**شکل ۴-۲- میزان رسوب معلق سالانه ایستگاه شیرگاه در سال‌های مختلف ..... ۷۵**

شکل ۴-۳- فرسایش سواحل و پایین افتادن بستر رودخانه ..... ۷۶
شکل ۴-۴- دیواره‌های فرسایشی ساحل راست ..... ۷۶
شکل ۴-۵- دیواره های فرسایشی ساحل چپ رودخانه ..... ۷۷
شکل ۴-۶- آبشستگی شدید پایه‌های پل ملک‌کلا و پایین افتادگی بستر ..... ۷۷
شکل ۴-۷- فرسایش و زبر شدن بستر ..... ۷۸
شکل ۴-۸- شریانی شدن و تشکیل جزایر رسوبی ..... ۷۸
شکل ۴-۹- مقایسه منحنی دبی اشل حاصل از مدل HEC-RAS و منحنی دبی اشل واقعی در ایستگاه شیرگاه ..... ۸۰
شکل ۴- ۱۰- مقایسه سطح آب محاسبه شده توسط دو مدل برای دبی ۲ مترمکعب بر ثانیه ..... ۸۱
شکل ۴-۱۱- مقایسه سطح آب محاسبه شده توسط توسط دو مدل برای دبی ۵ مترمکعب بر ثانیه ..... ۸۲
شکل ۴-۱۲- مقایسه سطح آب محاسبه شده توسط توسط دو مدل برای دبی ۸ مترمکعب بر ثانیه ..... ۸۲
شکل ۴-۱۳- مقایسه سطح آب محاسبه شده توسط توسط دو مدل برای دبی ۱۵ مترمکعب بر ثانیه ..... ۸۳
شکل ۴-۱۴- مقایسه سطح آب محاسبه شده توسط توسط دو مدل برای دبی ۳۰ مترمکعب بر ثانیه ..... ۸۳
شکل ۴-۱۵- پروفیل طولی بازه همراه با نتایج GSTARS2/1 ..... ۸۵
شکل ۴-۱۶- واسنجی روابط رسوبی مختلف در مدل GSTARS برای مقطع عرضی ۵۴ ..... ۸۵
شکل ۴-۱۷- واسنجی روابط رسوبی مختلف در مدل GSTARS برای مقطع عرضی ۵۲ ..... ۸۶
شکل ۴-۱۸- واسنجی روابط رسوبی مختلف در مدل GSTARS برای مقطع عرضی ۵۱ ..... ۸۶
شکل ۴-۱۹- صحت سنجی مدل ریاضی GSTARS2/1 برای مقطع ۵۳ ..... ۸۷
شکل ۴-۲۰- واسنجی روابط رسوبی مختلف در مدل HEC-RAS4.0 برای مقطع عرضی ۵۴ ..... ۸۸
شکل ۴-۲۱- واسنجی روابط رسوبی مختلف در مدل HEC-RAS4.0 برای مقطع عرضی ۵۲ ..... ۸۸
شکل ۴-۲۲- واسنجی روابط رسوبی مختلف در مدل HEC-RAS4.0 برای مقطع عرضی ۵۱ ..... ۸۹
شکل ۴-۲۳- صحت‌سنجی مدل ریاضی HEC-RAS4.0 برای مقطع ۵۳ ..... ۸۹
شکل ۴-۲۴- نمایش سه‌بعدی مسیر رودخانه در بازه مورد مطالعه در نرم‌افزار HEC-RAS4.0 ..... ۹۰
شکل ۴-۲۵- تغییرات مقطع عرضی ۵۱ با استفاده از دو مدل ..... ۹۱
شکل ۴-۲۶- تغییرات مقطع عرضی ۵۰ با استفاده از دو مدل ..... ۹۱
شکل ۴-۲۷- تغییرات مقطع عرضی ۲۵ با استفاده از دو مدل ..... ۹۲
شکل ۴-۲۸- تغییرات مقطع عرضی ۱۸ با استفاده از دو مدل ..... ۹۲
شکل ۴-۲۹- تغییرات مقطع عرضی ۱۳ با استفاده از دو مدل ..... ۹۳
شکل ۴-۳۰- تغییرات مقطع عرضی ۴ با استفاده از دو مدل ..... ۹۳
شکل ۴-۳۱- تغییرات مقطع عرضی ۱ با استفاده از دو مدل ..... ۹۴
شکل ۴-۳۲- خروجی برنامه HEC-RAS4.0 برای میزان کل رسوب انتقال یافته و تغییرات بار بستر در طول بازه ..... ۹۴
شکل ۴-۳۳- سری زمانی آورد رسوب کل، رسوب بستر و میزان دبی در مقطع ۵۵ ..... ۹۸

شکل ۴-۳۴- سری زمانی آورد رسوب کل، رسوب بستر و میزان دبی در مقطع ۴۲..... ۹۹
شکل ۴-۳۵- سری زمانی آورد رسوب کل، رسوب بستر و میزان دبی در مقطع ۳۸..... ۹۹
شکل ۴- ۳۶- سری زمانی آورد رسوب کل، رسوب بستر و میزان دبی در مقطع ۳۰..... ۱۰۰
شکل ۴- ۳۷- سری زمانی آورد رسوب کل، رسوب بستر و میزان دبی در مقطع ۱۸..... ۱۰۰
شکل ۴-۳۸- سری زمانی آورد رسوب کل، رسوب بستر و میزان دبی در مقطع ۱۴..... ۱۰۱
شکل ۴- ۳۹- سری زمانی آورد رسوب کل، رسوب بستر و میزان دبی در مقطع ۶..... ۱۰۱
شکل ۵-۱- نمودار بررسی حساسیت مدل HEC-RAS4.0 با افزایش ۱۰ درصد ضریب زبری مانینگ..... ۱۰۴
شکل ۵-۲- نمودار بررسی حساسیت مدل HEC-RAS4.0 با کاهش ۱۰ درصد ضریب زبری مانینگ..... ۱۰۵
شکل ۵-۳- نمودار بررسی حساسیت مدل HEC-RAS4.0 با افزایش ۳۰ درصد ضریب زبری مانینگ..... ۱۰۵
شکل ۵-۴- نمودار بررسی حساسیت مدل HEC-RAS4.0 با کاهش ۳۰ درصد ضریب زبری مانینگ..... ۱۰۶
شکل ۵-۵- نمودار بررسی حساسیت مدل GSTARS2/1 با افزایش ۱۰ درصد ضریب زبری مانینگ ..... ۱۰۸
شکل ۵-۶- نمودار بررسی حساسیت مدل GSTARS2/1 با کاهش ۱۰ درصد ضریب زبری مانینگ..... ۱۰۸
شکل ۵-۷- نمودار بررسی حساسیت مدل GSTARS2/1 با افزایش ۳۰ درصد ضریب زبری مانینگ..... ۱۰۹
شکل ۵-۸- نمودار بررسی حساسیت مدل GSTARS2/1 با کاهش ۳۰ درصد ضریب زبری مانینگ..... ۱۰۹
شکل ۵-۹- نمودار بررسی حساسیت مدل GSTARS2/1 با افزایش ۱۰ درصد منحنی سنجه..... ۱۱۱
شکل ۵-۱۰- نمودار بررسی حساسیت مدل GSTARS2/1 با کاهش ۱۰ درصد منحنی سنجه..... ۱۱۲
شکل ۵-۱۱- نمودار بررسی حساسیت مدل GSTARS2/1 با افزایش ۳۰ درصد منحنی سنجه..... ۱۱۲
شکل ۵-۱۲- نمودار بررسی حساسیت مدل GSTARS2/1 با کاهش ۳۰ درصد منحنی سنجه..... ۱۱۳

# فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**


**جدول ۳-۱ - مشخصات رودخانه‌های مهم حوضه آبریز تالار..... ۲۷**

**جدول ۳-۲ – رتبه‌بندی روابط انتقال رسوب براساس بررسی‌های ASCE..... ۳۹**

**جدول ۳-۳ - معادلات انتقال رسوب موجود در مدل GSTARS2/1..... ۴۶**

**جدول ۳-۴.- دامنه کاربرد هریک از توابع انتقال رسوب..... ۵۷**

**جدول ۳-۵ - عوامل تعیین ضریب زبری دانه‌های رسوب..... ۶۰**

**جدول ۴-۱ - میزان رسوب معلق در ایستگاه شیرگاه..... ۷۴**

**جدول ۴-۲ - مقادیر n انتخاب شده برای واسنجی مدل..... ۷۹**

**جدول ۴-۳ - مقدار STEبدست آمده برای ضرایب زبری مختلف مورد استفاده..... ۸۱**

**جدول ۴-۴ - میزان تغییرات بار کل و بار بستر..... ۹۵**

**جدول ۴-۵ - تعیین میزان مجاز برداشت شن و ماسه..... ۹۷**

**جدول ۵-۱ - مقادیر معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح معنی‌دار ۱ و ۵ درصد..... ۱۰۷**

# فصل اول

# مقدمه و کلیات

## ۱-۱- مقدمه

رواناب سطحی و جریان آب در رودخانه‌ها همواره با فرسایش خاک و حمل مواد رسوبی توأم است. این مواد در هرجا که موقعیت ایجاب کند ته‌نشین می‌شوند. اطلاع از چگونگی فرسایش و توانایی حمل رسوب در آبراهه‌های مختلف حوضه از جمله مواردی است که در هر طرح مهندسی رودخانه و هیدرولوژی باید مورد نظر قرار گیرد. از جمله مسائلی که ارتباط مستقیم با رسوبات رودخانه‌ای دارد و لازم است تا مهندسان هیدرولیک آشنایی کافی با آن داشته باشند مسئله کف‌کنی و بالا آمدن بستر رودخانه می‌باشد. چنانچه نرخ حمل رسوب کمتر از ظرفیت حمل رسوب رودخانه باشد امکان فرسایش کف رودخانه و یا بدنه آن وجود دارد در اثر این عمل کف رودخانه به تدریج گود می‌شود.

از اهم مشکلاتی که انتقال رسوب و رسوب‌گذاری مواد رسوبی می‌تواند بوجود آورد عبارتند از: ایجاد جزایر در مسیر رودخانه و در نتیجه کاستن از ظرفیت انتقال جریان‌های سیلابی، رسوب‌گذاری در مخازن پشت سدها و در نتیجه کاستن از ظرفیت ذخیره مخازن و کاهش عمر مفید سدها و رسوب‌گذاری در مسیل رودخانه‌ها در هنگام سیلاب و در نتیجه وارد کردن خسارات به بناها و مزارع، خوردگی تأسیسات سازه‌های رودخانه‌ای و رسوب‌گذاری در کف کانال و در نتیجه کم‌عمق شدن رودخانه که بسیاری مسائل و مشکلات را در پی خواهد داشت (حمزه‌پوری و یاسی.۱۳۸۵).

برای پیش‌بینی آورد رسوب، عموماً با استفاده از مدل‌های فیزیکی- هیدرولیکی روابط تجربی متعددی ارائه شده است. این روابط که بر اساس قوانین دینامیک و هیدرولیک استوارند با در نظر گرفتن خصوصیات جریان همانند دبی، سرعت، سطح مقطع و عمق جریان، دانه‌بندی و قطر ذرات رسوب، وزن مخصوص، لزجت و دمای آب به‌دست آمده‌اند. در بسیاری از ایستگاه‌های آب‌سنجی هرگز چنین داده‌هایی به اندازه کافی یافت نمی‌شود و عمدتاً کل داده‌ها به دبی آب و دبی رسوب خلاصه می‌گردد که این امر استفاده از این روابط را دچار مشکل می‌کند. در چنین مواردی از منحنی سنجه رسوب[1] جهت تخمین آورد رسوب مطرح می‌شود. روش منحنی سنجه نیز به داده‌های فراوان و آماربرداری تقریباً متوالی و مستمر نیاز دارد. بنابراین توسعه روش‌های کارآمد و دقیق برای برآورد میزان رسوب که این محدودیت‌ها ر ا نداشته باشد از اهمیت زیادی برخوردار است که در طی چند دهه اخیر استفاده از این مدل‌های کامپیوتری روند انجام محاسبات را آسان‌تر و انجام تحلیل‌ها را دقیق‌تر نموده است.

امروزه در سرتاسر جهان و از جمله در ایران، انواع مصالح رودخانه‌ای شامل شن و ماسه، قلوه‌سنگ و مصالح ریزدانه در زندگی بشر به ویژه در فعالیت‌های عمرانی و صنعتی کاربردهای مختلفی پیدا کرده است

[1] Sediment Rating Curve

و روزانه هزاران تن از انواع این مصالح از بستر و کناره‌های رودخانه‌های مختلف کشور حفاری و برداشت می‌گردد. برداشت بی‌رویه و غیرفنی مصالح ساختمانی از رودخانه‌ها که نوعی دخل و تصرف در آن‌ها به شمار می‌آید، آثار منفی فراوانی را به_دنبال دارد. برخی از این آثار عبارتند از: فرسایش بستر و ساحل رودخانه، پایین افتادن سطح آب و درشت دانه کردن کف، زیرشویی سازه_ها، ناپایداری آبراه، به خطر افتادن تأسیسات و ابنیه_های فنی، نفوذ آب شور و شریانی شدن رودخانه‌ها و ...(نشریه شماره ۲۷۲. وزارت نیرو.۱۳۸۴ ). بنابراین برای جلوگیری از این پیامدها، نیاز به تعیین محدودیت‌های برداشت می‌باشد. از بین روش‌های مختلف برای بررسی این پدیده استفاده مدل‌های ریاضی به دلیل قابلیت‌های نسبی زیاد، سادگی اجرا و هزینه اندک، مناسب و مقرون به صرفه می‌باشد.

## ۱-۲- GSTARS2.1 و قابلیت‌های آن

GSTARS2/1 یکی از بهترین نسخه‌های یک مدل ریاضی برای شبیه‌سازی جریان آب و انتقال رسوبات در رودخانه‌های آبرفتی می‌باشد. این نرم افزار از مدل GSTARS2/1 که توسط یانگ در سال ۱۹۹۸ تهیه شده یک نسخه بالاتر است (راهنمای مدل GSTARS2/1. ۲۰۰۰).

مدل شامل چهار بخش عمده است:

**بخش اول** عبارت است کاربرد معادلات انرژی و مومنتم با هم برای محاسبات پروفیل سطح آب (حالت Back Water). این ترکیب به برنامه اجازه می‌دهد که پروفیل سطح آب را از طریق ترکیب جریان زیربحرانی و فوق‌بحرانی محاسبه کند. این مدل قادر است که از مقاطع عرضی صرف‌نظر از اینکه مجرا ساده یا سیلاب‌دشتی باشد در محاسبات استفاده نماید.

**بخش دوم** کاربرد مفهوم تیوب‌های جریان می‌باشد، که در محاسبات برآورد رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. پارامترهای هیدرولیکی و روندیابی رسوب برای هر تیوب جریان محاسبه می‌شوند و به موجب تغییرات متقاطع مقطع عرضی در یک روش شبه‌دو بعدی میسر می‌شود. اگر چه هیچ رسوب یا جریانی نمی‌تواند از میان مرزهای تیوب جریان انتقال پیدا کند. موقعیت و عرض یک تیوب جریان بعد از هرگام زمانی می‌تواند در محاسبات تغییر پیدا کند. آب‌شستگی یا ته‌نشینی محاسبه شده در هر تیوب جریان، تغییرات هندسی مجرا را در جهت عمودی (جانبی) می‌دهد. ابتدا پروفیل سطح آب محاسبه می‌شود، سپس مجرا به چند تیوب جریان با مشخصات زیر تقسیم می‌گردد:

- کل دبی حمل شده توسط مجرا به‌طور مساوی در میان تیوب‌های جریان توزیع می‌شود.

- تیوب‌های جریان توسط مرزهای مجرا و دیواره‌های عمودی فرضی مرزبندی می‌شوند.
- دبی در امتداد هر تیوب جریان ثابت است.
- هیچ‌گونه تبادلی اعم از جریان یا رسوب از میان مرزهای تیوب جریان صورت نمی‌پذیرد.

تعیین دانه‌بندی و آرمورینگ در هر تیوب جریان به‌وسیله‌ی روش پیشنهادی بنت و نوردین (۱۹۷۷) بدست می‌آید و میزان حمل رسوب می‌تواند از یکی از روش‌های ذیل محاسبه گردد:

دوبویی (۱۸۷۹) - میر، پیتر، مولر (۱۹۴۸) - لارسن (۱۹۵۸) - توفالتی (۱۹۶۹) - انگلند، هانسن (۱۹۷۲) - ایکرز، وایت (۱۹۷۳) – ایکرز، وایت (۱۹۹۰) - یانگ (۱۹۷۳) - یانگ (۱۹۷۹) - یانگ (۱۹۹۶) - پارکر (۱۹۹۰) - کرون (۱۹۶۲) - کرون و ارتور (۱۹۷۶)

**بخش سوم** کاربرد تئوری مینمم انرژی مصرفی (یانگ ۱۹۷۶، ۱۹۷۱؛ یانگ و سونگ ۱۹۸۶، ۱۹۷۹) می‌باشد. با استفاده از روابط مینمم کل توان جریان محاسبه‌ی عرض و عمق مجرای اصلاحی (تغییر یافته) ساده می‌شود.

کاربرد این تئوری اجازه می‌دهد که عرض مجرا به‌عنوان یک متغیر مجهول مورد بررسی قرار گیرد. رفتار و تغییرات عرضی مجرا به‌عنوان یک متغیر مجهول یکی از قابلیت‌های خیلی مهم GSTARS2/1 می‌باشد.

**بخش چهارم** درباره‌ی معیار پایداری دیواره‌ی مجرا بر اساس زاویه‌ی ایستایی مواد دیواره و پیوستگی رسوب می‌باشد.

**برخی از توانایی‌های کاربرد مدل و نسخه‌ی جدیدتر GSTARS2/1:**

- می‌تواند برای محاسبه‌ی پروفیل سطح آب با یا بدون حمل رسوب به‌کار برده می‌شود.
- می‌تواند پروفیل سطح آب را در تمام شرایط زیربحرانی یا فوق بحرانی محاسبه کند حتی اگر شامل پرش هیدرولیکی باشد.
- می‌تواند تغییرات طولی و عرضی جریان و شرایط رسوب را در یک روش نیمه‌دو بعدی بر اساس نظریه تیوب‌های جریان محاسبه کند. اگر فقط یک تیوب جریان انتخاب شود، مدل یک‌بعدی می‌گردد. اگر چندین تیوب جریان انتخاب گردد، هر دو تغییرات ارتفاعی در راستای عمودی و جانبی می‌تواند شبیه‌سازی گردد.

- الگوریتم آرمورینگ و دانه‌بندی بستر بر اساس نسبت اندازه‌ی ذرات رسوب به‌دست می‌آید و می‌تواند یک شبیه‌سازی از فرآیند آرمورینگ بستر را ایجاد نماید.
- می‌تواند تغییرات هندسه‌ی مجرا را در عمق و عرض بر اساس مینیمم کل توان جریان شبیه‌سازی نماید.
- گزینه‌ی پایداری دیواره‌ی مجرا شبیه‌سازی تغییرات هندسی مجرا را بر اساس زاویه‌ی ایستایی مواد دیواره و پیوستگی رسوب اجازه می‌دهد.

**محدودیت‌های کاربرد:**

GSTARS2/1 یک مدل ریاضی عمومی است که برای کامپیوترهای شخصی توسعه داده شده است تا تغییرات مورفولوژیکی را که بوسیله‌ی وقایع طبیعی و مهندسی ایجاد شده است پیش‌بینی نماید. اگرچه GSTARS2/1 بر آن است که به‌عنوان یک ابزار عمومی مهندسی برای حل مشکلات و مسائل هیدرولیکی رودخانه‌های آبرفتی مورد استفاده قرار گیرد اما دارای یک سری محدودیت‌های تئوری است که عبارتند از:

- یک مدل شبه‌غیرماندگار است. هیدروگراف دبی آب تقریباً به دبی‌های ثابت تقسیم‌بندی می‌شود. غالباً این مدل نباید برای شرایط جریان غیرماندگار، سریع و متغیر به‌کار برده شود.
- GSTARS2/1 یک مدل نیمه دوبعدی برای شبیه‌سازی جریان است و همچنین یک مدل نیمه‌سه بعدی برای شبیه‌سازی تغییرات هندسی مجرا است و نباید برای موقعیت‌هایی که یک مدل جریان دو بعدی واقعی یا سه‌بعدی واقعی مورد نیاز است جهت شبیه‌سازی جزئیات شرایط محلی به‌کار برده شود، اگرچه GSTARS2/1 باید برای حل کردن بسیاری از مسائل مهندسی رودخانه مناسب باشد.
- GSTARS2/1 بر اساس نظریه‌ی تیوب‌های جریان است و از پدیده‌هایی نظیر جریان ثانویه، پخش و ارتفاع زیاد چشم‌پوشی کرده است.
- روش‌ها و نظریه‌های زیادی در GSTARS2/1 مورد استفاده قرار گرفته است که تقریباً پدیده‌های واقعی را ساده کرده است. بنابراین این تقریب‌ها و محدودیت‌های قانونی در مدل لحاظ می‌گردند.