

الحمد لله الذي
خلقنا من
الحمم



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه های آبی

بررسی الگوی رسوبگذاری مخزن سد گلستان ۱ با استفاده از مدل ریاضی GSTARS3.0 و
BRISTARS

نگارنده : مرتضی قزل سوفلو

استاد راهنما :

دکتر صمد امامقلی زاده

استاد مشاور :

دکتر عبدالرضا ظهیری

تیر ۱۳۹۶

تقدیم بہ

پدرم بہ استواری کوه،

مادرم بہ زلالی چشمہ،

ہمسرم بہ صمیمیت باران،

فرزندم بہ طراوت شبنم۔

تشکر و قدردانی

باتشکر و سپاس از استاد راهنمای بزرگوارم

جناب آقای دکتر صمد امامقلی زاده

که زحمات فراوان در به ثمر رسیدن این تحقیق داشتند.

آرزوی بهروزی و شادکامی و سلامتی برای این بزرگوار را دارم.

تعهد نامه

اینجانب مرتضی قزل‌سوفلو دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی _ سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی الگوی رسوبگذاری مخزن سد گلستان ۱ با استفاده از مدل ریاضی GSTARS3.0 و BRISTARS تحت راهنمایی دکتر صمد امامقلی‌زاده متعهد می‌شوم.

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

تاریخ

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 پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

رودخانه‌ها هر ساله میلیون‌ها تن مواد جامد و رسوبات را از سر چشمه تا مصب حمل می‌کنند. طرح و ساخت هرگونه تاسیسات ذخیره‌کننده از جمله مخازن و انحراف آب و عملکرد خوب آنها در گرو شناخت کمیّت و کیفیت مواد حمل‌شده در جریان آب و تطبیق مشخصات طرح با وضع موجود و برنامه ریزی صحیح می‌باشد. در حال حاضر در نتیجه پر شدن مخازن سدها و کانال‌های انتقال از رسوبات، هزینه‌های زیادی به دولت و مردم تحمیل می‌شود. ساخت سد بروی رودخانه‌ها باعث قطع انتقال رسوب شده و شرایط جریان ورودی به سد را کاملاً تغییر می‌دهد چنانچه سد بر روی یک رودخانه حامل رسوب احداث شود بجا ماندن تمام یا بخشی از رسوبات در مخزن غیرقابل اجتناب است. در نتیجه بتدریج از حجم اولیه مخزن کاسته می‌شود و اگر پیش‌بینی‌ها و روش‌های کنترل مناسب انجام نگیرد ممکن است اثرات جبران‌ناپذیری در کاربرد مخزن داشته باشد. اکثر مخازن برای چندین منظور از جمله تامین آب شهری، آبیاری، برق آبی، کنترل سیلاب و ... برنامه ریزی می‌شوند.

هر بخشی از مخزن برای یکی از منظوره‌های فوق اختصاص داده می‌شود. ممکن است از بین رفتن ظرفیت اولیه مخزن بوسیله رسوبات، اثرات مختلفی بر بخش‌های گوناگون مخزن گذاشته و سبب تغییرات نامطلوب در بهره‌برداری از مخزن شود. در این تحقیق به بررسی روند رسوبگذاری مخزن سد گلستان می‌پردازیم تا با پیش‌بینی دقیق الگوی رسوبگذاری سال‌های آتی، بتوانیم با جلوگیری و اقدامات پیش‌گیرانه از سرعت از بین رفتن مخزن سد که مهمترین بخش سد می‌باشد، بکاهیم. سد گلستان واقع در دوازده کیلومتری شمال شرقی گنبد کاووس استان گلستان می‌باشد. این سد از نوع خاکی همگن می‌باشد که حجم مخزن آن حدود هشتاد میلیون متر مکعب است. متأسفانه در سال ۱۳۸۰ در اثر وقوع سیل ۱۸ میلیون متر مکعب آن بر اثر رسوبگذاری از بین رفت.

در این تحقیق با استفاده از مدل GSTARS3.0 و BRISTAR مخزن سد گلستان مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های ورودی مدل دبی، دبی رسوب، دما و اشل و همچنین دانه‌بندی خاک می‌باشند که با توجه به نحوه ورودی، به مدل داده شد. دو مدل پارامترهای متغیر یکسانی دارند که با تغییر این پارامترها به روش سعی و خطا، خطای مدل به حداقل رسیده و در آخر مدل برای دوره بعدی هیدروگرافی کالیبره می‌شود. در هر مرحله از کالیبراسیون ضرایب به گونه‌ای تعیین می‌گردید که مقدار تابع خطای RMSE حداقل گردد. بعد از کالیبره شدن مدل روند رسوبگذاری در سال‌های آتی پیش‌بینی می‌شود. با توجه به پیش‌بینی‌های مدل حجم رسوبات ۵۰ ساله برابر با ۵۱.۶ میلیون متر مکعب می‌باشد که حدود ۶۰ درصد از حجم سد می‌باشد.

کلمات کلیدی: رسوبگذاری، سد گلستان ۱، مخزن سد، GSTARS3.0، BRISTAR

Contents

فصل اول	۱
مقدمه	۱
کلیات تحقیق	۲
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- بیان مسئله	۳
۱-۳- ضرورت انجام تحقیق	۳
۱-۴- اهداف تحقیق	۴
۱-۵- روش تحقیق	۴
۱-۶- روش انجام کار	۴
۱-۷- سازماندهی پایاننامه	۵
۱-۸- فرضیات تحقیق	۵
فصل دوم	۷
سابقه تحقیق	۷
۲-۲- مقدمه	۸
۲-۲- کلیاتی در مورد رسوبگذاری در مخازن سدها	۱۰
۲-۳- مروری بر تاریخچه مدل های به کار رفته در زمینه رسوبگذاری مخازن سدها	۱۰
۲-۴- تعاریف	۱۱
۲-۴-۱- عمر مفید سد	۱۱
۲-۴-۲- رسوبگذاری در مخازن سد	۱۱
۲-۴-۳- افزایش تبخیر برای آبی که در مخزن سد ذخیره شده	۱۱
۲-۴-۴- رسوبگذاری در سرشاخه های ورودی به مخازن سد	۱۱
۲-۴-۵- عوامل تاثیر گذار در رسوبگذاری سد	۱۲
۲-۴-۵-۱- بار رسوبی	۱۲
۲-۴-۵-۲- ضریب ماند رسوبی	۱۲
۲-۴-۵-۳- وزن حجمی رسوبات	۱۳
۲-۴-۵-۴- نرخ تولید رسوب	۱۳

۱۳	۵-۴-۲-۵-نسبت تحویل رسوب
۱۳	۴-۵-۲-۴-چگونگی توزیع رسوبات در مخزن سد
۱۳	۵-۲-روش های مختلف تعیین چگونگی روند رسوبگذاری در مخازن
۱۳	۵-۲-۱-روش های تجربی
۱۴	۵-۲-۱-۱-روش تجربی کاهش سطح
۱۶	۵-۲-۲-روشهای ریاضی
۱۸	۶-۲-روش های کنترل رسوبات مخازن سدها
۱۸	۶-۲-۱-روش بازدارنده ورود رسوب
۱۸	۶-۲-۲-روش های اصلاحی کنترل رسوبگذاری
۱۹	۷-۲-مطالعات انجام شده
۲۱	۸-۲-مطالعات که در ایران انجام شده
۲۵	فصل سوم
۲۵	روش تحقیق
۲۶	۳-۱-مقدمه
۲۶	۳-۲-مشخصات سد گلستان
۲۷	۳-۱-۲-زمین شناسی
۲۷	۳-۲-۲-ایستگاه های هیدرومتری در محدوده طرح سد گلستان
۲۷	۳-۲-۳-مشخصات عمومی سد گلستان
۲۸	۳-۲-۴-اهداف اصلی سد
۲۸	۳-۳-انواع مدل های عددی
۲۸	۳-۳-۱-مدل های یک بعدی
۲۸	۳-۳-۱-۱-مدل HEC-6
۲۹	۳-۳-۱-۲-مدل FLUVIAL
۳۰	۳-۳-۱-۳-مدل GSTARS
۳۱	۳-۴-مدل های دو بعدی
۳۱	۳-۴-۱-مدل MOBED2
۳۲	۳-۴-۲-مدل BRI-STARS
۳۲	۳-۴-۳-مدل TABS2
۳۲	۳-۴-۴-مدل USTARS

۳۳	۳-۵- مدل های سه بعدی
۳۳	۳-۵-۱- مدل SSIIM
۳۳	۳-۵-۲- مدل FLOW-3D
۳۳	۳-۶- روش های حل معادلات
۳۴	۳-۷- مدل های جفت و غیرجفت
۳۴	۳-۸- مدل های شبه دو بعدی
۳۵	۳-۸-۱- نوارهای جریان
۳۵	۳-۸-۲- لوله های جریان
۳۶	۳-۹- مدل های ریاضی
۳۷	۳-۹-۱- مدل ریاضی GSTARS3.0
۳۷	۳-۹-۲- اساس مدل ریاضی GSTARS3.0
۳۷	۳-۹-۲-۱- محاسبات جریان در GSTARS3.0
۳۹	۳-۹-۲-۲- روابط مقاومت جریان
۴۰	۳-۹-۲-۳- معادله پیوستگی رسوب
۴۰	۳-۹-۲-۴- خطوط جریان و لوله های جریان
۴۱	۳-۹-۲-۵- جورشدهگی و آرمورینگ
۴۳	۳-۹-۲-۶- توابع انتقال رسوب
۴۴	۳-۹-۲-۶-۱- روش دوبوی
۴۴	۳-۹-۲-۶-۲- فرمول میر- پیتر و مولر (۱۹۴۸)
۴۵	۳-۹-۲-۶-۳- فرمول لارسن (۱۹۵۸) و اصلاح شده توسط مادن (۱۹۹۳)
۴۵	۳-۹-۲-۶-۴- روش توفالتی
۴۶	۳-۹-۲-۶-۵- روش انگلاند و هانسن (۱۹۷۱)
۴۶	۳-۹-۲-۶-۶- روش ایگر و وایت (۱۹۷۳) و (۱۹۹۰)
۴۷	۳-۹-۲-۶-۷- فرمول انتقال ذرات ماسه (۱۹۷۳) و انتقال ذرات شن یانگ (۱۹۸۴)
۴۹	۳-۹-۲-۶-۸- فرمول انتقال ذرات ماسه (۱۹۷۹) و انتقال ذرات شن یانگ (۱۹۸۴)
۴۹	۳-۹-۲-۶-۹- روش پارکر (۱۹۹۰)
۵۰	۳-۹-۲-۶-۱۱- فرمول اصلاح شده یانگ برای انتقال ذرات شن با غلظت بالای شسته
۵۱	۳-۹-۲-۶-۱۱- روش آشیدا و میچو (۱۹۷۲)
۵۲	۳-۹-۲-۶-۱۲- معادله دانشگاه تسینگ هوا برای رسوبشویی مخزن

۵۳	۳-۹-۳- انتقال رسوب چسبنده
۵۳	۳-۹-۴- رسوبگذاری و فرسایش
۵۴	۳-۹-۵- اهداف و قابلیت های مدل GSTARS3.0
۵۶	۳-۹-۶- جنبه های جدید در GSTARS3.0
۵۷	۳-۹-۷- محدودیت کاربرد GSTARS3.0
۵۷	۳-۹-۸- داده های مورد نیاز GSTARS3.0
۵۸	۳-۹-۹- کنترل اطلاعات خروجی GSTARS3.0
۵۸	۳-۱۰-۱- روش مدلسازی
۵۸	۳-۱۰-۱- قالب داده های ورودی
۵۸	۳-۱۰-۲- داده های هیدرولیکی
۵۹	۳-۱۰-۳- داده های هندسی
۶۱	۳-۱۰-۴- داده های دبی - اشل
۶۱	۳-۱۰-۵- داده های رسوب
۶۱	۳-۱۰-۶- داده های جریان رسوب
۶۲	۳-۱۰-۷- داده های درجه حرارت
۶۲	۳-۱۰-۸- داده های دانه بندی رسوب
۶۲	۳-۱۱- انتقال نامتعادل رسوب
۶۲	۳-۱۲- مدل ریاضی BRISTARS
۶۲	۳-۱۲-۱- بخش ژئومتری
۶۳	۳-۱۲-۲- بخش هیدرولیک و هیدرولوژی
۶۳	۳-۱۲-۲- اجزای کاربردی مدل و قابلیت های آن
۶۴	۳-۱۲-۳- مدل لوله ای جریان با عرض ثابت
۶۶	۳-۱۲-۴- محاسبات عمق های نرمال، بحرانی و مزدوج
۶۷	۳-۱۲-۴- محاسبات ژئومتری
۶۹	۳-۱۲-۵- محاسبات مربوط به لوله جریان
۷۰	۳-۱۲-۵- معادله پیوستگی رسوب
۷۱	۳-۱۲-۶- جور شدگی و آرمورینگ در بستر
۷۷	فصل چهارم
۷۷	نتایج و بحث

۷۸	مقدمه
۷۸	۱-۴- داده های ورودی سد گلستان ۱
۷۸	۱-۴-۱- دبی - رسوب ورودی سد گلستان
۷۹	۱-۴-۲- دبی ورودی روزانه و تراز سطح آب
۸۰	۳-۴- نحوه مدلسازی
۸۰	۳-۴-۱- کالیبراسیون مدل
۸۱	۴-۴- پارامترهای متغیر
۸۱	۴-۵- نتایج شبیه سازی مخزن سد گلستان با مدل GSTARS3 و BRISTARS
۸۲	۴-۵-۱- بررسی مدل با معادلات مختلف انتقال رسوب
۸۲	۴-۵-۲- شبیه سازی مخزن سد گلستان با ضرایب مختلف انتقال نا متعادل رسوب
۸۳	۴-۵-۳- پروفیل طولی مخزن با فرض انتقال متعادل رسوب
۸۵	۴-۵-۴- بررسی مدل با تعداد روندیابی رسوب مختلف در گام های زمانی
۸۵	۴-۵-۵- بررسی مدل با لوله های جریان مختلف
۸۶	۴-۵-۶- پروفیل طولی مخزن با فرمول دانشگاه تسینگ هوا
۸۷	۴-۵-۷- پروفیل طولی مخزن با فرمول ایکرز و وایت
۸۷	۴-۵-۸- مقاطع عرضی مخزن سد
۱۰۳	۴-۶- تحلیل نتایج شبیه سازی
۱۰۳	۴-۷- محاسبه خطا مدل
۱۰۴	۴-۸- پیش بینی روند رسوبگذاری مخزن سد برای ۵۰ سال
۱۰۵	فصل پنجم
۱۰۵	نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۶	۵-۱- نتیجه گیری
۱۰۷	۵-۲- پیشنهادات
۱۰۸	پیوست
۱۱۳	منابع

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) توپوگرافی مخزن سد ترسیم شده توسط سورفر از ابتدای بدنه سد تا سرشاخه های ورودی ۱۷
- شکل (۲-۲) منحنی حجم ارتفاع مخزن حاصل از کاهش سطح ۱۸
- شکل (۱-۳) محل قرار گیری سد ۲۸
- شکل (۲-۳) لوله های جریان مورد استفاده در مدل GSTARS (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲) ۳۱
- شکل (۳-۳) - شماتیک لوله های جریان (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲) ۳۵
- شکل (۴-۳) تبدیل کردن هیدروگرافی به دبی ثابت (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0) ۳۸
- شکل (۵-۳) پارامترهای معادله انرژی (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0) ۳۹
- شکل (۶-۳) - ترکیب بستر در مدل GSTARS3.0 (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0) ۴۲
- شکل ۳-۷ - شکل شماتیک نحو وارد کردن مقاطع عرضی (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0) ۶۰
- شکل ۳-۸ - نمایش عرضی توسط سری نقاط مجزا (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0) ۶۰
- شکل (۹-۳) - نمایش مفاهیم مربوط به لوله های جریان ۶۵
- شکل (۱۰-۳) - نمایش پارامترهای مربوط به حل معادلات انرژی ۶۶
- شکل (۱۱-۳) پارامترهای هندسی مورد نیاز برای یک مقطع عرضی فرضی ۶۹
- شکل (۱۲-۳) - فلوچارت محاسباتی مربوط به مدل کامپیوتری لوله جریان در مدل BRISTAR ۷۳
- شکل (۱۳-۳) - نمایش لایه های مختلف بستر در محاسبات مربوط به پدیده آرمورینگ ۷۴
- شکل (۱۴-۳) - فلوچارت محاسباتی برنامه مربوط به فرایند آرمورینگ در بستر ۷۵
- شکل (۱-۴) - دبی ورودی به مخزن سد نسبت به دبی رسوب ۷۸
- شکل (۲-۴) - تراز سطح آب مخزن گلستان نسبت به زمان از سال ۱۳۷۸ الی ۱۳۹۲ ۷۹
- شکل (۳-۴) - دبی ورودی سد گلستان نسبت به زمان ۸۰
- شکل (۴-۴) - پروفیل خط القعر مخزن سد با معادلات مختلف انتقال رسوب ۸۲
- شکل (۵-۴) - پروفیل خط القعر مخزن به ازای ضرایب مختلف انتقال نامتعادل رسوب ۸۳

- شکل (۴-۶) - پروفیل خط القعر مخزن با فرض متعادل انتقال ۸۴
- شکل (۴-۷) - پروفیل عرضی در حالت تعادل انتقال رسوب ۸۴
- شکل (۴-۸) - پروفیل خط القعر سد گلستان با گام های زمانی رسوب ۲ و ۱۱ روز ۸۵
- شکل (۴-۹) - پروفیل خط القعر مخزن سد با لوله های جریان مختلف ۸۶
- شکل (۴-۱۰) - پروفیل خط القعر مخزن سد گلستان با معادله دانشگاه تسینگ هوا ۸۶
- شکل (۴-۱۱) - پروفیل خط القعر مخزن سد با معادله ایکرز و وایت ۸۷
- شکل (۳-۱۲) - مقطع عرضی شماره ۱ به فاصله ۰ متر از محل سد ۸۸
- شکل (۴-۱۳) - مقطع عرضی شماره ۲ به فاصله ۱۰۵ متر از محل سد ۸۸
- شکل (۴-۱۴) - مقطع عرضی شماره ۳ به فاصله ۲۶۲ متر از محل سد ۸۹
- شکل (۴-۱۵) - مقطع عرضی شماره ۴ به فاصله ۳۹۳ متر از محل سد ۸۹
- شکل شماره (۴-۱۶) - مقطع عرضی شماره ۵ به فاصله ۴۹۸ متر از محل سد ۹۰
- شکل (۴-۱۷) - مقطع عرضی شماره ۶ به فاصله ۶۵۵ متر از محل سد ۹۰
- شکل (۴-۱۸) - مقطع عرضی شماره ۷ به فاصله ۷۸۶ متر از محل سد ۹۱
- شکل (۴-۱۹) - مقطع عرضی شماره ۸ به فاصله ۹۱۷ متر از محل سد ۹۲
- شکل (۴-۲۰) - مقطع عرضی شماره ۹ به فاصله ۱۰۴۸ متر از محل سد ۹۲
- شکل (۴-۲۱) - مقطع عرضی شماره ۱۰ به فاصله ۱۱۷۹ متر از محل سد ۹۳
- شکل (۴-۲۲) - مقطع عرضی شماره ۱۱ به فاصله ۱۳۱۰ متر از محل سد ۹۳
- شکل (۴-۲۳) - مقطع عرضی شماره ۱۲ به فاصله ۱۴۴۱ متر از محل سد ۹۴
- شکل (۴-۲۴) - مقطع عرضی شماره ۱۳ به فاصله ۱۵۷۲ متر از محل سد ۹۴
- شکل (۴-۲۵) - مقطع عرضی شماره ۱۴ به فاصله ۱۷۰۳ متر از محل سد ۹۵
- شکل (۴-۲۶) - مقطع عرضی شماره ۱۵ به فاصله ۱۸۳۴ متر از محل سد ۹۵
- شکل (۴-۲۷) - مقطع عرضی شماره ۱۶ به فاصله ۱۹۶۵ متر از محل سد ۹۶
- شکل (۴-۲۸) - مقطع عرضی شماره ۱۷ به فاصله ۲۰۹۶ متر از محل سد ۹۶
- شکل (۴-۲۹) - مقطع عرضی شماره ۱۸ به فاصله ۲۲۲۷ متر از محل سد ۹۷

- شکل (۳۰-۴) مقطع عرضی شماره ۱۹ فاصله ۲۳۵۸ متر از محل سد..... ۹۷
- شکل (۳۱-۴) مقطع عرضی شماره ۲۰ فاصله ۲۴۸۹ متر از محل سد..... ۹۸
- شکل (۳۲-۴) مقطع عرضی شماره ۲۱ فاصله ۲۶۶۰ متر از محل سد..... ۹۸
- شکل (۳۳-۴) مقطع عرضی شماره ۲۲ فاصله ۲۷۵۱ متر از محل سد..... ۹۹
- شکل (۳۴-۴) مقطع عرضی شماره ۲۳ فاصله ۲۸۸۲ متر از محل سد..... ۹۹
- شکل (۳۵-۴) مقطع عرضی شماره ۲۴ فاصله ۳۰۱۳ متر از محل سد..... ۱۰۰
- شکل (۳۶-۴) مقطع عرضی شماره ۲۵ فاصله ۳۱۴۴ متر از محل سد..... ۱۰۰

شکل (۳۷-۴) مقطع عرضی شماره ۲۶ فاصله ۳۲۷۵ متر از محل سد ۱۰۱

شکل (۳۸-۴) مقطع عرضی شماره ۲۷ فاصله ۳۴۰۶ متر از محل سد ۱۰۱

شکل (۳۹-۴) مقطع عرضی شماره ۲۸ فاصله ۳۵۳۷ متر از محل سد ۱۰۲

شکل (۴۰-۴) مقطع عرضی شماره ۲۹ فاصله ۳۶۶۸ متر از محل سد ۱۰۲

شکل (۴۱-۴) مقطع عرضی شماره ۳۰ فاصله ۳۸۰۰ متر از محل سد ۱۰۳

شکل (۴۲-۴) -رسوبگذاری مخزن پس از ۵۰ سال بهره برداری(--- رسوبگذاری بعد ۵۰ سال، ____

بستر اولیه).....**Error! Bookmark not defined.**

شکل(۴۳-۴) نمودار سطح به حجم سد گلستان**Error! Bookmark not defined.**

فهرست جداول

فهرست جداول..... ۱

جدول (۱-۲) - نوع استاندارد مخازن در روش کاهش سطح..... ۱۵

جدول(۱-۳) مخشصات سد گلستان..... ۲۶

جدول ۱-۳- ضرایب اولیه و اصلاح شده روش ایگر و وایت..... ۴۷

جدول ۲-۳- رسوب - Ω ۵۳

جدول ۱-۴ محاسبه خطا مدل ۱۰۴

فصل اول

مقدمه

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

تامین آب مورد نیاز برای مصارف کشاورزی، شرب و مصارف صنعتی یک اصل مهم در رشد و شکوفایی کشور می باشد. منبع اصلی این عنصر حیاتی آب جاری در رودخانه‌ها است. رودخانه‌ها هر ساله میلیون‌ها تن مواد جامد و رسوبات را از سر چشمه تا مصب حمل می کنند. طرح و ساخت هرگونه تاسیسات ذخیره کننده از جمله مخازن و انحراف آب و عملکرد خوب آنها در گرو شناخت کمیّت و کیفیت مواد حمل شده در جریان آب و تطبیق مشخصات طرح با وضع موجود و برنامه ریزی صحیح می باشد. در حال حاضر در نتیجه پر شدن مخازن سدها و کانال های انتقال از رسوبات، هزینه های زیادی به دولت و مردم تحمیل می شود. ساخت سد بروی رودخانه ها باعث قطع انتقال رسوب شده و شرایط جریان ورودی به سد را کاملاً تغییر می دهد رسوبگذاری از جمله عوامل موثر در مدیریت منابع آب بوده و بررسی نحوه توزیع رسوبات ورودی از شاخه ها به مخزن سدها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. رسوبگذاری باعث کاهش ظرفیت مخازن سدها شده و تبعات زیادی را برای این سازه ها ایجاد می نماید همچنین می تواند پایداری آنها را نیز تحت تاثیر قرار دهد. مطالعات نشان داده است که هنگام رسوبگذاری مواد درشت دانه در فاصله دورتر از بدنه سد با تشکیل دلتا ته نشین شده و مواد ریزدانه بلافاصله در بالادست سد یعنی در محل حجم مرده مخزن ته نشین می شوند. تخمین زده شده است که تجمع رسوبات در مخزن سدها سالیانه یک درصد از حجم ذخیره آنها می - کاهد (تونیولو و پاکر، ۲۰۰۳). در هر سال حدود ۲۰ میلیارد تن رسوبات توسط رودخانه ها جهان جابجا می شود و در آب های ساکن رسوبگذاری می شود (ترین، ۱۳۸۳). حجم خاک فرسایش یافته در ایران حدود ۸۰۰ میلیون متر مکعب در سال است که سالانه بیشتر از یکصد میلیون متر از حجم مفید سدها کاسته است که این میزان رسوب معادل بیشتر از ۳ تن در ثانیه دبی رسوب می باشد (اکرمی، ۱۳۷۵). میزان رسوبات ورودی به سدهای آمریکا ۱۲۰۰ تن می باشد (چاپلکی، ۱۳۸۰). تخمین میزان رسوب ورودی به طرح در طراحی های آبی اهمیت زیادی دارد مشکلات ورود رسوب به طرح در طرح های سدسازی کاهش حجم مفید سد و رسوبگذاری در سد و انحراف مسیر سرشاخه های ورودی به سد به خاطر ته نشین شدن رسوب در بستر سرشاخه ها و بی کیفیتی یا کم کیفیت شدن آب برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی گردد (شفاعی بجستان، ۱۳۸۴). در احداث سد دو نوع هدف وجود دارد هدف اصلی و فرعی هدف اصلی تامین آب شرب و کشاورزی و تامین نیرو برای تولید برق است و هدف فرعی کنترل سیل و پرورش ماهی و قایقرانی و تفریحی و تامین آب برای سفرهای زیرزمینی و حفاظت از بخش های مسکونی است (خانکندی، ۱۳۸۴).

۱-۲- بیان مسئله

به طور کلی شناخت و پیش بینی میزان فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه ها، کانالهای طبیعی و مخازن و به عبارت دیگر بررسی کاهش و افزایش بستر یکی از پیچیده ترین مباحث هیدرولیکی رسوب و مهندسی رودخانه است.

یکی از مراحل اصلی تمامی مطالعات رسوبگذاری در مخازن سدها و رودخانه ها، استفاده از نرم افزارهای تجاری خاص رسوبگذاری می باشد. به این منظور نرم افزارهای زیادی ارائه شده است که بر اساس اهداف طرح و نیز اهمیت آن، دقت مورد نیاز، حجم دسترسی به داده ها و آمار هیدرولیک جریان و رسوب مخزن و نیز وضعیت دانه بندی رسوبات ورودی شامل چندین نرم افزار می باشند. از جمله HEC-6, FLUVIAL, GSTARS, BRISTARS, MIK11, CCHE-2D و... نرم افزارهای مهم در این زمینه است. در این مدل ها، معادلات هیدرولیک جریان (به صورت یک بعدی یا دوبعدی) به همراه معادلات پیوستگی رسوب (یا معادله انتقال جرم رسوب) و نیز روابط تجربی انتقال رسوبات به کمک روش های مناسب عددی حل می شوند. در این تحقیق با استفاده از مدل های BRISTAR (Bridge stars) و GSTARS3.0 رسوبگذاری در مخزن سد گلستان در استان گلستان مورد بررسی قرار گرفته و با انجام مراحل واسنجی و صحت سنجی مدل، نتایج پیش بینی های آن برای دوره های زمانی آینده ارائه خواهد شد. این مدل ها یک مدل عددی، مدل نیمه ماندگار و نیمه دو بعدی افقی است که قادر است به مدل سازی تغییرات تراز کف مخازن ناشی از رسوبگذاری، با استفاده از چهار رابطه مختلف می باشد.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

به دلیل اینکه برای پرشدن سدهای بزرگ چند دهه بیشتر وقت نداریم باید چاره ای اندیشید در غیر این صورت با بحران آب و تامین آن رو به رو می شویم. رسوباتی که وارد سد می شوند هم خسارت مالی و هم خسارت زیست محیطی زیادی را به ما تحمیل می کند و امکان دارد با افزایش رسوب و پر شدن مخزن باعث شکست سد و آزاد شدن مقدار زیادی آب می شود و یا باعث تخریب سر شاخه های پایینی سد و اراضی پایین دست سد می شود به منظور اینکه بفهمیم کارهای آبخیزداری که انجام داده ایم موثر واقع شده اند یا نه از میزان ته نشین شده در چند سال استفاده می کنیم و با سال های که عملیات آبخیزداری انجام نشده، مقایسه می کنیم (صادقی، ۱۳۹۲). هزینه زیادی می شود تا یک سد ساخته و به بهره برداری برسد و جلوگیری از اتلاف این هزینه و سرمایه ضروری است و در یک منطقه سدی احداث می شود و اکوسیستم متحمل ضررهای زیادی می شود تا خود را با تغییرات کنونی وقف دهد و بار دیگر به این اکوسیستم ضربه وارد کرد خوب نیست و ممکن است اکو سیستم

را به هم برند (حبیبی شفیع، ۱۳۹۲). رسوبات وقتی که در پشت سد جمع می شود در هنگام زمین لرزه باعث نیروی مضاعف می شود با تخمین این میزان رسوب می توان این نیروی پشت سد را نیز در نظر گرفت (حبیبی شفیع، ۱۳۹۲). با افزایش ته نشینی میزان تبخیر آب هم زیاد می شود.

۴-۱- اهداف تحقیق

هدف از انجام این تحقیق، بررسی روند رسوبگذاری و نحوه توزیع رسوب در مخزن سد گلستان ضمن بهره گیری از مدل ریاضی^۱ BRI-STARS و GSTARS3.0 استفاده از مجموعه اطلاعات مرتبط با ژئومتری، هیدروگرافی، رژیم جریان آب و رسوب ورودی طی یک دوره بهره برداری ۴ ساله (۱۳۷۸ الی ۱۳۸۲) می باشد. با مشخص شدن نحوه توزیع رسوب در مخزن می توان برنامه رسوب زدائی مخزن را با روش علمی تری ارائه نمود.

۵-۱- روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا به جمع آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز مانند مقاطع عرضی، دبی، دبی رسوب، دانه بندی رسوبات معلق، بار بستر و هیدروگرافی سد در سال های مختلف خواهیم پرداخت. این نرم افزار انتقال رسوب را برای هر کلاس دانه بندی انجام می دهد در نتیجه ذرات با اندازه متفاوت با نرخ متفاوتی منتقل می شود. با توجه به پارامتر های هیدرولیکی، توزیع رسوب ورودی به بازه و ترکیب مواد بستر، بعضی از ذرات ممکن است دچار فرسایش شوند، در حالی که دیگر ذرات ممکن است رسوبگذاری رخ بدهد و یا ذرات بی حرکت باشند. نرم افزارهای BRISTAR و GSTARS3 ظرفیت حمل رسوب را برای هر کلاس دانه بندی که در بستر وجود دارد را محاسبه می کنند، اما مقدار واقعی مواد جابجا شده به وسیله معادله روند پیوستگی رسوب محاسبه می شود.

۶-۱- روش انجام کار

ابتدا مقاطع عرضی مخزن مورد نظر که حداقل دو دوره باید باشد را برداشت می کنیم. اگر برداشت مقاطع بیش از دو دوره بود نتایج دقیق تر خواهد بود. سپس در قالب فایل ورودی با توجه به نحوه مدل سازی نرم افزار اطلاعات مقاطع عرضی، دبی، دبی رسوب، دانه بندی و دوره زمانی را وارد می کنیم. سپس با کالیبره کردن اطلاعات ورودی برای دوره دوم برداشت مقاطع، خطا را به حداقل می رسانیم. بعد روند رسوب گذاری مخزن سد را برای سال های آتی محاسبه می کنیم.

¹ BRIDGE Stream Tube model for Alluvial River Simulation

۷-۱- سازماندهی پایان نامه

فصل اول این پایان نامه شامل مقدمه، ضرورت تحقیق، اهداف تحقیق، روش کلی انجام کار و شرح کلی فصول پایان نامه است. فصل دوم به معرفی نرم افزار های مربوط به بررسی روند رسوب گذاری و نیز مروری بر تحقیقات پیشین اختصاص یافته است. فصل سوم مواد و روش های مورد استفاده در انجام روند برنامه نویسی و نیز معادلات حاکم در نرم افزار در این پایان نامه شرح داده شده اند. در فصل چهارم نتایج حاصل از انجام بررسی روند رسوبگذاری با استفاده از هر دو مدل ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. در فصل پنجم به نتیجه گیری و پیشنهادات پرداخته شده است. در فصل پنجم ضمن این که نتایج بدست آمده به صورت کلی و خلاصه ارائه شدند، پیشنهاداتی نیز در رابطه با ادامه تحقیقات ارائه شده است.

۸-۱- فرضیات تحقیق

۱. در این مدل فرض بر این است جریان ماندگار است.
۲. در این مدل فرض بر جریان غیردائم است.
۳. در این تحقیق از دو دوره مقاطع عرضی (سال های ۷۸-۸۲) استفاده شده است.

فصل دوم

سابقه تحقیق

۲-۲- مقدمه

چنانچه سد بر روی یک رودخانه حامل رسوب احداث شود بجا ماندن تمام یا بخشی از رسوبات در مخزن غیرقابل اجتناب است. در نتیجه بتدریج از حجم اولیه مخزن کاسته می شود و اگر پیش بینی ها و روش های کنترل مناسب انجام نگیرد ممکن است اثرات جبران ناپذیری در کاربرد مخزن داشته باشد. اکثر مخازن برای چندین منظور از جمله تامین آب شهری، آبیاری، برق آبی، کنترل سیلاب و ... برنامه ریزی می شوند.

هر بخشی از مخزن برای یکی از منظوره های فوق اختصاص داده می شود. ممکن است از بین رفتن ظرفیت اولیه مخزن بوسیله رسوبات، اثرات مختلفی بر بخش های گوناگون مخزن گذاشته و سبب تغییرات نامطلوب در بهره برداری از مخزن شود.

رسوبگذاری در مخازن علاوه بر کاهش ظرفیت مخزن اثرات سوء ذیل را نیز در بر خواهد داشت:

۱) افزایش تبخیر برای یک ظرفیت ذخیره تعیین شده: این امر ناشی از افزایش تراز سطح آب برای یک مقدار ذخیره معین بوده که در نتیجه آن سطح وسیع تری در معرض تبخیر قرار گرفته و تلفات آب افزایش می یابد.

۲) رسوبگذاری و بالا آمدن کف مخزن که باعث افزایش ارتفاع سطح آب در اثر وقوع سیلابهای بزرگ و در نتیجه ایجاد آب گرفتگی اراضی و تشکیل باتلاقها در اراضی بالا دست سد می گردد.

به منظور بیان اهمیت و ضرورت موضوع بررسی روند رسوبگذاری در مخازن، مثالهایی در زیر آورده شده است:

مخزن سد یاسوکا^۲ بر روی رودخانه تنریا^۳ در ژاپن با ظرفیت ذخیره حدود ۵۱ میلیون متر مکعب به مدت ۱۳ سال ۸۰ درصد از این ظرفیت اولیه خود را به واسطه تجمع رسوبات از دست داده است.

مخزن زونی^۴ بر روی رودخانه زونی در شهر مکزیکوی آمریکا پس از گذشت ۱۲ سال از شروع بهره برداری آن، سالانه به میزان ۴/۸۶ درصد از ظرفیت آن کاسته شده است.

سد انحرافی آیکاری^۵ با ۵۳ متر ارتفاع بر روی رودخانه یامونا^۶ پس از گذشت ۵ سال بهره برداری از آن تا لبه تاج سرریز از رسوبات پر شده است.

بعضی از مخازن در هندوستان سالانه یک درصد از ظرفیت خود را بواسطه تجمع رسوبات از دست می دهند. در کانزاس آمریکا مخزن یک سد با ظرفیت ۳/۷ هکتار که بر روی رودخانه سالمون^۷ احداث شده بود، پس از مدت یک سال بطور کامل از رسوب پر گردید.

رسوبگذاری در مخازن ایران

سد دز تنها مخزن رودخانه دز است که پس از گذشت ۵۰ سال از زمان ساخت، ۷۰۰ میلیون مترمکعب از حجم مخزنش با رسوب پُر شده و ادامه این روند سبب از بین رفتن خاصیت این سد می شود (رضازاده، ۱۳۹۵).

عمر مفید سد سفیدرود ۸۰ سال با ظرفیت ۱/۸ میلیارد متر مکعب پیش بینی شده است که اکنون پس از گذشت ۴۰ سال حدود ۶۶۰ میلیون متر مکعب آن از رسوب انباشته شده است (حبیبی، م، ۱۳۸۶).

^۲ Yasoka

^۳ Tenrya

^۴ Zuni

^۵ Ichari

^۶ Yamuna

^۷ Salmon

بیش از دو میلیون متر مکعب از حجم مخازن سدهای طرق و کارده از رسوب پر شده است که این میزان ناشی از فرسایش خاک اراضی و باغات بالادست حوضه آبریز سدهاست (شکراللهی، ۱۳۹۰).

۲-۲- کلیاتی در مورد رسوبگذاری در مخازن سدها

متوسط تلفات حجم مخزن به یک درصد در سال می رسد (ICOLD، 1988). این آمار بر مبنای تلفات حجم ذخیره همه سدهای جهان اعلام شده است. این تلفات حجم قابل ملاحظه ای بوده و رسوبگذاری در مخازن یکی از مسایل اولیه ای است که در قرن بیست و یکم باید به آن توجه خاص شود و همچنین از مسایل مهم در ارتباط با مدیریت منابع آب می باشد. در حال حاضر تلاش های زیادی در زمینه پیش بینی الگوی ته نشینی رسوبات در مخازن سدها انجام می گیرد. این پیش بینی ها به جلوگیری از روند پرشدن سریع مخازن سدها کمک می کند. با پیش بینی روند رسوبگذاری مخازن سدها می توان برای آینده این سدها چاره ای اندیشید تا مخازن سدها به کلی از بین نرود تا علاوه بر از دست دادن مخزن سد که مهم ترین بخش یک سد است با حجم عظیمی از رسوب رو به رو نشویم.

۲-۳- مروری بر تاریخچه مدل های به کار رفته در زمینه رسوبگذاری مخازن سدها

با پیدایش رایانه ها راه کارهای جدید برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی حرکت آب و رسوبات، مدل های ریاضی متعدد با فرضیات ساده کننده و درجه مختلف دقت به منظور شبیه سازی روند رسوبگذاری در مخزن سدها به وجود آمده اند. به دلیل دشواری عملیات اندازه گیری مستقیم رسوبات ته نشین شده در مخازن سدها و بالا بودن هزینه های آن و همچنین عدم کارایی روش های تجربی برای کلیه سدها، مدل های ریاضی و رایانه ای به عنوان ابزارهای بسیار مفید و کارآمد مورد توجه و استفاده قرار گرفته اند. مدل های مختلف ارائه شده بر پایه تئوری، از لحاظ قابلیت شبیه سازی جریان آب و رسوب به صورت تک بعدی و روش های حل در نظر گرفته شده در آن ها و شرایط مرزی و همچنین در نظر گرفتن پدیده های همانند تشکیل لایه حفاظتی، جریان های غلیظ، تغییرات هندسی مقطع و... دارای انواع مختلف می باشد.

۲-۴- تعاریف

۲-۴-۱- عمر مفید سد

عمر مفید سد تا زمانی است که بتوان با کمترین هزینه یا هزینه معقول از آن بهره برداری کرد. بیشترین دلیل از بین رفتن سد، از بین رفتن حجم مفید مخزن آن دست است. استراند (۱۹۸۷) می گوید که درصدی از حجم تمام مخازن سدهای احداث شده بر روی رودخانه‌های طبیعی با ته‌نشین شدن رسوب از دست می رود در زمان طراحی سد باید به این نکته که چقدر طول می کشد که این سد از رسوب پر می شود توجه کرد به خاطر اینکه زمانی که سد از رسوب پر شد عمر مفید سد به پایان رسید. عمر مفید سد به عوامل مختلفی بستگی دارد از جمله میزان رسوبات ته‌نشین شد در مخزن سد، وزن مخصوص مواد ته‌نشین شد و شرایط بهره برداری از سد (حسن زاده، ۱۳۷۷).

۲-۴-۲- رسوبگذاری در مخازن سد

بیشترین اثراتی که رسوبگذاری در مخزن سد دارد باعث کاهش ظرفیت ذخیره‌های مخزن، اختلال در عملکرد دریاچه‌های تحتانی و کاهش تولید انرژی برقی و ایجاد نیروی اضافی هنگام زمین لرزه و اثرات زیست محیطی و گردشگری می شود. حجم آب قابل استفاده در سد ها آبی است در بالای حجم مرده سد است رسوبگذاری در مخازن سدها اثرات زیانبار زیر را دارند.

۲-۴-۳- افزایش تبخیر برای آبی که در مخزن سد ذخیره شده

این پدیده ناشی از افزایش سطح آب مخزن برای یک مقدار ذخیره مشخص است و باعث می شود که آب سطح وسیعتری پیدا کند و پدید تبخیر بیشتر می شود و تلفات از طریق تبخیر افزایش می یابد.

۲-۴-۴- رسوبگذاری در سرشاخه های ورودی به مخازن سد

این رسوبگذاری در سرشاخه ها باعث بالا آمدن و افزایش کف می شود این امر باعث افزایش ارتفاع سطح آب در مواقع سیلابی و آبگرفتگی دشت های سیلابی و اراضی اطراف و تشکیل باتلاق در اراضی بالادست مخازن سد ها می شود. هر چند که از دست دادن مخزن پر شده از رسوب بارزترین ضرر حاصله می باشد ولی شاید بتوان اثرات جنبی آن را جدی تر ارزیابی نمود پر شدن مخزن سد از رسوبات، خطرات زیست محیطی فراوانی داشته و باعث به هم خوردن اکوسیستم طبیعی هر چند که هنوز هم چند دهه به پر شدن کامل مخازن سدهای بزرگ مخزنی موجود است ولی فکر رو به رو شدن با توده عظیمی از رسوبات ریزدانه باتلاقی و اکوسیستم محلی حاصل از آن از همین حالا تمام

زیست شناسان را به وحشت انداخته است. بعد از پر شدن مخازن این سوال پیش می‌آید که وضعیت تامین آب چگونه می‌شود و باید این مسئله را بدانیم که سدهای که در حال حاضر هستند در بهترین مکان‌ها احداث شده‌اند و سد های که از این پس احداث می‌شوند در مکان های نامناسب احداث می‌شوند. با پر شدن رودخانه‌ها از رسوب باعث افزایش تلفات آب ورودی به مخزن می‌شود و وسعت رودخانه هم دستخوش تغییرات می‌شود و میزان سرعت آب هم تغییر می‌کند و میزان رسوب ورودی به مخزن هم تغییر می‌کند.

۲-۴-۵- عوامل تاثیر گذار در رسوبگذاری سد

طبق توصیه USBR در صورتی که حجم کل رسوبگذاری در مخزن از ۵٪ حجم مخزن بیشتر باشد می‌بایستی این حجم اضافی در طراحی منظور شود.

عوامل تاثیر گذار در رسوبگذاری مخازن عبارت اند از:

- بار رسوب
- ضریب ماند رسوبی
- وزن حجمی رسوبات
- چگونگی توزیع رسوبات در مخازن
- نرخ تولید رسوب
- نسبت تحویل رسوب
- راندمان تله اندازی رسوب

۲-۴-۵-۱- بار رسوبی

به مجموع مواد فرسایش یافته از فرسایش ورقه ای، جویچه ای، خندقی که اعم از بارمعلق یا بار بستر بار رسوبی گفته می‌شود که از جای خود انتقال پیدا می‌کند و در مسیر سرشاخه‌ها به مخزن سد می‌رسد.

۲-۴-۵-۲- ضریب ماند رسوبی

رسوباتی که توسط سرشاخه‌ها انتقال پیدا می‌کند و به سد وارد می‌شود ممکن است ته‌نشین نشود و از سر ریز یا تخلیه کننده‌ها خارج شود ضریب ماند رسوبی میزان رسوبات ورودی از سر شاخه‌ها منهای رسوبات خروجی از سد است عوامل مختلفی به ماند رسوبی بستگی دارد. از جمله مشخصات هندسی ذرات رسوبی، شکل مخزن، بزرگی و کوچکی مخزن جریان های ورودی و محل قرار گیری سرریز و تخلیه کننده‌ها، میزان غلظت جریان رسوبی، میزان تلاطم و آشفتگی جریان هنگام سیل، چسبندگی ذرات به هم را می‌توان نام برد.

۲-۴-۵-۳- وزن حجمی رسوبات

اگر وزن حجمی رسوبات زیاد باشد رسوبگذاری بیشتر اتفاق می افتد و بلعکس وزن حجمی رسوبات به عوامل زیادی بستگی دارد. جنس خاک حوزه، شکل رسوبات، دوری یا نزدیکی سر شاخه به مخزن سد، عملیات های حفاظتی برای جلوگیری از حرکت رسوبات، دبی آب ورودی به مخزن سد.

۲-۴-۵-۴- نرخ تولید رسوب

میزان بار رسوبی در واحد سطح را اصطلاحاً "نرخ تولید می گویند بار رسوب بسته به کل حوزه تغییر می کند هرچی حوزه بزرگتر باشد نرخ تولید رسوب کمتر است.

۲-۴-۵-۵- نسبت تحویل رسوب

نسبت مقدار بار رسوبی به مقدار کل فرسایش در حوزه آبریز را نسبت تحویل رسوب می گویند و بیشترین تاثیر را مساحت روی آن دارد با افزایش سطح حوزه نسبت تحویل رسوب کم و بلعکس علت کم تر شدن نسبت تحویل در حوزه های بزرگتر این است که در جای دیگر رسوبگذاری می شود.

۲-۴-۵-۴- چگونگی توزیع رسوبات در مخزن سد

اگر در مخازن رسوبات به طور یکسان توزیع شوند ریزدانه ها در نزدیکی بدنه سد و رسوبات درشت تر در ورودی سد ته نشین می شوند بسته به اندازه ذرات از بالا به پایین یعنی از ورودی آب به سد تا بدنه سد مواد ریزدانه می شوند و رسوبگذاری به طور منظم است ولی اگر رسوبات ورودی چند شاخه با ورودی های مختلف با هم وارد سد شوند و نوع و اندازه رسوبات فرق کند موضوع متفاوت است و رسوبات ممکن است کم ته نشین شود یا زیاد ته نشین شود کم بودن ته نشینی به دلیل اینکه امکان چند حالت وجود دارد مثلاً اگر همه شاخه ها ریز دانه باشد ته نشین کمتر است چون بیشتر ریزدانه بیشتر به صورت معلق اند ولی اگر همه درشت دانه باشند ته نشینی زیاد است امکان دارد ته نشینی نسبتاً خوب باشد و اگر ذرات با چسبندگی داشته باشند و با چسبیدن دانه های بزرگتر تولید و رسوبگذاری را تشدید می کند و در حالت درشت دانه رسوبات به صورت بار بستر است.

۲-۵- روش های مختلف تعیین چگونگی روند رسوبگذاری در مخازن

۲-۵-۱- روش های تجربی

اساس روش های تجربی بر مبنای مشاهدات و اندازه گیری های مخازن ساخته شده موجود پایه گذاری شده است. قابلیت روش های تجربی تنها به چند خصوصیت که ممکن است در ارزیابی اولیه

این فرآیند اهمیت داشته باشند، محدود می شود. مسلماً عمومیت دادن این روش ها برای تمام مخازن صحیح نمی باشد. سادگی و فقدان داده های مورد نیاز برای آنالیز روند رسوبگذاری نسبت به روش های ریاضی از دلایل بکارگیری این روش ها در شرایط مختلف می باشد.

روش های تجربی مختلف جهت برآورد ته نشینی رسوبات در مخازن عبارتند از:

- روش افزایش سطح^۸ - روش چین (۱۹۹۹)
- روش کاهش سطح^۹ - روش برلند (۱۹۵۸)
- روش سزچوکز و کوارشی (۱۹۶۵) - روش هوبز (۱۹۹۷)
- روش گارد و همکاران (۱۹۸۷)

از میان روش های تجربی فوق الذکر، روش تجربی افزایش سطح از دقت و کارایی زیادتری برخوردار بوده که در مقایسه با روش های دیگر بیشتر مورد استفاده محققین قرار می گیرد (موسوی، ۱۳۸۶).

۲-۵-۱-۱- روش تجربی کاهش سطح

این روش در حقیقت یک روش ریاضی مبتنی بر اصول مشاهده ای در مخازن است. در حال حاضر برای پیش بینی وضعیت رسوبگذاری در مخازن در دست طراحی و همچنین در مورد سدهای ساخته شده، کاربرد روش های تجربی-ریاضی سریع و کم خرج و اغلب با ضریب اطمینان بالایی همراه بوده است.

تئوری محاسبه عمق رسوب و تعیین چگونگی توزیع رسوبات در مخازن اولین بار توسط برلند و میلر در سال ۱۹۵۸ با مطالعه بر روی ۳۰ سد در آمریکا ارائه و سپس توسط مودی در سال ۱۹۶۲ اصلاح گردید. این دو محقق با مطالعه و بررسی اطلاعات حاصل از عمق یابی^{۱۰} مخزن و رسوبگذاری واقعی در

^۸ Area Increment method

^۹ Area Reduction method

^{۱۰} Hydrographic Survey

مخازن بدین نتیجه رسیدند که رابطه ای بین شکل مخازن و درصد رسوبات ته‌نشین شده در ترازهای مختلف مخزن وجود دارد که این روش نیز بر پایه همین تئوری استوار می باشد. شکل و تیپ مخزن از طریق ترسیم رابطه حجم-ارتفاع مخزن بر روی یک کاغذ تمام لگاریتمی و محاسبه عکس شیب خط (m) بدست آمده، مشخص می‌گردد. جدول (۱-۲) طبقه بندی مخازن را از نظر شکل و تیپ مخزن نشان می دهد.

جدول (۱-۲) - نوع استاندارد مخازن در روش کاهش سطح

درجه بندی مخزن	نوع مخزن	پارامتر m
تیپ ۱	دریاچه ای	۳/۵ - ۴/۵
تیپ ۲	دشت سیلابی	۲/۵ - ۳/۵
تیپ ۳	تپه ای	۱/۵ - ۲/۵
تیپ ۴	دره ای	۱ - ۱/۵

مراحل محاسباتی تعیین نحوه توزیع رسوبات به روش کاهش سطح بصورت زیر می باشد:

در این روش نخست تراز رسوب در پشت بدنه سد حدس زده می شود. سپس عمق دریاچه در ترازهای مختلف مخزن بر کل ارتفاع (حد فاصل حداکثر رقوم سطح آب در مخزن تا کف رودخانه) تقسیم می شود. در ادامه رابطه ذیل پارامتر A_p با نام مساحت نسبی بدون بعد بدست می آید. که در این رابطه c، m و n اعداد ثابت بدون بعدی هستند که از جدول (۱-۲) استخراج می گردد.

برای تعیین مساحت رسوبگذاری شده در عمق P ابتدای منحنی A مطابق با مخزن سد مورد نظر مشخص و سپس عدد ثابت K را که معادل $\frac{A_0}{A_p}$ می باشد برای ارتفاع صفر حدس زده محاسبه می نمائیم. ارتفاع صفر ارتفاعی است که حجم پایین تر از آن کاملاً توسط رسوب پوشیده شده است. در عبارات فوق، A_0 مساحت در ارتفاع صفر می باشد که از منحنی سطح ارتفاع مخزن بدست می آید و

A_p مساحت نسبی در عمق نسبی مربوط به ارتفاع صفر می باشد. پس از محاسبه K از حاصلضرب K در A_p مساحت رسوبگذاری شده در ارتفاع های بیش از صفر محاسبه می شود. مساحت رسوبگذاری شده در پایین تر از ارتفاع صفر برابر مساحت اصلی سطح مخزن سد می باشد.

مخزن با استفاده از روش کاهش سطح بوده که توسط فیض اله و جبلی فرد در شرکت دزآب به زبان کوئیم بیسیک تهیه شده است.

۲-۵-۲- روش های ریاضی

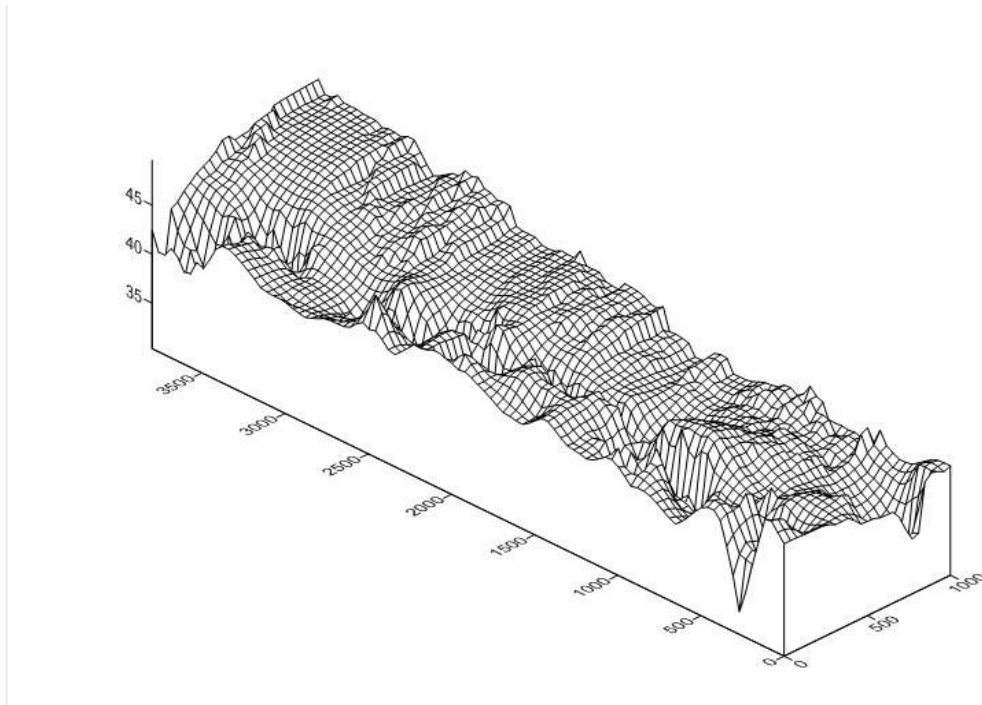
مدل های ریاضی بر اساس حل ریاضی تمام پدیده های موثر در انتقال، توزیع، ته نشینی و آب شستگی بنا نهاده شده اند. این مدل ها غالبا به تکرار محاسبات تعدادی از فرمول های مربوطه توسط کامپیوتر مبادرت می ورزند. از نقطه نظر تئوری معروف جت، پخشیدگی و تئوری انتقال رسوب استوار هستند.

روش تئوری جت را می توان برای ذرات درشت که در مصب رودخانه ها و مخازن ته نشین می شوند مورد استفاده قرار داد. این مدل قابلیت در نظر گرفتن ذرات رسوبی کوچک و حتی محاسبه میزان انتقال ذرات درشت را ندارد.

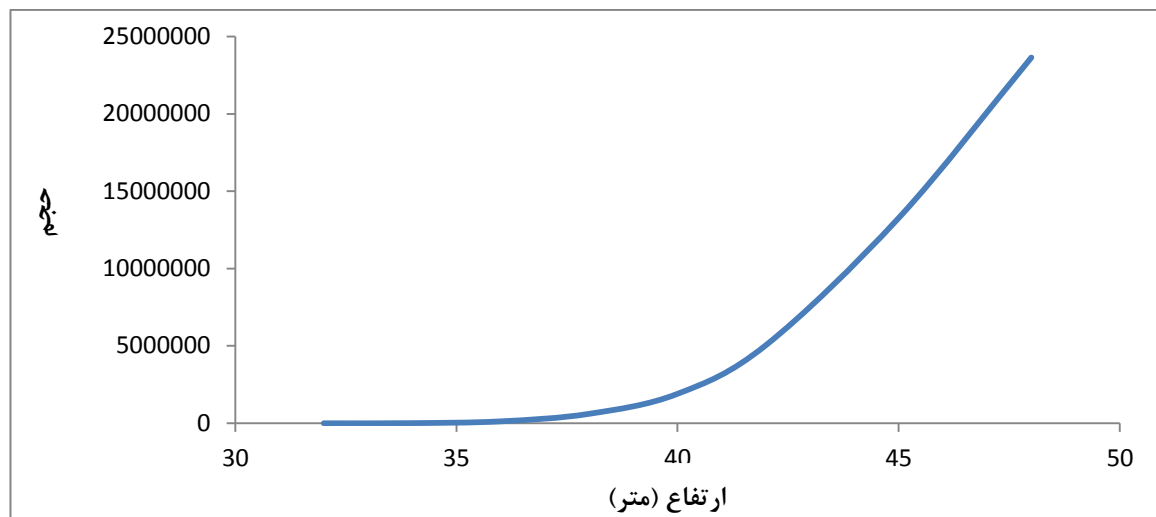
تئوری پخشیدگی ممکن است برای ذرات خیلی ریز استفاده شود ولی قابلیت آنالیزی ذرات رسوبی درشت را ندارند. روش های ریاضی مبتنی بر تئوری جت و پخشیدگی محدودیت های عمده ای را دارا می باشند. روشهایی که بر اساس تئوری انتقال رسوب استوارند از اطمینان بیشتری برای شبیه سازی فرآیند رسوب گذاری برخوردار می باشند زیرا طی دو دهه اخیر تحقیقات با ارزش زیادی برای توسعه و تکمیل این نوع روش ها صورت گرفته است.

روش های ریاضی مختلفی که در آنها از تئوری انتقال رسوب استفاده شده است، عبارتند از:

- | | |
|---------------------|------------------|
| - روش چانگ و ریچارد | * مدل TCM |
| - روش یوسل و گراف | * مدل FLUVIAL-۱۲ |
| - مدل آسادا | * مدل MODES -۲ |
| - مدل لوپز | * مدل HEC-۶ |
| - مدل FCM | * مدل BRI-STARS |



شکل (۱-۲) توپوگرافی مخزن سد ترسیم شده توسط سورفر از ابتدای بدنه سد تا سرشاخه های ورودی



شکل (۲-۲) منحنی حجم ارتفاع مخزن حاصل از کاهش سطح

۲-۶-۲ روش های کنترل رسوبات مخازن سدها

روش های جلوگیری از رسوبگذاری در مخزن سد را می توان به دو روش بازدارنده ورود رسوبات به مخزن و روش های اصلاحی رسوبگذاری تقسیم می شود.

۲-۶-۲-۱ روش بازدارنده ورود رسوب

- مدیریت آبخیزداری: شامل احیا جنگل و مراتع، کنترل بهره برداری از پوشش گیاهی، تثبیت بستر انهار و آبراهه ها (بجستان شفافی، ۱۳۸۴).
- مانع شدن ورود جریانات دارای غلظت رسوبات زیاد به مخازن سدها با استفاده از منحرف کردن جریان در مواقع سیلابی به وسیله ساختن کانال های انحرافی و فرعی.
- کم کردن رسوبات ورودی به مخزن به وسیله ساخت حوضچه آرامش رسوبگیر و ساخت سد بر روی شاخه های فرعی رودخانه در بالادست (شفافی بجستان، ۱۳۸۴).
- ساخت سد در فاصله مناسب از شاخه ها برای ورود کمتر رسوبات و ته نشین شدن آن در سر شاخه های فرعی تا حد امکان.
- ساخت سد در شیب مناسب برای جلوگیری از ورود رسوب برای اینکه شیب زیاد ارتفاع سیل را زیاد می کند و باعث ورود رسوبات زیاد و فرسایش سواحل (صادقی، ۱۳۹۲).

۲-۶-۲-۲ روش های اصلاحی کنترل رسوبگذاری

شامل روش های اصلاحی می باشد که اساس کار آن ها بر مبنای خارج ساختن رسوبات ته نشین شده در مخزن است (شفافی بجستان، ۱۳۸۴).

- لایروبی (هیدرولیکی، مکانیکی) که شامل تخلیه رسوبات داخل مخزن به کمک ماشین آلات سنگین می باشد که دارای هزینه زیاد است (شفاعی بجستان، ۱۳۸۴).
- آبشویی، خارج کردن گل و لای به وسیله آب، که در مقایسه با روش لایروبی هزینه دارد ولی از طرف دیگر باعث تلفات آب، متوقف شدن تولید انرژی و نیز انقطاع در آبیاری می باشد (شفاعی بجستان، ۱۳۸۴).

۲-۷- مطالعات انجام شده

مدلی براساس معادله انتقال رسوب ارائه داد. آسادا پروفیل های برگشت آن را به وسیله معادلات دائمی و غیر یکنواخت محاسبه کرد و سپس با استفاده از معادلات حمل و پیوستگی رسوب تغییرات کف را محاسبه کرد (آسادا، ۱۹۷۳).

کارهای انجام شده در مورد شبیه سازی عددی در هیدرولیک رسوب را مورد بررسی قرار داده اند. علاوه بر این تعدادی حل تحلیلی با ساده کردن معادلات تشریح کننده روند رسوبگذاری و فرسایش ارائه کرده اند (کونژ و همکاران ۱۹۷۳) و داودی و وانونی (۱۹۸۶)

در بررسی های جداگانه اقدام به بررسی آزمایشگاهی دلتای رسوبی، کرد. نتایج این بود که با کاهش سرعت جریان، بار رسوبی به صورت جانبی گسترش یافته و عرض آن زیاد می شود. همچنین، زمانی که جریان مومنتم خود را از دست دادند، گردان انرژی اهمیت پیدا می کند و باعث فرار ذرات رسوبی به کناره ها می شود این پدیده تا جای ادامه می یابد که با شکست هایی تازه، تغییر در مسیر حرکت دلتا رخ دهد (چانگ، ۱۹۸۲).

معادله ی خطی پخشی تشریح کننده ی روند رسوبگذاری و فرسایش را با سری فوریه و روش های تابع خطا حل کرد (گیل، ۱۹۸۳).

راه حل های غیر خطی برای رسوبگذاری و فرسایش که نسبت به راه حل های خطی تطابق بهتری را با اطلاعات آزمایشگاهی نشان دادند ارائه داده است (لین، ۱۹۸۷).

نیز نشان داده است که اگر تغییرات ناگهانی جریان از بالادست وجود داشته باشد نمی توان از مدل های غیر جفت استفاده کرد چرا که مدل های غیر جفت نمی تواند به طور دقیق شرایط مرزی و یا اولیه را شبیه سازی کند (لین، ۱۹۸۷).

نحوه توزیع رسوبگذاری در رودخانه و مخازن سدها با مدل Fluvia12 را بهبود بخشیدند (چانگ و همکاران، ۱۹۹۶).

به بررسی علل پرشدگی سریع چهار سد در استرالیا پرداخته است. در این بررسی اهمیت انتخاب محل سد و همچنین اهمیت بررسی میزان رسوبات ورودی به مخزن مورد مطالعه قرار گرفته است (چانسون و جیمز، ۱۹۹۸).

بر روی بررسی مدل های ریاضی در توزیع رسوبات با استفاده از حل معادلات انتقال رسوب به صورت متوسط گیری در عمق پرداختند (چیو و همکاران، ۲۰۰۰).

بر روی تاثیرات آب گل آلود بر روی رسوبگذاری در مخازن با استفاده از یک مدل در مقیاس آزمایشگاهی و حل عددی جریان در روی سیلاب هزارساله مخزن لوزون در سوئیس آلپ پرداختند. در بررسی صورت گرفته، اثرات جریانات غلیظ بر رسوبگذاری مخزن با اثرات واقعی آن مورد مقایسه قرار گرفت (دسکار و همکاران، ۲۰۰۱).

آزمایشاتی به منظور مطالعه آزمایشگاهی توسعه دلتاهای آبرفتی، انجام دادند. تجهیزات آزمایشگاهی آن ها شامل، یک کانال مستطیلی عریض و یک کانال مستطیلی با عرض کم بود جریان آب و رسوب با یک نرخ ثابت از بالادست کانال تزریق می شد و حمل رسوبات محدود به بار بستر بود. مقایسه نتایج آزمایش ها با روابط تحلیلی نشان دهنده تشابه هندسی دلتا در پلان، مقطع طولی و مقطع عرضی به ترتیب با یک تابع گوسی و یک تابع هذلولی و یک تابع خطی بود (شیه و همکاران، ۲۰۰۱).

با به یادگیری مدل ریاضی GSTARS به بررسی فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه درنس که یکی از سرشاخه های رودخانه رون در سوئیس می باشد پرداختند. نتایج حاصل نشان دهنده آن است که رسوبات اندازه گیری شده با مقادیر محاسبات شده توسط مدل هم خوانی خوبی ندارد (کلینو و اسیاد، ۲۰۰۲).

نیز با مقایسه مدل های جفت و غیر جفت تاکید کرد است که برای شبیه سازی جریان و رسوب در رودخانه ها و مخازن در شرایط آورد رسوب زیاد باید از مدل جفت استفاده کرد. با توجه به پیچیدگی مدل های جفت و با در نظر گرفتن این که آورد رسوب تنها در زمان های بسار کوتاهی از سال ممکن است خیلی بالا باشد، لذا بیشتر مدل های ریاضی موجود از مدل های غیر جفت استفاده می کنند (کائو و همکاران، ۲۰۰۲).

مدلسازی عددی یک بعدی از رسوبات مخازن را پیشنهاد دادند، که یک مدل ساده از حمل نقل شن، از بستر رودخانه ها، می باشد و ذرات رسوب را دو اندازه، شن به عنوان مواد بستر و گل بار شستشو شده، در نظر گرفته است. در توسعه این مدل، سیر تکامل مرز فیزیکی دلتای رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است (تونیلو و پارکر، ۲۰۰۳).

به مکانیسم فرسایش ناشی از غلظت، جریان های عرضی و گسترش یک معادله تجربی انتقال رسوبی ناشی از رسوب نا متعادل پرداختند (فوکس و همکاران، ۲۰۰۶).

بر روی مقایسه دو روش اندازه گیری فرسایش و رسوبگذاری در حالت فلوام آزمایشگاهی و مقایسه نتایج با مدل SEDFLUME پرداخته است (راونز، ۲۰۰۷).

به بررسی فرسایش و رسوبگذاری در مخزن سد با استفاده از مدل FLOW-3D پرداختند. آنها در این تحقیق پارامتر های موثر بر سرعت انتقال رسوب و همچنین سرعت و حرکت آب در زمان های مختلف و در حالت وجود رسوبات و عدم وجود رسوبات در مخزن سد بررسی کردند (برتو و همکاران، ۲۰۱۰).

به مدل سازی چندگانه و عددی برای مدیریت و کنترل رسوبات در هنگام بالا آمدن و طغیان مخزن سد Raterichsboden در سوئیس پرداختند. آنها در این تحقیق جهت بررسی رسوب شویی سد در حالت تحت فشار و آزاد از نرم افزار FLOW-3D استفاده نمودند (مولر و همکاران، ۲۰۱۱).

۲-۸- مطالعات که در ایران انجام شده

تغییرات پرفیل طولی بستر یک مدل هیدرولیکی را متعاقب احداث یک سد ذخیره ای در عرض آن از دیدگاه تئوری مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و معادلات حاکم بر پدیده را با اعمال روش تفاضلات محدود مورد بررسی قرار دادند (حسن زاده و اعلمی، ۱۳۷۶).

به قابلیت برخی از مدل ها در زمینه رسوبگذاری مخازن سدها به منظور کاربرد صحیح این گونه مدل پرداختند. در روند انجام این تحقیقات سه مدل ریاضی معروف به نام های Fluvia112، SSIIM1.1 و GSTARS مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت مقایسه کیفی سه نرم افزار با یکدیگر انجام داد. ضمناً در هر مدل تغییر پارامترهای موجود انجام شد تا بتوان حساسیت نتایج مدل را به این متغیر برای شبیه سازی مشخص کرد (تربن و صالحی نیشابوری، ۱۳۸۳).

به بررسی رسوبگذاری مخزن سد یامچی، به کمک مدل HEC-6 و روش تجربی کاهش سطح و افزایش سطح پرداختند و سپس به دنبال الگوی مناسبی برای پیش بینی توزیع رسوب در مخزن، به مقایسه نتایج به دست آمده، پرداختند و براساس نتایج به دست آمده برای مخزن سد یامچی، روش افزایش سطح را همخوان تر با مدل HEC-6، نشان دادند و توزیع رسوب در سطح مخزن را به صورت تقریباً یکنواخت نشان دادند (منتظری نوین و اعلمی، ۱۳۸۵).

به بررسی جریان رسوبات ریزدانه معلق در مخازن سدهای تنظیمی با استفاده از مدل MIKE II پرداخت. در این تحقیق سد های تنظیمی دز در بالادست پل دزفول مورد مطالعه قرار گرفت و مشاهده

شده که سرعت ته نشین شدن و فرسایش در کالیبراسیون مدل نقش موثری نسبت به ضرائب پخشندگی مدل دارد (اردلان، ۱۳۸۵).

کاربرد و ارزیابی مدل GSTARS3.0 را در شبیه سازی نحوه رسوبگذاری مخازن مورد مطالعه قرار داده و عمر مفید سد کارده را به لحاظ رسوبگذاری در حدود چهل سال محاسبه نمود (اعلمی و همکاران، ۱۳۸۶).

با استفاده از مدل شبیه ساز رسوب به بررسی تعیین عمر مفید مخزن سد اکباتان پرداختند. با استفاده از معادله پیوستگی رسوب و چهار معادله انتقال مختلف، مقدار رسوب موثر در کاهش عمر مخزن به دست آمد. این مقادیر جهت محاسبه کاهش حجم مخزن در یک دوره ۵۰ ساله به کار رفته است، که نشان می دهد روش انگلاند هانسن در مقایسه با معادلات دیگر از تطابق بیشتری با شرایط واقعی مخزن برخوردار بوده است. در پایان نیز با توجه به شرایط تعادل نهایی، پروفیل کف مخزن به دست آمده است. نتایج نشان می دهد که پس از این مدت رسوب زیادی در پای سد جمع شده و تا ۱۵ متر افزایش ارتفاع دارد (میرباقری و همکاران، ۱۳۸۶).

به بررسی روند رسوبگذاری در کارایی سد مخزنی علویان با مدل ریاضی GSTARS پرداختند و نتیجه گرفتند که پس از طی ۵۰ سال، حجم رسوبات انباشته شده در مخزن به حدود ۱۵ میلیون متر مکعب بالغ می شود که تقریباً معادل ۲۵ درصد حجم مفید می باشد و نیز دریافتند مدل GSTARS تطابق بهتری را به جهت شبه دو بعدی بودن، برای بررسی روند رسوبگذاری در مخزن نشان می دهد (خانکندی و حسن زاده، ۱۳۸۶).

به بررسی روند رسوبگذاری در سد امیر کبیر با استفاده از مدل HEC-6 پرداختند. نتایج حاصل از هیدروگرافی انجام یافته روی مخزن سد مزبور مقایسه گردید. همچنین توزیع رسوبات مخزن توسط دو روش تجربی افزایش سطح و کاهش سطح حساب شد و نتایج آن ها با نتایج مدل وهیدروگرافی مورد مقایسه گردید. نتایج نشان داد با وجود یک بعدی بودن مدل می تواند به نتایج آن اعتماد کرد. کالیبراسیون مدل با هیدروگرافی انجام شده در مخزن سد نشان می دهد که اگر رسوبگذاری به همین طریق پیش برود طی شصت سال از بهره برداری سد در حدود ۱۹ درصد حجم مخزن از رسوبات پر می شود (وفایی منش و همکاران، ۱۳۸۶).

نرم افزارهای HEC-6 و GSTARS3 را در برآورد رسوبگذاری در مخزن سد کرخه را مورد استفاده قرار دادند. نتایج حاکی از برتری مدل GSTARS3 و تابع انتقال رسوب یانگ ۱۹۹۶ به دلیل لحاظ نمودن بار شسته در محاسبات بود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۷۸).

میزان خطای روش های تجربی افزایش و کاهش سطح در پیش بینی توزیع رسوب مخازن سدهای دز، درودزن، شهید عباسپور را ارزیابی نمودند. مقایسه توزیع رسوب واقعی، با توزیع رسوب پیش بینی شده توسط روش های افزایش سطح و کاهش سطح، نشان می دهد که حداکثر میزان خطا در تعیین عمق رسوب در پشت بدنه سد اتفاق می افتد و با افزایش تراز میزان خطا کمتر می شود. برای سد درودزن که حجم رسوبات آن خیلی کم است، روش کاهش سطح نسبت به روش افزایش سطح دارای خطای بیشتری است و در سدهای دز و شهید عباسپور که حجم رسوبات آن ها زیاد است، هر دو روش دارای خطای تقریباً یکسان می باشند. با افزایش حجم رسوب نهشته طی سال های متمادی، پس از بهره برداری از این سدها، از مقدار ضریب شکل هر سه مخزن کم شده و در نهایت، تیپ مخازن به تیپ ۲ تغییر کرده است (موسوی و همکاران، ۱۳۷۸).

کاربرد و ارزیابی مدل GSTARS در شبیه سازی نحوه رسوبگذاری در مخزن سد کاوه را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل های نیمه دو بعدی دقت بیشتری نسبت به مدل های یک بعدی دارند به طوری که نتایج مدل های با دو لوله جریان و یا بیشتر که نیمه دو بعدی می باشند نسبت به مدل های با یک لوله جریان که یک بعدی می باشند نتایج نزدیکی به واقعیت دارد (اعلمی، مرسولی، اسدیانی، ۱۳۷۸).

با استفاده از نرم افزار مدل GSTARS و تابع پارکر (۱۹۹۰) رسوبگذاری در مخزن سد کرخه را شبیه سازی کردند. تحلیل آماری و واسنجی نتایج اجرای مدل با استفاده از تابع پارکر (۱۹۹۰) نشان داد که می توان از این تابع برای بررسی و پیش بینی وضعیت رسوبگذاری در مخزن سد کرخه استفاده کرد و پیشنهاد کردند از سایر توابع موجود در GSTARS با توجه به محدوده کاربرد آن ها در سایر تحقیقات مشابه نیز استفاده کرد (ذرتی پور و همکاران، ۱۳۸۹).

در تحقیقی پس از واسنجی نرم افزار GSTARS3.0 برای منطقه سد وشمگیر به بهره برداری بهینه با هدف کمینه سازی رسوبگذاری در مخزن سد پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که مدل GSTARS برنامه ای است که می تواند هم رسوبگذاری را مدل نماید و هم آن را کمینه سازی کند و همچنین قابلیت های مدل طرح شده با کاربرد آن روی مخزن سد وشمگیر به اثبات رسیده است (ولیزادگان و شفافی بجستان، ۱۳۹۰).

به بررسی الگوی رسوبگذاری در مخزن سد شهید مدنی با استفاده از مدل GSTARS3.0 و روش تجربی کاهش سطح پرداختند. نتایج شبیه سازی نشان داد که در تراز های بالای سد مدل GSTARS3.0 تطابق مطلوبی با روش تجربی کاهش سطح دارد که با افزایش تعداد لوله های جریان همگرایی قابل توجهی بین نتایج مدل ریاضی و تجربی حاصل می گردد و نتیجه گرفتند که در نظر

گیری پروسه شبیه سازی و کالیبراسیون نشانگر آن است که اعمال ضرایب و انتخاب معادله انتقال رسوب مناسب با یک سد، منحصر بخصوصیات منطقه و دریاچه مورد بررسی بوده و قابل تعمیم برای سایر سدها نمی باشد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۰).

بررسی روند رسوبگذاری در مخزن سد علویان را با استفاده از کاهش سطح انجام و نتایج حاصل نشان داد که در مخزن سد علویان میزان رسوبگذاری رقم پائینی می باشد (قهرمانیان و ستاری، ۱۳۹۱). به شبه سازی رسوب گذاری مخزن سد ماکو با نرم افزارهای GSTARS3 و MIKEII پرداخته و مشاهده کردند با گذشت حدود ۳۰ سال میزان رسوب در پشت سد ۸۸.۴ درصد حجم مخزن خواهد شد (محمدی و ابراهیم زاده، ۱۳۹۲).

به بررسی کاربرد نرم افزار GSTARS3 در روند رسوبگذاری مخزن سد جیرفت پرداخته و بعد از کالیبره کردن مدل با استفاده از داده‌های هیدرمتری عمر مفید مخزن را برآورد کردند (منه‌ی فرد و همکاران، ۱۳۹۲).

به دلیل اهمیت زیاد رسوبگذاری در مخازن، با توجه به مطالعات انجام شده بالا و کارایی قابل قبول نرم افزار GSTARS3.0 و BRISTARS در زمینه رسوبگذاری مخزن سد و همچنین نزدیک بودن نحوه مدل سازی و نیمه دویبعدی بودن هر دو مدل، با این دو نرم افزار، به بررسی روند رسوبگذاری در مخزن سد گلستان می پردازیم.

فصل سوم

روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

در این فصل درباره مدل های ریاضی رسوبگذاری در مخازن سدها و منطقه مورد مطالعه و معادلات و روشهای حل بحث می شود. برای استفاده کاربردی از هر نرم افزار ریاضی هیدرولیک و رسوب جریان، باید این نرم افزار با توجه به شرایط خاص منطقه واسنجی و صحت سنجی شود. برای واسنجی مدل های ریاضی رسوبگذاری در مخازن سدها، باید پروفیل طولی رودخانه در محل مخزن سد و قبل از احداث سد و نیز حداقل یک پروفیل طولی از کف مخزن در بهره برداری موجود باشد. همچنین هیدروگراف دبی جریان ورودی به مخزن سد (به ویژه در شرایط سیل)، هندسه مقاطع عرضی رودخانه در محل و بالادست مخزن سد، دانه بندی رسوبات ورودی و نیز رابطه دبی آب-دبی رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری بالادست مخزن سد مورد نیاز است. در این مرحله، به کمک مدل سازی ریاضی جریان و رسوب در مخزن و مقایسه نتایج پروفیل طولی رسوبگذاری با پروفیل طولی مشاهداتی، رابطه تجربی انتقال رسوب مناسب برای مخزن سد تعیین خواهد شد. بعد از واسنجی مدل، مرحله صحت سنجی مدل ریاضی انجام خواهد شد. در این مرحله باید نتایج مدلسازی برای یک دوره زمانی دیگر نیز تکرار شده و با نتایج مشاهداتی مقایسه شود. اگر نتایج مقایسه رضایت بخش بود مراحل واسنجی و صحت-سنجی مناسب است در غیراینصورت باید مرحله واسنجی را تکرار نمود. در نهایت، پیش بینی روند رسوبگذاری در مخزن برای دوره های آتی انجام خواهد شد.

۳-۲- مشخصات سد گلستان

جدول (۳-۱) مشخصات سد گلستان

نوع	سد خاکی
طول تاج	۱۳۰۰ متر
ارتفاع سد از پی	۲۵ متر
عرض تاج	۱۰ متر
ضخامت در پی	۲۰۰ متر
سطح دریاچه سد	۱۵۰۰ هکتار
طول دریاچه	۸/۳ کیلومتر
مساحت حوضه آبریز	۴۴۵۱ کیلومتر مربع
حجم مخزن	۸۶ میلیون متر مکعب
حجم آب مخزن قابل تنظیم سالیانه	۱۰۱ میلیون متر مکعب

آب رودخانه اوغان که در پایین دست سد به گرگانرود می ریزد با احداث سد خاکی انحرافی به طول ۱۱۳ متر و ارتفاع ۲۸ متر متوسط کانال انحراف به طول ۴۵۰ متر و عرض کف ۸۰ متر و به مخزن اصلی وارد می گردد. سیستم انحراف و تخلیه کننده تحتانی از دو عدد لوله فلزی به قطر ۲/۴ متر و به طول ۱۶۰ متر در بدنه سد تشکیل شده است. شیب بالادست ۱ افقی به ۵ قائم و شیب پایین دست ۱ افقی به ۴ قائم می باشد.

برای انحراف آب رودخانه اوغان به مخزن سد گلستان، سد خاکی همگنی اوغان به ارتفاع ۲۸ متر و طول ۱۱۳ متر بر روی رود اوغان احداث شده است. سپس با اجرای کانالی به طول ۴۵۰ متر و عرض ۸۰ متر آب رودخانه اوغان به مخزن سد گلستان منتقل می شود.

۳-۲-۱- زمین شناسی

منطقه گنبد کاووس را دشت وسیعی می پوشاند که از رسوبات ماسه ای و سیلتی غیر متراکم و سخت نشده پوشیده شده است. این رسوبات که از نوع ماسه ای بادی (لس) هستند طی دوران چهارم با ضخامت نسبتاً زیاد در منطقه دشت و در پای ارتفاعات جنوبی و شرقی نهشته شده اند. در روند مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیک طرح مورد نظر مراحل زیر انجام شده است:

۱- استفاده از عکسهای هوایی منطقه

۲- بکارگیری نقشه زمین شناسی چهار گوشه گرگان و گنبد با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰

۳- بررسی سوابق مطالعات و اکتشاف ژئوتکنیکی در محدود مورد مطالعه

۴- بازدید و مشاهدات صحرایی برای ثبت دانه بندی خاک

۳-۲-۲- ایستگاه های هیدرومتری در محدوده طرح سد گلستان

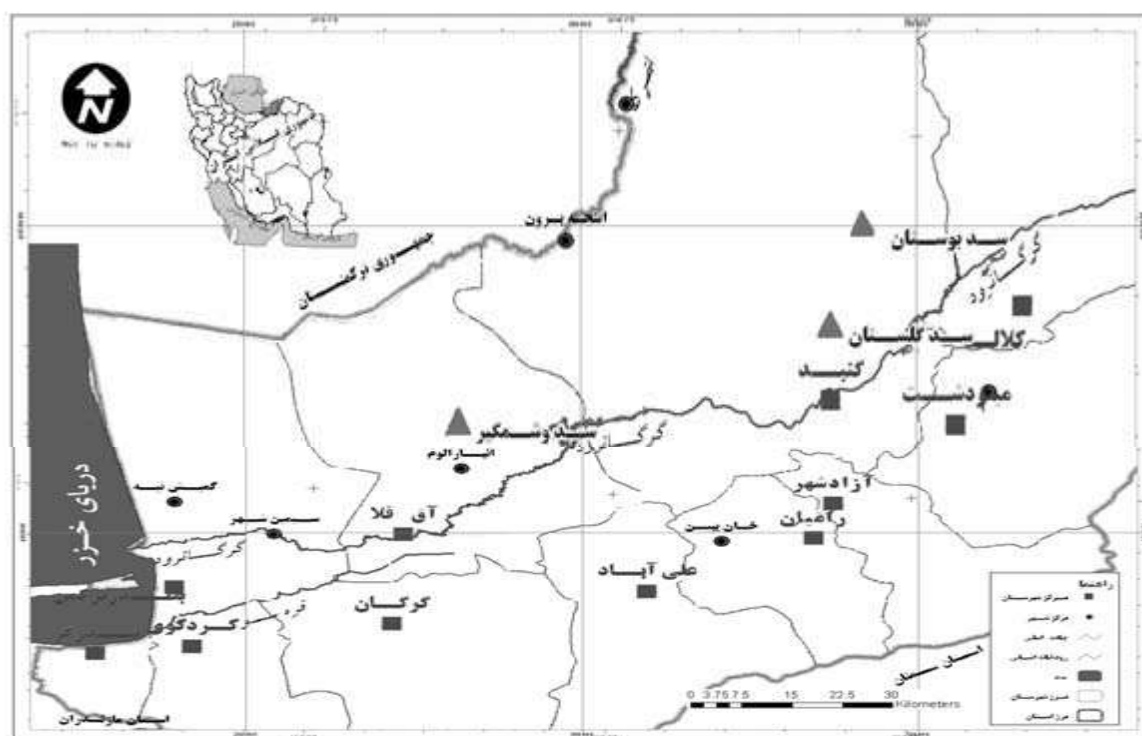
در بالادست سد گلستان و بر روی رودخانه های گرگان رود و اوغان چند ایستگاه وجود دارد به نام های قره شور، اوغان، قوچمز، پل کوسه، حاجی قوشان وجود دارد. همه مجهز به امکانات سنجش دبی، اشل و رسوب می باشند (گزارش آب منطقه ای، ۱۳۹۳)

۳-۲-۳- مشخصات عمومی سد گلستان

سد مخزنی گلستان ۱ در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهرستان گنبد کاووس قرار دارد در طول جغرافیایی ۳۰-۱۶-۵۵ و عرض جغرافیایی ۳۰-۱۹-۳۷ می باشد و بر روی رودخانه گرگانرود احداث شده است با احداث این سد علاوه بر کنترل سیل، تامین آب مورد نیاز زمین های کشاورزی پایین دست را نیز دارد.

۳-۲-۴- اهداف اصلی سد

- ۱- توسعه کشت آبی در محدوده ساحل راست گرگانرود به وسعت حدود ۱۰۰۰۰ هکتار
- ۲- رها سازی ۳۸ میلیون متر مکعب آب تنظیم شده برای سد وشمگیر جهت بهبود ۹۲۰۰ هکتار از اراضی شبکه این سد و تامین آب زیست محیطی
- ۳- افزایش عمر مفید سد وشمگیر از ۲۵ سال به ۴۰ سال از طریق کنترل میزان رسوبات ورودی و جلوگیری از سرریز ناخواسته
- ۴- کنترل طغیان و جلوگیری از خسارات ناشی از سیل



شکل (۳-۱) محل قرار گیری سد

۳-۳-انواع مدل های عددی

۳-۳-۱-مدل های یک بعدی

۳-۳-۱-۱- مدل HEC-6

اداره مهندسی ارتش امریکا یک مدل رایانه ای به نام HEC-6 را در نسخه های مختلف برای شبیه سازی رسوبگذاری و فرسایش در رودخانه ها و مخازن ارائه کرده است و از محبوبیت زیادی در بین محققان برخوردار است و به منظور پیش‌بینی حمل رسوب مورد استفاده قرار می گیرد.

آخرین نسخه این مدل قابلیت مدل کردن تمامی ذرات از جمله ماسه، سیلت و رس را دارد. در نسخه اخیر، ذرات درشت تا اندازه ۲.۴۸ میلیمتر را در محاسبات انتقال رسوب دخالت می دهد. در مدل HEC-6 جریان آب از پایین دست به سمت بالا دست با استفاده از روش گام به گام استاندارد روندیابی می گردد و آنگاه فرآیند مربوط به رسوب از بالادست به پایین دست در پنج مرحله زیر صورت می گیرد:

۱. محاسبه ظرفیت حمل رسوب غیر چسبنده با استفاده از فرمول های مختلف برای شرایط طبیعی مقطع
 ۲. تعیین دبی رسوب واقعی با در نظر گرفتن تصحیحاتی برای قابلیت دسترسی به هر ذره بر اساس محاسبات مربوط به لایه فعال و زیر سطحی و همچنین وجود ذرات رس و تاثیر روسازی بستر
 ۳. حل معادلات پیوستگی برای رسوب با دبی رسوب بالادست
 ۴. به کار بردن یک سری مراحل مشابه برای فرآیند های مربوط به رسوبات چسبنده به وسیله استفاده از معادله کردن برای ته نشینی و معادله پاردنایز برای فرسایش و سپس محاسبه شدت ته نشینی و فرسایش رسوبات چسبنده
 ۵. محاسبه تغییرات کف بر اساس کل رسوبات انباشته شده و یا برداشته شده
- مشکلات مربوط به استفاده از این مدل عبارت اند:

۱. این مدل به منظور پیش بینی توزیع رسوبات در رودخانه ها و مخازن کوچک که می توان از اثرات پدیده ی جریان غلیظ در آنها صرف نظر کرد مورد استفاده قرار می گیرد.
۲. کاربر باید بستر فعال را در هر سطح مقطع مشخص کند (راهنمای مدل ریاضی HEC-6، ۱۹۹۳)

۳-۱-۲- مدل FLUVIAL

این مدل به منظور روندیابی جریان آب و رسوب در رودخانه توسط چانگ در سال ۱۹۸۲-۱۹۸۸ ارائه شده است. این مدل می تواند فرسایش دیواره های رودخانه را لحاظ نماید از معادلات استفاده شده در این مدل معادلات غیر ماندگار است و به جای قانون ممنتوم از قانون بقاء انرژی استفاده شده است. این مدل پنج جزء اصلی دارد عبارت اند از:

۱. روندیابی جریان آب

۲. روندیابی رسوب
 ۳. محاسبات تغییرات در عرض کانال
 ۴. محاسبات در پروفیل کف کانال
 ۵. محاسبات تغییرات در هندسه کانال در اثر وجود خم
- در مدل از گرادیان انرژی و متوسط جریان در انحنا که باعث ایجاد یک جریان ثانویه در انحنا کانال می شود، استفاده شده است.

روند یابی در این مدل ۴ مرحله دارد:

۱. محاسبات ظرفیت حمل رسوب با فرمول بار معلق انجام می شود
 ۲. تعیین دبی رسوب واقعی
 ۳. شرایط بالادست برای جریان ورودی
 ۴. حل عددی معادله پیوستگی برای رسوب
- این چهار مرحله در گام زمانی ارزیابی می شود و تغییرات محاسبه شده در مساحت هر سطح مقطع برای مشخص کردن میزان تغییرات در وضعیت کانال مورد استفاده قرار می گیرد (راهنمای مدل Fluvial12، ۱۹۹۶)

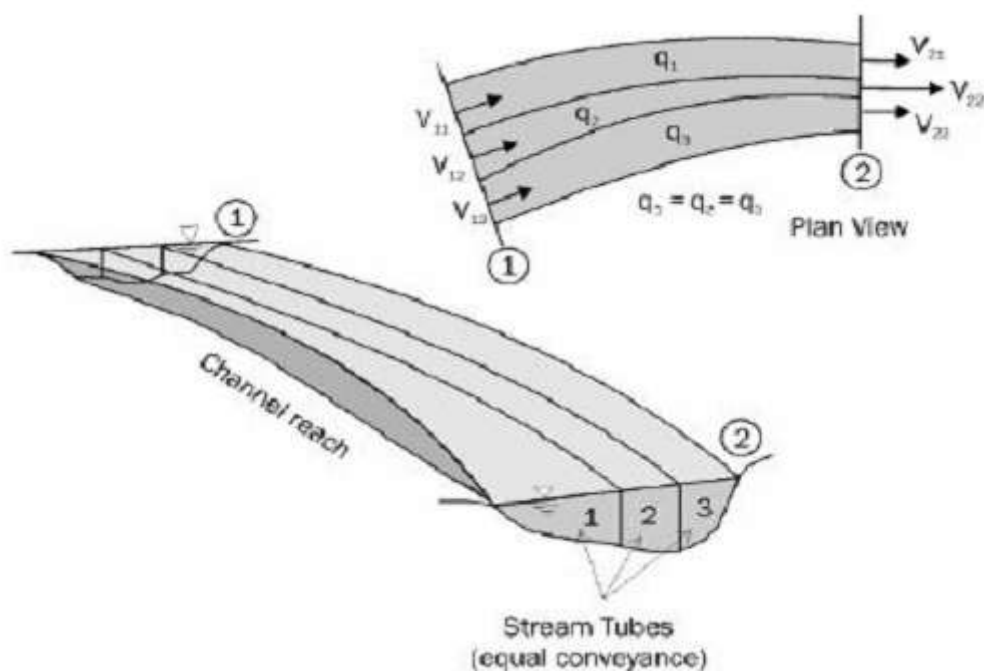
۳-۳-۱-۳-۳ مدل GSTARS

یک مدل ریاضی برای شبیه سازی جریان آب و انتقال رسوبات در رودخانه آبرفتی است که توسط یانگ و همکارانش در سال ۱۹۸۷ ابداع شد. یانگ و همکارانش در این نسخه تجدید نظر کردند و نسخه GSTARS2 را ارائه دادند. مدل GSTARS جهت شبیه سازی شرایط جریان به روش شبه دو بعدی و شبیه سازی تغییر هندسی کانال به روش شبه سه بعدی در سال ۲۰۰۰ بهبود یافت و با عنوان GSTARS2.1 عرضه شد که یک مدل عددی برای شبیه سازی جریان و رسوبگذاری در رودخانه های آبرفتی بزرگ می باشد.

مدل GSTARS شامل ۴ بخش عمده است:

کاربرد معادلات انرژی و مومنتوم با هم برای محاسبات پروفیل سطح آب، کاربرد مفهوم لوله های جریان در محاسبات برآورد رسوب، کاربرد تئوری اتلاف انرژی و معیار پایداری دیواره مجزا بر اساس ایستایی مواد دیواره و پیوستگی رسوب. از قابلیت های مدل فوق می توان به محاسبه پروفیل سطح آب در شرایط انتقال رسوب یا بدون رسوب، محاسبه پروفیل سطح آب در شرایط جریانهای زیر بحرانی و فوق بحرانی همراه با پرش هیدرولیکی، محاسبه متغیرهای عرضی و طولی

جریان و شرایط رسوب به روش نیمه دو بعدی بر مبنای فرض لوله های جریان، شبیه سازی تغییرات ژئومتری آبراهه بطور همزمان در طول و عرض بر مبنای مجموع حداقل قدرت جریان و شبیه سازی فرآیند روسازی بستر بوسیله الگوریتم جورشدگی و روسازی بر مبنای کلاس دانه بندی اشاره کرد. در شکل زیر مفهوم لوله های جریان مورد استفاده مدل نشان داده می شود (راهنمای مدل GSTARS3.0، ۲۰۰۲)



شکل (۲-۳) لوله های جریان مورد استفاده در مدل GSTARS (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲)

۳-۴- مدل های دو بعدی

۳-۴-۱- مدل MOBED2

یک مدل هیدرودینامیک و انتقال رسوب است که در آن از روش تفاضل محدود در سیستم مختصاتی منحنی الخط استفاده شده است این مدل توسط اسپاسوزویک در سال ۱۹۹۰ معرفی شد. این مدل جریان آب، انتقال رسوب، تغییر شکل بستر را در آبراهه های طبیعی مثل رودخانه، مصیب رودها، مخازن و نواحی ساحلی و دریایی که عمق نسبی بکار می رود، شبیه سازی می کند (راهنمای مدل MOBED2).

۳-۴-۲- مدل BRI-STARS

این مدل توسط آلبرت مولیناس (۲۰۰۰) برای اداره حمل و نقل بزرگراه های فدرال آمریکا ارائه گردید. این مدل شرایط جریان و فرآیند رسوبگذاری در مخازن و تغییرات ژئومتری رودخانه را به صورت شبه دو بعدی شبیه سازی می نماید. در این مدل از مفهوم لوله های جریان و تقسیم رودخانه به چند لوله جریان استفاده شده است که روند یابی رسوبات در لوله جریان به طور جداگانه انجام می گیرد. این مدل قادر است سر شاخه های رودخانه را در بالادست مخزن به همراه هیدروگراف ورودی جریان و رسوبات سر شاخه ها در نظر بگیرد و اثرات رسوبی و تغییرات سطح آب ناشی از وجود سر شاخه ها را بررسی نماید (راهنمای مدل BRI-STARS).

۳-۴-۳- مدل TABS2

مدل TABS 2 یک مدل دو بعدی است که قادر است تا شرایط هیدرولیکی، رسوب و آلودگی را در رودخانه ها و مخازن شبیه سازی می کند این مدل دارای سه برنامه می باشد که عبارت اند از: RAM2 برای تعیین شرایط هیدرولیکی در دو بعد، STUDH برای انتقال رسوب، RAM-4 برای شبیه سازی کیفی. در مدل RAM-4 معادلات استوکس در دو بعد و با روش المان های محدود حل شود مقدار ضریب اصطکاک با استفاده از معادله مانینگ و لزجت نیز برای تعیین خصوصیات جریان های درهم به کار رفته است این مدل به صورت خودکار المان های خشک (بدون آب) تشخیص می دهد و شبکه را منطق با آن اصلاح می کند برنامه STUDH نیز معادلات انتقال-پخشیدگی را برای بررسی انتقال حل می کند. این برنامه قادر است هم رسوبات چسبنده و هم رسوبات غیر چسبنده را برآورد نماید (راهنمای مدل TABS2).

۳-۴-۴- مدل USTARS

این مدل تعمیم یافته مدل GSTARS است که بر اساس مفهوم لوله های جریان توسط لی و همکارانش در سال ۱۹۹۷ پایه گذاری شده است که در آن معادلات هیدرودینامیکی و رسوبی به روش تفاضل محدود در سیستم مختصاتی راست خطی حل شده است. در این جا نیز مشابه مدل GSTARS از تئوری حداقل قدرت جریان به منظور تعیین عرض و هندسه بهینه کانال برای مجموعه از داده های هیدولیکی، ژئومرفولوژیکی و رسوبات استفاده شده است (راهنمای مدل USTARS).

۳-۵- مدل های سه بعدی

۳-۵-۱- مدل SSIIM

برنامه SSIIM در سال ۱۹۹۰ نوشته شده است. SSIIM برای حل سه بعدی معادلات کانوکشن دیفیوژن، به منظور روندیابی محاسبات رسوب نوشته شده است این مدل رسوبات ریزدانه را که در مسائل مربوط به توربین ها دارای اهمیت می باشند به خوبی شبیه سازی می نماید همچنین برتری دیگر این مدل نسبت به دیگر مدل ها توانایی آنها برای شبیه سازی مشکلاتی مانند پر شدن مخازن و آبراهه ها می باشد.

برخی از توانایی های مدل SSIIM عبارت اند:

شبیه سازی انتقال رسوب در بستر متحرک با هندسه پیچیده، شبیه سازی شکل بستر رودخانه و بار بستر متحرک، انتقال بار معلق رسوبات غیر یکنواخت، شبیه سازی جریان در بازده های پیچانرود رودخانه، مدل کردن سریز، افت در تونل ها، رابطه عمق و دبی در رودخانه ها مدل جریان آشفته و مدل کیفیت آب و مطالعات زیست محیطی رودخانه (راهنمای مدل SSIIM، ۲۰۰۵).

۳-۵-۲- مدل FLOW-3D

یک مدل سه بعدی می باشد که در شرکت FLOWSIENCE توسعه داده شده است. FLOW-3D یک اختلاف محدودیت غیر هیدروستاتیک می باشد که معادلات ناویراستوکس سه بعدی و پیوستگی را به صورت همزمان حل می نماید FLOW-3D برای کاربردهای متفاوت هیدرولیکی شامل موج های بریده شده جریان اطراف استوانه های عمودی و جریان اطراف لوله های افقی و.. مورد استفاده قرار می گیرد در این مدل از معادلات حاکم بر سیال با استفاده از تقریبات تفاضل (یا حجم) محدود حل می شود (راهنمای مدل FLOW-3D).

۳-۶- روش های حل معادلات

برای حل معادلات جزئی که با شرایط مرزی معین است بیشتر از روش حل تحلیلی استفاده می شود ولی گاهی وقت ها تحلیل مسائل در شکل بی قاعده و نامنظم با شرایط مرزی مختلف و ناحیه های با مشخصات متفاوت و غیرخطی بسیار مشکل است یا در مواردی غیر ممکن می باشد برای رفع این مشکل از روش حل تحلیلی محاسباتی استفاده می کنیم و حل تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی را بدست می آوریم.

بعضی از این روش ها عبارتند از (نشریه ۳۲۸، ۱۳۸۷):

روش اجزاء محدود

روش تفاضل محدود

روش حجم محدود

روش های ریاضی رسوبگذاری مخازن دارای سه تئوری عبارتند از: تئوری جت، تئوری پخشیدگی و تئوری انتقال رسوب است. از تئوری جت برای مدل کردن رسوبات درشت دانه که در مصیب رود خانه ها و مخازن ته نشین می شود مورد استفاده قرار می گیرد و برای مدل کردن رسوب شویی هم از این تئوری استفاده می شود. از تئوری پخشیدگی برای مدل کردن ذرات خیلی ریز (بیشتر بار معلق) استفاده می شود. این دو روش ریاضی (تئوری جت و پخشیدگی) دارای محدودیت های زیادی است. به همین خاطر بیشتر روش ها و مدل ها رابر اساس تئوری انتقال رسوب که دارای توانایی های زیادی است ارائه می شود و از جمله این مدل ها و روش های ارائه شده مانند HEC-6، GSTARS3.0 هستند و این مدل ها دارای ضریب اطمینان بیشتر نسبت به دیگر مدل ها برای فرایند رسوبگذاری است (نشریه ۳۲۸، ۱۳۸۷).

۳-۷- مدل های جفت و غیر جفت

به طور کلی برای شبیه سازی جریان و رسوب در رودخانه و مخازن سدها بر اساس حل هم زمان و یا غیرهم زمان معادلات پیوستگی جریان، مومنتم جریان و پیوستگی رسوب به دو روش انجام می پذیرد عبارتند از: مدل های جفت و غیر جفت. در مدل های غیر جفت برای ساده سازی برنامه نویسی یک فرض وجود دارد آن فرض این است که تغییرات زمانی مرفولوژی رودخانه یا مخزن را در دوره های زمانی محاسبات هیدرولیکی ناچیز در نظر می گیریم. به همین خاطر ابتدا محاسبه هیدرولیکی را برای یک دوره زمانی مشخص محاسبه و سپس تغییرات بستر رودخانه یا مخزن با حل معادلات پیوستگی رسوب و معادله انتقال رسوب بدست می آوریم (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3، ۲۰۰۲).

۳-۸- مدل های شبه دو بعدی

در بعضی از مدل ها روش های خاصی به کار بسته می شود تا مدل های یک بعدی را به مدل های شبه دو بعدی تبدیل شود. در این تبدیل یک فاکتور بیشتر به چشم می خورد عبارت است: مدل های یک بعدی واقعی، جابجایی جانبی متغیرهای هیدرولیک و رسوب را شبیه سازی نمی کند. برای این

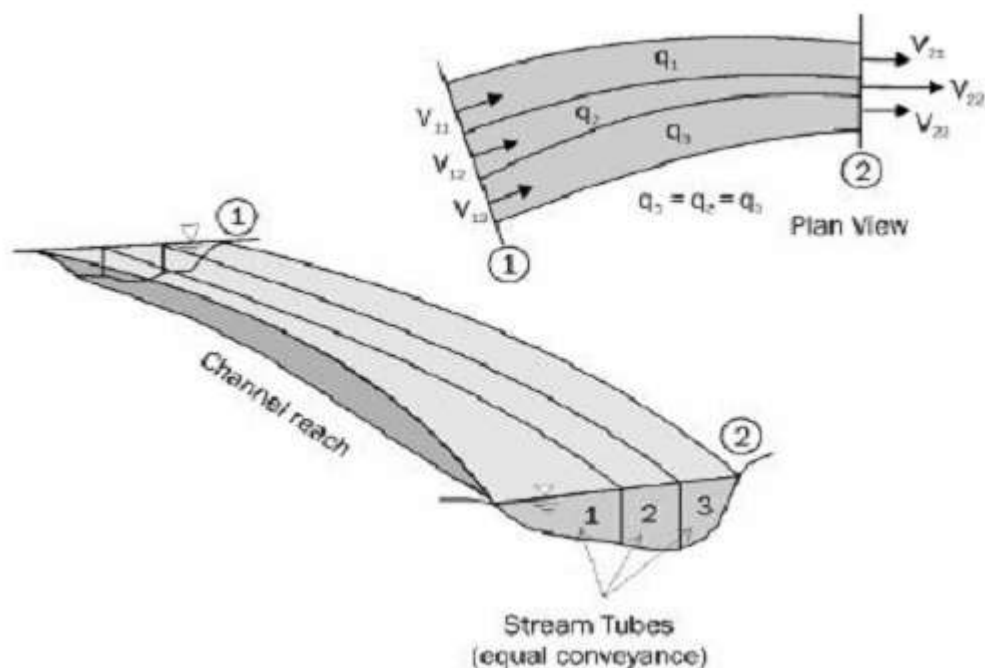
تبدیل دو روش کلی نوار جریان و لوله های جریان وجود دارد (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۸-۱- نوارهای جریان

نوار جریان، کانال ها را به دو نوع نوار طولی و عرضی یکنواخت و غیر یکنواخت تبدیل می کند. در این نوع مدل ها نوار مرکزی را به عنوان کانال اصلی و نوارهای طرفین را نوارهای دشت سیلابی منظور می کنند در این نوار ها جابه جایی آب و رسوب بر اساس فرمول دیفیوژن می باشد (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۸-۲- لوله های جریان

لوله های جریان لوله های فرضی است که دیواره آن توسط خطوط جریان از هم جدا می شود. منطقه مورد مطالعه به لوله های جریان با دبی برابر تقسیم می شود آب و رسوب از مرز لوله جریان نمی تواند عبور کند. توزیع غلظت رسوب در هر مقطع لوله یکنواخت فرض می شود (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).



شکل (۳-۳)- شماتیک لوله های جریان (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲)

۳-۹- مدل های ریاضی

با فراگیری استفاده از رایانه و راه حل های جدید برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی حرکت و رسوبات، مدل های ریاضی متعدد با فرضیات ساده کننده و دارای دقت های متفاوت برای شبیه سازی رسوبگذاری در مخازن سدها ایجاد شده است. مدل های ریاضی و رایانه ای به عنوان ابزار هایی بسیار مفید و کارآمد مورد توجه و استفاده قرار می گیرند (نشریه ۳۲۸، ۱۳۸۷).

عملیات اندازه گیری مستقیم رسوبات ته نشین شده در مخازن سدها دشوار و بالا بودن هزینه آن، عدم کارایی روش های تجربی برای تمام سدها دلایل این عمل است شبیه سازی روند حرکت رسوبات در مخازن با معادلات اندازه حرکت و پیوستگی جریان، معادله پیوستگی رسوب و معادله انتقال رسوب انجام می گیرد. مدل هایی را می تواند مناسب دانست که تمام پدیده های تاثیر گذار در انتقال، توزیع، ته نشین شده و آبشستگی و جریانات غلیظ را در مخزن سد مورد نظر قرار بدهند و شبیه سازی کنند. رسوبگذاری یک پدیده حجمی و سه بعدی می باشد یک مدل قابل اطمینان و موثر باید توانایی حل هم زمان معادلات را در سه بعد داشته باشد. رسیدن به چنین مدل امکان پذیر نیست و اجرای این مدل ها برای زمان های طولانی در حد طول عمر مفید سدها هر چند با پیشرفت های در زمینه علوم هیدرولیک محاسباتی و توسعه مدل ها و نرم افزار ها و رایانه ها بسیار زمان بر و مقرون به صرفه نیست (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

برای کاربردی کردن مدل ها، محققان و دانشمندان فرضیات ساده کننده اعمال کردند که روش های را برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی حرکت و پیوستگی آب و رسوب به وجود آورد. این فرضیات از جنبه های فراوانی مشابه هم بودند. این فرضیات عبارتند از:

۱. اهمیت داشتن طول نسبت به دو بعد دیگر یا به عبارتی دیگر فرض انتقال رسوب و جریان در یک بعد (در طول جریان). به این دلیل یک بعدی بودن جریان قابل قبول است که طول جریان چندین برابر بیشتر از عرض و عمق آب است.
۲. اختلاف زیاد تغییرات سطح آب و بستر رودخانه و مخازن و یا این فرض را اعمال می کنیم که تغییرات تراز سطح آب که علت آن از تغییرات دبی می باشد چندین برابر سریع تر از واکنش بستر نسبت به این تغییرات می باشد و با این فرض حل معادلات جریان آب و انتقال رسوب می توان انجام داد.
۳. ثابت فرض کردن دبی و صرف نظر از عوامل اینرسی در معادلات در حل مسائل معادلات یک بعدی جریان آب به شکل معادلات معروف سنت-وانانت در نظر گرفته می شوند. برای اینکه

تغییرات دبی رودخانه نسبت به زمان آرام است لذا عبارات مربوط به اینرسی معادله اندازه حرکت کوچک تر از عبارات دیگر می شود.

۴. دانش و علم ناقص در مورد پدیده انتقال رسوبات، می توان از روابط تجربی انتقال رسوب علی‌رغم عدم انطباق شرایط برقراری با شریط حاکم برمعادلات انتقال رسوب در مخزن استفاده کرد.
۵. به علت بسیار نا منظم بودن وضعیت هندسی مجرای رودخانه های طبیعی، فقط روش های عددی قابل توجیه است و محاسبات باید مرحله به مرحله از بازه ای به بازه دیگر ادامه پیدا کند.

با توجه به فرضیاتی ساده کننده که گفته شده ازای یک سری دبی های ثابت و معلوم، نیمرخ سطح آب از پایین دست به بالادست مخزن با استفاده از روش گام به گام انجام می شود. محاسبات انتقال رسوبگذاری یا فرسایش نیز از طرف بالادست به پایین دست مخزن، بازه به بازه با استفاده از فرمول های رایج در هیدرولیک رسوب انجام می گیرد. رسوب ورودی از بازه های به بازه دیگر به حالت تعادل در آمده و سرآخر به تغییر شکل بستر رودخانه منجر می شود.

۳-۹-۱- مدل ریاضی GSTARS3.0

کلیات مدل ریاضی GSTARS3.0

مجموعه برنامه های GSTARS3.0 به علت نیاز به مدل های کامپیوتری تعمیم یافته روند یابی رسوب و دبی توسعه پیدا کردند که توان حل مسائل پیچیده مهندسی رودخانه در مکان های که محدودیت های اطلاعات و منابع هست قابل استفاده می باشد(راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

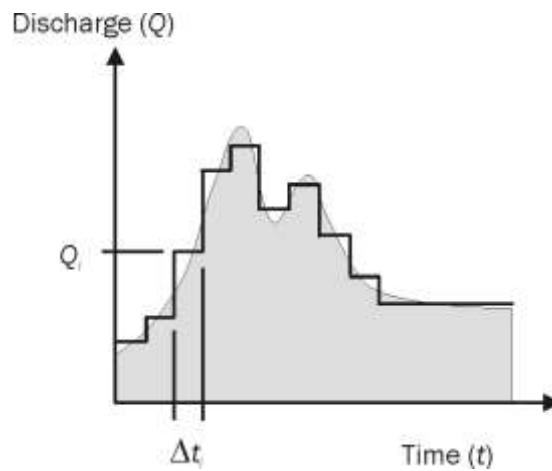
۳-۹-۲- اساس مدل ریاضی GSTARS3.0

مدل GSTARS3.0 برای مدل کردن انتقال رسوبات در رودخانه های رسوبی و مخازن و برای روند یابی جریانات آب و رسوب مورد استفاده قرار می گیرد. با اینکه این مدل یک بعدی است و در طول شبیه سازی می کند اما توانایی این را دارد که شبیه سازی شبه دو بعدی جریان و شبه سه بعدی تغییرات هندسه آبراهه را نیز داشته باشد(راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۱- محاسبات جریان در GSTARS3.0

در GSTARS3.0 محاسبات هیدرولیکی بر طبق جریان متغیر تدریجی است. برای جریان های شبه دائمی، هیدروگراف های دبی به وسیله قسمت های با دبی ثابت به صورت شکل که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است تقریب می شود. در طول هر قطعه با دبی ثابت، معادلات حالت دائمی برای

محاسبات نیمرخ سطح آب مورد استفاده قرار می گیرد، که باروش گام به گام استاندارد و بر اساس معادلات انرژی و مومنتم انجام می گیرد (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).



شکل (۳-۴) تبدیل کردن هیدروگرافی به دبی ثابت (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0)

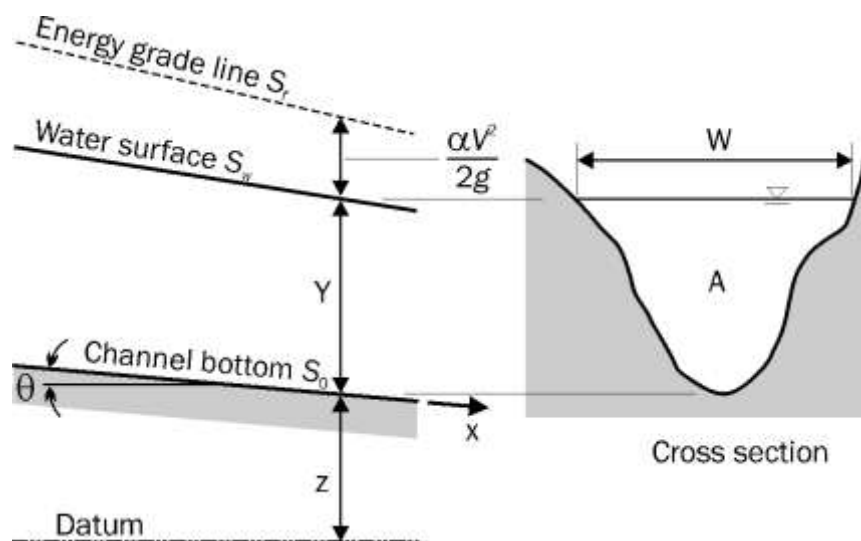
$$Z + Y + a \frac{v^2}{2g} = H \quad (۳-۱)$$

Z : ارتفاع از کف، Y : عمق آب، V : سرعت جریان، a : ضریب توزیع سرعت، H : ارتفاع خط انرژی از مبنا و

g : شتاب جاذبه می باشد. در محاسبات روندیابی جریان برای جریان زیر بحرانی به سمت بالادست و برای جریان فوق بحرانی به سمت پایین دست محاسبات انجام می پذیرد.

زمانی که در بازه پرس هیدرولیکی پیش می آید معادله مومنتم مورد استفاده می شود.

$$\frac{QY}{g} (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) = P_1 - P_2 + W_g \sin \theta - F \quad (۳-۲)$$



شکل (۳-۵) پارامترهای معادله انرژی (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0)

γ : وزن واحد آب، β : ضریب مومنتم، P : فشار در مقطع عرضی داده شده، W_g : وزن آب در مقطع
 ۱ و ۲، θ : شیب کف بستر، F_f : اصطکاک خارجی در طول آبراهه می باشد (راهنمای مدل
 ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۲-۹-۲- روابط مقاومت جریان

یکی از فرضیات اصلی در GSTARS3.0 این است که فرمول جریان یکنواخت برای محاسبه افت
 اصطکاکی قادر به استفاده است. این فرمول برای محاسبه ضریب انتقال (k) برای تعیین شیب
 اصطکاک (S_f) مورد استفاده می گیرد. برای دبی معین به صورت زیر می باشد (راهنمای مدل
 ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (۳-۳)$$

برای محاسبه K در GSTARS3.0 از فرمول های زیر استفاده می شود.

فرمول مانینگ:

$$Q = K S_f^{1/2} = \left(\frac{1.49}{n} A R^{1/2} \right) S_f^{1/2} \quad (۴-۳)$$

فرمول شزی:

$$Q = K S_f^{1/2} = (C A R^{1/2}) S_f^{1/2} \quad (۵-۳)$$

فرمول دارسی ویسباخ:

$$Q = K S_f^{1/2} = \left\{ \left(\frac{8gR}{f} \right)^{1/2} A \right\} S_f^{1/2} \quad (3-6)$$

در این فرمول ها n و c و f ضرایب زبری می باشد و g : شتاب جاذبه، A : مساحت سطح مقطع و R : شعاع هیدرولیکی می باشد (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۲-۹-۳- معادله پیوستگی رسوب

اساس محاسبات روندیابی رسوب در GSTARS3.0 بقاء جرم است. در جریان های غیر ماندگار یک بعدی معادله پیوستگی به شکل زیر است:

$$\frac{\partial Q_S}{\partial x} + \eta \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{\partial A_s}{\partial t} - q_{lat} = 0 \quad (3-7)$$

که η : حجم رسوب در واحد حجم لایه بستر، A_s : حجم رسوب به صورت معلق در مقطع عرضی در واحد طول، Q_S : دبی حجمی رسوب و q_{lat} : جریان ورودی جانبی رسوب است.

برای ساده سازی معادلات فرضیات زیر را در نظر می گیریم:

۱- تغییرات غلظت رسوب در مقطع عرضی خیلی کمتر از تغییرات غلظت در بستر رودخانه است یا به عبارتی:

$$\frac{\partial Q_S}{\partial t} \ll \eta \frac{\partial A_d}{\partial t} \quad (3-8)$$

۲- در طول یک گام زمانی پارامترهای انتقال رسوب برای یک مقطع ثابت است به عبارتی:

$$\frac{\partial Q_S}{\partial x} = \frac{dQ_S}{dx} \quad \text{یا} \quad \frac{\partial Q_S}{\partial t} = 0 \quad (3-9)$$

با فرض دوم معادله به صورت معادله زیر می شود:

$$\frac{dQ_S}{dx} + \eta \frac{\partial A_x}{\partial t} = q_{lat} \quad (3-10)$$

معادلات فوق معادلات استفاده شده در GSTARS3.0 برای روند یابی رسوب در رودخانه و آبراهه ها است.

۳-۲-۹-۴- خطوط جریان و لوله های جریان

لوله های جریان لوله های فرضی است که دیواره هایشان به وسیله خطوط جریان از هم جدا است. دبی این لوله ها در طولشان ثابت است به خاطر این فرض که جریان در آنها از مرز بین لوله ها عبور

نمی کند به همین خاطر سرعت در طول لوله جریان با مساحت جریان نسبت عکس دارد برای هر گام زمانی موقعیت مکانی لوله های جریان تعیین می شود و به لوله های جریان اجازه می دهد که با زمان تغییر کنند. روندیابی رسوب را برای هر لوله جریان و هر گام زمانی بدست می آوریم ترکیبات مواد بستر برای هر لوله جریان در ابتدا گام زمانی بدست می آوریم و محاسباتی مانند جورشدگی و آرمورینگ جداگانه محاسبه می شود در این لوله امکان انتقال رسوبات معلق بین لوله ها نیست. روش که برای تعیین اینکه ذرات معلق است یا نه روش وان راین است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

$$U_{cr,s}^* = \begin{cases} \frac{4\omega_s}{D^*} & 1 < D^* \leq 10 \\ 0.4\omega_s & D^* > 10 \end{cases} \quad (۱۱-۳)$$

$U_{cr,s}^*$: سرعت برشی بحرانی، ω_s : سرعت سقوط ذرات رسوب و D^* : اندازه ذرات بی بعد که به شکل زیر محاسبه می شود:

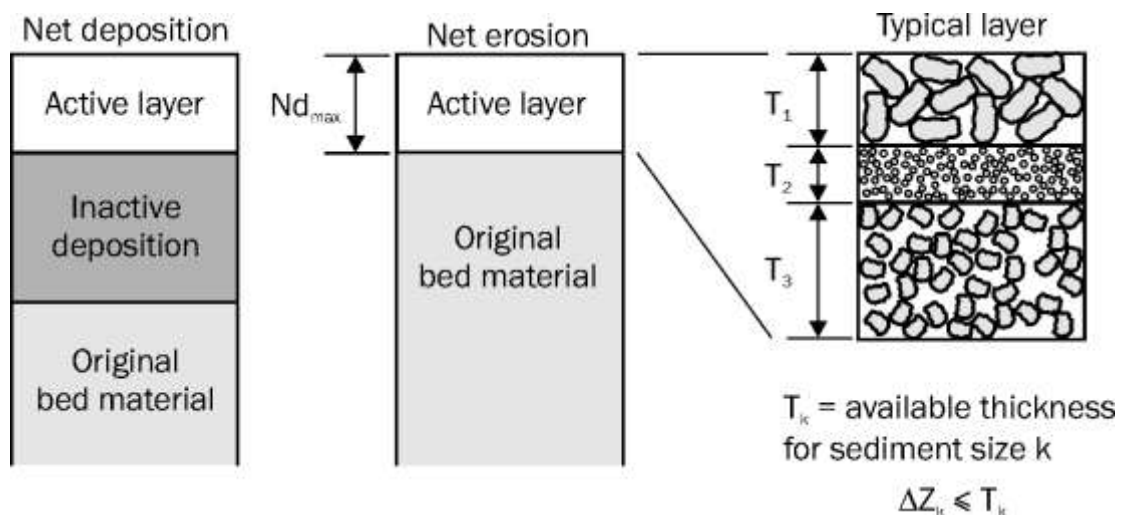
$$D^* = d \left[\frac{(S-1)g}{v^2} \right]^{1/3} \quad (۱۲-۳)$$

d : قطر ذرات رسوب، S : چگالی جامد رسوب، g : شتاب جاذبه و v : لزوجت آب معادله رسوب یک معادله مشتقات جزئی است ولی رایانه فقط توانایی حل معادلات جبری هستند. معادله مشتقات جزئی تبدیل می شود به یک سری معادلات جبری برای رایانه قابل حل است. GSTARS3.0 از روش اختلاف محدود جدا از هم استفاده می کند به این خاطر از این روش استفاده می شود که معادله دیفرانسیلی به صورت عددی قابل حل می باشد. حل جدا از هم یعنی ابتدا پروفیل سطح آب و بعد روند یابی رسوب و تغییرات بستر محاسبه می شود همه پارامتر های هیدرلیکی در طول یک گام ثابت است.

۳-۹-۲-۵- جورشدگی و آرمورینگ

GSTARS3.0 انتقال رسوب را برای هر کلاس دانه بندی تعیین می کند در نتیجه ذرات با اندازه های متفاوت با نرخ متفاوت انتقال پیدا می کند و به سبب وجود پارامتر های هیدرولیکی، توزیع رسوب ورودی بازه و ترکیب مواد بستر، بعضی از ذرات ممکن است دچار فرسایش شوند و در حالی که برای دیگر ذرات ممکن است رسوبگذاری رخ دهد و یا بی حرکت باشند. GSTARS3.0 ظرفیت حمل رسوب رسوب را برای هر کلاس دانه بندی که در بستر است محاسبه می شود ولی مقدار واقعی مواد انتقال یافته از طریق معادله روندیابی رسوب محاسبه می شود. لایه آرمورینگ این گونه تشکیل می شود که فرسایش تا جای ادامه پیدا می کند که ذرات ریز دانه ممکن است فرسایش پیدا کند و لایه سخت و

درشت‌تر که انتقال آنها ممکن نباشد بماند و به این لایه آرمورینگ گفته می‌شود و این لایه آرمورینگ از آبشستگی لایه زیرین خود جلوگیری می‌کند و اگر سرعت جریان افزایش یابد امکان دارد باعث افزایش ظرفیت انتقال رسوب شود و این سرعت جریان باعث شکستن لایه آرمورینگ شود و دوباره سیکل تشکیل لایه آرمورینگ تکرار می‌شود و ممکن است به غیر از این فرآیند، فرآیندهای دیگری همزمان در یک بازه آبراهه اتفاق بیفتد این مسئله به ترکیب رسوبات ورودی و ترکیب رسوبات بستر بستگی دارد. ترکیب بستر امکان دارد با تغییرات مکان و زمان تغییر کند برای مدل کردن این پدیده‌ها در GSTARS3.0 از فرآیند ترکیب که توسط بنت و نردین (۱۹۷۷) ارائه شده مورد استفاده قرار می‌گیرد در روش بنت و نردین (۱۹۷۷) بستر توسط دو یا سه لایه فرضی (سه لایه برای رسوبگذاری، دو لایه برای آبشستگی) مورد استفاده قرار می‌گیرد این فرآیند در شکل (۳-۶) آمده است. لایه بالایی که حاوی مواد بستر موجود برای انتقال است لایه فعال می‌گویند. در زیر لایه فعال لایه غیر فعال وجود دارد که این لایه به عنوان ذخیره در نظر گرفته می‌شود در زیر این دو لایه، لایه دست نخورده با ترکیب مواد بستر اولیه وجود دارد. مهمترین فرض در این فرآیند لایه فعال است. لایه فعال تمام رسوب قابل انتقال در هر گام زمانی را تامین می‌کند.



شکل (۳-۶)- ترکیب بستر در مدل GSTARS3.0 (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0)

ضخامت این لایه توسط خود کاربر تعیین می‌شود. فرسایش یک کلاس دانه بندی از مواد بستر از طریق وجود مقدار رسوباتی که از این کلاس دانه بندی در لایه فعال تعیین می‌شود. اگر ظرفیت انتقال جریان برای یک کلاس دانه بندی بیشتر از آن مقدار باشد که برای انتقال در لایه فعال باشد از ترم محدودیت دسترسی استفاده می‌شود و اگر مواد بیشتری از مقدار مورد نیاز محاسبه شده توسط

معادله انتقال در لایه فعال باشد از ترم محدودیت ظرفیت استفاده می کنیم لایه های غیر فعال وقتی که رسوبگذاری رخ می دهد مورد استفاده قرار می گیرد ضخامت رسوبگذاری در بالای لایه غیر فعال قرار می گیرد که به لایه فعال می افزاید و ابتدا ترکیب و ضخامت لایه غیر فعال تعیین می شود و بعد لایه فعال جدید دوباره تعیین می شود و ارتفاع کف آبراهه برای حالت جدید تعیین می شود GSTARS3.0 دارای توانایی شبیه سازی بستر چند لایه است که هر لایه دارای توزیع ذرات متفاوتی است در این مورد که بسترهای چند لایه مورد توجه است از میانگینی از اطلاعات توزیع ذرات نقاط مختلف در مقطع عرضی محاسبه می کنیم (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۶- توابع انتقال رسوب

توابع انتقال رسوب زیادی در کتابها وجود دارد و معمولاً هر تابع انتقال رسوب برای یک دامنه خاص از اندازه رسوب و شرایط جریان بسط و گسترش یافته است نتایج محاسبه شده بر اساس توابع مختلف امکان دارد با یکدیگر و با مقدار اندازه گیری شده تفاوت زیادی داشته باشد یک فرمول واحدی که برای همه شرایط و تمام رسوبات بتواند جواب قابل قبول و دقت کافی داشته باشد وجود ندارد. به جزء فرمول یانگ بیشتر توابع انتقال رسوب برای جریان زیر بحرانی مورد استفاده قرار می گیرد. GSTARS3.0 دارای ۱۵ تابع انتقال رسوب برای مواد غیر چسبنده است اکثر فرمول های انتقال رسوب برای محاسبه کل بار مواد بستر توسعه داده شده اند بدون اینکه مقدار انتقال برای هر اندازه ذره تعیین شده باشد در GSTARS3.0 این فرمول ها با هدف تعیین انتقال رسوب هر اندازه ذره اصلاح شده اند کل ظرفیت انتقال برای یک مقطع رودخانه (Ct) به وسیله رابطه زیر محاسبه می شود (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

$$C_t = \sum_{i=1}^N [rp_i + (1-r)p_i^*] C_i \quad (3-13)$$

که p_i : درصد مواد با اندازه ذره i که در بستر موجود است، p_i^* : درصد مواد با اندازه ذره که وارد بازده می شود، C_i : ظرفیت انتقال برای هر اندازه ذره، r : یک فاکتور است ($0 \leq r < 1$) و N : تعداد کلاس اندازه ذرات، C_i به وسیله فرمول های ارائه شده در بخش های بعدی برای هر اندازه ذره در صورتی که کل بستر از آن ذره باشد محاسبه می شود و فاکتور r یک فاکتور وزنی است که اجازه ورود رسوب ورودی به ظرفیت انتقال جریان را نمایان می کند (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۶-۱-روش دوبوی

روش دوبوی بر این فرض استوار است که رسوبات به صورت لایه ای روی همدیگر حرکت کنند و در نتیجه ثابت شد که این فرض غیر واقعی است اما معادله ای که ایشان ارائه کرد هنوز هم برای توصیف اطلاعات استفاده می شود. دوبوی معادله ای را بر مبنای اضافه تنش برش ارائه کرد.

$$q_b = K\tau (\tau - \tau_c) \quad (۱۴-۳)$$

q_b : دبی بار بستر به وسیله حجم در واحد عرض، τ : تنش برشی بستر و τ_c : تنش برشی بحرانی است. τ_c را می توان از دیاگرام شیلدرز حساب نمود. استراب (۱۹۳۵) رابطه زیر را برای K مطرح نمود.

$$K = \frac{0.173}{d^{3/4}} \quad (۱۵-۳)$$

که d : اندازه ذرات است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۶-۲-فرمول میر-پیتر و مولر (۱۹۴۸)

فرمول میر-پیتر و مولر بار بستر را برای ذرات شن و ذرات درشت دانه تعیین می کند.

$$\gamma RS \left(\frac{K_S}{K_r} \right)^{3/4} = 0.047(\gamma_s - \gamma) d + 0.25 \rho_b^{1/3} q_b^{2/3} \quad (۱۶-۳)$$

که γ و γ_s : وزن مخصوص آب و رسوب (ton/m^3)، R : شعاع هیدرولیکی (M)، S : شیب خط انرژی، d : میانگین قطر ذرات (m)، ρ : جرم مخصوص آب، q_b : میزان بار بستر در واحد زمان و عرض (m) / ton/s و $\left(\frac{K_S}{K_r} \right)$ یک نوع شیب است و هدف آن میزان اصطکاک انرژی را بیان می کند.

معادل فوق در حالت بی بعدی به شکل زیر است:

$$q_b^{2/3} \left(\frac{\gamma}{g} \right)^{3/4} = 0.047 (\gamma_s - \gamma) d + 0.25 \rho^{1/3} q_b^{2/3} \quad (۱۷-۳)$$

$$\left(\frac{K_S}{K_r} \right)^{3/2} = \frac{s_r}{s} \quad (۱۸-۳)$$

و

$$K_r = \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \quad (۱۹-۳)$$

که d_{90} : اندازه رسوبی که ۹۰٪ رسوبات از آن کوچک تر است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۶-۳-فرمول لارسن (۱۹۵۸) و اصلاح شده توسط مادن (۱۹۹۳)

فرمول لارسن (۱۹۵۸) توسط ASCE از نظر ابعادی به شکل همگن ارائه شد.

$$C_t = 0.01 \gamma \sum_i P_i \left(\frac{d_i}{D} \right)^{7/6} \left(\frac{\tau'}{\tau_{ci}} - 1 \right) f \left(\frac{U^*}{\omega_i} \right) \quad (۲۰-۳)$$

که C_t : غلظت رسوب به صورت وزنی در واحد حجم، $U^* = \sqrt{gDS}$: سرعت برشی، P_i : درصد ذرات با اندازه d_i ، ω_i : متوسط عمق آب و τ_{ci} : تنش برشی بحرانی برای ذرات با اندازه d_i که از دیاگرام شیلدز محاسبه می شود.

پارامتر $1 - \frac{\tau'}{\tau_{ci}}$ در تعیین با بستر دارايز اهمیت است و پارامتر $\frac{U^*}{\omega_i}$ به بار معلق بستگی دارد رابطه تابعی $f(\frac{U^*}{\omega_i})$ توسط لارسن (۱۹۵۸) به صورت گرافیکی ارائه شد.

تنش برشی بستر لارسن (τ') که از مقاومت ذره ناشی می شود که با کمک از معادله مانینگ محاسبه می شود.

$$\tau' = \frac{\rho V^2}{58} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{1/3} \quad (۲۱-۳)$$

مادن (۱۹۹۳) از سه سری از داده که مربوط به رودخانه آرکانزاس بود استفاده کرد تا رابطه تابعی اصلاح شده در فرمول لارسن که تاثیر عدد فرود در آن اعمال شده را ارائه کرد و این فرمول اصلاح شده لارسن برای دامنه سیلت خیلی ریز (غیر چسبنده) تا ذرات شن خیلی ریز، عمق جریان ۰.۲۵ تا ۵۴ فوت، سرعت جریان ۰.۸۵ تا ۷/۷ فوت بر ثانیه، شیب انرژی ۵ - ۱۰ تا ۰.۱، دمای ۳۶ تا ۹۰ درجه فارنهایت و عدد ۰.۰۷ تا ۱.۷ مورد استفاده قرار گرفت GSTARS3.0 فرمول لارسن و اصلاح شده لارسن را دارا می باشد (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۶-۴-روش توفالتي

روش توفالتي بر اساس فرض اینشتین (۱۹۵۰) و اینشتین و چاین استوار است که ساده سازی زیر را دارا می باشد.

۱. عرض آبراهه که رسوب در آن جریان دارد با عرض (B) و عمق (R) کانال منشوری برابر است که R شعاع هیدرولیکی آبراهه واقعی است.

۲. عمق جریان به چهار ناحیه تقسیم می شود.

مواد بستر Q_{ti} برای رسوباتی با اندازه d_i برابر است با:

$$Q_{ti} = B(q_{bi} + q_{sui} + q_{smi} + q_{sli}) \quad (22-3)$$

که B: عرض آبراهه، $q_{bi}, q_{sui}, q_{smi}, q_{sli}$: بار رسوب در واحد عرض به ترتیب در ناحیه بستر، ناحیه بالایی، ناحیه میانی، ناحیه پایینی است. توفالیتی برای بدست آوردن مقدار بار رسوب در هر ناحیه از روش های نیمه تجربی و گرافیکی بهره می برد (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۷-۲-۵- روش انگلاند و هانسن (۱۹۷۱)

انگلاند و هانسن تابع انتقال رسوب زیر را ارائه کردند:

$$f' \Phi = 0.1\theta^{5/2} \quad (23-3)$$

$$f' = \frac{2gSD}{V^2} \quad (24-3)$$

$$\Phi = \frac{q_t}{\gamma_s} \left[\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) gd^3 \right]^{-1/2} \quad (25-3)$$

$$\theta = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma)d} \quad (26-3)$$

g: شتاب جاذبه، S: شیب خط انرژی، V: میانگین سرعت جریان، q_t : کل دبی رسوب برحسب وزن واحد عرض، γ_s و γ به ترتیب برابر با وزن مخصوص رسوب و آب، d: میانگین قطر ذرات، D: متوسط عمق آب و τ : تنش برشی در طول بستر است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۶-۲-۶- روش ایگر و وایت (۱۹۷۳) و (۱۹۹۰)

ایگر و وایت برای ارائه حرکت و میزان انتقال رسوب آنالیز ابعادی را مورد استفاده قرار دادن آنها معادله حرکت را به صورت زیر بیان کردند:

$$F_{gr} = U^{*n} \left[gd \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \right]^{-1/2} \left[\frac{V}{\sqrt{32} \log \left(\frac{\alpha D}{d} \right)} \right]^{1-n} \quad (27-3)$$

که U^* : سرعت برشی، n: نمای انتقال که به اندازه رسوب بستگی دارد، $\alpha = 10$ در جریان آشفته، d: اندازه ذره رسوب و D: عمق آب است. آن ها همچنین اندازه رسوب را به وسیله قطر ذره بی بعد ارائه کردند.

$$d_{gr} = d \left[\frac{g}{V^2} \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \right]^{1/3} \quad (28-3)$$

که V : لزجت سینماتیکی آب است. تابع انتقال رسوب بی بعد به شکل زیر ارائه می شود.

$$G_{gr} = f(F_{gr}, d_{gr}) \quad (29-3)$$

با

$$G_{gr} = \frac{XD}{(d\gamma_s)/\gamma} \left(\frac{U^*}{V}\right)^n \quad (30-3)$$

تابع بی بعد تعمیم یافته را می توان به شکل زیر نوشت.

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1\right)^m \quad (31-3)$$

مقادیر A ، C ، n و m از طریق ایگر و وایت بر اساس بهترین منحنی برارزش داده های آزمایشگاهی با اندازه رسوب بیشتر از 0.4 mm و عدد فرود کمتر از 0.8 ارائه شده است. یکی از مشکلات فرمول اصلی ایگر و وایت میزان انتقال رسوب را بیش از اندازه واقعی برای رسوبات ریز (کمتر از 0.2 mm) و رسوبات نسبتا درشت انداز گیری می کند. برای حل این مشکل دو تصحیح صورت می گیرد. شکل اصلاح شده ضرایب در سال ۱۹۹۰ توسط اچ آر والینگفورد ارائه شد. هر دو نسخه ضرایب در GSTARS3.0 وجود دارد. ضرایب اولیه و ضرایب اصلاح شده در جدول زیر داده شده است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

جدول ۳-۱- ضرایب اولیه و اصلاح شده روش ایگر و وایت

	۱۹۷۳	۱۹۹۰
$1 < d_{gr} \leq 60$	$A=0.23d_{gr}^{-1/2}+0.14$	$A=0.23d_{gr}^{-1/2}+0.14$
	$\log C = -3.53 + 2.86 \log d_{gr} - (\log d_{gr})^2$	$\log C = -3.46 + 2.79 \log d_{gr} - 0.98(\log d_{gr})^2$
	$m=9.66d_{gr}^{-1}+1.34$	$m = 6.83d_{gr}^{-1} + 1.67$
	$n=1.00-0.56 \log d_{gr}$	$n=1.00-0.56 \log d_{gr}$
$d_{gr} > 60$	$A=0.17$	$A=0.17$
	$C=0.025$	$C=0.025$
	$m=1.50$	$m=1.78$
	$n=0$	$n=0$

۳-۹-۲-۶-۷- فرمول انتقال ذرات ماسه (۱۹۷۳) و انتقال ذرات شن یانگ (۱۹۸۴)

فرمول قدرت یکه جریان یانگ (۱۹۷۳) برای انتقال ذرات ماسه به شکل زیر است:

(۳۲-۳)

$$\left(\log C_{ts} = 5.435 - 0.28 \log \frac{wd}{g} + 0.457 \log \frac{V^*}{w} + 1.799 - 0.409 \log \frac{wd}{v} - 0.314 \log \frac{v^*}{w} \right) \log \left(\frac{vS}{w} - \frac{V_{cr}S}{w} \right)$$

که C_{ts} : غلظت ذرات ماسه به صورت قسمت در میلیون، ω : سرعت سقوط رسوب، d : قطر ذره رسوب، v : لزجت سینماتیک آب، U^* : سرعت برشی،

VS : متوسط سرعت جریان، S : شیب سطح آب یا انرژی، V_{cr} : متوسط سرعت بحرانی جریان هنگام آستانه حرکت است.

ضرایب که در معادله فوق آمده است باید برای انتقال ذرات شن با قطر ذره کمتر از 2 mm استفاده شود.

قدرت یک جریان بی بعد بحرانی $\left(\frac{V_{cr}S}{\omega} \right)$ از سرعت برشی بی بعد $\frac{V_{cr}}{\omega}$ و شیب خطی S تشکیل گردید.

$$\begin{cases} \frac{2.5}{\log\left(\frac{U^*d}{v}\right)-0.66} + 0.66 & 1.2 < \frac{U^*d}{v} < 70 \\ 2.05 & 70 < \frac{U^*d}{v} \end{cases} \quad (۳۳-۳)$$

فرمول بی بعد قدرت یک جریان یانگ (۱۹۸۴) برای انتقال ذرات شن با قطر ذره برابر یا بزرگتر از ۲ mm به صورت زیر است:

$$\log C_{tg} = 6.681 - \log \frac{\omega d}{v} - 4.816 \log \frac{U^*}{\omega} - \left(2.784 - 0.3015 \frac{\omega d}{v} - 0.282 \log \frac{U^*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega} \right) \quad (۳۴-۳)$$

C_{tg} : غلظت ذرات شن به صورت قسمت در میلیون ضرایب در معادله فوق بر اساس ۱۶۷ سری داده فلوم آزمایشگاهی بدست آمده است شرایط آستانه حرکت در معادله فوق بایستی برای معادلات (۳-۳)

(۳۲) و (۳۳-۳) مورد استفاده قرار گیرد به سبب استفاده کردن معادله فوق از دامنه داده ها برای تعیین ضرایب معادله باید برای ذرات شن با اندازه بین ۲ تا ۱۰ mm استفاده شود. در متون های هیدرولیک رسوب پیشنهاد های مبنی بر استفاده از معادله (۳۴-۳) برای ذرات بزرگتر از ۱۰ mm آمده است در اصل معادله (۳۲-۳) و (۳۴-۳) برای مواد یکنواخت مورد استفاده قرار می گیرد و هنگامی که این معادلات برای مواد غیر یکنواخت استفاده می شود کل غلظت رسوب باید توسط معادله (۱۳-۳) استفاده شود.

برای رودخانه های طبیعی، رنج تغییرات اندازه مواد بستر امکان دارد از ماسه تا شن باشد در این گونه موارد باید از هر دو معادله (۳۲-۳) و (۳۴-۳) استفاده کرد. GSTARS3.0 با در نظر گرفتن اندازه ذره مورد نظر از معادله مناسب استفاده می کند (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۶-۸- فرمول انتقال ذرات ماسه (۱۹۷۹) و انتقال ذرات شن یانگ (۱۹۸۴)

یانگ فرمول انتقال ماسه (۱۹۷۹) را برای شرایطی که نیروی جریان خیلی بیشتر از مقدار لازم برای آستانه حرکت است ارائه کرد در این حالت از قدرت یکه جریان بی بعد لازم برای آستانه حرکت می توان چشم پوشی کرد فرمول ذرات شن یانگ (۱۹۸۴) برای غلظت رسوب بیشتر از ۱۰۰ قسمت در میلیون به صورت زیر است:

$$\log C_{ts} = 5.165 - 0.1531 \log \frac{\omega d}{v} - 0.297 \log \frac{U^*}{\omega} + (1.780 - 0.601 \log \frac{\omega d}{v} - 0.480 \log \frac{U^*}{\omega}) \log \frac{v_s}{\omega} \quad (35-3)$$

ضرایب در معادله (۳۵-۳) با استفاده از ۴۵۲ سری از داده های فلوم آزمایشگاهی اصلاح و نوشته شده است زمانی که غلظت مواد بستر از ۱۰۰ قسمت در میلیون بالاتر گردد معادلات (۳۲-۳) و (۳۴-۳) در بردارنده یک میزان دقت هستند. کاربر توانایی دارد برای محاسبه غلظت بستر در رودخانه با در نظر داشتن اندازه رسوب در رودخانه ترکیبی از معادلات (۳۲-۳) و (۳۴-۳) یا (۳۵-۳) و (۳۴-۳) را مورد استفاده قرار دهند. اگر مواد بستر یکنواخت نباشد از معادله (۱۳-۳) در GSTARS3.0 استفاده می شود (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۶-۹- روش پارکر (۱۹۹۰)

پارکر یک تابع انتقال رسوب تجربی برای ذرات شن با فرض برابر بودن برای تمام ذرات ارائه کرد. تابع انتقال رسوب بی بعد بار بستر ω_i^* و پارامتر بی بعد تنش برشی Φ_i به صورت زیر ارائه شد:

$$W_i = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \frac{q_{bi}}{P_i DS \sqrt{g DS}} \quad (36-3)$$

$$\Phi_i = \frac{DS}{d_i \tau_{ri}^*} \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)^{-1} \quad (37-3)$$

مقدار τ_{ri}^* بر اساس d_{50} برابر با ۰.۸۵ است یعنی:

$$\tau_{ri}^* = 0.875 \frac{d_{50}}{d_i} \quad (38-3)$$

q_{bi} : بار بستر در واحد عرض آبراهه با اندازه d_i ، D: عمق آب، S: شیب
 P_i : نسبت وزنی ذره با اندازه d_i ، به علت این حرکت برای تمام اندازه ذرات یکسان است تنها یک
اندازه ذره (d_{50}) مورد استفاده قرار می گیرد تا دبی بستر را به صورت تابعی از تنش برشی بی بعد
نشان دهد.

$$w^* = \begin{cases} 0.0025 \Phi_{50}^{14.2} & \Phi_{50} < 1.0 \\ 0.0025 \exp\{14.2(\Phi_{50} - 1) - 9.28(\Phi_{50} - 1)^2\} & 1.0 < \Phi_{50} < 1.59 \\ 13.685 \left(1 - \frac{0.853}{\Phi_{50}}\right)^{4.5} & \Phi_{50} > 1.59 \end{cases} \quad (39-3)$$

در معادله (۳۹-۳) Φ_{50} بر اساس اندازه ذره بیان می شود. این معادله با استفاده از داده های صحرایی
و بر پایه تجربیات ۱۸ تا ۲۸mm مناسب است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۱۱ فرمول اصلاح شده یانگ برای انتقال ذرات شن با غلظت بالای شسته

همه توابعی که تا کنون گفته شد برای انتقال رسوب متعادل ارائه شده بود انتقال متعادل در مکان
های قابل استفاده است که تاثیر بار شسته قابل چشم پوشی باشد داشتن غلظت بالای بارشسته می
تواند اثر زیادی بر سرعت جریان، سرعت سقوط ذرات رسوب و وزن مخصوص نسبی ذرات رسوب
داشته باشد یانگ و همکارانش (۱۹۹۶) فرمول یانگ برای جریان غلیظ زیاد از رسوب با غلظت های
بالای بار شسته تصحیح کردند که به شکل زیر است:

$$\log C_{ts} = 5.165 - 0.153 \log \frac{\omega_m d}{v_m} - 0.297 \log \frac{U^*}{\omega_m} + \left(1.780 - 0.360 \log \frac{\omega_m d}{v_m} - (40-3) \right. \\ \left. 0.480 \log \frac{U^*}{\omega_m} \right) \log \left[\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_s - \gamma_m} \right) \frac{\gamma_s}{\omega_m} \right]$$

ω_m : سرعت سقوط ذرات در جریان فراوان از رسوب، v_m : لزجت سینماتیکی جریان فراوان از رسوب،
 γ_m و γ_s : بترتیب مساوی است با وزن مخصوص رسوب و رسوب جریان فراوان از رسوب است.

ضرایب موجود در معادله (۴۰-۳) با ضرایب معادله (۳۵-۳) مساوی است. مقدارهای سرعت سقوط،
لزجت سینماتیک و وزن مخصوص نسبی برای انتقال رسوب در جریان فراوان از رسو با غلظت بالای
مواد معلق ریز اصلاح گردید.

این اصلاحات توسط یانگ و همکاران (۱۹۹۶) بر اساس رسوبات رودخانه زرد در چین ایجاد شد. رودخانه زرد در چین به علت بار شسته و مواد بستر در جهان معروف است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۲-۱۱ روش آشیدا و میچو (۱۹۷۲)

رابطه بار بستر آشیدا و میچو (۱۹۷۲) برای میزان انتقال ذرات رسوب با اندازه d_i به شکل زیر است:

$$\frac{q_{bi}}{P_i U_e^* d_i} = 17 \tau_{ei}^* \left(1 - \frac{\tau_{ci}^*}{\tau_i^*} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{ci}^*}{\tau_i^*}} \right) \quad (۴۱-۳)$$

q_{bi} : میزان انتقال با بستر در واحد عرض برای کلاس اندازه d_i ; P_i : درصد در کلاس d_i است.

$$\tau_i^* = \frac{U^2}{G g d_i} \quad (۴۲-۳)$$

$$\tau_{ci}^* = \frac{U_{ci}^{*2}}{G g d_i} \quad (۴۳-۳)$$

$$\tau_{ei}^* = \frac{U_e^{*2}}{G g d_i} \quad (۴۴-۳)$$

U^* : سرعت برشی ($\sqrt{g R_h S_e}$), G : وزن ویژه رسوب در آب، g : شتاب جاذبه، R_h : شعاع هیدرولیکی، S_e : شیب خط انرژی، U_e^* : سرعت برشی موثر که از معادله زیر بدست می آید:

$$\frac{V}{U_e^*} = 5.75 \log \left(\frac{R_h / d_{50}}{1 + 2\tau^*} \right) + 6.0 \quad (۴۵-۳)$$

d_{50} : میانگین قطر مواد بستر است. تنش برشی برای هر کلاس دانه بندی توسط اگیازارف ارائه شد.

$$\frac{U_{ci}^{*2}}{U_{c50}^{*2}} = \begin{cases} 0.85 & \frac{d_i}{d_{50}} < 0.4 \\ \left(\frac{\log 19}{\log \left(\frac{19 d_i}{d_{50}} \right)} \right)^2 & \frac{d_i}{d_{50}} \geq 0.4 \end{cases} \quad (۴۶-۳)$$

U_{c50}^* : سرعت برشی بحرانی بدون بعد برای اندازه d_{50}

$$U_{c50}^* = \sqrt{\tau_{c50}^* G g d_{50}} \quad (۴۷-۳)$$

τ_{c50}^* برابر ۰.۰۵ به دست می آید.

اگرچه فرمول اصلی آشیدا و میچو (۱۹۷۲) فقط برای بدست آوردن بار بستر است در GSTARS3.0 روش آشیدا و میچو برای بدست آوردن مقدار بار معلق مورد استفاده قرار می گیرد. میزان انتقال در واحد عرض برای بار معلق در کلاس اندازه d_i از طریق فرمول آشیدا و میچو بدست می آید که به شکل زیر است.

$$q_{si} = C_{ai} V (e^{-c_1 a} - e^{-c_1 a}) \frac{e^{c_1 a}}{c_1} \quad (47-3)$$

C_{ai} : غلظت در سطح مبنا فرض می شود $a = 0.05h$ است که عمق آب باشد که از طریق روابط زیر محاسبه می شود.

$$C_{ai} = P_i K \left[\frac{f(\xi_0)}{\xi_0} - F(\xi_0) \right] \quad (49-3)$$

$$f(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \{-0.5\xi_0^2\} \quad (50-3)$$

$$F(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\xi_0}^{\infty} \exp\{-0.5\xi^2\} d\xi \quad (51-3)$$

$K = 0.025$, $\xi_0 = \frac{\omega_t}{0.75U^*}$, ω_t : سرعت سقوط ذره رسوب با قطر d_i است. C_i در معادله (48-3) به صورت زیر حساب می شود:

$$C_i = \frac{6\omega_t}{ku^*h} \quad (52-3)$$

K ضریب وان کارمن است ($K=0.412$).

بار کل در واحد عرض برای اندازه i توسط مجموع بار بستر و بار معلق محاسبه شده توسط (3-41) و (3-48) محاسبه می شود $q_i = q_{bi} + q_{si}$. فرمول آشیدا و میچو به صورت زیاد توسط مهندسين ژاپنی و محققانی که در مورد رسوبگذاری مخزن و رودخانه کار می کنند با موفقیت از آن استفاده کردند.

به دلیل خاصیت روش آشیدا و میچو زمانی که این روش در GSTARS3.0 به کار برده می شود پارامتر r در معادله (3-13) باید مساوی ۱ قرار داده شود (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، 2002).

۳-۹-۲-۶-۱۲ معادله دانشگاه تسینگ هوا برای رسوبشویی مخزن

اکثر معادلات انتقال رسوب برای رودخانه و آبراهه گسترش یافتند و فرضیات این معادلات کاربرد آن ها را برای خارج از محدوده ای که معادلات گسترش یافتند محدود می کند. معادله دانشگاه تسینگ هوا (۱۹۸۵) یک معادله تجربی است و بیشتر برای محاسبه ظرفیت انتقال یا جریان رسوبشویی در مخازن ارائه شد.

$$Q_s = \Omega \frac{Q^{1.6} S^{1.2}}{W^{0.6}} \quad (52-3)$$

Q_s : دبی رسوب (ton/s)، Q : دبی آب (m^3/s)، W : عرض آبراهه (m)، S : شیب بستر و Ω : فاکتوری

است که به نوع رسوب بستگی دارد. مقادیر پیشنهادی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۳-۲- رسوب Ω

نوع رسوب	مقدار پارامتر Ω
رسوبات رسی	۱۶۰۰
رسوبات با اندازه کوچکتر از ۰.۱ میلیمتر	۶۵۰
رسوبات با اندازه بزرگتر از ۰.۱ میلیمتر	۳۰۰
برای عملیات فلاشینگ با دبی کم	۱۸۰

معادله دانشگاه تیسینگ هوا بر طبق داده های رسوبشویی مخزن ها در چین ناشی می شود پراکندگی داده های استفاده شده وجود دارد ولی آنقدر نیست که اشکال عمده ایجاد کند و در این مخازن رسوبشویی هر ساله انجام می گیرد. بنابراین در میان رسوب شویی تحکیم یافتگی بین رسوبات کم است و اهمیت نحوه بهره برداری کاهش پیدا می کند (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۳- انتقال رسوب چسبنده

امروزه معادلات که برای بدست آوردن توانایی انتقال رسوبات چسبنده که در GSTARS3.0 جای داده شده است به شکل یک متالوژی جدید قابل بررسی است.

با توجه به پیشرفت های انجام شده در رابطه با مدل کردن انتقال رسوبات چسبنده هنوز مدلی یا تکنیکی که بتواند پیش بینی که به واقعیت نزدیک باشد وجود ندارد. مدل کردن ذرات ریز با تکیه کردن بر کالیبراسیون گسترده و آنالیزهای حساسیت امکان دارد که جواب را به واقعیت نزدیکتر کند و نتایج بهتر باشد ولی این راهکارها وقت گیر و هزینه بر است. در GSTARS3.0 انتقال سیلت و رسوب به شکل جدا گانه است. GSTARS3.0 وجود رس را از دیگر ذرات تشخیص می دهد این تشخیص رس به این گونه است که میانگین اندازه ذرات در کلاس دانه بندی داده های ورودی کمتر از $0.004mm$ باشد این کلاس به عنوان ذرات رس در نظر گرفته می شود به طور مشابه ذرات سیلت به این شکل قابل تشخیص است که میانگین کلاس داده های ورودی بین 0.004 تا $0.0625mm$ قرار داشته باشد (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۴- رسوبگذاری و فرسایش

به وجود آمدن فرسایش و رسوبگذاری با بررسی مقدار تنش برشی بستر τ_b قابل تشخیص است. رسوبگذاری رس و سیلت زمانی به وقوع می پیوندد که تنش برشی بستر τ_b کمتر از تنش برشی بحرانی بستر τ_{cb} باشد. τ_{cb} مقدار تنش برشی بستر است که اگر تنش برشی بیشتر از این باشد

رسوبگذاری انجام نمی شود. فرسایش رس و سیلت زمانی انجام می گیرد که آبشستگی ذره τ_b بزرگتر از تنش برشی بحرانی بستر τ_{cb} باشد. GSTARS3.0 دو نوع فرسایش برای بسترهای چسبنده در می گیرد فرسایش ذره و فرسایش توده فرسایش ذره به فرسایش سطح مربوط می شود و جایی اتفاق می افتد که فرسایش ذره به ذره اتفاق می افتد. فرسایش توده جایی ایجاد می شود که بستر توسط جریان های فرسایشی و توده گل و رسوب شسته شود (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۹-۵- اهداف و قابلیت های مدل GSTARS3.0

یک مدل خوب باید دارای قابلیت های زیر باشد (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲):

- مدل باید پارامترهای هیدرولیکی را برای کانال های باز با مقاطع ثابت همانند بسترهای متحرک محاسبه نماید.
- مدل باید محاسبات پروفیل سطح آب را در رژیم های فوق بحرانی، زیر بحرانی و مختلط انجام دهد. یعنی بدون وقفه در ترکیبی از فوق بحرانی و زیر بحرانی.
- مدل باید قادر باشد متغیرهای رسوب را در دو راستای طولی و عرضی شبیه سازی و پیش بینی نماید.
- مدل باید قادر باشد تغییرات پروفیل آبراهه آبرفتی و ژئومتری مقاطع را بدون توجه به اینکه آیا عرض آبراهه متغیر و یا ثابت است را شبیه سازی و پیش بینی نماید.
- مدل باید شرایط ویژه محل مانند پایداری دیواره و محدودیت های فرسایش را در محاسبات در نظر گرفته شود.

GSTARS نسخه ۳.۰ بر پایه GSTARS نسخه ۲.۱ است و چهار قسمت اصلی دارد:

قسمت اول استفاده از هر دو معادله مومنتم و انرژی برای محاسبات پروفیل سطح آب است این امر یعنی استفاده از دو معادله قابلیتی به این برنامه می دهد که تا محاسبات پروفیل سطح آب را در ترکیبی از رژیم فوق بحرانی و زیر بحرانی انجام دهد. در این محاسبات GSTARS3.0 توانایی دارد مقاطع عرضی نامرتب را بدون توجه به این که آبراهه منفرد است یا توسط جزایر کوچک یا موانع سنگی به چند قسمت تقسیم شده است را شبیه سازی نماید (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

قسمت دوم استفاده از فرض لوله جریان است که این فرض در محاسبات روندیابی رسوب استفاده می شود. پارامترهای هیدرولیکی و روندیابی رسوب به طور جداگانه برای هر لوله انجام می گیرد و به همین طریق متغیرها در راستای عرضی مقاطع عرضی به روش نیمه دوبعدی محاسبه می شوند.

اگرچه جریان توانایی عبور از مرز بین لوله های جریان را ندارد ام شیب عرضی بستر و جریان های ثانویه می تواند در GSTARS3.0 قابل تشخیص است و به کمک آنها جابجای رسوب بین لوله های انجام می گیرد. امکان دارد که موقعیت و عرض هر لوله جریان بعد از هر گام محاسباتی تغییر کند. آبستگي و رسوبگذاری محاسبه شده در هر لوله جریان متغیرهای ژئومتری آبراهه در راستایی عمودی (یا جانبی) را ارائه می دهد. ابتدا پروفیل سطح آب محاسبه و بعد آبراهه به تعدادی جریان انتخاب شده با ویژگی های زیر تقسیم می شود (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲):

۱. مجموع دبی انتقال داده شده از طریق آبراهه به مقدار یکسان در لوله های جریان تقسیم می شود.
 ۲. لوله های جریان از طریق مرزهای آبراهه و عمودی فرضی از هم جدا می شوند.
 ۳. میزان دبی در طول هر لوله ی جریان ثابت است (یعنی تبادل بین لوله های جریان وجود ندارد).
- جور شدگی بستر و آرمورینگ در هر لوله جریان توسط روش ارائه شده بنت و نردین (۱۹۷۷) انجام می شود.

قسمت سوم استفاده از تئوری حداقل اتلاف انرژی یانگ (۱۹۷۶ و ۱۹۷۱)، یانگ و سانگ (۱۹۷۹ و ۱۹۸۰) است که نسخه ساده شده حداقل قدرت جریان برای محاسبه تعادل بین تغییرات عمق و عرض آبراهه است. استفاده از این تئوری به عرض آبراهه اجازه می دهد تا به عنوان یک متغیر مجهول عمل کند این عملکرد عرض آبراهه که به عنوان عنوان مجهول است یکی از قابلیت های GSTARS3.0 است. عرض آبراهه و عمق در مقطع عرضی داده شده در گام زمانی مشخص به طریقی که متعادل می شوند که مجموع قدرت جریان حداقل شود.

قسمت چهارم شرایط پایداری دیواره جانبی آبراهه را شامل می شود که بر اساس زاویه ایستایی مواد تشکیل دهنده دیواره و تداوم رسوب ورودی به آبراهه است.

برخی از قابلیت ها و ویژگی های GSTARS3.0 نسبت به دیگر مدل ها شامل موارد زیر است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲):

۱. GSTARS3.0 می تواند محاسبات پروفیل را برای شرایط انتقال رسوب یا بدون انتقال رسوب انجام دهد.
۲. GSTARS3.0 توانایی دارد پروفیل های سطح آب را در شرایط زیر بحرانی و فوق بحرانی، همراه با پرش هیدرولیکی محاسبه نماید.

۳. GSTARS3.0 توانایی دارد متغیرهای عرضی و طولی جریان و شرایط رسوب را به نیمه دوبعدی بر طبق فرض لوله جریان محاسبه نماید. اگر تنها یک لوله انتخاب شود، مدل یک بعدی می شود. اگر چند لوله جریان انتخاب شود، تغییرات ارتفاع کف در راستای عمودی و جانبی قادر به شبیه سازی است.
۴. الگوریتم های جورشدگی و روسازی که اساس کلاس دانه بندی رسوب است توانایی شبیه سازی واقع گرایانه ای از فرآیند روسازی بستر به وجود آورد.
۵. GSTARS3.0 توانایی دارد تغییرات ژئومتری آبراهه را به طور همزمان در طول و عرض، بر اساس مجموع حداقل قدرت جریان شبیه سازی نماید.
۶. پایداری جانبی آبراهه، شبیه سازی تغییرات ژئومتری آبراهه را بر اساس زاویه ایستایی مواد تشکیل دهنده دیواره و مواد تشکیل دهنده رسوب ورودی را امکان پذیر می کند.

۳-۹-۶- جنبه های جدید در GSTARS3.0

GSTARS3.0 بر اساس GSTARS2.1 با در نظر گرفتن اصلاحات و قابلیت های اضافه شده زیر است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲):

۱. روند یابی مخزن
۲. GSTARS3.0 با زبان برنامه نویسی فرترن ۹۵/۹۰ نوشته شده است. الگوریتم ها از نظر دقت و صحت بهتر شده اند. همچنین به جای آرایه های استاتیکی و با اندازه ثابت، از تخصیص حافظه دینامیکی استفاده شده است.
۳. سه معادله دینامیکی انتقال رسوب به مدل اضافه شده است. دو معادله از آن مربوط به جنبه های خاص رسوبگذاری مخزن است.
۴. در نظر داشتن بستر چند لایه که این لایه ها شامل دانه بندی های متفاوت است.
۵. پیشرفت های در زمینه روش های انتقال رسوب چسبیده برای غلظت بالای ریزدانه ایجاد شده است.
۶. روش های محاسبه انتقال رسوب از عرض لوله جریان.
۷. مقاطع عرضی انتقالی و شدت رسوب ورودی بر طبق اصول تعادل Transmissve Cross Sectin
۸. تصحیح چند اشکال (Bug) شناخته شده در برنامه.
۹. گسترش یافتن راهنمای مدل.

۳-۹-۷- محدودیت کاربرد GSTARS3.0

GSTARS3.0 یک مدل عددی توسعه یافته برای رایانه های شخصی است تا تغییرات مورفولوژیکی مخزن و رودخانه را که از طریق پدیده های طبیعی یا مهندسی ایجاد شده اند شبیه سازی و پیش بینی نماید GSTARS3.0 به عنوان یا ابزار مهندسی برای حل مسائل هیدرولیکی آبرفتی در نظر گرفته شده اما از نظر تئوری دارای محدودیت های زیر است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲):

۱- GSTARS3.0 یک مدل جریان شبه ماندگار است. در جریان شبه دائمی هیدروگراف های دبی آب به وسیله قطعاتی با دبی ثابت تقریب زده می شوند، بنابراین نباید برای شرایط جریان غیر ماندگار استفاده شوند.

۲- GSTARS3.0 یک مدل نیمه دو بعدی است برای شبیه سازی جریان و یک مدل نیمه سه بعدی برای شبیه سازی ژئومتری آبراهه است. پس این مدل نباید برای مکان های که نیاز به شبیه سازی دقیق شرایط محل توسط مدل دوبعدی و سه بعدی است مورد استفاده شود. با این وجود GSTARS3.0 برای حل مسائل زیادی در مهندسی رودخانه مناسب و رضایت بخش است.

۳- GSTARS3.0 بر طبق مفهوم لوله جریان است جریان های ثانویه به صورت تجربی برای مدل تعریف شده است. پدیده دیفیوژن و اختلاف تراز آب در قوس نادیده گرفته می شود.

۴- بسیاری از روش ها و مفاهیم استفاده شده در GSTARS3.0 به صورت تقریبی از پدیده های واقعی ساده سازی شده است.

۳-۹-۸- داده های مورد نیاز GSTARS3.0

داده های در GSTARS3.0 به دو بخش هیدرولیکی و هندسی تقسیم می شود (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

مشخصات هیدرولیکی عبارتند از:

- ۱- تراز های سطح آب متناسب با دبی جریان ورودی برای دوره زمانی مورد نظر.
- ۲- دبی رسوبات ورودی متناسب با دبی جریانات ورودی برای دوره های زمانی مورد نظر.
- ۳- تغییرات درجه حرارت در طول دوره های زمانی مورد نظر.

مشخصات هندسی مورد نیاز عبارتند از:

- ۱- دانه بندی مواد کف بستر و مواد معلق
- ۲- زاویه شکست خاک کناره مخزن

۳- هیدروگرافی رسوب مخزن (به منظور کالیبراسیون کردن مدل)

۳-۹-۹- کنترل اطلاعات خروجی GSTARS3.0

داده های خروجی از مدل GSTARS3.0 به شکل فایل ASCII است که از طریق ویرایشگرهای متنی یا نرم افزارهای صفحه گسترده مثل Microsoft Excel قابل مشاهده است. فایل های خروجی به دو شکل است. داده های ژئومتری و پارامترهای رسوب و هیدرولیک. فایل های مربوط به پارامترهای رسوب و هیدرولیک شامل سرعت جریان، عدد فرود، شیب خط انرژی، توزیع اندازه ذرات و غیره است. داده های ژئومتری حاوی جدولی از تراز خط القعر و تراز سطح آب در مقابل فاصله طولی و ژئومتری مقطع عرضی است (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۱۰-۱- روش مدل سازی

داده ها و اطلاعات استفاده شده در GSTARS3.0 باید کامل و مناسب باشد به عبارت دیگر GSTARS3.0 از اطلاعات مرزی هیدرولوژیکی و هندسی استفاده کرد و معادلات حاکم را حل کند داده ها و اطلاعات و برنامه رایانه ای با همدیگر مدل می گویند. داده های مورد نیاز برای مدل با استفاده از یک ویرایشگر ASCII وارد می شود.

۳-۱۰-۱- قالب داده های ورودی

داده های ورودی در فایل ASCII و با رکوردهای پیاپی و پشت سرهم وارد می شود. یک رکورد از یک خط تا ۸۰ کاراکتر طول دارد و به فیلدهایی با عرض ثابت تقسیم می شود. فیلدها از چپ به راست شماره گذاری می شوند و اولین کاراکتر از سمت چپ می باشد. فیلد صفر دو کاراکتر طول دارد و برای مشخص کردن نام رکورد به کار می رود فیلد یک تا ده برای داده ورودی مورد استفاده قرار می گیرد فیلد یک شش کاراکتر و فیلد دو تا ده هست کاراکتر طول دارند هر نام رکورد منحصر به فرد است و برای وارد کردن داده هایی مشخص به کار میروند (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۱۰-۲- داده های هیدرولیکی

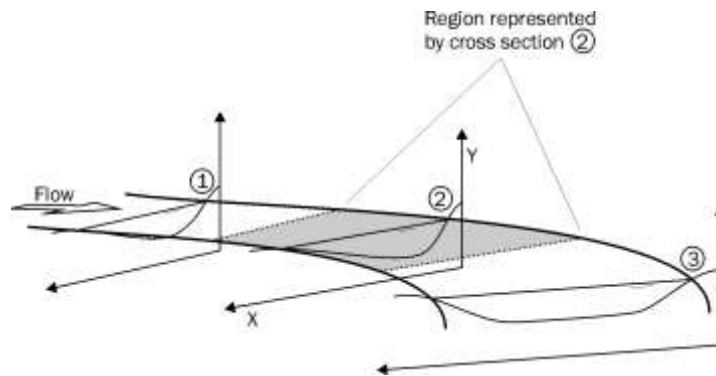
GSTARS3.0 محاسبات روند یابی هیدرولیک و رسوب را جدا از هم انجام می گیرد دو حالت مورد بررسی می شود. حالت اول محاسبات سطح آب می باشد و در حالت دوم روندیابی رسوب است فایل ورودی GSTARS3.0 به چهار بخش تقسیم می گردد که عبارتند از: داده های هیدرولیکی، داده های رسوب، کنترل خروجی ها و داده های مینیمم توان جریان. قسمت هیدرولیکی و کنترل خروجی

ها همواره مورد نیاز است اما دو قسمت دیگر اختیاری است. داده های مینیمم توان جریان تنها زمانی ارائه می گردد که داده های رسوبی را نیز داشته باشیم. ابتدا داده های هیدرولیکی نیاز است که شامل هندسه مقطع عرضی، زبری مجرا و ضرایب افت است داده های هیدرولوژی یعنی داده های دبی-اشل است(راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۱۰-۳- داده های هندسی

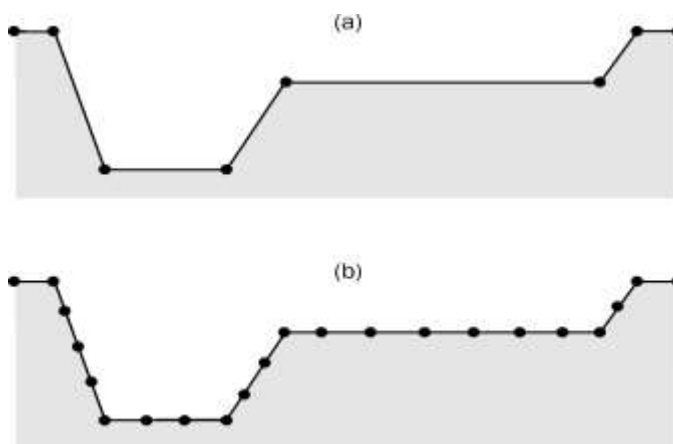
اولین مرحله برای مدل کردن یک سیستم رودخانه با استفاده از GSTARS3.0 وارد کرد داده های دیواره و بستر مجرا در یک روش نیمه دو بعدی است. بازده رودخانه ای که مورد شبیه سازی انجام می گیرد باید اواسط تعدادی محدودی از مقاطع عرضی مجزا و مشخص توصیف گردد. هندسه عرضی مقطع به وسیله زوج های مختصاتی $X-Y$ تشریح می گردد جفت مختصات موقعیت عرضی و ارتفاع بستر را نشان می دهند. ارتفاع بستر یا Y باید با استفاده از یک مبنا عمومی برای تمام بازده گرفته شود و همیشه باید مثبت باشد موقعیت عرضی X با استفاده از یک نقطه مرجع برای هر مقطع عرضی داده می شود به شکلی که با پیشروی از سمت چپ به راست رودخانه در جهت پایین دست مقدار X افزایش یابد. هر مقطع عرضی توسط یک مقدار مشخص می شود که نشان دهنده فاصله آن ایستگاه از نقطه مرجعی که پایین دست مشخص شده است فاصله بین ایستگاه ها که باید فاصله افقی اندازه گیری شده در جهت جریان است GSTARS3.0 به عنوان تفاوت بیت اعداد مقاطع عرضی محاسبه می شود(راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

شروع وارد کردن ایستگاه ها به ترتیب از بالادست ترین مقطع عرضی به سمت پایین دست است و در جهت جریان حرکت می کنیم. تعداد و موقعیت عرضی اختیاری می باشد. همیشه گفته می شود هندسه بازده مجرا به گونه ای انتخاب شود که بهترین حالت باشد دقت و درستی داده ها مقاطع عرضی برای مطمئن بودن از این که مدل به خوبی کار می کند ضروری است. در این برنامه هر مقطع عرضی از بالا دست و پایین دست خود را پوشش می دهد در واقع نماینده قسمت های از مجرا است(راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).



شکل ۳-۷- شکل شماتیک نحوه‌ی بردن مقاطع عرضی (راهنمای مدل ریاضی GSTARS3.0)

مقاطع عرضی بیشتر در جایی مورد نیاز هستند که تغییرات معنی داری در هندسه مجرا یا خصوصیات هیدرولیکی وجود داشته باشد. طبیعی است تعداد بیشتر مقاطع دقت بیشتری نسبت به تعداد کمتر مقاطع ایجاد می‌کند. مقاطع عرضی باید بر جهت جریان عمود باشند و در تمام حاشیه رودخانه ادامه پیدا کنند. یعنی آن باید به طور کامل عرض مجرا پوشش دهد.



شکل ۳-۸- نمایش عرضی توسط سری نقاط مجزا (راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0)

هر مقطع می‌تواند به چندین مقطع یا مجراهایی با زبری مختلف تقسیم شود در مدل GSTARS3.0 تا ۹ عدد را می‌توان برای ضریب زبری مقاطع عرضی تعریف کرد. قالب فایل اطلاعاتی مقطع عرضی به صورت از ۴ رکورد زیر تشکیل شده است که عبارتند از: RH، XS، ND، ST. رکورد ST اطلاعاتی خاص درباره مقطع عرضی از قبیل موقعیت مکانی و تعداد نقاط مورد استفاده را بیان می‌کند این رکورد همچنین مشخص می‌کند که آیا مقطع عرضی یک مقطع کنترل نیز هست یا نه. آخرین فیلد بر روی رکورد ST شامل ضرایب افت انرژی موضعی است. این ضرایب افت انرژی موضعی برای

هیدرولیک پیچ ها، سازه های طبیعی و مصنوعی و غیره به کار می روند مقدار پیش فرض افت انرژی موضعی صفر است GSTARS3.0 ضرایب اضافی افت برای انقباض را ۰.۱ و برای انبساط را ۰.۳ در نظر می گیریم رکورد ND برای تعیین تعداد قسمت های مجرا در یک مقطع عرضی مفروض و موقعیت جانبی متناظرشان به کار می رود. رکورد XS برای وارد نمودن هندسه مجرای ایستگاه با استفاده از زوج های مختصاتی X و Y کاربرد دارد. رکورد RH نیز ضریب زبری برای هر قسمت از مجرا که در رکورد ND تعریف شده بود را تعیین می کند. GSTARS3.0 می تواند از معادلات مانینگ، شزی و دارسی- ویسباخ برای تعیین و محاسبه شیب انرژی و انتقال استفاده کند معادله مورد نظر با به کار بردن رکورد RE انتخاب می گردد که بعد از داده های هندسی مجرا ارائه میشود(راهنمای مدل ریاضی، GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۱۰-۴- داده های دبی - اشل

داده های هیدرولیکی مورد نیاز برای انجام شبیه سازی عددی اشل های آب و ارتفاع سطح آب متناظر با آن نقاط معینی است در مدل GSTARS3.0 وارد نمودن هیدروگراف دبی ورودی به بازده مورد مطالعه در دورترین ایستگاه بالادست برای دوره تحلیلی ضروری می باشد نوع ورودی دبی های در رکورد QQ تعریف می گردد و همچنین نوع ورودی برای اشل های متناظر با رکورد SS تعیین می شود(راهنمای مدل ریاضی GSTARS3.0، ۲۰۰۲).

۳-۱۰-۵- داده های رسوب

در روند یابی رسوب باید اطلاعات و داده های رسوبی وارد شوند. داده های رسوبی شامل توزیع اندازه ذرات بستر برای بازده مورد مطالعه و هیدروگراف جریان رسوبی وارد شده به بازده است. محاسبات انتقال رسوب به وسیله رکورد SE در فایل اطلاعاتی ورودی فعال می گردد. این رکورد برای انتخاب معادله مورد نظر جهت محاسبه ظرفیت حمل رسوب به کار می رود. انتخاب تابع رسوبی مناسب همیشه مشکل بوده است تفاوت در فرضیات استفاده شده برای بدست آوردن معادلات بررسی داده ها و دلایل عملی و تجربی هستند که به این روند کمک می کنند. معادله مطلوب معادله ای است که شرایط مختلف جریان، رسوب، زمین شناسی، آب و هوایی، هیدرولوژیکی و... داشته باشند.

۳-۱۰-۶- داده های جریان رسوب

هیدروگراف جریان رسوب ورودی باید برای دورترین بخش بالادست از بازده مورد مطالعه داده شود. در نرم افزار GSTARS3.0 این عمل به صورت دبی های رسوب منقطع بر رکورد QS یا از طریق منحنی روندیابی رسوب در رکورد QR صورت می گیرد به شکل پیش فرض توزیع دانه بندی ذرات

رسوبی معادل می باشد با دانه بندی تعریف شده برای دورترین مقطع عرضی بالادست، که با کمک رکوردهای IS و IQ توانایی دارد توزیع دانه بندی مختلف را مشخص کند. دانه بندی باید به شکل تابعی از دبی آب تعریف شود.

۳-۱۰-۷- داده های درجه حرارت

اطلاعات درجه حرارت آب برای محاسبه لزجت سینماتیکی در رکورد TM درج می شود دمای آب برای هر گام زمانی اجرایی مدل داده شود.

۳-۱۰-۸- داده های دانه بندی رسوب

ترکیبات رسوبات به وسیله منحنی های دانه بندی تعیین می شود برای هر اندازه ذره، درصد رسوبات بستر با اندازه کوچکتر از روی منحنی دانه بندی به دست می آید. اطلاعات توزیع اندازه ذرات رسوبی باید برای تمامی مقاطع عرضی داده شوند. اول کلاس یا طبقه بندی اندازه ذرات با رکورد های SG و تعریف می شود. SF و رکورد SF تعداد دسته ها و رکورد SG گروه های مختلف رسوبات را در خود جای می دهند. دسته بندی های انجام شده در رکورد ها کاملاً اختیاری است از رکورد های SG و SF برای تعیین کردن وزن مخصوص خشک رسوبات نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

۳-۱۱- انتقال نامتعادل رسوب

در رودخانه ها و آبراهه ها غالباً فرض مساوی بودن بار بستر با ظرفیت حمل رسوب قابل قبول بوده و این کار را به عنوان انتقال بار بستر در حالت تعادل به حساب می آورند اما انتقال های وجود دارند که در آن ها تاخیر مکانی و زمانی دارای اهمیت است. رسوبگذاری در مخازن و ته نشینی رسوبات در مصب رودخانه انتقال نامتقارن است. در مدل GSTARS3.0 زمانی که در حمل و انتقال رسوبات تعادل و موازنه وجود نداشته باشد برای متعادل کردن محاسبات انتقال و حمل رسوب از رکورد NE استفاده می گردد.

۳-۱۲- مدل ریاضی BRISTARS

۳-۱۲-۱- بخش ژئومتری

در مدل BRI-STARS مشخصات هندسی رودخانه یا مخزن توسط مقاطع عرضی برداشت شده تعریف و تعیین می شوند. مقاطع عرضی نیز بوسیله مختصات نقاطی بصورت فاصله - ارتفاع و همچنین فواصل مقاطع عرضی از یک محل مبنا در پایین دست (محل سد) بیان می شوند. در این

بخش رودخانه در مقطع به تعدادی لوله جریان تعیین شده توسط کاربر تقسیم می شود که تغییرات بستر در هر لوله جریان بسته به شرایط هیدرولیکی جریان در جهت عمودی بطرف بالا یا پایین انجام می گیرد. تغییرات در مقطع عرضی کانال، متوسط تغییرات در زیر مقاطع عرضی مختلف با عرض متفاوت در نظر گرفته می شود. از آنجائیکه زمان و فضای مورد نیاز در کامپیوتر ارتباط مستقیم با تعداد لوله های جریان مورد استفاده دارد، لذا کاربر بایستی یک تعداد اپتیممی از لوله های جریان را انتخاب کند. با انتخاب تنها یک لوله جریان مدل یک بعدی می شود و با انتخاب چندین لوله جریان مدل شبه دو بعدی شده که تغییرات در ژئومتری مقاطع عرضی در جهت عرضی رودخانه نیز شبیه سازی می شود.

۳-۱۲-۲- بخش هیدرولیک و هیدرولوژی

در این مدل هیدروگراف دبی جریان توسط دبی های متوالی تعیین شده برای هر گام زمانی به مدل معرفی می شود که هیدروگراف دبی در واقع همان هیستوگرام دبی می باشد. افت های باز شدگی و تنگ شدگی مقاطع در صورتیکه شرائب مربوطه توسط کاربر تعریف شده باشد، محاسبه می گردند. ضریب زبری بستر توسط فرمول های مانینگ، شزی و یا دارسی - ویسباخ قابل محاسبه و ارزیابی می باشد که این ضریب برای تمامی نقاط ارتفاعی تعریف شده هر مقطع در بخش ژئومتری قابل تعیین می باشد.

محاسبه پروفیل سطح آب در برنامه با استفاده از تراز سطح آب در مرز پایین دست بازه مورد مطالعه انجام می شود. برای حالتیکه برنامه برای مخزن مورد استفاده قرار می گیرد، بهره برداری می شود.

۳-۱۲-۲- اجزای کاربردی مدل و قابلیت های آن

مدل BRI-STARS از سه قسمت مهم و کاربردی تشکیل شده است که با فعال کردن هر قسمت در برنامه می توان از قابلیت های برنامه در حل مسایل مهندسی رودخانه استفاده کرد که در زیر به شرح آن ها پرداخته می شود.

۳-۱۲-۳- مدل لوله ای جریان با عرض ثابت^{۱۱}

این مدل برای شبیه سازی تغییرات بستر رودخانه در رودخانه هائی که به داده های هیدرولیکی و رسوب محدود می شوند بکار برده می شود. با استفاده از مدل لوله ای جریان تغییرات عرضی و طولی شرایط هیدرولیکی جریان، همچنین حرکت و توزیع رسوبات در مقاطع عرضی مختلف در طول بازه مورد مطالعه بررسی می شود. در ابتدا کانال جریان به تعدادی لوله جریان از قبل تعیین شده توسط کاربر، تقسیم می شود و سپس تغییرات بستر در هر لوله جریان بسته به شرایط جریان انجام می گیرد.

این مدل در دو مود مختلف با عنوان مدل با بستر ثابت و متحرک می تواند بکار رود. مدل با بستر ثابت^{۱۲} برای محاسبه پروفیل های سطح آب برای جریان های زیر بحرانی، فوق بحرانی و یا ترکیبی از آن ها شامل پرش های هیدرولیکی بدون ایجاد وقفه در محاسبات استفاده می شود که عدم ایجاد وقفه استفاده از معادلات مومنتوم و انرژی در محاسبه پروفیل سطح آب می باشد. مدل با بستر متحرک^{۱۳} تغییرات شرایط هیدرولیکی و فعالیت رسوبات را هم در جهت طولی و هم در جهت عرضی جریان بررسی می کند.

رسوبی نمی توانند از مرز این لوله ها عبور کنند. بنابراین دبی در طول یک لوله جریان ثابت است و تغییرات سرعت در امتداد یک لوله جریان با عکس سطح مقطع لوله جریان متناسب است. شکل (۳-۹) مفاهیم فوق الذکر را نشان می دهد.

برای یک سیال تراکم ناپذیر و ماندگار بار کل، Ht ، در طول یک لوله جریان در یک سیال ایده آل ثابت است.

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h = Ht = \text{const} \quad (۵۲-۳)$$

^{۱۱} Stream tube model with fixed-channel width

^{۱۲} Fixed-bed model

^{۱۳} Movable- bed model

در این معادله:

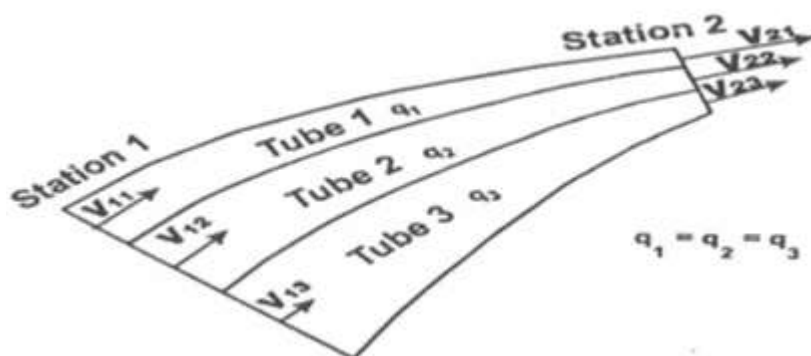
P = فشار اعمال شده در مقطع عرضی

g = شتاب ثقل

h = بار هیدرولیکی

v = سرعت جریان

γ = وزن مخصوص آب



شکل (۳-۹) - نمایش مفاهیم مربوط به لوله های جریان

در این معادله:

a = ضریب تصحیح توزیع سرعت

Z = رقوم ارتفاعی بستر

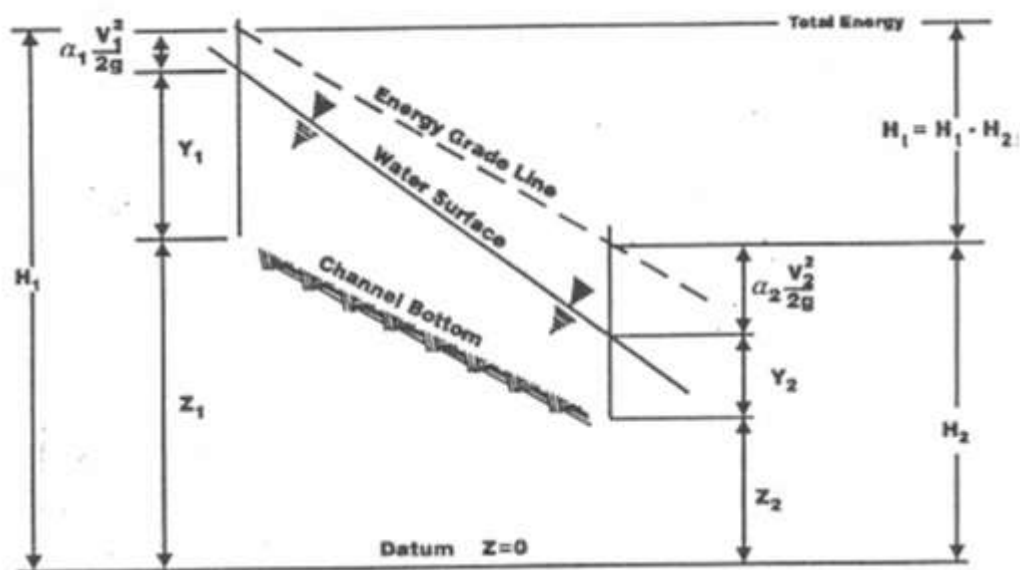
g = شتاب ثقل

Y = عمق جریان

H_t = افت انرژی کل بین مقاطع ۱ و ۲

V = سرعت جریان

اندیس ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به مقاطع ۱ و ۲ می شود که پارامترهای فوق در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده اند.



شکل (۳-۱۰)-نمایش پارامترهای مربوط به حل معادلات انرژی

روش گام به گام استاندارد برای محاسبات پروفیل سطح آب یک روش تکراری سعی و خطا می باشد که برای حل و تعادل طرفین معادله (۳-۵۳) استفاده می شود.

۳-۱۲-۴- محاسبات عمق های نرمال، بحرانی و مزدوج

عمق نرمال با ارضای تساوی زیر محاسبه می شود:

$$G(D) = Q - K(D) \cdot \sqrt{S_0} \quad (۳-۵۴)$$

در این معادله:

$K(D)$ = فاکتور انتقال که تابعی از عمق D بوده و S_0 شیب کف کانال می باشد.

عمق بحرانی در جاییکه عدد فرود برای یک دبی معین برابر یک می شود رخ می دهد. در مدل BRISTARS عمق بحرانی با ارضای معادله زیر بدست می آید:

$$f(D) = 1 - a(D) \frac{Q^2 T(D)}{g A^3(D)} = 0 \quad (۳-۵۵)$$

در این معادله:

$$T(D) = \text{عرض سطح آب برای عمق } D$$

$$A(D) = \text{سطح خیس شده در عمق } D$$

اعماق مزدوج برای یک دبی معین، اعماقی با نیروی مخصوص برابر هستند که نیروی مخصوص از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$SF(D) = \frac{Q^2}{gA_t} + A_m \cdot \gamma \quad (3-56)$$

در این معادله:

$$SF(D): \text{نیروی مخصوص متناظر با عمق جریان } D$$

$$A_t = \text{سطح خیس شده کل}$$

$$A_m = \text{سطح جریانی که در آن حرکت وجود دارد.}$$

در مدل BRI-STARS اعماق مزدوج در جائیکه پرش هیدرولیکی رخ می دهد، محاسبه می شود که با روش تکراری سعی و خطا بدست می آیند.

۳-۱۲-۴- محاسبات ژئومتری

در کانال های طبیعی (رودخانه ها)، مقطع کانال به تعدادی زیر مقطع قابل تقسیم یم باشد. در مدل BRI-STARS پارامترهای مربوط به ژئومتری مقطع (سطح، محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی و عرض سطح آب) برای هر زیر مقطع محاسبه می شود. از مجموع مقادیر مربوط به زیر مقاطع، پارامترهای مربوطه برای هر مقطع بدست می آیند. روابط مورد استفاده در مدل بصورت زیر می باشند:

$$A_i = (\gamma_i + \gamma_{i+1}) \frac{d_{xi}}{2} \quad (56-3)$$

$$P_i = [d_{xi}^2 + (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (57-3)$$

$$R_i = \frac{A_i}{P_i} \quad (58-3)$$

$$\gamma_i = \frac{\gamma_i + \gamma_{i+1}}{4} \quad (59-3)$$

$$\gamma_i = \frac{\gamma_i}{3} \quad (60-3)$$

$$A_t = \sum_{i=1}^m A_i \quad (61-3)$$

$$R = \frac{A_t}{P_t} \quad (62-3)$$

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad (63-3)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^m A_i \cdot \gamma_i}{A_t} \quad (64-3)$$

$$P_i = \sum_{i=1}^m P_i \quad (65-3)$$

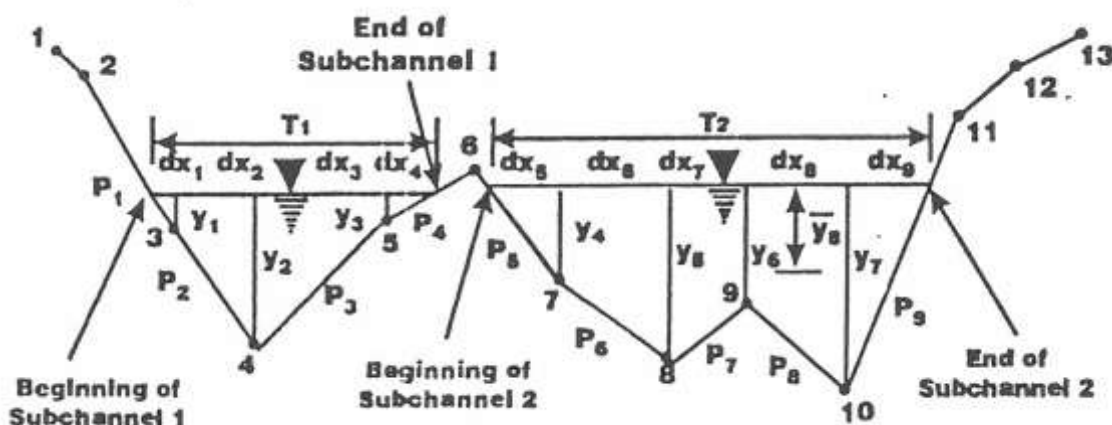
در این معادلات:

A_i, P_i, R_i, Y_i به ترتیب سطح و محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی و فاصله سطح آب تا مرکز ثقل هر زیر مقطع می باشد.

T_i = عرض سطح آب برای هر زیر مقطع

A_t, P_t, R, Y و T به ترتیب سطح و محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی، عرض سطح آب و فاصله سطح آب تا مرکز ثقل مقطع عرضی مورد نظر می باشد.

m = تعداد زیر مقاطع n = تعداد زیر مقاطع محاسباتی



شکل (۱۱-۳) پارامترهای هندسی مورد نیاز برای یک مقطع عرضی فرضی

۳-۱۲-۵- محاسبات مربوط به لوله جریان

با استفاده از مفهوم لوله جریان می توان تغییرات شرایط هیدرولیکی و رسوب را نه تنها در جهت طولی بلکه در جهت عرضی نیز بررسی نمود. ابتدا پروفیل های سطح آب محاسبه می شوند، سپس کانال به تعدادی لوله جریان انتخاب شده توسط کاربر با مشخصات زیر تقسیم می شود:

(۱) دبی ورودی به بازه به صورت یکسان بین لوله های جریان تقسیم می شود.

(۲) لوله های جریان توسط دیوارهای فرضی از طرفین محدود می شوند.

(۳) دبی در طول یک لوله جریان ثابت می باشد.

(۴) جریان و رسوب از مرز بین لوله های جریان عبور نمی کند.

در هر گام زمانی موقعیت قرارگیری لوله های جریان در عرض هر مقطع براساس فاکتور انتقال کانال محاسبه می شوند، یعنی مرز لوله های جریان در جهت جانبی طوری تنظیم می شود که لوله های جریان فاکتور انتقال یکسانی داشته باشند. همانطور که قبلاً گفته شد، هر مقطع به ۱۰ زیر مقطع با عرض یکسان تقسیم می شود که فاکتور انتقال کل مقطع از جمع فاکتورهای انتقال زیر مقاطع بدست می آید. روند یابی رسوب برای هر لوله جریان در هر گام زمانی بطور مستقل انجام می گیرد. اگرچه

هیچگونه موادی از مرز بین لوله های جریان عبور نمی کند، لیکن جابجائی جانبی رسوبات در هر مقطع با استفاده از تغییر مرز لوله جریان از یک گام زمانی به گام زمانی بعدی انجام می گیرد.

۳-۱۲-۵- معادله پیوستگی رسوب

اساس محاسبات روندیابی رسوب در جریان یک بعدی غیر ماندگار، معادله پیوستگی رسوب می باشد که بصورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + n \cdot \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{\partial A_s}{\partial t} - \quad (۳-۶۶)$$

$$q_s = 0$$

در این رابطه:

$$Q_s = \text{دبی رسوب (حجمی)}$$

$$n = \text{نسبت پوکی که برابر است با یک منهای تخلخل}$$

$$A_d = \text{حجم رسوب بستر در واحد طول}$$

$$A_s = \text{حجم رسوب معلق در مقطع در واحد طول}$$

$$q_s = \text{رسوب ورودی از شاخه فرعی}$$

در مدل BRI-STARS فرضیات زیر برای ساده تر شدن معادله پیوستگی رسوب استفاده شده است:

(۱) فرض می شود که تغییر در غلظت رسوبات معلق در عرض مقطع خیلی کوچکتر از تغییرات

آن در بستر رودخانه باشد. یعنی:

$$\frac{\partial A}{\partial t} \ll n \cdot \frac{\partial A_d}{\partial t} \quad (۳-۶۷)$$

(۲) فرض می شود که پارامترهای مربوط به تابع انتقال رسوب در طول یک گام زمانی ثابت باشد.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad \text{یا} \quad \frac{\partial Q_s}{\partial x} = \frac{dQ_s}{dx} \quad (۳-۶۸)$$

(۳) با فرض نداشتن شاخه فرعی معادله پیوستگی رسوب به صورت زیر در می آید:

$$n \cdot \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{dQ_s}{dx} = 0 \quad (۶۹-۳)$$

برای حل عددی معادله (۶۹-۳)، با توجه به شکل (۳-۹) معادله فوق به صورت زیر بسط داده می شود:

کل تغییرات در رقوم بستر رودخانه در مقطع مشخص i از معادله زیر محاسبه می شود:

$$\Delta Z_i = \sum_{k=1}^{Nsize} \Delta Z_{i,k} \quad (۷۰-۳)$$

مراحل محاسباتی برنامه به صورت فلوچارت و خلاصه در شکل (۱۲-۳) آمده است.

۳-۱۲-۶ جور شدگی و آرمورینگ در بستر^{۱۴}

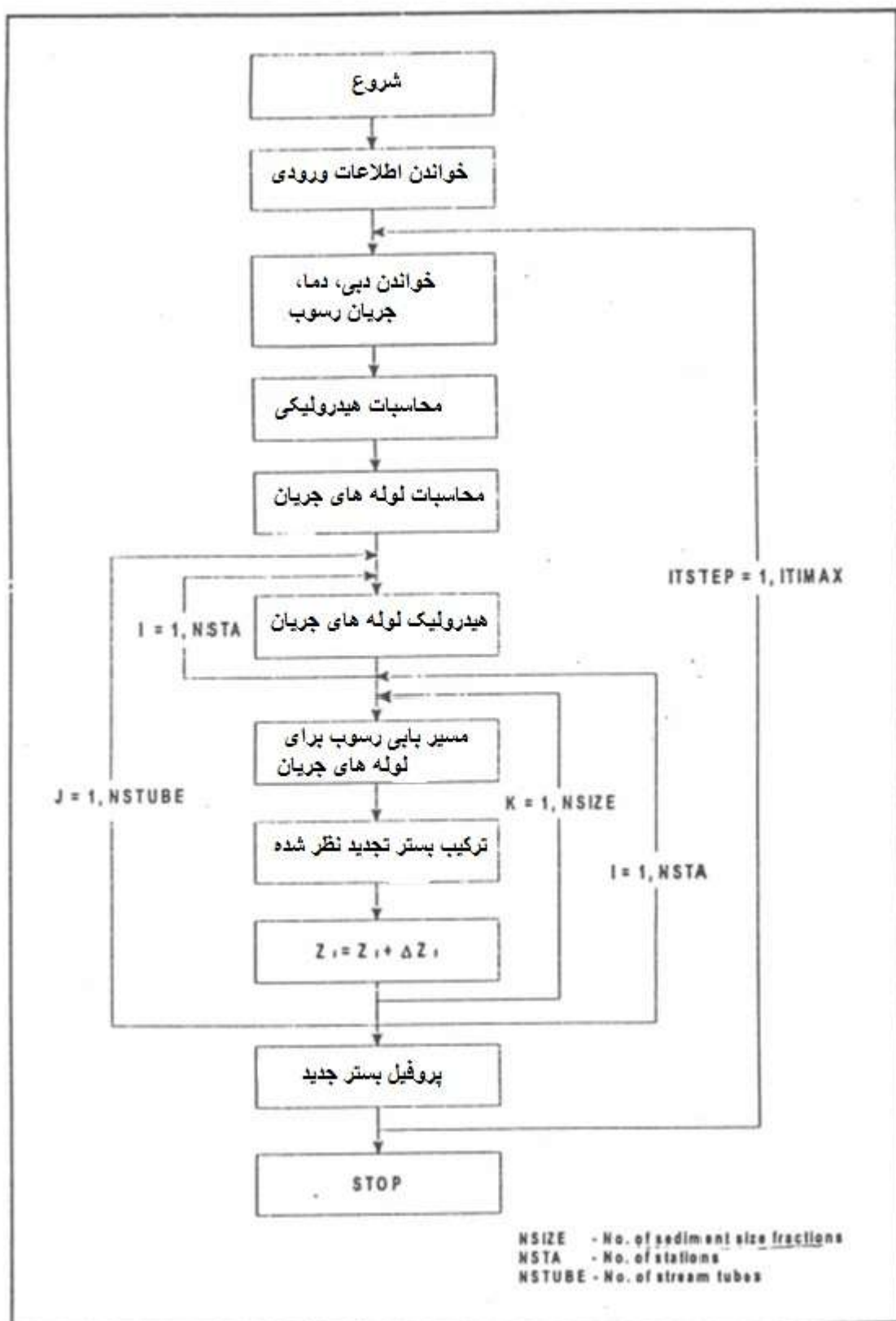
مدل BRI-STARS ظرفیت حمل رسوبات را براساس محدوده های کلاس بندی شده^{۱۵} مواد بستر تعریف شده توسط کاربر، محاسبه می کند. در نتیجه ذرات با اندازه های مختلف قادر به انتقال با میزان حمل متفاوتی می باشند. در این میان ممکن است چندین پروسه مختلف اتفاق بیفتد. برای مثال ممکن است تمام ذرات ریز فرسایش یابند و یک لایه ای با ذرات درشت باقی بماند و فرسایش در شرایط هیدرولیکی موجود رخ ندهد، که در این حالت گفته می شود که لایه بستر مسلح شده است. لایه مسلح^{۱۶} از فرسایش و آبشستگی مواد زیرین جلوگیری می کند و رسوب در دسترس برای انتقال تنها محدود به رسوباتی می شود که از بالا دست بازه وارد می شوند. تغییر در شرایط هیدرولیکی مانند افزایش سرعت جریان ممکن است که ظرفیت حمل رسوب را افزایش داده و موجب شکسته شدن لایه مسلح گردد و دوباره فرآیند فرسایش در آن بازه شروع گردد.

¹⁴ Sorting and Armoring

¹⁵ Size fractions

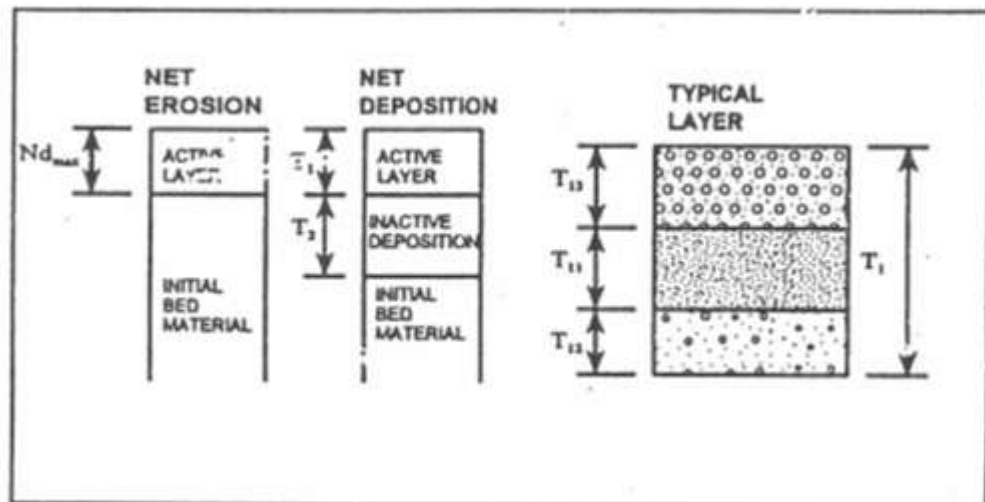
¹⁶ Armor Layer

محاسبات دانه بندی و ترکیبات بستر و مسلح شدن آن در مدل BRI-STARS با استفاده از روش بنت و نوردین (۱۹۷۷) انجام می گیرد. در این روش محاسبات با استفاده از دو یا سه لایه فرضی انجام می گیرد (سه لایه برای فرآیند ته نشینی و دو لایه برای فرآیند فرسایش).



شکل (۳-۱۲) - فلوچارت محاسباتی مربوط به مدل کامپیوتری لوله جریان در مدل BRISTAR

لایه های مختلف بستر برای هر دو حالت در شکل (۳-۱۳) نشان داده شده است. در این شکل لایه بالایی که شامل مواد بستر در دسترس برای انتقال می باشد لایه فعال نامیده می شود در زیر این لایه لایه غیر فعال است که برای ذخیره استفاده می شود. سرانجام در زیر این دولایه بستر دست نخورده (سنگ مادر) وجود دارد.

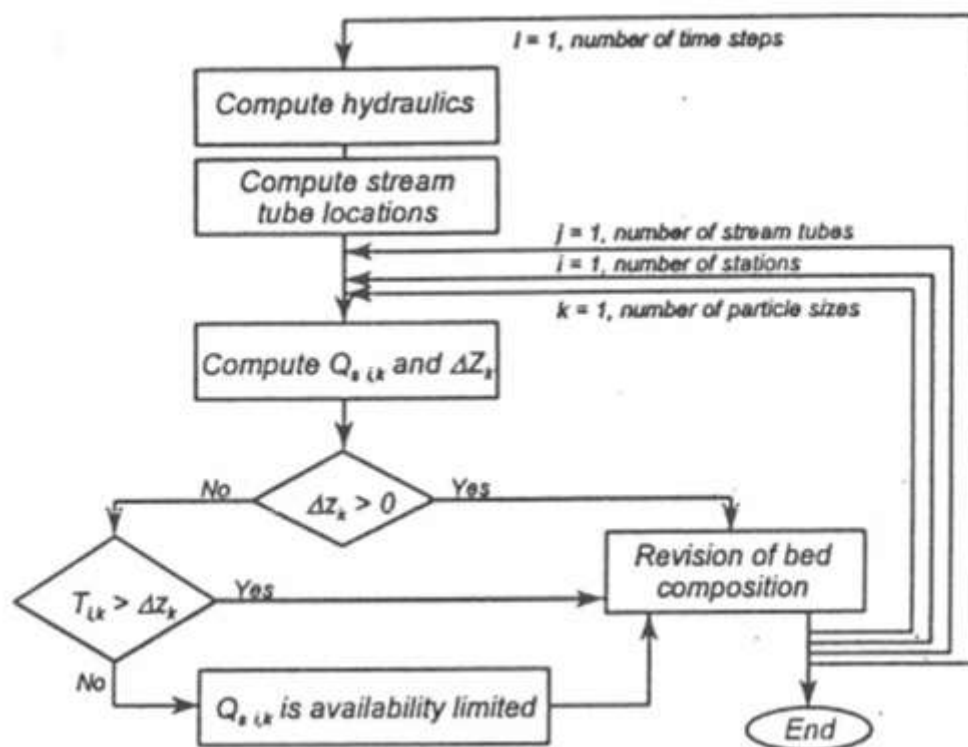


شکل (۳-۱۳) - نمایش لایه های مختلف بستر در محاسبات مربوط به پدیده آرمونینگ

ضخامت لایه فعال توسط کاربر تعیین می شود و با تداوم گام های زمانی ارتباط مستقیم دارد. اگر ظرفیت انتقال جریان برای یک کلاس مشخصی از ذرات بستر بزرگتر از میزان ذرات قابل دسترس بودن ذرات استفاده می شود. همچنین اگر مواد قابل دسترس برای انتقال نسبت به میزان موادی که جهت انتقال لازم است بیشتر باشد ترم محدود شدن ظرفیت انتقال استفاده می شود.

لایه غیر فعال تنها زمانی استفاده می شود که فقط قرآیند ته نشینی اتفاق بیافتد. در این حالت ضخامت ته نشین شده توسط هر اندازه از ذرات به لایه غیر فعال اضافه می گردد بطوریکه ضخامت لایه فعال نیز افزایش میابد.

روند محاسبات فرایند آرمورینگ و تشکیل دانه بندی جدید بستر پس از هر گام زمانی در شکل (۳-۱۴) بطور شماتیک آورده شده است.



شکل (۳-۱۴)-فلوچارت محاسباتی برنامه مربوط به فرایند آرمورینگ در بستر

فصل چهارم

نتایج و بحث

مقدمه

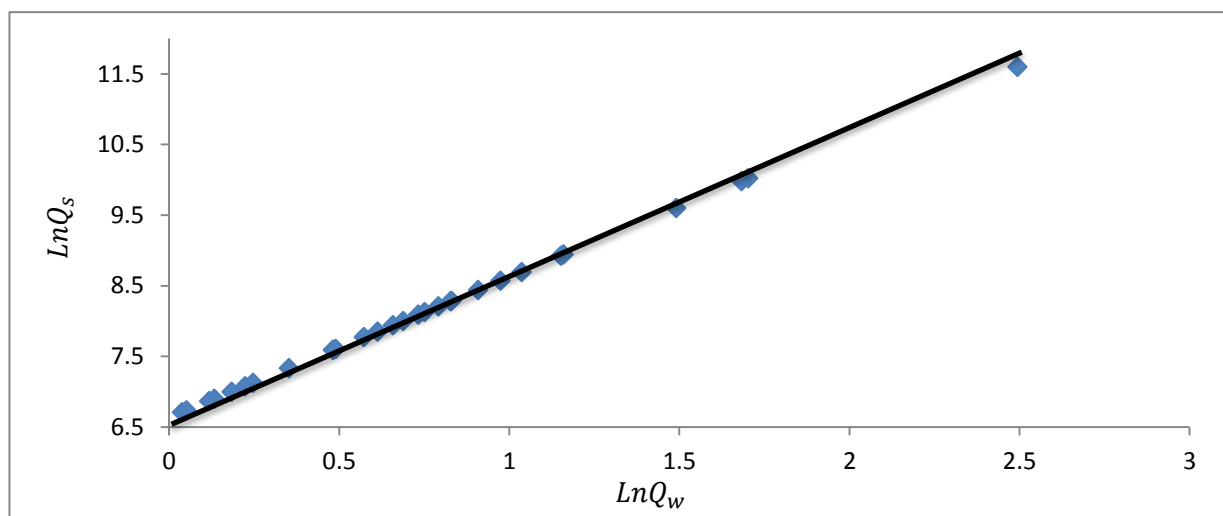
در این فصل از پایان نامه، با توجه به بررسی‌های انجام شده، مشاهدات و نتایج، مورد بحث قرار گرفته است. در نهایت با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده و روابط حاکم، شکل‌ها و نمودارهایی حاصل شد که با تجزیه و تحلیل این اشکال نتایج نهایی به‌دست آمد و همچنین با تحلیل روند رسوبگذاری در سد گلستان، این روند برای سال‌های آتی پیش‌بینی شد. در این فصل به بررسی نتایج بدست آمد از شبیه‌سازی سد گلستان می‌پردازیم.

۱-۴- داده‌های ورودی سد گلستان ۱

برای به نتیجه رسیدن این مدل ابتدا داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از آب منطقه استان گلستان تهیه گردید. داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی دبی، دبی رسوب، مقاطع عرضی، دما و ... می‌باشد. داده‌های دبی، دبی رسوب، اشل و دما به صورت ماهانه، از ابتدای سال ۱۳۸۷ الی ۱۳۸۲ مورد بررسی قرار گرفته شده است. در این تحقیق از دو هیدروگرافی (مقاطع عرضی) که در سال ۱۳۷۸ و ۱۳۸۲ تهیه شده است، استفاده شده است.

۱-۱-۴- دبی - رسوب ورودی سد گلستان

شکل ۱-۴ منحنی سنج رسوب ورودی مخزن سد گلستان که در مدل به کار گرفته شده است را نشان می‌دهد (گزارش آب منطقه ای ۱۳۹۳).



شکل (۱-۴) - دبی ورودی به مخزن سد نسبت به دبی رسوب

در اینجا رابطه دبی رسوب به صورت تابعی لگاریتمی از دبی جریان آب با توجه به داده های آماری موجود استخراج و به مدل داده شده است، این تابع به فرم زیر است:

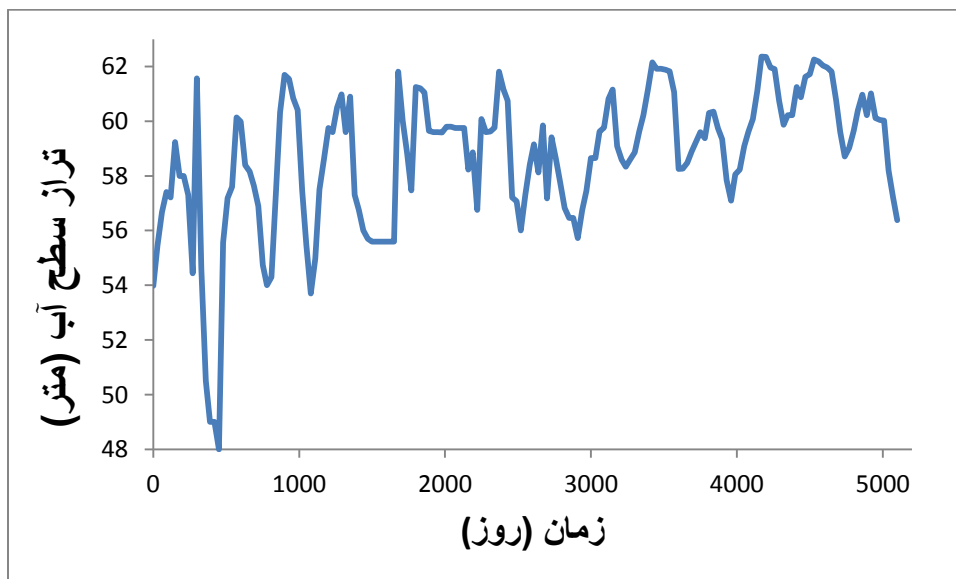
$$Q_s = 28.33 Q_w^{1.999} \quad R^2 = 0.8 \quad (1-4)$$

$$\ln Q_s = 6.63 + 1.99 \ln Q_w$$

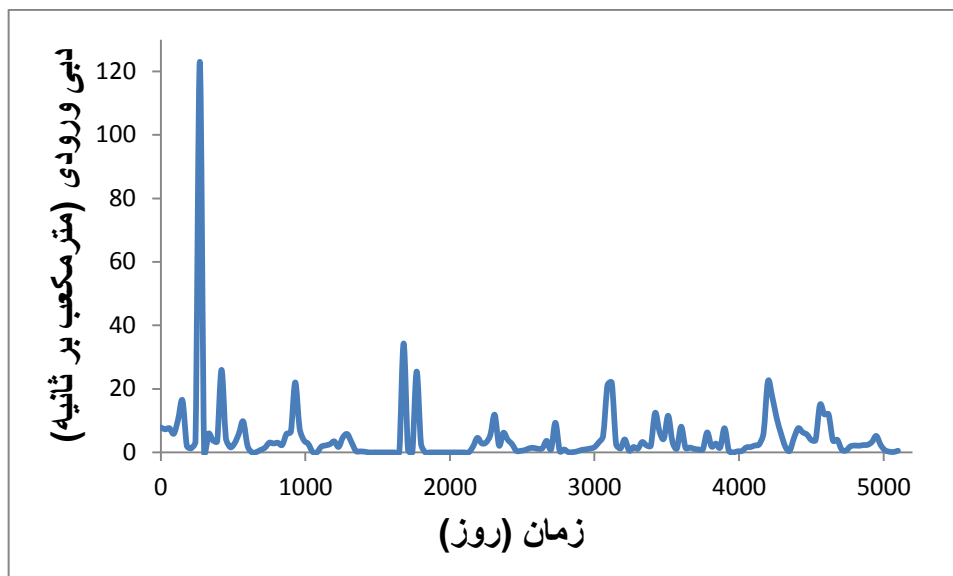
در این معادله R ضریب همبستگی، Q_s دبی رسوب ton/day (تن در روز)، Q_w دبی آب m^3/s (متر مکعب بر ثانیه)

۴-۲-۱- دبی ورودی روزانه و تراز سطح آب

در شکل ۴-۲ و ۴-۳ نمودار منحنی دبی ورودی روزانه به مخزن سد و تراز سطح آب ورودی سد گلستان که در مدل به کار گرفته شده است. این داده ها از ابتدای سال ۱۳۷۸ الی سال ۱۳۹۲ می-باشد.



شکل (۴-۲)- تراز سطح آب مخزن گلستان نسبت به زمان از سال ۱۳۷۸ الی ۱۳۹۲



شکل (۳-۴) - دبی ورودی سد گلستان نسبت زمان

۳-۴- نحوه مدل سازی

نحوه برنامه نویسی هردو مدل GSTARS و BRISTAR تقریباً مشابه هست. در هر دو مدل آیدی های یکسانی وجود دارد. فقط تفاوت جزئی در جاگذاری بعضی از آیدی ها وجود دارد. که در پیوست داده های ورودی قابل مشاهده هستند و ورودی در فصل سوم به تفصیل توضیح داده شده است و در شکل (۳-۶) فلوچارت نحوه ورودی داده ها نمایش داده شده است. بعد از اجرا نرم افزار نتایج با مقاطع عرضی هیدروگرافی شده تطبیق داده می شود و با کالیبراسیون مدل خطا به حداقل می رسد و بعد مدل برای سال های آینده اجرا می شود.

۳-۴-۱- کالیبراسیون مدل

تصحیح مدل به طور معمول طی فرایند کلی شامل، شناخت پارامترها، تعیین حساسیت مدل نسبت به آن پارامترها و بالاخره کالیبراسیون مدل انجام می گردد. معمولاً مدل های که دارای یک یا چند متغیر باشد آنالیز حساسیت براحتی برای آنها انجام پذیر است ولی مدل هایی که دارای چندین متغیر باشند به خاطر تاثیر متقابل پارامترها بر یکدیگر مساله پیچیده تر است (خانکندی، ۱۳۸۶).

کالیبراسیون مدل عبارت است از تطبیق پارامترهای اعمال شده به مدل با شرایط نمونه واقعی که به وسیله عمل سعی و خطا صورت می گیرد. در این مرحله بعد از تهیه و وارد نمودن اطلاعات که در بخش های قبلی گفته شد در فایل ورودی می توان تجزیه و تحلیل های بروی آن ها انجام دهیم. اثر

پارامترهای متعدد را بررسی نموده و حساسیت پروسه را به تغییر این پارامتر سنجید(خانکندی، ۱۳۸۶).

در مدل GSTARS3.0 کالیبراسیون مدل با پارامتر ضریب زبری RH انجام شده است. در این مدل برای هر مقطع عرضی یک ضریب زبری تعریف می‌شود، بعد از انتخاب پارامترهای متغیر، خطا را به حداقل می‌رسانیم سپس با ضریب زبری مدل کالیبره می‌شود. ما در این مدل با انتخاب معادله انتقال رسوب ایکرز-وایت و گام زمانی دو و همچنین انتخاب سه لوله جریان خطای مدل را به حداقل رسانده و با سعی و خطای زیاد بهترین ضریب زبری را ۰.۰۴ در نظر گرفتیم که مدل برای هیدروگرافی دوم کالیبره شد. در مدل BRISTAR هم به همین صورت با این تفاوت که در این مدل برای هر نقطه ارتفاعی در مقطع عرضی یک ضریب زبری در نظر گرفته می‌شود و ما ضریب زبری RH را بین ۰.۰۳ و ۰.۰۴ در نظر گرفتیم تا خطا را به حداقل رسانده و مدل را کالیبره کنیم.

در این جا به منظور ارزیابی نتایج عددی حاصل از مدل‌های GSTARS3.0 و BRISTARS از نتایج حاصل از انجام هیدروگرافی داخل سد با خارج کردن کل آب سد در سال ۱۳۸۲، استفاده شده است تا پس از مقایسه و ارزیابی نتایج هر دو مدل با نتایج هیدروگرافی ۱۳۸۲ از این مدل برای پیش‌بینی نحوه رسوبگذاری در ۵۰ سال آینده سد استفاده کرد.

۴-۴- پارامترهای متغیر

از بین پارامترهای موجود در این مدل پارامترهای زیر مهم و متغیر می‌باشد: معادله انتقال، تعداد لوله های جریان، محاسبه رسوب در هر گام زمانی، وضعیت حمل نا متعادل رسوب و پارامترهای آن و پارامترهای مربوط به رسوبات چسبنده.

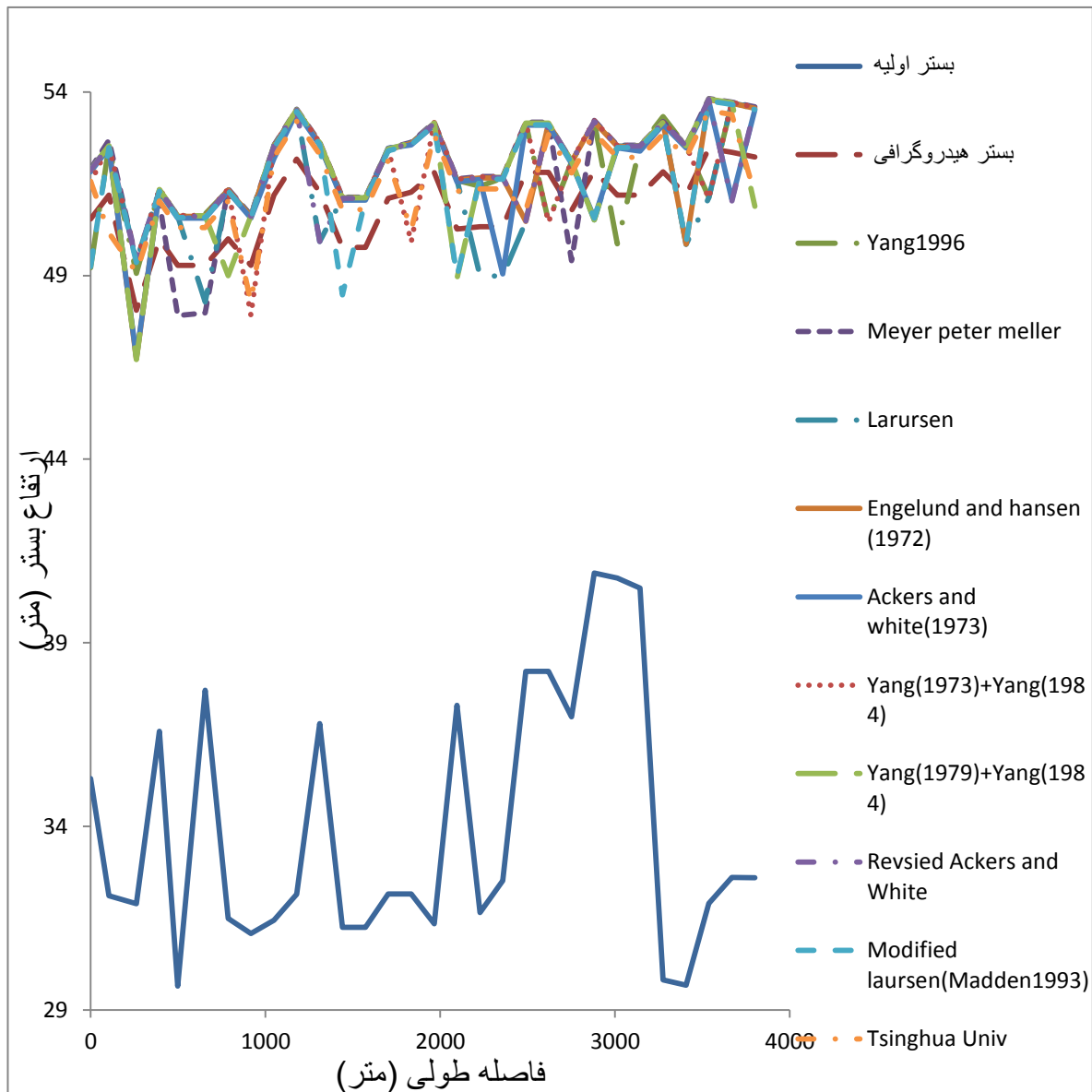
۴-۵- نتایج شبیه سازی مخزن سد گلستان با مدل GSTARS3 و BRISTARS

در مطالعه موردی حاضر برای معرفی هندسه سد گلستان به طول تقریبی به مدل، از نقشه هایی توپوگرافی مخزن با مقیاس ۱:۵۰۰۰ که از سازمان آب منطقه ای استان گلستان تهیه شده است استفاده شده است.

تعداد ۳۰ مقطع با فواصل تقریبی ۱۳۱ متر با توجه به توپوگرافی به مدل معرفی شده است. نیمرخ عرضی هر مقطع نیز بر حسب فاصله از نقطه مبنا در ساحل سمت چپ در جهت جریان و کد ارتفاعی بستر و موقعیت آن بر حسب فاصله از سد مشخص گردید است.

۴-۵-۱- بررسی مدل با معادلات مختلف انتقال رسوب

در این بخش، پس از آماده کردن فایل وردی مدل GSTARS3.0، شبیه سازی برای تمام معادلات موجود در مدل اجرا گردید در شکل ۴-۴ پروفیل طولی مخزن سد به ازای معادلات مختلف دیده می شود.

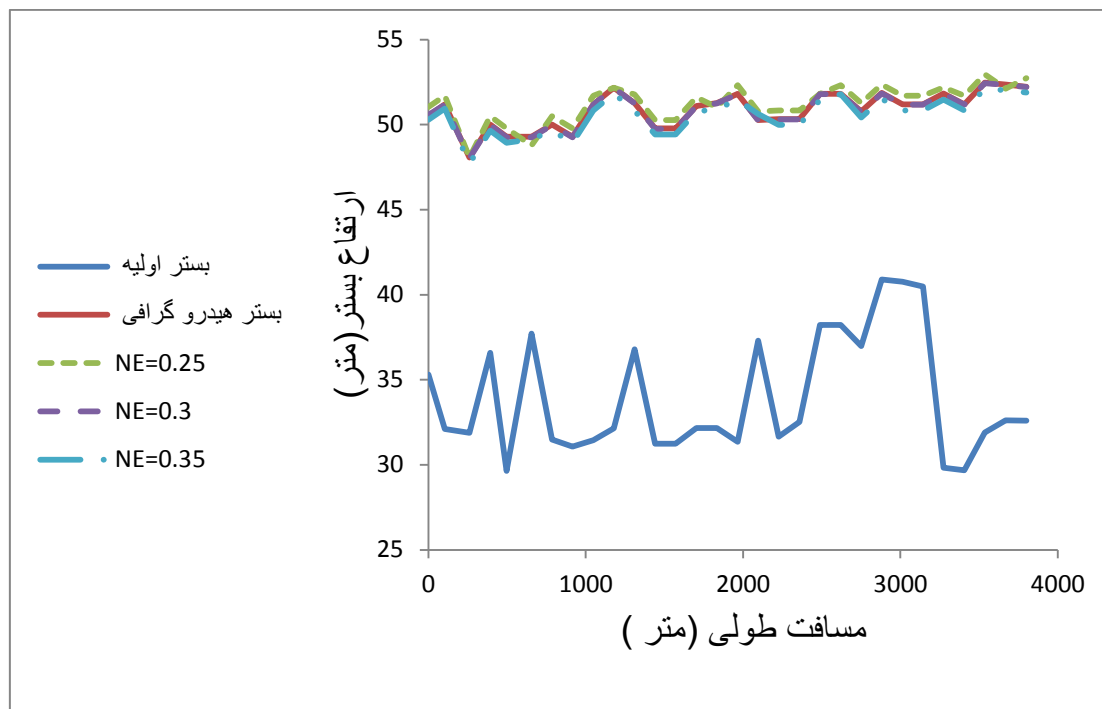


شکل (۴-۴) - پروفیل خط القعر مخزن سد با معادلات مختلف انتقال رسوب

۴-۵-۲- شبیه سازی مخزن سد گلستان با ضرایب مختلف انتقال نامتعادل رسوب

در این قسمت مدل به ازای ضرایب مختلف انتقال نامتعادل رسوب اجرا شد. پس از سعی و خطا بسیار، این نتیجه حاصل شد که با ضریب انتقال نامتعادل رسوب برابر با ۰.۳ مدل تطابق بهتری با

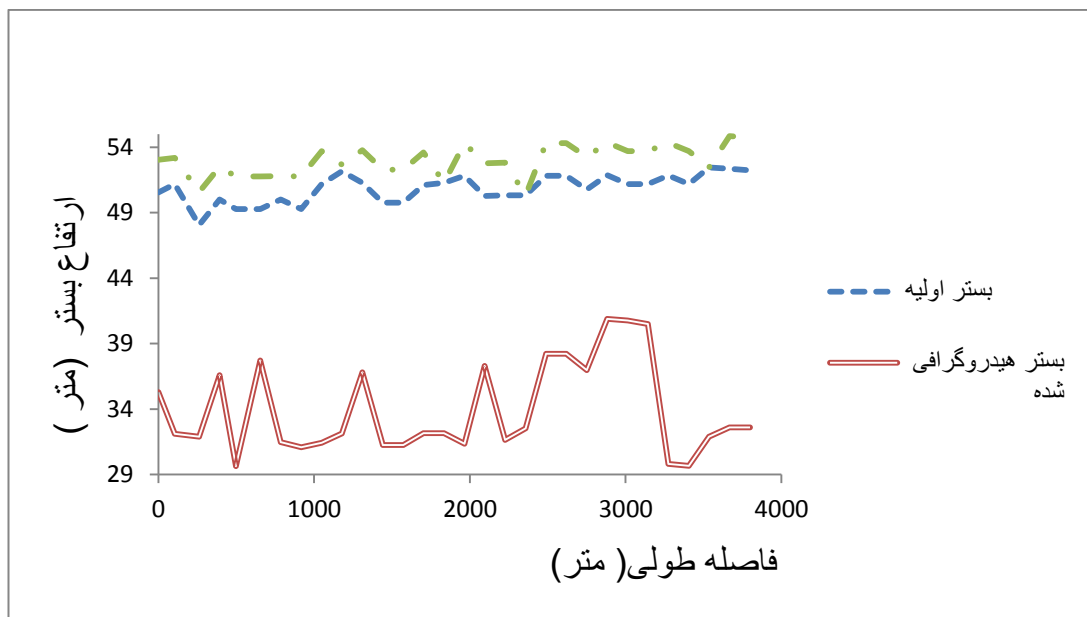
هیدروگرافی رسوب مخزن دارد. در شکل ۴-۵ پروفیل خط القعر مخزن به ازای ضرایب مختلف انتقال نامتعادل رسوب نشان داده است (NE معرف ضریب انتقال نامتعادل رسوب می باشد)



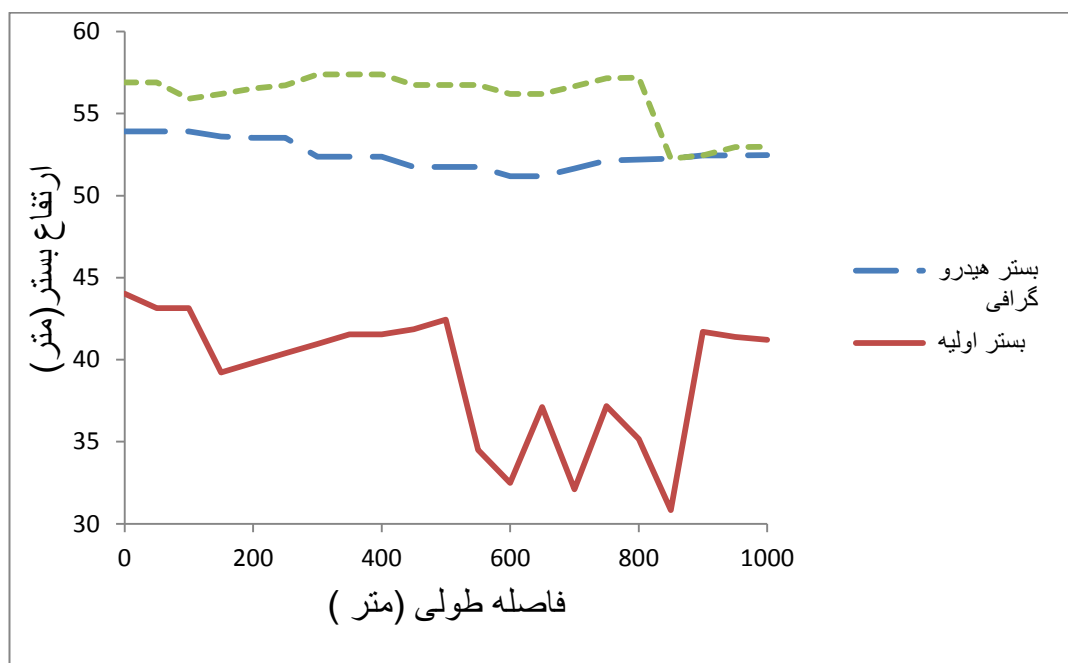
شکل (۴-۵) - پروفیل خط القعر مخزن به ازای ضرایب مختلف انتقال نامتعادل رسوب

۴-۵-۳- پروفیل طولی مخزن با فرض انتقال متعادل رسوب

در این قسمت پروفیل طولی مخزن بدون اعمال شرایط انتقال نامتعادل رسوب بررسی شده است. همان طور که در شکل ۴-۶ و ۴-۷ دیده می شود فرض انتقال متعادل رسوب برای شبیه سازی مخزن سد در این حالت بیشتر رسوبات در مقطع ته نشین می شود شکل ۴-۷ نشان دهنده این واقعیت است.



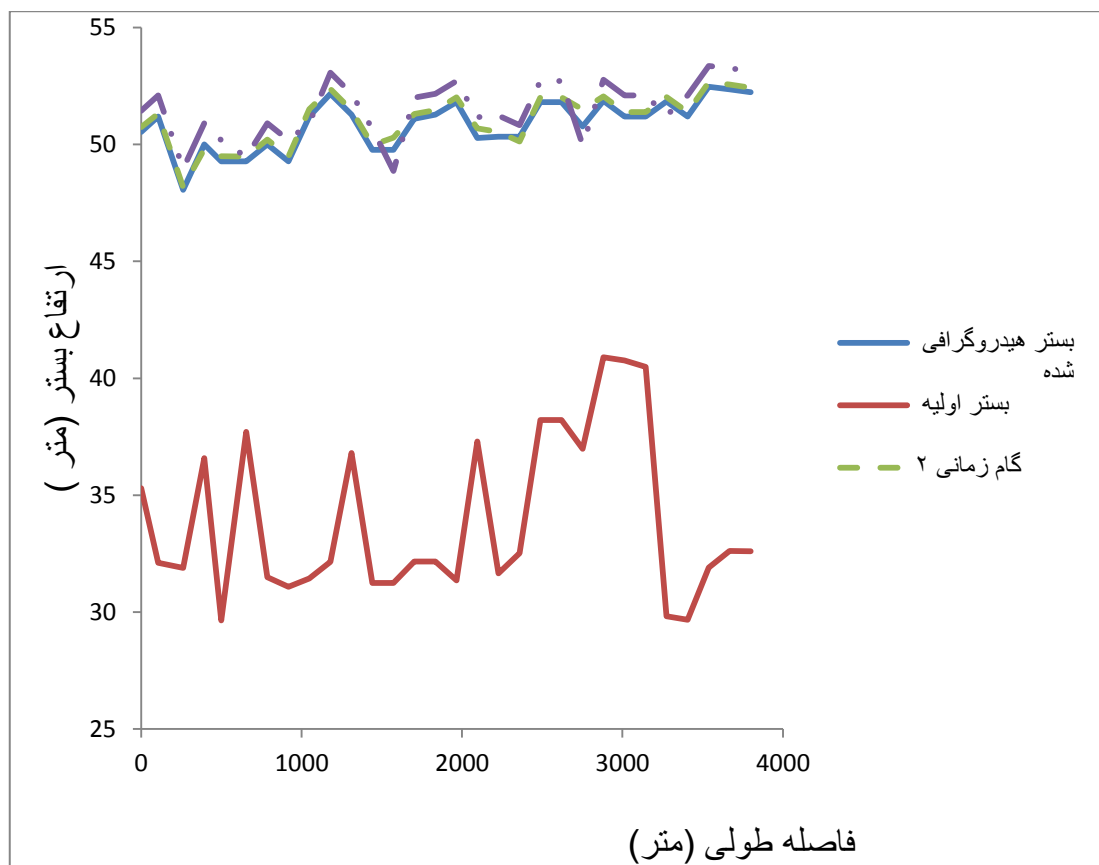
شکل (۴-۶) پروفیل خط القعر مخزن با فرض متعادل انتقال



شکل (۴-۷) - پروفیل عرضی در حالت تعادل انتقال رسوب

۴-۵-۴- بررسی مدل با تعداد روندیابی رسوب مختلف در گام های زمانی

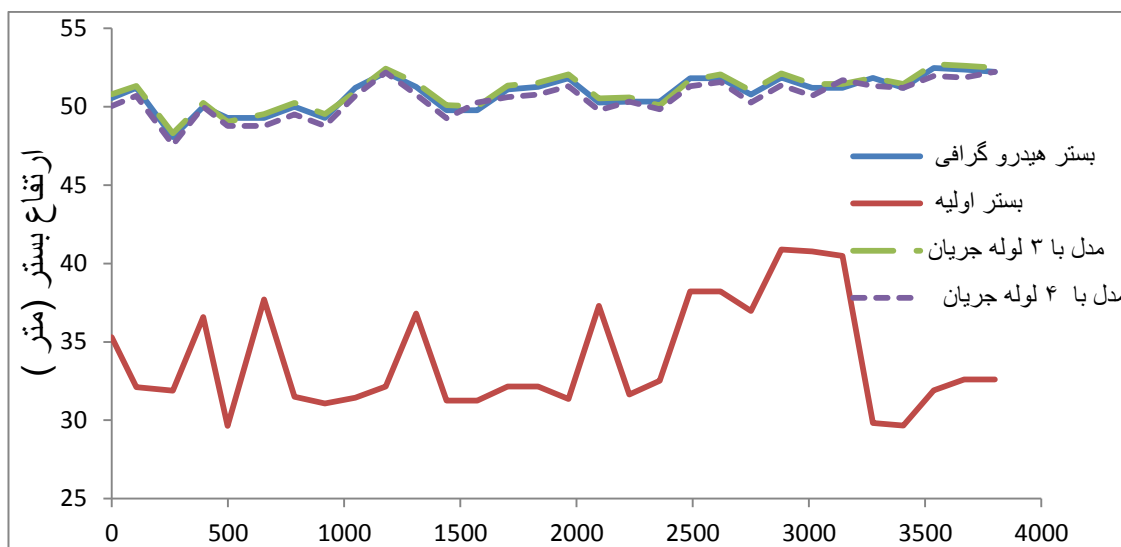
مدل GSTARS3.0 برای حالات مختلف روندیابی در گام زمانی انجام شد و مشاهده گردید که با گام زمانی کمتر توزیع رسوب به واقعیت نزدیکتر می باشد. شکل (۴-۸) پروفیل خط القعر مخزن سد گلستان با گام های زمانی روندیابی رسوب با ۲ و ۱۱ روز را نشان می دهد و یک ارجعیت دیگر گام های زمانی کوتاه به خاطر سیل های شدید و ورود حجم زیاد رسوب در چند روز می باشد.



شکل (۴-۸)- پروفیل خط القعر سد گلستان با گام های زمانی رسوب ۲ و ۱۱ روز

۴-۵-۵- بررسی مدل با لوله های جریان مختلف

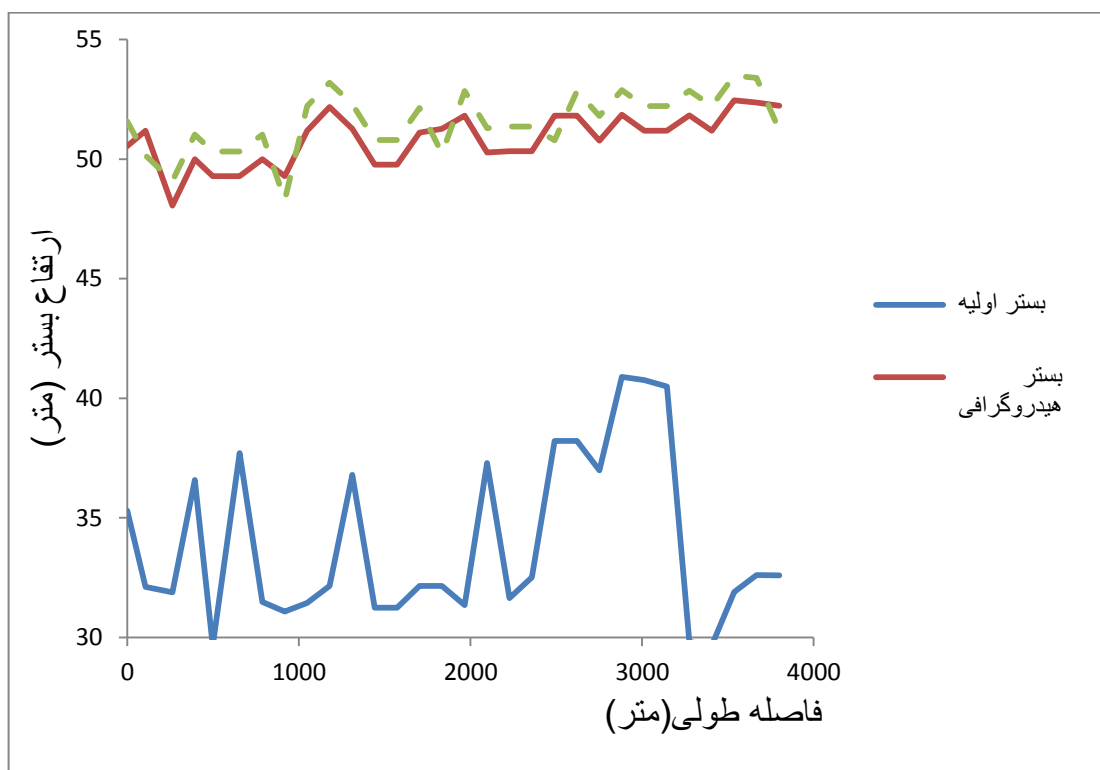
شبیه سازی با لوله های جریان مختلف انجام شد و مشاهده گردید شبیه سازی با سه لوله جریان به واقعیت نزدیکتر است. در شکل ۴-۹ پروفیل خط القعر مخزن با لوله های جریان برابر ۳ و ۴ قابل مشاهده است.



شکل (۴-۹)- پروفیل خط القعر مخزن سد با لوله های جریان مختلف

۴-۵-۶ پروفیل طولی مخزن با فرمول دانشگاه تسینگ هوآ

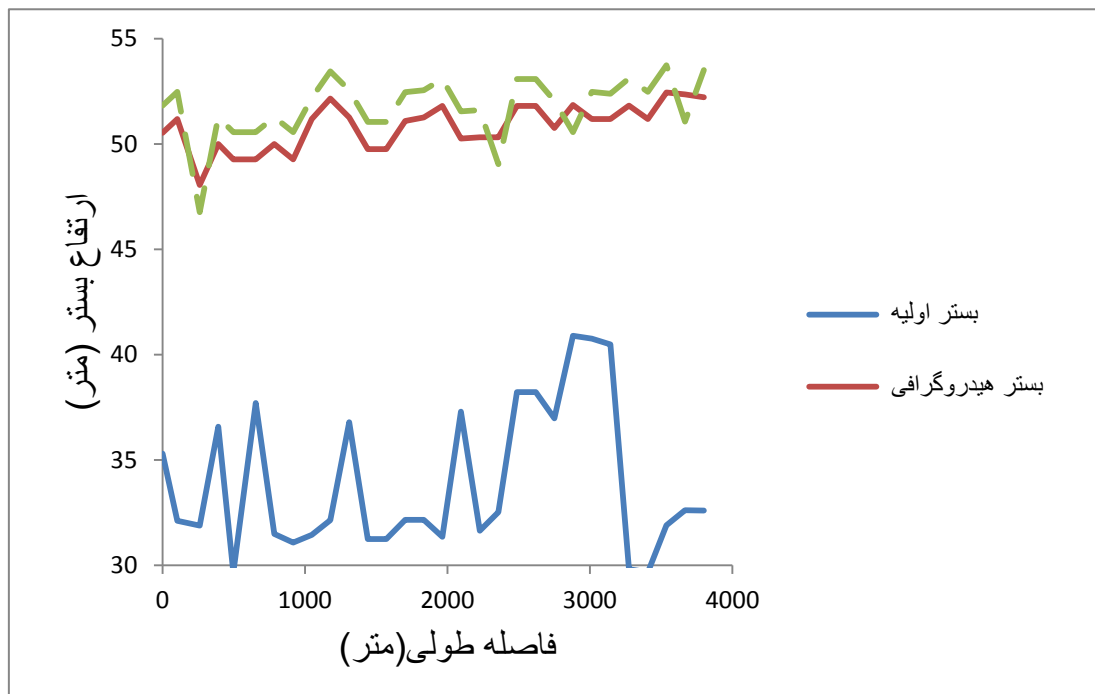
شکل ۴-۱۰ شبیه سازی روند رسوبگذاری مخزن با فرمول دانشگاه تسینگ هوآ را نشان می دهد. شبیه سازی با این معادله با واقعیت تطابق بهتر باهم دارند.



شکل (۴-۱۰)- پروفیل خط القعر مخزن سد گلستان با معادله دانشگاه تسینگ هوآ

۷-۵-۴- پروفیل طولی مخزن با فرمول ایکرز و وایت

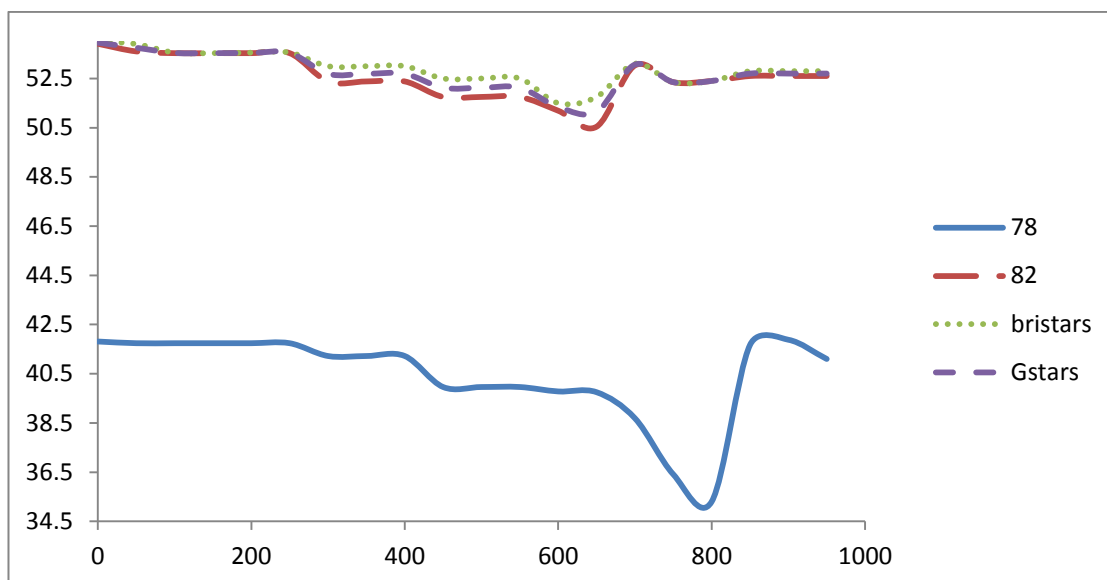
شکل (۴-۱۱) شبیه سازی روند رسوبگذاری مخزن با فرمول ایکرز و وایت را نشان می دهد. شبیه سازی با این معادله با واقعیت تطابق بهتر باهم دارند.



شکل (۴-۱۱)- پروفیل خط القعر مخزن سد با معادله ایکرز و وایت

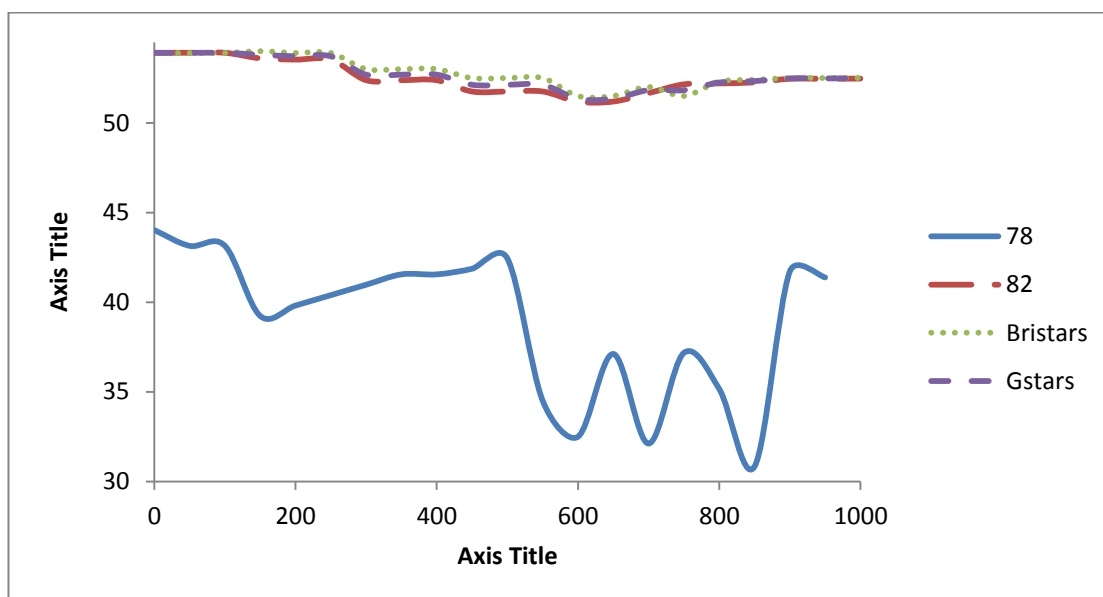
۸-۵-۴- مقاطع عرضی مخزن سد

در این بخش از ۳۰ مقطع عرضی (Cross section) استفاده شده در مدل نمایش داده شده است. این شکل ها شامل بستر اولیه مخزن سد سال ۱۳۷۸، هیدروگرافی که پس از ۴ سال بعد از بهره برداری یعنی سال ۱۳۸۲ انجام شده است و از جواب مدل های GSTARS3.0 و BRISTARS استفاده شده است. مقاطع عرضی به ترتیب از ابتدای بدنه سد تا انتهای مخزن به فاصله ۳۸۰۰ متر آورده شده است. این مقاطع به ترتیب به صورت صفحه بعد است.



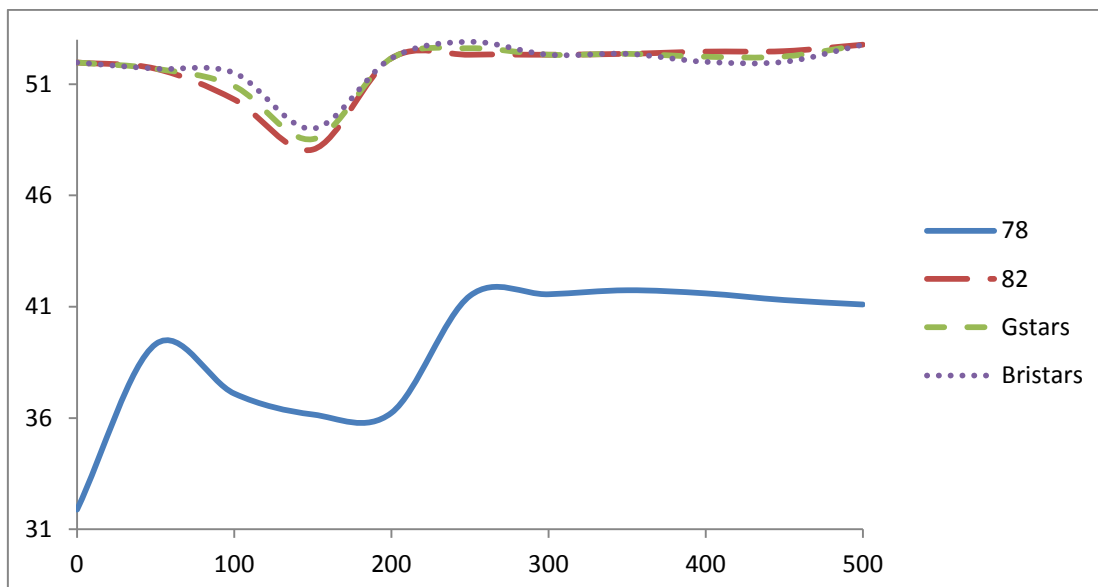
شکل (۳-۱۲)-مقطع عرضی شماره ۱ به فاصله ۰ متر از محل سد

شکل ۴-۱۲ در نزدیکی بدنه سد است و دیده می شود که رسوب به اندازه قابل ملاحظه ته نشین شده است و مدل ها تطابق خوبی دارند.



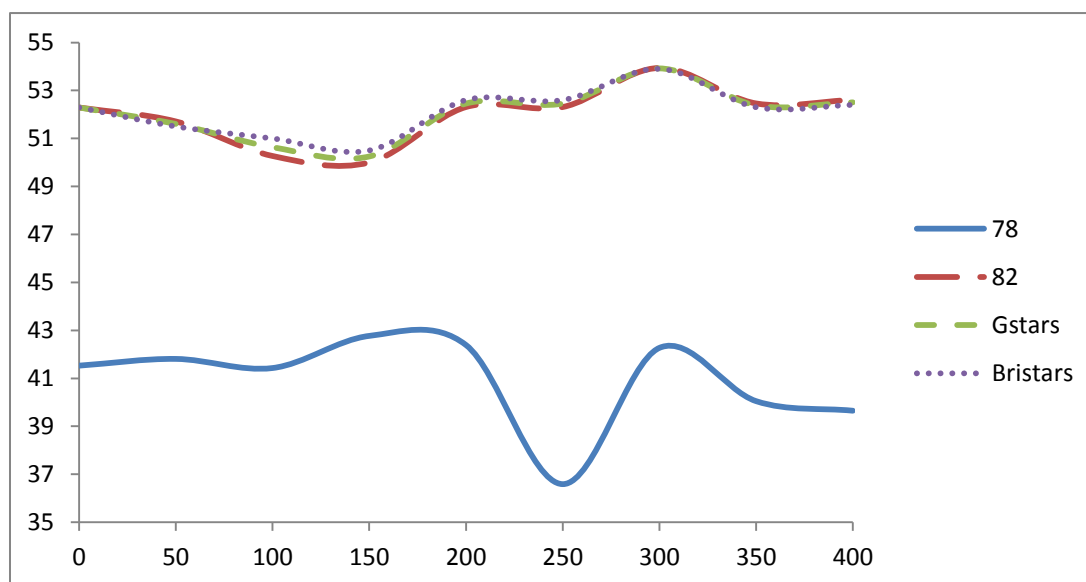
شکل (۴-۱۳)-مقطع عرضی شماره ۲ به فاصله ۱۰۵ متر از محل سد

شکل (۴-۱۳) در نزدیکی ورودی شاخه اوغان است و رسوب از چپ به راست کاهش می یابد دلیل آن ورود رسوبات شاخه اوغان به مخزن است و میزان رسوبگذاری قابل ملاحظه است.



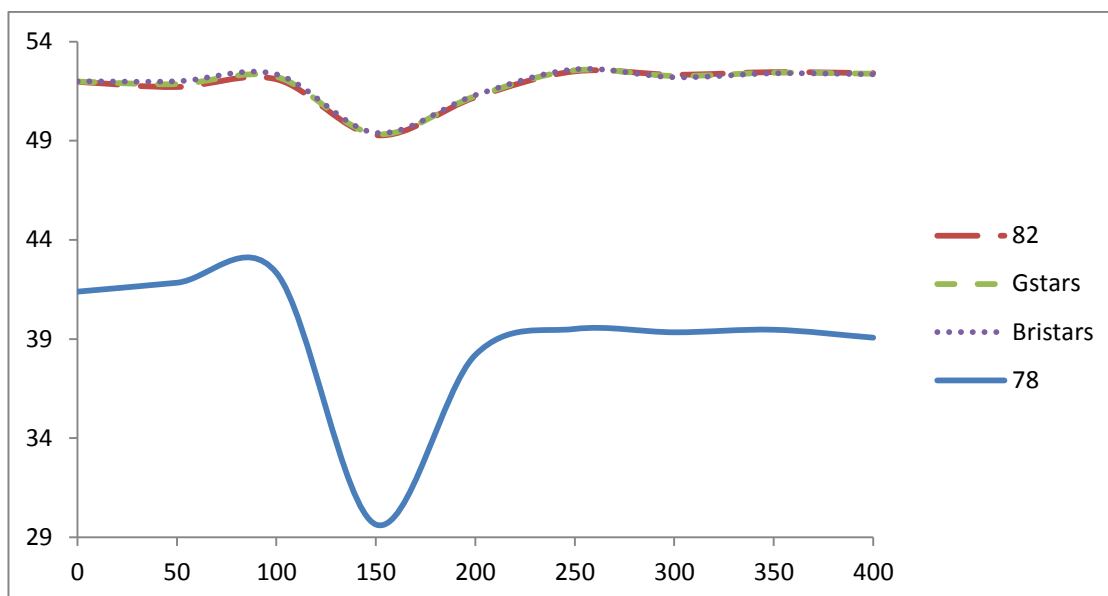
شکل (۴-۱۴)-مقطع عرضی شماره ۳ به فاصله ۲۶۲ متر از محل سد

در شکل (۴-۱۴) مدل و هیدروگرافی تطابق خوبی دارند ولی در فاصله عرضی ۱۰۰ تا ۲۰۰ به علت وجود رودخانه قدیمی گرگانرود و دریاچه تخیله در امتداد طولی تطابق دو مدل در این محل کمی با بستر هیدروگرافی اختلاف دارد.



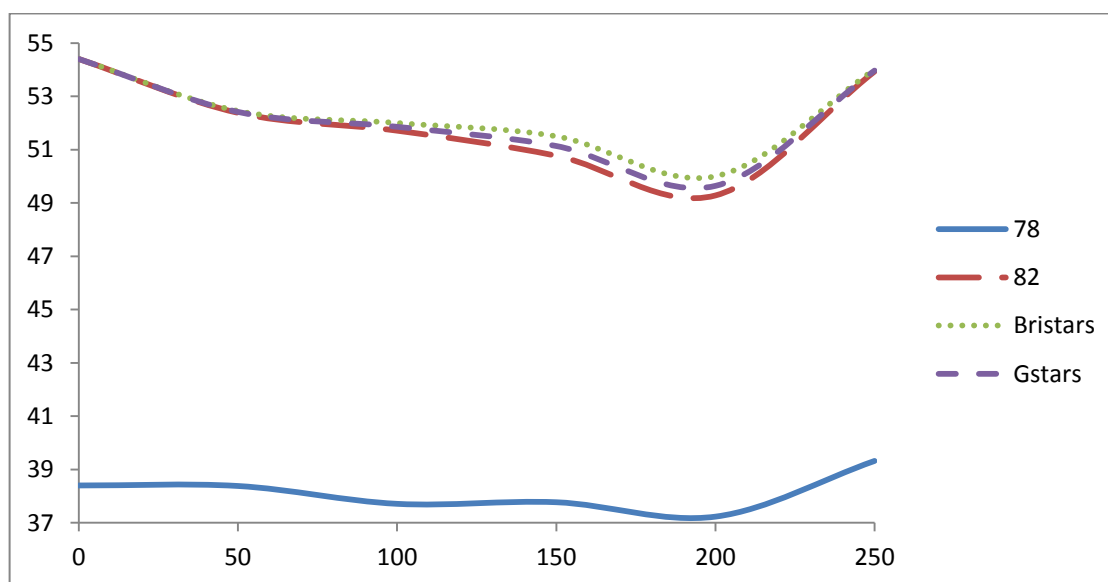
شکل (۴-۱۵) مقطع عرضی شماره ۴ به فاصله ۳۹۳ متر از محل سد

در شکل (۴-۱۵) مدل‌ها و بستر هیدروگرافی تقریباً با هم تطابق دارند و رسوبات قابل ملاحظه رسوبگذاری شده‌اند.



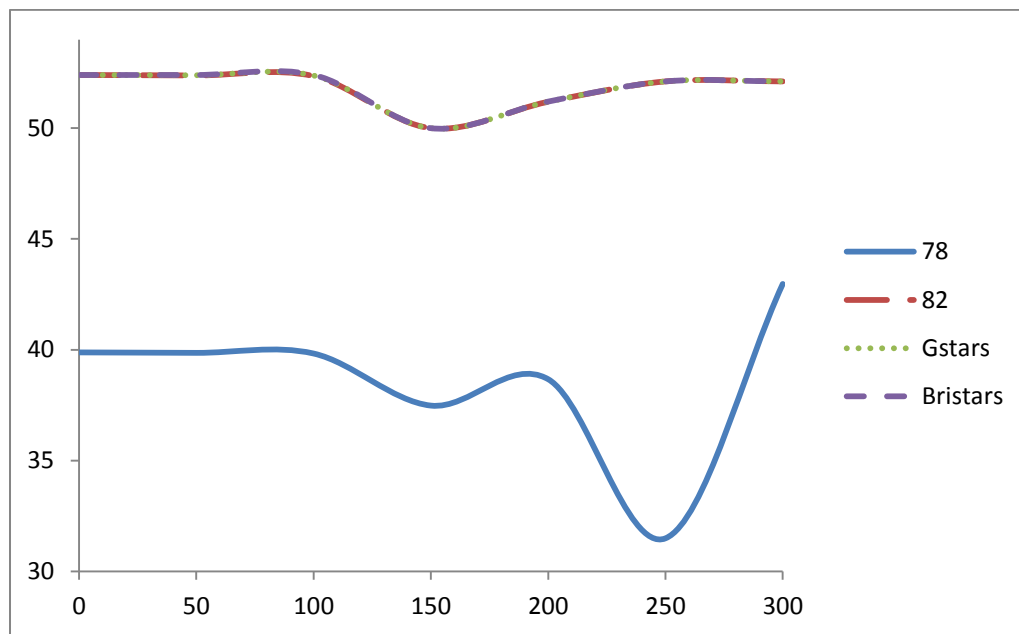
شکل شماره (۴-۱۶) مقطع عرضی شماره ۵ به فاصله ۴۹۸ متر از محل سد

در شکل (۴-۱۶) مدل‌ها تطابق بیشتری با بستر هیدروگرافی دارد و فرورفتگی که در بستر هیدروگرافی و مدل در فاصله ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری وجود دارد محل خروجی (دریچه تخلیه) سد است.



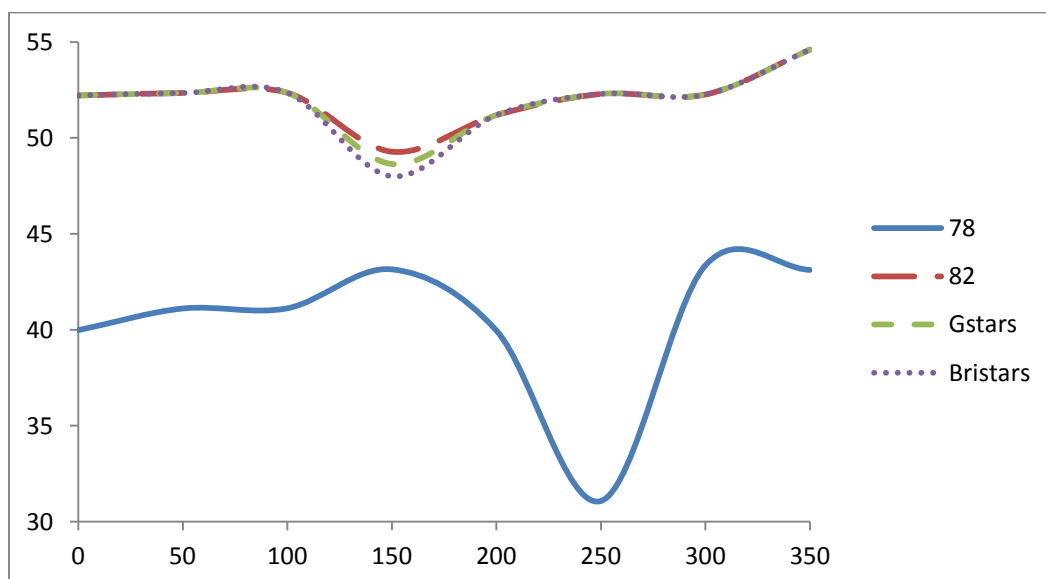
شکل (۴-۱۷) مقطع عرضی شماره ۶ به فاصله ۶۵۵ متر از محل سد

در شکل (۴-۱۷) مدل‌ها و بستر هیدرو گرافی تطابق خوبی دارند ولی اگر این مخزن تک ورودی یا یک شاخه ورودی باشد باید فرسایش اتفاق بیفتد ولی اینگونه نیست و به دلیل چندشاخه ورودی مخزن و درشت دانه بودن رسوبات رسوبگذاری خوبی انجام می پذیرد.



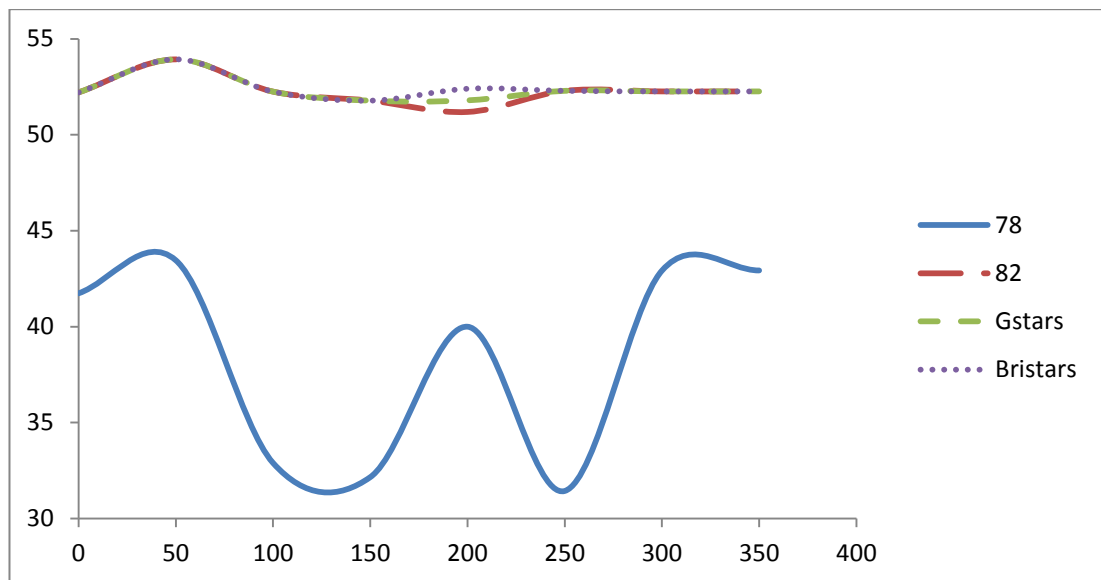
شکل (۴-۱۸) مقطع عرضی شماره ۷ به فاصله ۷۸۶ متر از محل سد

در شکل (۴-۱۸) ارتفاع بستر هردو مدل و هیدروگرافی انجام شده از ساحل چپ به راست ارتفاع بستر کاهش می یابد و تطابق خیلی خوبی مدل و هیدروگرافی انجام شده دارند.



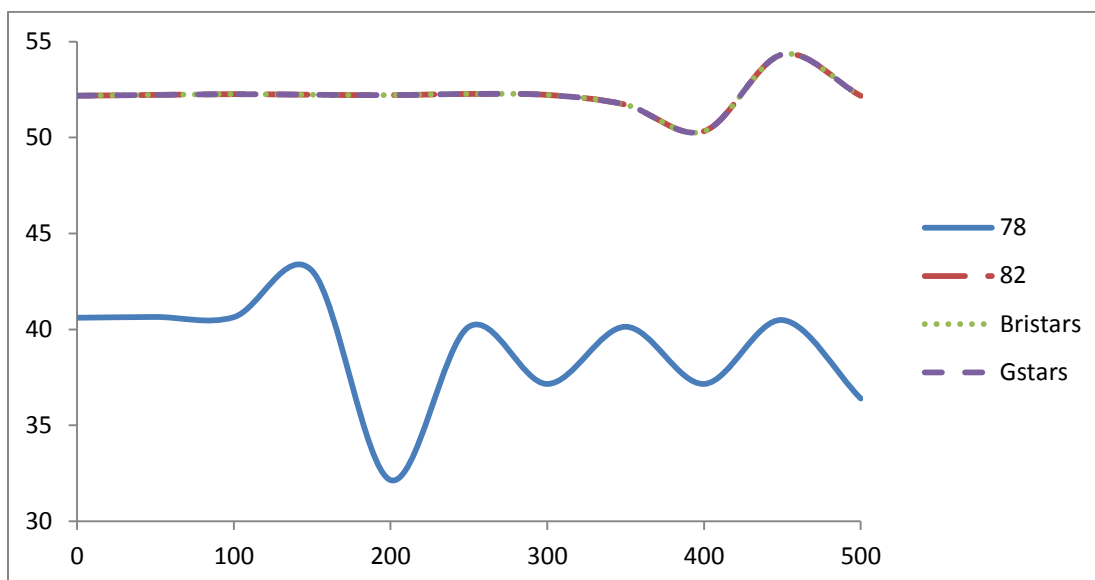
شکل (۱۹-۴) مقطع عرضی شماره ۸ به فاصله ۹۱۷ متر از محل سد

در شکل (۱۹-۴) هم مانند چند شکل قبلی در فاصله عرضی ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر مدل و بستر هیدروگرافی که ارتفاع بستر اختلاف کمی باهم دارند به دلیل وجود درچه تخلیه است.



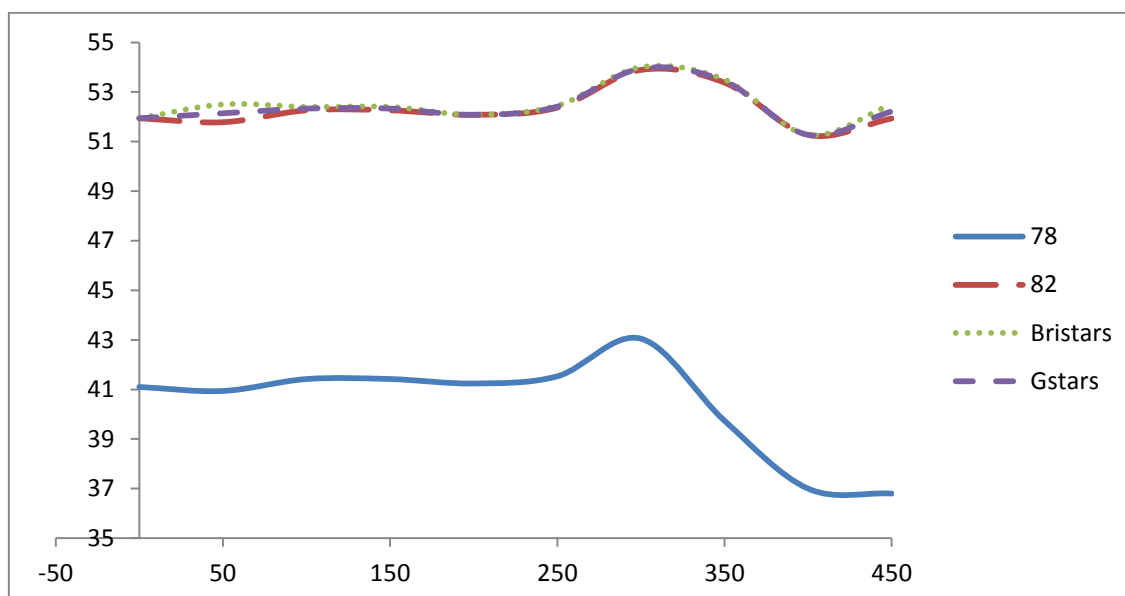
شکل (۲۰-۴) مقطع عرضی شماره ۹ به فاصله ۱۰۴۸ متر از محل سد

در شکل (۲۰-۴) مدل GSTARS3.0 و بستر هیدروگرافی تطابق بهتری دارد ولی در فاصله ۱۵۰ تا ۲۵۰ متری ارتفاع بستر اختلاف کمی دارند و مشاهده می شود که ارتفاع بستر از ساحل چپ به راست کاهش می یابد.



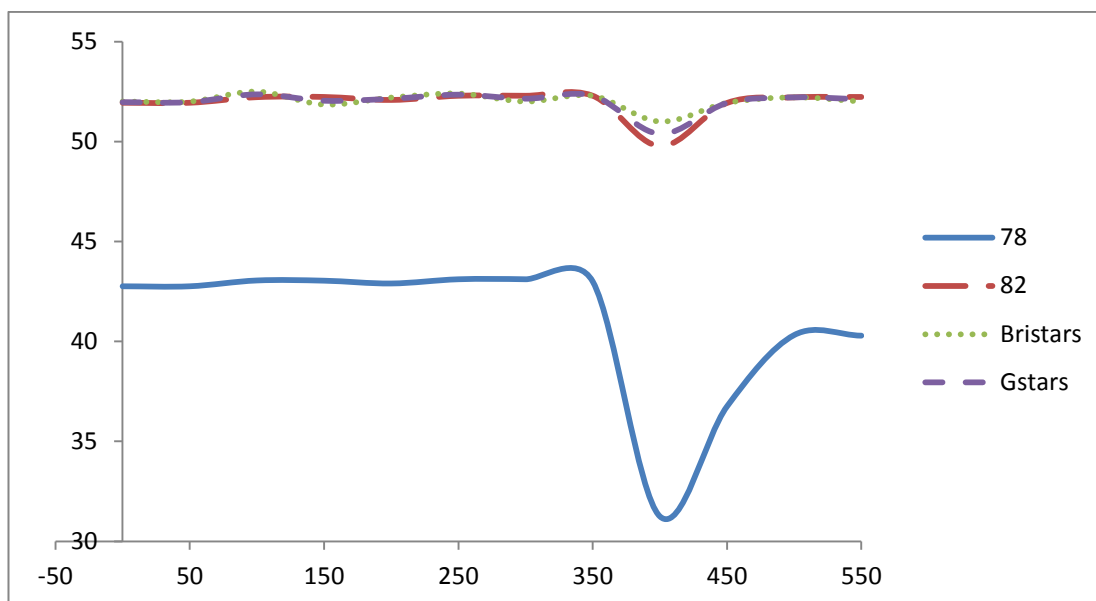
شکل (۴-۲۱) مقطع عرضی شماره ۱۰ به فاصله ۱۷۹ متر از سد

در شکل (۴-۲۱) مدل GSTARS3.0 و BRISTARS و بستر هیدرو گرافی تطابق کامل دارند.



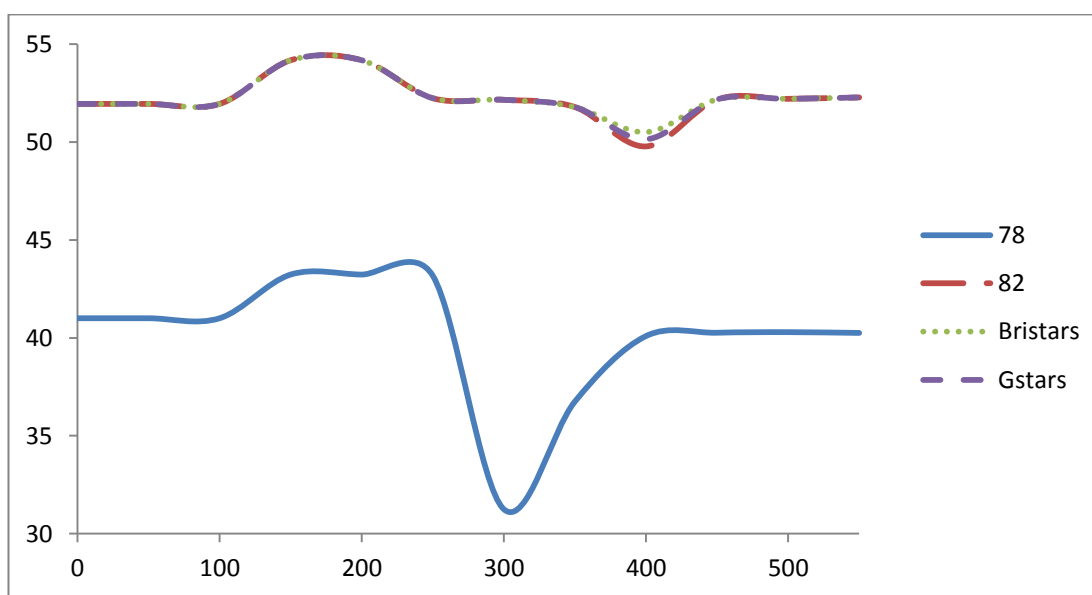
شکل (۴-۲۲) مقطع عرضی شماره ۱۱ به فاصله ۱۳۱۰ متر از محل سد

در شکل (۴-۲۲) ارتفاع بستر هردو مدل و بستر هیدرو گرافی شده در فاصله عرضی ۰ تا ۱۰۰ متری کمی با هم اختلاف دارند.



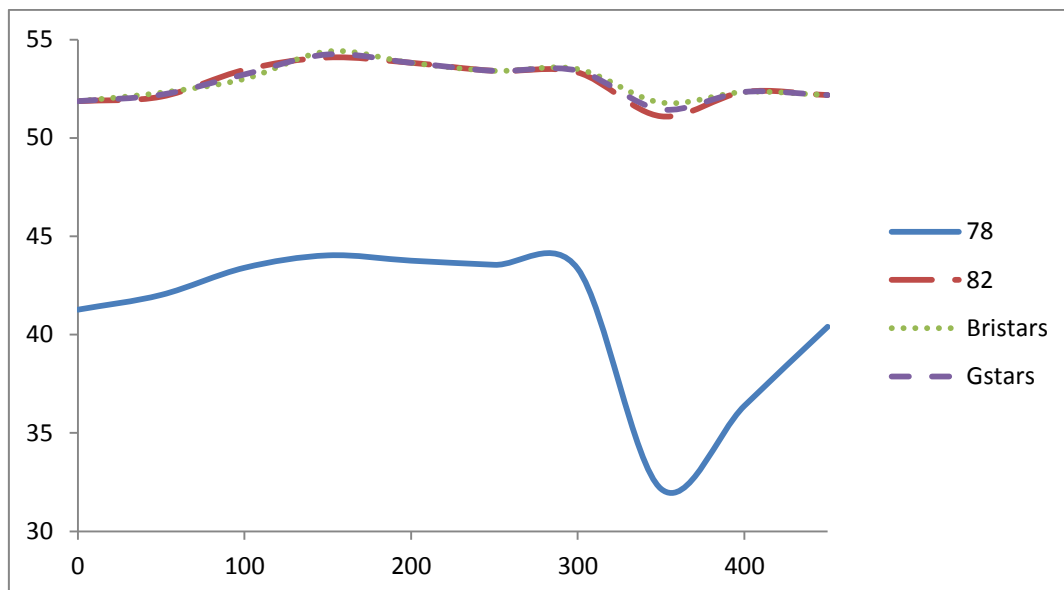
شکل (۲۳-۴) مقطع عرضی شماره ۱۲ به فاصله ۱۴۴۱ متر از محل سد

مدل BRISTARS و GSTARS تطابق خوبی دارد ولی در فاصله عرضی ۳۵۰ تا ۴۵۰ متری از ساحل چپ ارتفاع بستر مدل و بستر هیدروگرافی شده کمی اختلاف دارند.



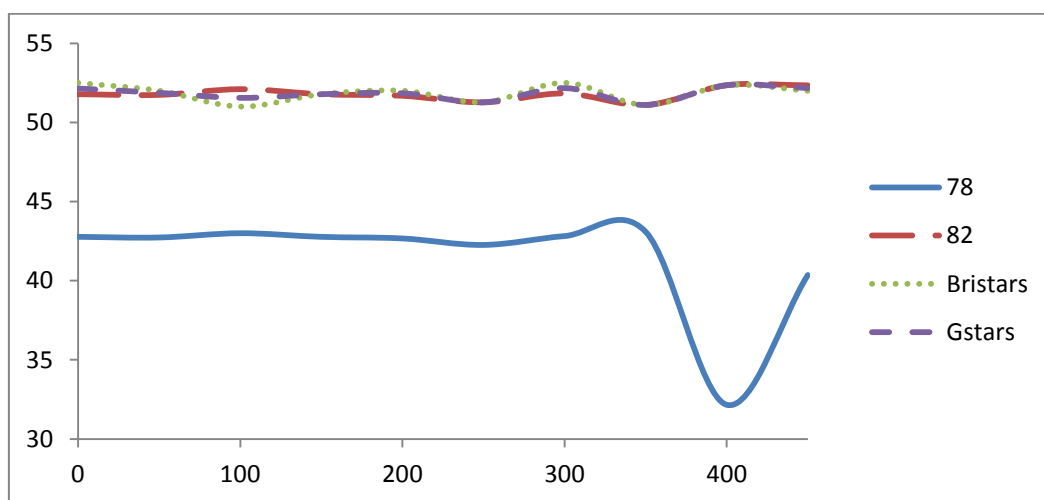
شکل (۲۴-۴) مقطع عرضی شماره ۱۳ به فاصله ۱۵۷۲ متر از محل سد

در شکل (۲۴-۴) مدل ها تطابق خوبی دارد اما در فاصله ۳۵۰ تا ۴۵۰ مانند شکل قبلی ارتفاع بستر هر دو مدل و بستر هیدروگرافی تطابق کمتری دارند.



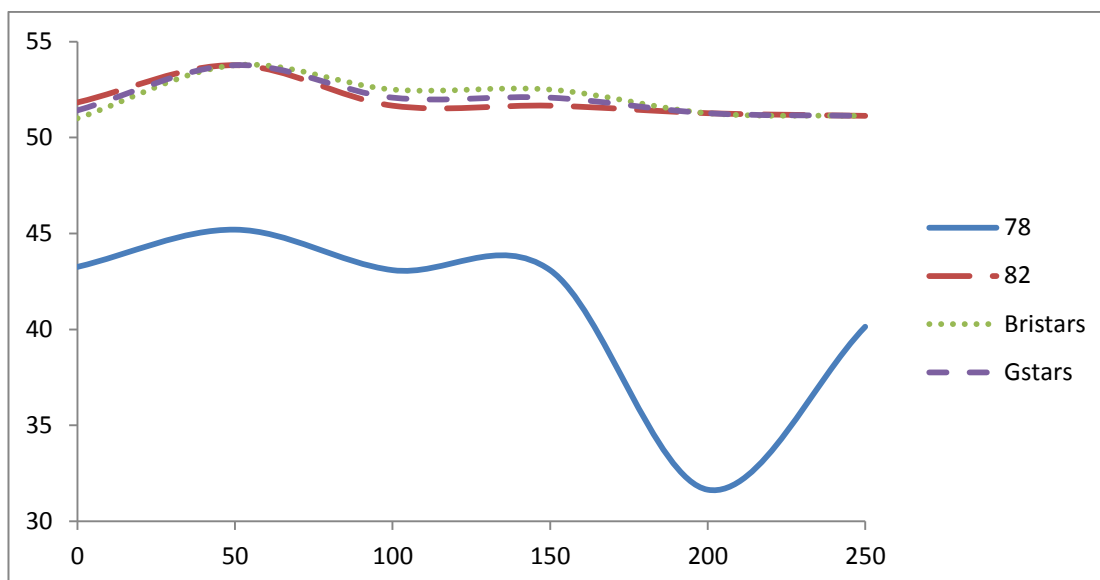
شکل (۴-۲۵) مقطع عرضی شماره ۱۴ به فاصله ۱۷۰۳ متر از محل سد

در شکل (۴-۲۵) مدل GSTARS3.0 و BRISTARS و بستر هیدروگرافی تطابق خوبی دارند.



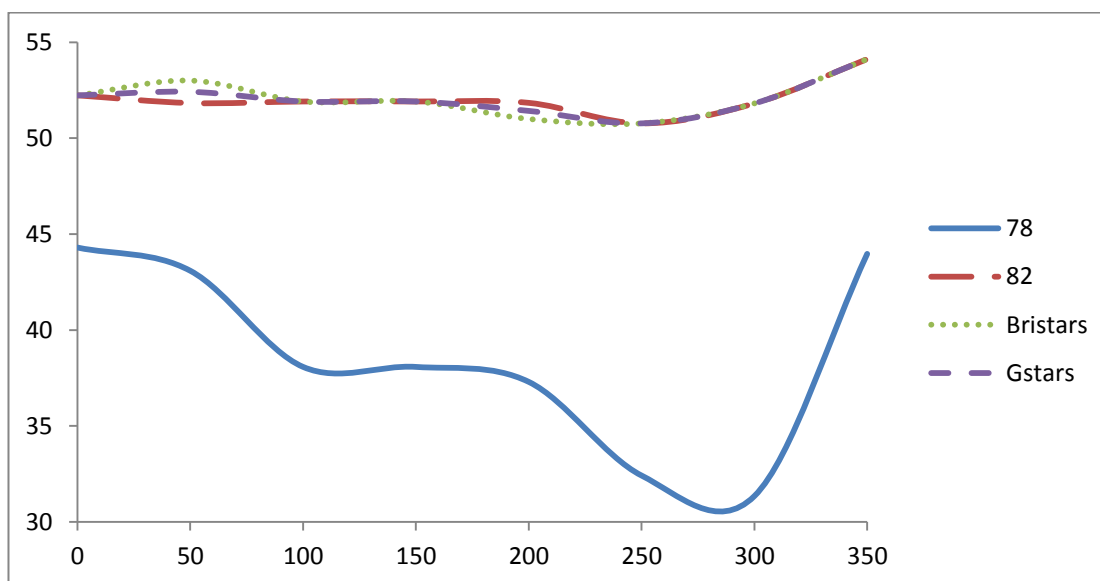
شکل (۴-۲۶) مقطع عرضی شماره ۱۵ فاصله ۱۸۳۴ متر از محل سد

در شکل (۴-۲۶) مدل و بستر هیدروگرافی شده تطابق خوبی ندارند زیرا رسوبگذاری تحت تاثیر شاخه های ورودی بالای گرگانرود و شاخه اوغان است و رسوبگذاری نامنظم است.



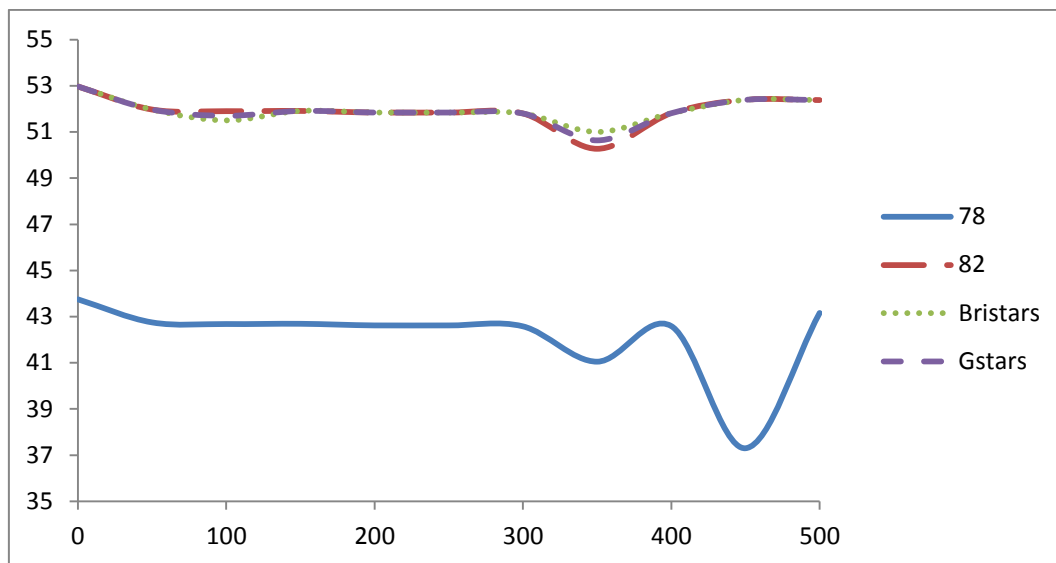
شکل (۴-۲۷) مقطع عرضی شماره ۱۶ فاصله ۱۹۶۵ متر از محل سد

در شکل (۴-۲۷) مدل از فاصله عرضی ۵۰ تا ۲۰۰ متری BRISTARS تطابق کمتری دارد به علت تحت تاثیر قرار گرفتن چند شاخه ورودی.



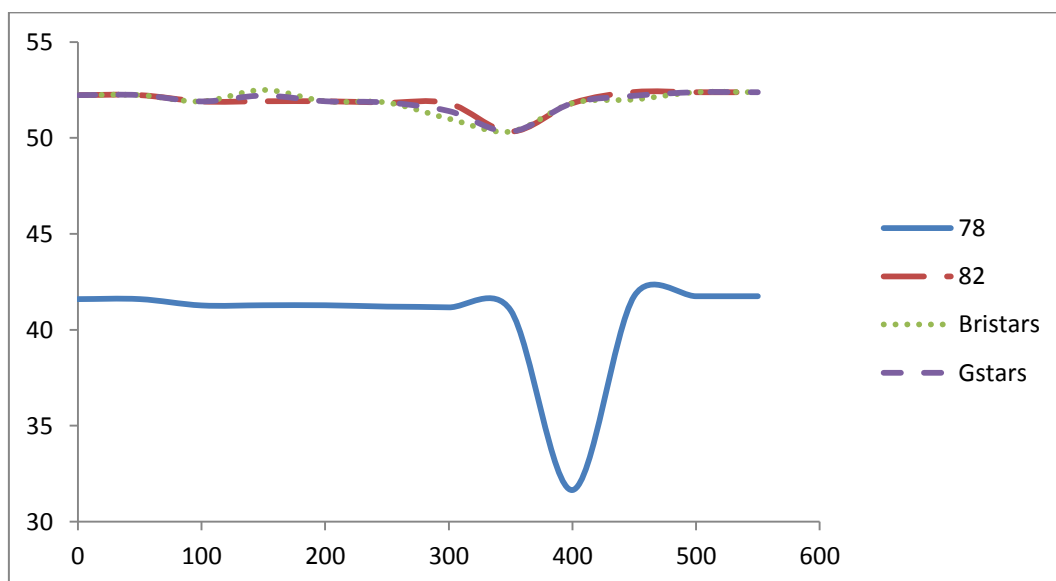
شکل (۴-۲۸) مقطع عرضی شماره ۱۷ فاصله ۲۰۹۶ متر از محل سد

شکل (۴-۲۸) مدل GSTARS تطابق خوبی دارد و رسوبگذاری قابل ملاحظه انجام می شود ولی در فاصله صفر تا صد متری مدل BRISTARS خطای نسبتاً زیادی دارد.



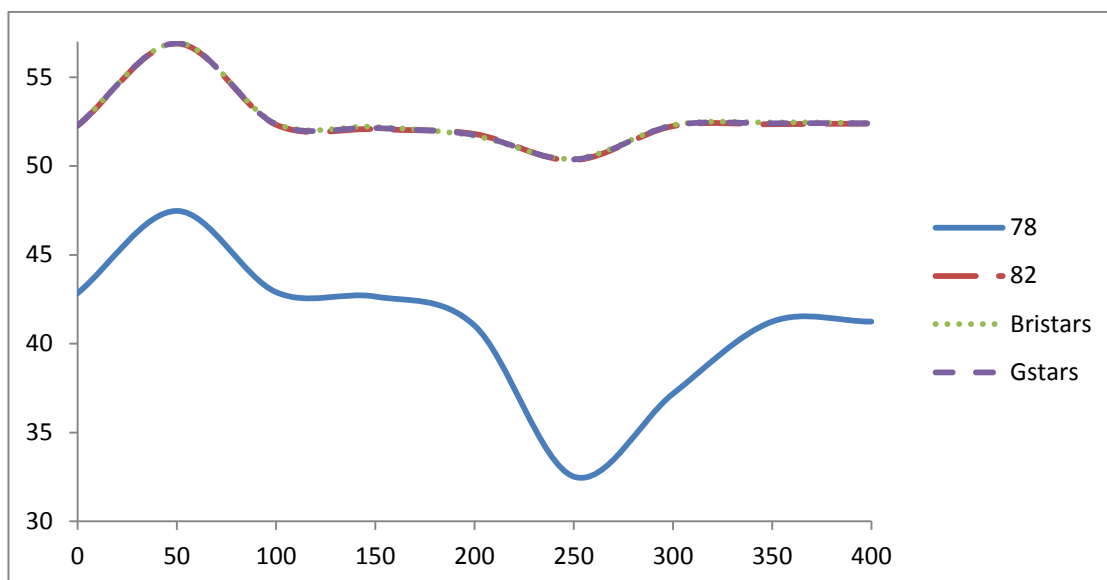
شکل (۴-۲۹) مقطع عرضی شماره ۱۸ فاصله ۲۲۲۷ متر از محل سد

در شکل (۴-۲۹) در فاصله عرضی ۳۰۰ تا ۴۰۰ هم در مدل GSTARS و هم در مدل BRISTARS تطابق کمی وجود دارد ولی در دیگر فواصل تطابق خوبی وجود دارد.



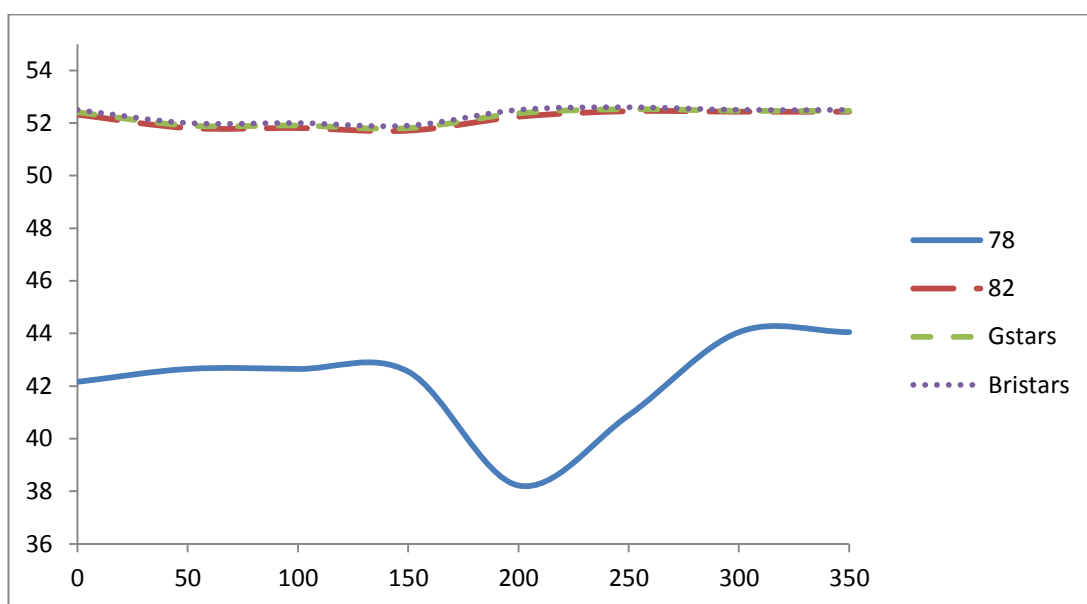
شکل (۴-۳۰) مقطع عرضی شماره ۱۹ فاصله ۲۳۵۸ متر از محل سد

در شکل (۴-۳۰) مدل ها تطابق خوبی دارد و رسوبگذاری خوبی هم اتفاق افتاده است.



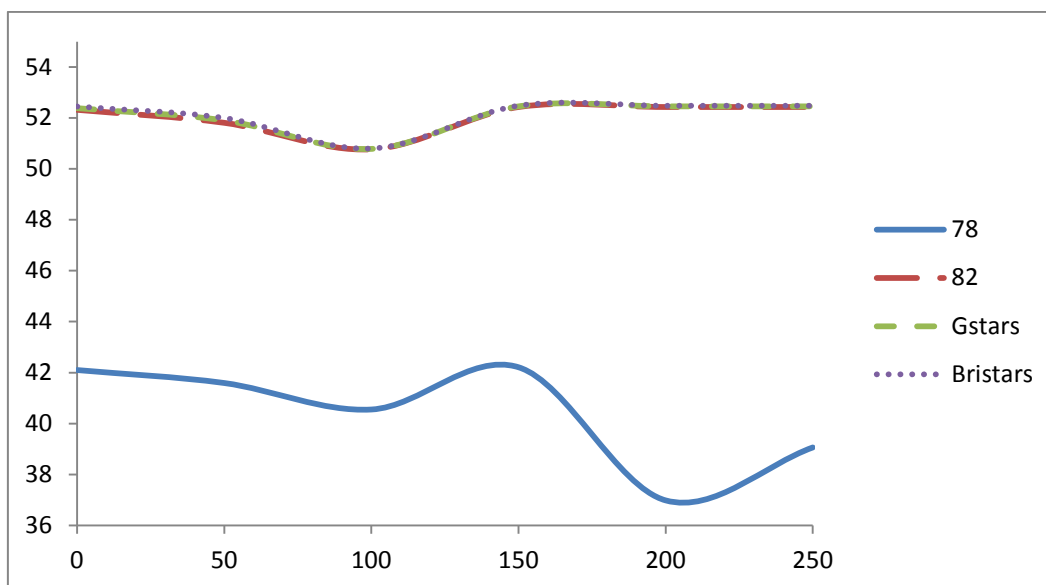
شکل (۴-۳۱) مقطع عرضی شماره ۲۰ فاصله ۲۴۸۹ متر از محل سد

در شکل (۴-۳۱) مدل‌ها تطابق خوبی دارد و رسوبگذاری خوبی هم انجام شده است و این دلیل بر چند شاخه بودن ورودی مخزن و درشت دانه بودن رسوبات است.



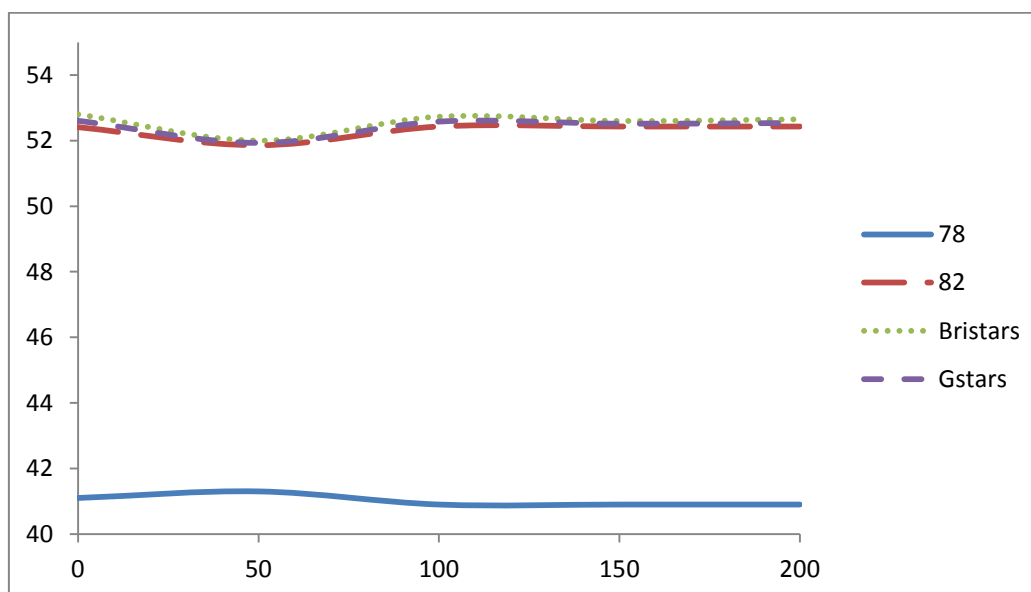
شکل (۴-۳۲) مقطع عرضی شماره ۲۱ فاصله ۲۶۶۰ متر از محل سد

در شکل (۴-۳۲) مشاهده می‌شود که هرچه از ساحل چپ به سمت ساحل راست حرکت می‌کنید میزان رسوبگذاری افزایش می‌یابد و دو مدل هم بر این امر صادق‌اند.



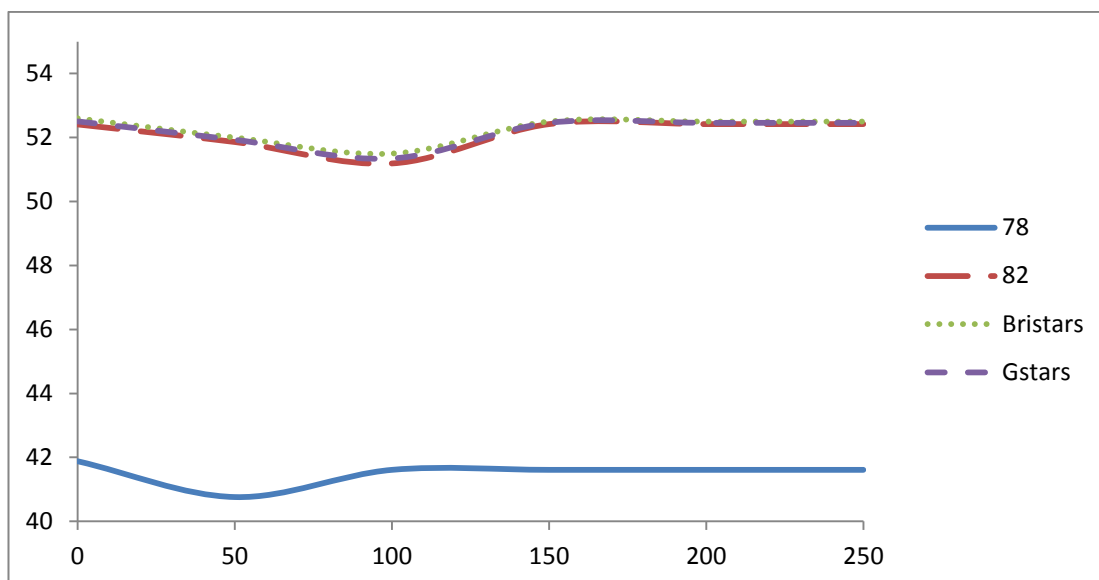
شکل (۳۳-۴) مقطع عرضی شماره ۲۲ فاصله ۲۷۵۱ متر از محل سد

در شکل (۳۳-۴) مدل‌ها تطابق خوبی دارد و رسوبگذاری خوبی انجام شده است.



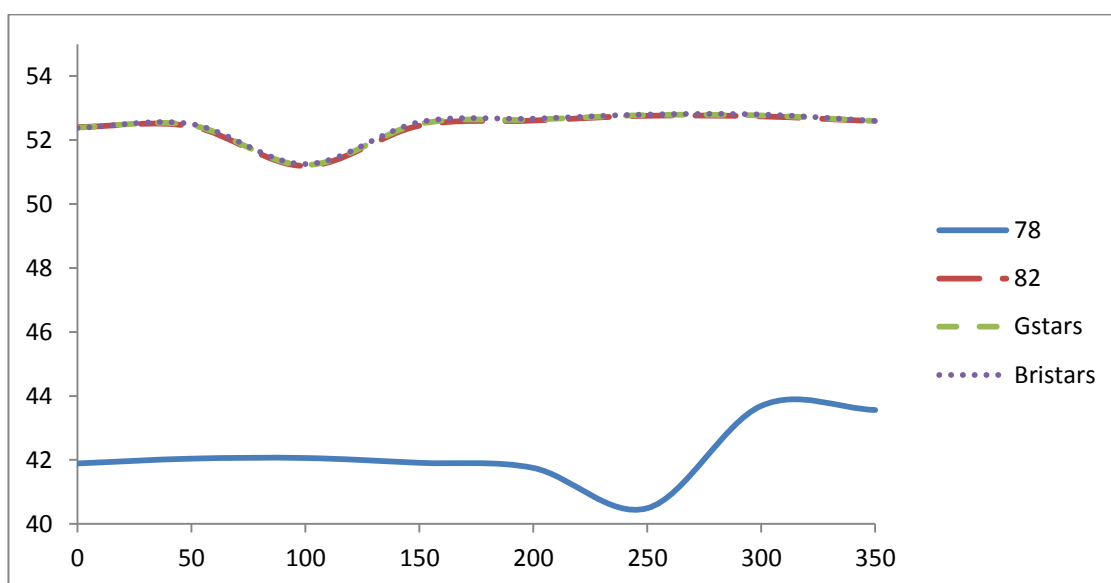
شکل (۳۴-۴) مقطع عرضی شماره ۲۳ فاصله ۲۸۸۲ متر از محل سد

در شکل (۳۴-۴) مشاهده می‌شود که هر دو مدل اختلاف کمی با واقعیت دارد و بستر کم و بیش هموار است.



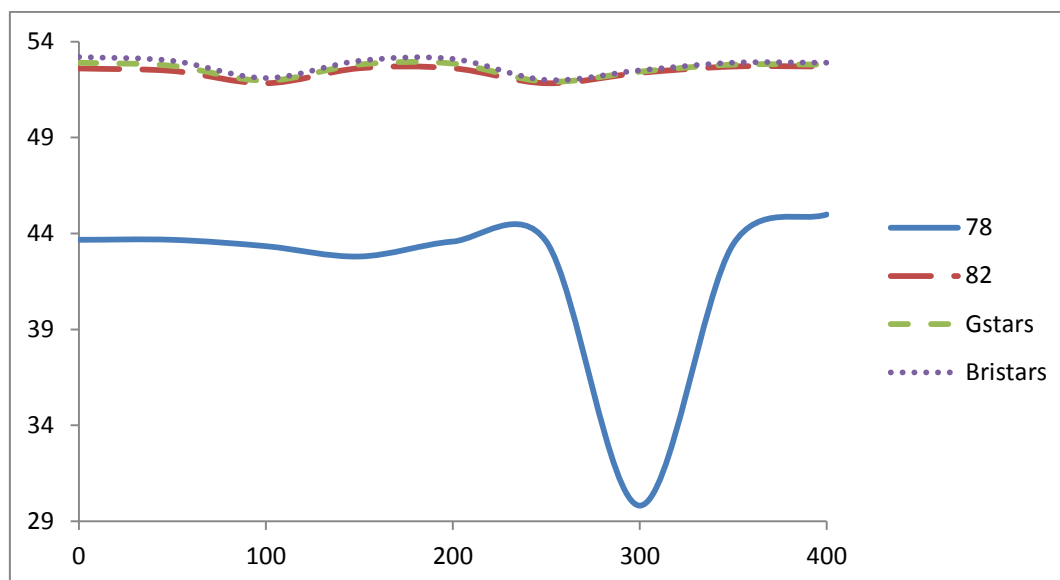
شکل (۴-۳۵) مقطع عرضی شماره ۲۴ فاصله ۳۰۱۳ متر از محل سد

در شکل (۴-۳۵) مشاهده می شود که در دو مدل اختلاف کمی با واقعیت وجود دارد و رسوبگذاری خوبی انجام می پذیرد به دلیل نزدیکی به شاخه های ورودی به سد است.



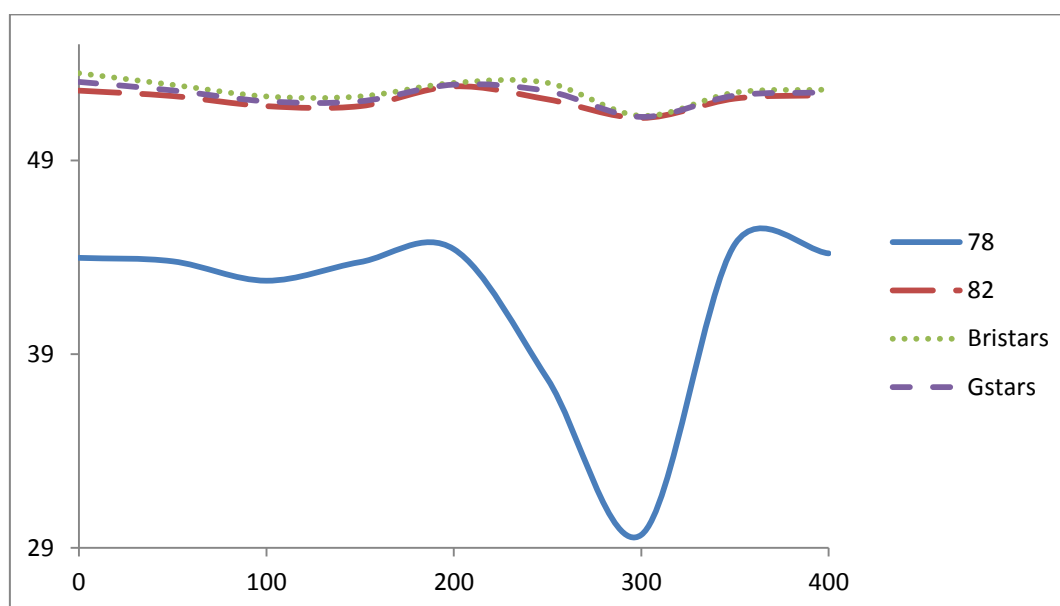
شکل (۴-۳۶) مقطع عرضی شماره ۲۵ فاصله ۳۱۴۴ متر از محل سد

در شکل (۴-۳۶) مشاهده می شود که هم GSTARS و BRISTARS هم تطابق خوبی دارند و رسوبگذاری خوب است.



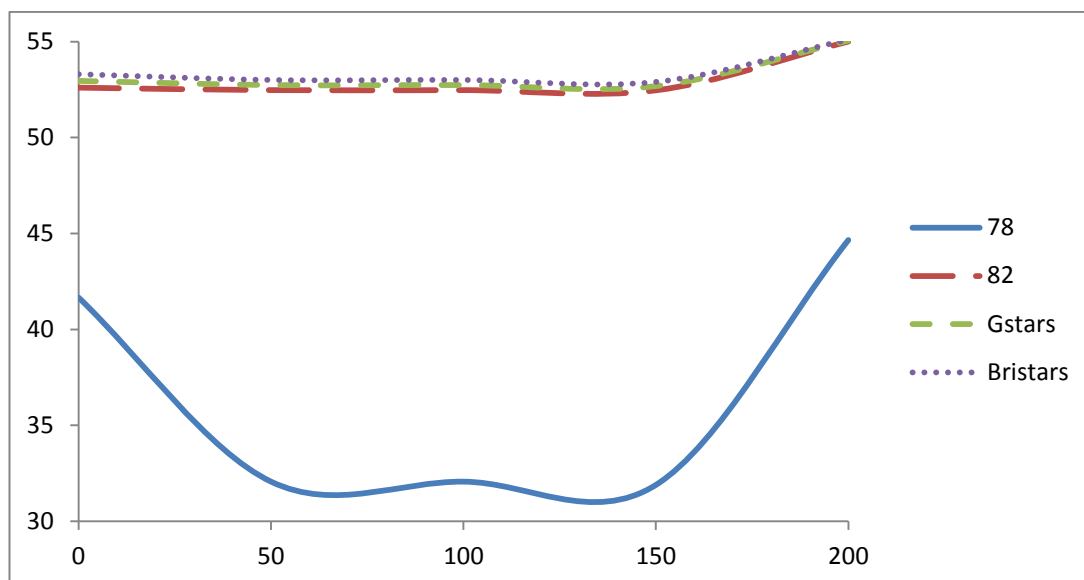
شکل (۳۷-۴) مقطع عرضی شماره ۲۶ فاصله ۳۲۷۵ متر از محل سد

در شکل (۳۷-۴) مشاهده می شود که مدل ها اختلاف کمی با واقعیت دارند و رسوبگذاری زیاد به دلیل نزدیکی به مصب سد است.



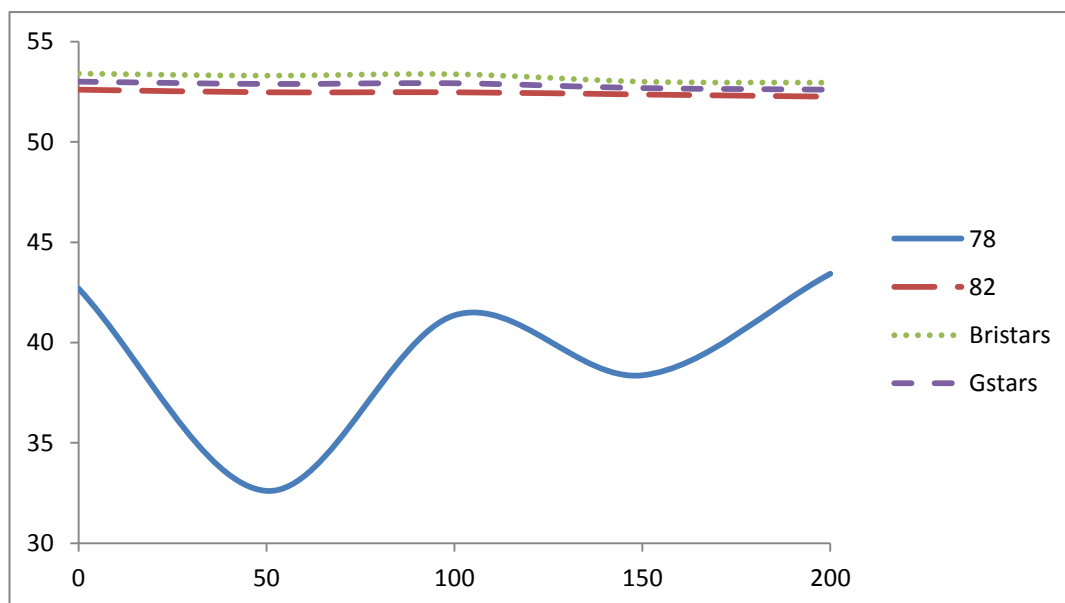
شکل (۳۸-۴) مقطع عرضی شماره ۲۷ فاصله ۳۴۰۶ متر از محل سد

در شکل (۳۸-۴) مشاهده می شود که مدل ها اختلاف کمی با واقعیت دارد و به دلیل نزدیکی به سرشاخه رسوب بیشتری ته نشین می شود.



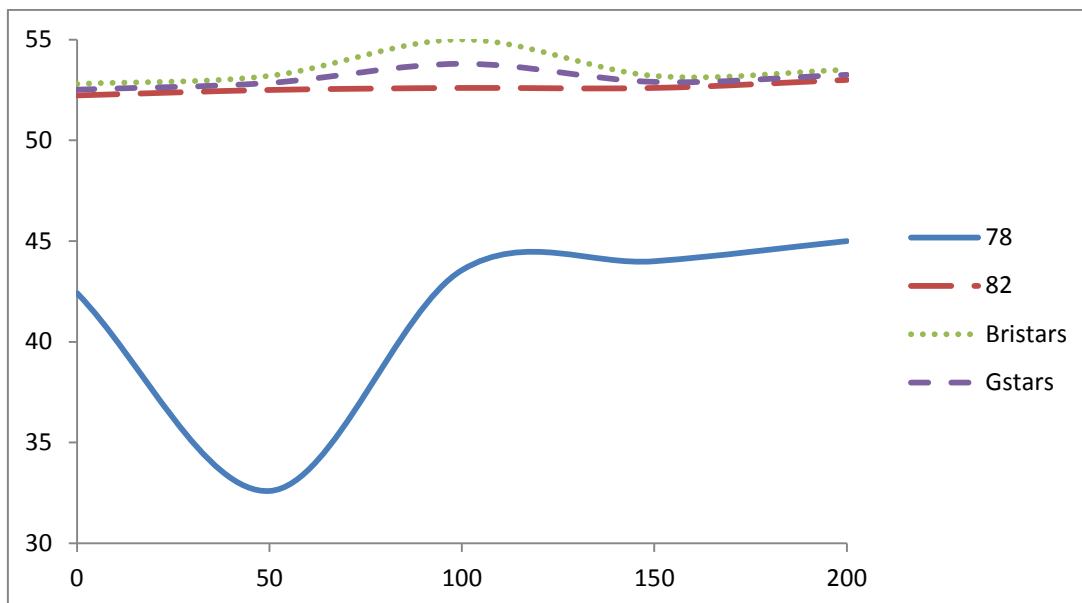
شکل (۳۹-۴) مقطع عرضی شماره ۲۸ فاصله ۳۵۳۷ متر از محل سد

در شکل (۳۹-۴) مشاهده می شود که هر دو مدل تطابق خوبی با واقعیت دارند و رسوبات بیشتری در این مقطع ته نشین می شود و ذرات بیشتر درشت دانه است. ولی نتایج GSTARS به واقعیت نزدیک تر است.



شکل (۴۰-۴) مقطع عرضی شماره ۲۹ فاصله ۳۶۶۸ متر از محل سد

در شکل (۴۰-۴) مشاهده می شود که مدل GSTARS نسبت به مدل BRISTARS اختلاف کمی با واقعیت دارد زیرا این مقطع در نزدیکی مصب سد می باشد و رسوبات بیشتری ته نشین می شود.



شکل (۴-۴۱) مقطع عرضی شماره ۳۰ فاصله ۳۸۰۰ متر از محل سد

در شکل (۴-۴۱) مشاهده می شود که مدل ها در فواصل ۵۰ تا ۱۵۰ متری اختلاف کمی با واقعیت دارد زیرا مقطع در مصب سد واقع هستند. در این مقطع خطای BRISTARS قابل مشاهده است.

۴-۶- تحلیل نتایج شبیه سازی

به طور معمول در سد های که یک شاخه دارند به خاطر افزایش سرعت آب تلاطم زیاد در قسمت های که عرض مخزن کاهش می یابد فرسایش ایجاد شود و در قسمت های که عرض مخزن افزایش می یابد به خاطر کاهش سرعت و آرام شدن آب رسوبگذاری قابل توجه انجام شود ولی در این تحقیق که انجام شد به خاطر این که ورودی سد سه شاخه و رسوبات درشت است توزیع رسوب در تمامی بستر مخزن تقریباً یکی است ولی هرچه عرض افزایش یابد کمی رسوبگذاری را تشدید می کند و در قسمت های که مانند مقطع ۰،۱،۲،۳،۴ به سبب بودن این مقاطع در نزدیکی مصیب شاخه ورودی اوغان واقع شده بود دارای میزان بیشتری رسوبگذاری هستند و مدل دارای خطا کمی می باشد و همچنین به دلیل نزدیکی با بدنه سد رسوبگذاری تشدید می شود و مقاطع ۲۸،۲۹،۳۰ در مصیب شاخه اصلی گرگان رود قرار دارند و در این مقاطع نیز مدل با واقعیت کمی متفاوت است و رسوبگذاری هم چشمگیر می باشد.

۴-۷- محاسبه خطا مدل

در این تحقیق معیار دقت مدل، هیدروگرافی رسوب انجام شده می باشد در جدول ۴-۱ نتایج مدل با داده های هیدروگرافی رسوب مورد مقایسه قرار گرفته است. همان طور که ملاحظه می شود بیشترین

خطا مدل GSTARS، ۰.۰۴۴۶۵ درصد و میانگین خطای مدل ۰.۰۰۵ درصد می باشد و همچنین بیشترین خطا در BRISTARS، ۲.۴ و میانگین خطا ۰.۱۶ درصد می باشد، که با توجه به پایین بودن خطا قابل قبول می باشد.

جدول ۴-۱ محاسبه خطا مدل

شماره مقطع	فاصله از محور سد	فاصله عرضی مقطع	ارتفاع بستر بدست آمده از هیدروگرافی	ارتفاع بستر بدست آمده از مدل BRISTAR	ارتفاع بستر بدست آمده از مدل GSTARS	درصد خطا مدل BRISTAR	درصد خطا مدل GSTARS	پیشینه خطای مدل	میانگین خطای مدل
۳۰	۳۸۰۰	۰	۴۲.۴۲	۵۲.۸	۵۰.۷	۰.۵۷	۰.۰۱۰۸۵۴	GSTARS ۰.۰۴۴۶۵	GSTARS ۰.۰۰۵
۳۰	۳۸۰۰	۵۰	۳۲.۶	۵۳.۲	۵۳.۲	۰.۷	۰.۰۱۳۲۴۵	BRISTAR ۲.۴	BRISTAR ۰.۱۶
۳۰	۳۸۰۰	۱۰۰	۴۳.۵۶	۵۵	۵۵	۲.۴	۰.۰۴۴۶۵		
۳۰	۳۸۰۰	۱۵۰	۴۴	۵۳.۲	۵۳.۲	۰.۶	۰.۰۱۱۳۴۲		
۳۰	۳۸۰۰	۲۰۰	۴۵	۵۳.۵	۵۳.۵	۰.۵	۰.۰۰۹۳۹		

۴-۸- پیش بینی روند رسوبگذاری مخزن سد برای ۵۰ سال

ورودی هر دو مدل یکسان است و پارامتر متفاوتی ندارد که شامل دبی، دبی-رسوب، اشل، دما و مقاطع عرضی اولیه می باشد. با انتخاب درست پارامترهای متغیر مناسب خطای مدل ها را به حداقل می رسانیم و سپس مدل را با سعی و خطا زیاد کالیبره می کنیم. بعد از کالیبراسیون مدل می توانیم روند رسوبگذاری را برای سال های آتی پیش بینی کنیم. که در اینجا حجم رسوبگذاری از سال ۷۸ الی ۸۲ در مخزن ۲۲.۸ میلیون متر مکعب پیش بینی میشود و با توجه به آمار رسمی آب منطقه ای استان گلستان در سیل سال ۸۰، ۱۸ میلیون متر مکعب از مخزن به دلیل رسوبگذاری از بین رفت روند رسوب گذاری در هر سال ۹۵۰ هزار متر مکعب پیش بینی میشود که در شکل ۴-۴۲ پیش بینی روند رسوبگذاری مخزن سد گلستان را در یک دوره زمانی ۵۰ ساله نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود قسمت اعظم رسوبات که اغلب درشت دانه هستند و به دلیل چند شاخه بودن در تمام وسعت سد نشسته اند. نتایج مدل GSTARS بیانگر این است که پس از ۵۰ سال و BRISTARS در ۴۵ سال در حدود ۸۰ درصد از ظرفیت سد تقریباً ۶۰ میلیون متر مکعب کاسته می شود. این شکل از نقاط خط القعر مقاطع است تا رسوب گذاری را بهتر نشان دهد.

فصل پنجم

نتیجه گیری و

پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

۱- علی‌رغم اینکه محاسبات رسوبگذاری در مخزن با توجه به محدودیت های فوق انجام شد، لیکن با انتخاب روش های مناسب آماده سازی اطلاعات نتایج حاصل به طور رضایت بخشی شرایط رسوبگذاری و توزیع مکانی و زمانی رسوبات را ارائه می دهد.

۲- مدل BRI-STARS و GSTARS3.0 در مقایسه با مدل های دیگر شبیه سازی رودخانه و بررسی انتقال رسوبات نظیر مدل HEC-6 با در نظر گرفتن مدل لوله های جریان و تقسیم رودخانه به تعدادی لوله جریان، تغییرات و توزیع رسوبات در عرض رودخانه را نیز ملحوظ می کند. لذا نتایج خروجی مدل بر اساس تئوری فوق با دقت بیشتری نسبت به مدل های یک بعدی و نزدیک به به نتایج حاصل از مدل های دوبعدی ارائه شده است.

۳- نتایج اجرایی مدل ریاضی نشان می دهد که مدل نسبت به تابع انتقال رسوب دارای بالاترین حساسیت است. در مطالعات موردی انجام شده، منطقی ترین الگوی رسوب، الگوی رسوبگذاری می باشد که از انتخاب معادله لارسن اصلاح شده و ایکرز وایت حاصل می گردد.

۴- شبیه سازی با ۳ لوله جریان با واقعیت تطابق بهتری دارد.

۵- از میان پارامترها و داده های ورودی مدل، تغییر در دمای آب کمترین تاثیر را بر نتایج می گذارد و مدل به تغییر دما (در محدوده دماهای معمول و منطقی محیط مورد مطالعه) حساسیت زیاد ندارد.

۶- هرچه تعداد گام های زمانی روندیابی کمتر باشد توزیع رسوبات را بهتر نشان می دهد، ولی در کل رسوبات تاثیر ندارد.

۷- پس از سعی و خطا زیاد ضریب انتقال نامتقارن رسوب به دست آمد.

۸- حجم رسوبات ۵۰ ساله برابر با ۵۱.۶ میلیون متر مکعب می باشد که حدود ۶۰ درصد از حجم سد می باشد.

۹- شبیه سازی و کالیبراسیون نشانگر آن است که اعمال ضرایب و انتخاب معادله انتقال رسوب مناسب یک سد منحصر به خصوصیات منطقه بوده و قابل تعمیم برای سایر سدها نمی باشد.

۱۰- میانگین خطا در GSTARS3.0، ۰.۰۵ و در BRISTAR، ۰.۱۶ می باشد که GSTARS3.0 دارای خطای کمتری است.

۵-۲- پیشنهادات

۱. جهت برآوردی دقیق تر رسوبگذاری می توان از مدل دو بعدی نظیر River Intake یا مدل های سه بعدی SSIIM در رسوبگذاری مخازن استفاده کرد و نتایج حاصله را با مقادیر واقعی اندازه گیری شده مقایسه کرد.
۲. مدل GSTARS3.0 قابلیت محاسبات فرسایش و رسوبگذاری را دارد و از این مدل می توان در عمل رسوبشویی (فلاشینگ) مخازن استفاده کرد.
۳. در زمان حال مدل های ریاضی به ابزار دقیق و قوی در مطالعات و مدیریت منابع آب تبدیل شده اند و دقت این مدل ها به میزان صحت و دقت داده های ورودی بستگی دارد، پس توصیه می شود که اندازه گیری های دانه بندی مواد معلق و همچنین رسوبات بار کف که هیچگونه اندازه گیری مستقیمی از آن موجود نیست در میدان وسیعی از تغییرات دبی ایستگاه های هیدرومتری بالادست مخازن انجام گیرد.
۴. به منظور جلوگیری از حرکت دلتای رسوب به سمت سد و عواقب سوء آن با مدیریت بهره برداری بالادست سد نظیر حفاظت از زمین های کشاورزی، ایجاد بندهای انحرافی جهت جلوگیری از ورود رسوبات به داخل مخزن،... می توان این هدف را انجام داد.
۵. بهتر است پیش بینی روند رسوبگذاری قبل از بهره برداری مخازن سدها نیز صورت پذیرد تا بتوان تمهیدات مناسب برای بهره برداری بختر از سد انجام داد.
۶. پیشنهاد می شود مدل برای سایر معادلات انتقال رسوب کالیبره شود.
۷. استفاده از یک مدل دو بعدی در مخزن سد گلستان و مقایسه نتایج آن با GSTARS3.0
۸. استفاده از مدلی که بتواند جریان های غلیظ را شبیه سازی کند.
۹. انجام تحقیقات مشابه در مورد سایر مخازن با استفاده مدل ریاضی BRISTARS
۱۰. انجام هیدروگرافی مخزن هر ۵ تا ۱۰ سال
۱۱. برداشت مقاطع عرضی سد گلستان حد فاصل بدنه سد تا ورودی رودخانه اوغان
۱۲. احداث مجدد ایستگاه های هیدرومتری در بالا دست

پیوست

در مدل BRI-STARS داده های ژئومتری شامل کارت های T1-T3، NS، ST، ND، XS، RE، RH، CE، CL و NT می باشند که در زیر توضیح داده می شوند.

کارت T1-T3

این کارت ها با نام کارت عنوان، غیر محاسباتی بوده و میدان های ۲ تا ۱۰ آن برای معرفی اطلاعاتی نظیر پروژه، نام مجری و سایر اطلاعات ضروری بکار می رود.

کارت NS

در این کارت تعداد کل مقاطع عرضی مورد استفاده در برنامه مشخص می شود. این کارت فقط یکبار در ابتدای فایل داده ها آورده می شود.

کارت ST

در مدل BRI-STARS مقاطع عرضی از بالادست به پایین دست بازه به مدل معرفی می شوند. در این کارت مشخصات مقطع عرضی شامل فاصله مقطع نسبت به یک مرجع در پایین دست (محل سد) و تعداد نقاط مقطع و ... وارد می شود. کارت ST برای هر یک از مقاطع ضروری است. فیلد اول جهت معرفی فاصله مقطع نسبت به یک مرجع در پایین دست در نظر گرفته شده است. در فیلد دوم تعداد نقاط مقطع ذکر می گردد که مختصات این نقاط در کارت XS معرفی می گردد. در میدان ۳ و ۴ نوع مقطع از این نظر که آیا مقطع حاضر، مقطع کنترل است یا خیر، مشخص می شود. در فیلد ۵ و ۶ نیز می توان رقوم ارتفاعی و موقعیت هر نقطه را با کم و زیاد کردن یک عدد ثابت تغییر داد.

کارت ND

در این کارت تعداد زیر مقاطع در هر مقطع عرضی و موقعیت قرارگیری هر زیر مقطع در عرض رودخانه تعریف می شود. در این مدل تعداد ۱۰ زیر مقطع در هر مقطع عرضی قابل تعریف می باشد. این کارت برای هر یک از مقاطع ضروری است.

کارت XS

در این کارت مختصات نقاط هر مقطع عرضی به برنامه داده می شود. هر نقطه شامل مختصات مسافت و ارتفاع می باشد بطوریکه در میدان های فرد رقوم ارتفاعی نقاط و در میدان های زوج فواصل نظیر ارتفاع ذکر می گردد. شروع وارد کردن مختصات نقاط هر مقطع به مدل بایستی از ساحل چپ رودخانه (دید در جهت جریان) باشد. حداکثر تعداد نقاط در هر مقطع ۱۰۰ نقطه می باشد. کارت XS برای هر یک از مقاطع ضروری می باشد.

کارت RE

مدل BRI-STARS قابلیت استفاده از سه معادله مقاومت جریان شامل معادلات مانینگ، دارسی و شزی را دارا می باشد. در این کارت معادله مورد استفاده در محاسبات هیدرولیکی مربوط به زبری بستر مشخص می شود. کافی است که در فیلد اول این کارت کلمه MANNING، CHEZY و یا Darcy تایپ گردد.

داده های هیدرولوژی

داده های هیدرولوژی شامل دبی، اشل در پایین دست و درجه حرارت آب و تداوم جریان می باشد که توسط کارت های IT، SQ و TM به برنامه وارد می شوند که در زیر توضیح داده می شوند.

کارت IT

با توجه به تداوم جریان تعیین شده از روی هیستوگرام دبی ورودی برای هر دبی و کل دوره زمانی تعیین شده برای اجرای برنامه، گام افزایشی (پیشروی) زمان تعیین می شود. در فیلد اول این کارت تعداد تکرارهای زمانی اصل از تقسیم کل دوره زمانی به گام افزایشی زمان وارد می شود. در فیلد دوم این کارت تعداد تکرارهای لازم برای محاسبات روندیابی رسوب و در فیلد سوم گام افزایشی زمان (مثلا دو روز) به برنامه داده می شود. لازم به ذکر است که گام افزایشی زمان تعریف شده در فیلد سوم، بر حسب روز می باشد.

کارت SQ

با توجه به گام های افزایشی زمان تعریف شده در فیلد سوم کارت IT و تداوم دبی جریان بر حسب روز، به تعداد تداوم جریان تقسیم بر گام افزایشی زمان، کارت SQ نیاز می باشد. در این کارت به ترتیب در فیلد اول و دوم، مقادیر دبی و اشل به ترتیب بر حسب فوت مکعب در ثانیه و فوت وارد می شوند.

کارت TM

در این کارت مقادیر درجه حرارات آب بر حسب درجه فارنهایت متناظر با هر گام زمانی به برنامه داه می شود بطوریکه گام های زمانی در فیلد اول و مقادیر درجه حرارت متناظر آن در فیلد

کارت SG

این کارت، یک کارت اختیاری است که دامنه تغییرات قطر ذرات (برحسب میلی متر) مربوط به هر یک از کلاس های دانه بندی مواد بستر وارد می شود. لذا به اندازه تعداد کلاس های موجود، کارت SG نیاز می باشد.

کارت SD

در این کارت با توجه به کلاس های دانه بندی تعریف شده برای هر مقطع، درصد هر یک از کلاس های موجود برای هر مقطع وارد می شود. بنابراین به تعداد مقاطع عرضی مورد استفاده در برنامه، کارت SD نیاز می باشد. همچنین بایستی در هر مقطع مجموع درصدها برابر یک گردد.

اطلاعات خروجی

در مدل BRI-STARS با داشتن قابلیت گرافیکی بالا تحت محیط ویندوز اطلاعات خروجی شامل دو قسمت زیر می باشد:

الف- اطلاعات خروجی شامل مقادیر پروفیل های سطح آب و محاسبات عمق های نرمال و بحرانی و سرعت و ... که با کارت PR کنترل می شوند. کارت PR از کارت های اجباری مدل می باشد.

ب- اطلاعات خروجی نمایان که در حین اجرای برنامه، کاربر تغییرات حاصل از روندیابی رسوب را رؤیت می نماید. این بخش از اطلاعات خروجی با کارت های PV، PL، PX و PW تعریف می شود. کارت های فوق از کارت های اختیاری مدل می باشند.

کارت PR

این کارت میزان سطح خروجی اطلاعات و همچنین فواصل زمانی دلخواه جهت تهیه اطلاعات خروجی را تعیین می کند.

کارت PV

در مدل BRI-STARS سه پنجره مربوط به تغییرات پروفیل بستر و سطح آب، تغییرات توپوگرافی و تغییرات لوله جریان در هر گام زمانی برای نمایش اطلاعات خروجی ذکر شده در پنجره های فوق

اختصاص داده شده است. کارت PV این امکان را به کاربر می دهد که تنها سه مقطع عرضی مورد دلخواه را در هر مرتبه از اجرای مدل در سمت راست پنجره های فوق از لحاظ تغییرات در ژئومتری مقطع، تغییرات در دانه بندی مواد بستر و هیستوگرام دبی داده شده به مدل، بررسی نماید.

کارت PL

این کارت، امکان استفاده از پلات های پروفیل های سطح آب و مقاطع عرضی را در برنامه مشخص می کند. بطوریکه با انتخاب عبارت PLOTTING IS REQUESTED در فیلد ۲ تا ۴ این کارت، استفاده از پلات های مربوطه ممکن می گردد.

کارت PX

در صورت فعال شدن عمل پلات کردن اطلاعات خروجی در کارت PL، در این کارت پلات های مقاطع عرضی رودخانه پس از اجرای مدل در گام های زمانی مورد دلخواه تعریف می شود.

کارت PW

در صورت فعال شدن عمل پلات کردن اطلاعات خروجی در کارت PL، در کارت PW پلات های پروفیل سطح آب پس از اجرای مدل در گام های زمانی مورد دلخواه تعریف می شود.

منابع

- ۱) ذونعمت کرمانی، ۱۳۹۳ "شبیه سازی انباشت رسوب در مخازن سد توسط نرم افزار GSTARS3" اولین همایش ملی آب، انسان، زمین، اصفهان
- ۲) حسن زاده، ی. ۱۳۸۹ هیدرولیک رسوب مخازن، انتشارات کمیته ملی سدهای بزرگ ایران
- ۳) حسن زاده، ۱۳۷۷ "بررسی مکانیزم رسوب گذاری در مخازن سدهای ذخیره ای" مجموعه مقالات پنجمین سمینار مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران
- ۴) عباس پور، ۱۳۹۰ "بررسی الگوی رسوبگذاری در مخزن سد با استفاده از مدل ریاضی GSTARS3 و روش تجربی کاهش سطح" چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- ۵) وزارت نیروی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۹، گزارش رسوب گذاری در سدهای بزرگ ایران
- ۶) حسن اصفهانی، ل. ۱۳۸۶، ارزیابی مدل در شبیه سازی رسوب گذاری پشت سدهای تاخیری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تبریز
- ۷) مهنی فرد، ۱۳۹۲ "کاربرد نرم افزار GSTARS3 در بررسی روند رسوب گذاری مخزن سد جیرفت" هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه زاهدان
- ۸) ولیزادگان، ۱۳۹۰ "ارزیابی روش های مختلف کنترل و مدیریت رسوب گذاری در مخازن سدها" چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- 9) Abood, M.M., Mohammed, T., Ghazali, A.H., Rodzi Mahmud, A. 2009. Review study and Assessment for sedimentation Models Applied to impounding Reservoirs, journal of Engineering and Applied sciences, vol.4, Issue.2, Page no.152-160, doi:10-3923, Jeasci.2009.152.160
- 10) Atkinson E. 1995, A Numerical Model for Predicting Sediment Exclusion at Intakes, HR Wallingford
- 11) Frenette, M and P.Y. Julien, 1996. Physical Processes Governing Reservoir Sedimentation Processes of the International Conference on Reservoir Sedimentation vol.1, and Colorado State University, Front Collins, Colorado, sept.11-15, pp:121-142.
- 12) Hassanzade, Y., A., Khankandy. 2008. Comparison of a Mathematical Sedimentation model results and Hydrographically Measured Data in Alavian Dam Reservoir. The Journal of water and Wastewater, 47-48
- 13) Krishnappan B.G. 1985, Comparison Of MOBED-2 River Flow Models, Canadian Journal of Civil Engineering, 12:464-471, 10.1139/185-054.
- 14) Mahdavi, M. 2006. The Applied Hydrology, Volume 1, 6th Edition, The Tehran University Book co. 227 pp.
- 15) Palmieri, A., Shah, F., Annandale, G.W., Dinar, A. 2003 Erosion and Sedimentation by High-Energy Density Turbidity Flows on steep Slopes.
- 16) Ranginkam, M.H., Ghomeishi, M., Mahmoudian, M. 2009. Development of a computer model for simulating long-term investments and deposits of sediment laundering flow in reservoirs. the 8th Conference of Hydraulic.
- 17) Shooshtari, M. Mand A. adib. and M.H Ranginkam, 2010 Evaluation of Variation of useful Storage of reservoir in stream dams by GSTARS3 software, African Journal of agricultural Research vol.50(1), pp.060-069, 4 January
- 18) The water regional of Mazandaran. 2008. The report of Shahidrajayee.
- 19) Tolouee, E. 2005. Design and Operation of Dams and reservoir in point of view of Deposition, The first Conference of deposition management, Ahwaz
- 20) Yang, C.T. and simoes, F.J.M. 2002. user's manual for GSTARS3, U.S. Bureau of Reclamation, Technical Service center, and Denver, Colorado, USA.
- 21) Mahmood, K., 1987 "Reservoir sedimentation impact, Extent and Mitigation" World Bank technical paper Number 71, Washington D.C.
- 22) Molinas, A., Yang C.T., 1986 Users Manual for GSTARS2.0 (Generalized Stream tube for Alluvial River Simulation, Version 2.0) USBA.

- 23) Cung ,J.A., Holly ,F.M.,A.,1980.Practice aspects of computational River Hydraulics ,Ritman,London.
- 24) Dawdy ,D., and vanoni ,V.A.1986.Modeling Alluvial channels,water Resource research ,22.NO.9:71s-81s.
- 25) Fox ,G.A.,Wilson,V.A.,Periketi,R.Kand Cullum,R.F.2006.Sediment Transport model for seepage Erosion of stream Bank Sediment.Journal of Hydraulic Engineering ,ASCE,November.
- 26) Sloof,C.J.1997."Modeling reservoir sedimentation processes for sediment Management Studies ".Proc .Conf."Hydropower into the Next Century ,Slovenia ,p.513-524.

Abstract

Rivers carry millions tones of solids and sediments from source to estuary, annually. Design and construction of any storage facilities such as reservoir and water deviation and their good function depend on recognizing quantity and quality of materials carried by water flow and reconsiling design characteristics with current situation and appropriate planning. Currently, due to dam reservoir and transfer channels being full of sediments, high costs are imposed to government and people. Constructing a dam on rivers cause sediment transfer be interrupted and completely change the situation of flow entering to the dam.

If a dam is constructed over a river containing sediment, all or parts of sediments leaving into reservoir is unavoidable. So, little by little, reservoir' early capacity is reduced and if suitable predictions and control methods are not done, it may have irreparable effects on reservoir use. Most of reservoirs are planned for multiple purposes such as municipal water supply, watering, hydropower, flood control, etc.

Each part of a reservoir is assigned to one of forementioned purposes. Reservoir' early capacity destroyed by sediment may have various effects on different parts of the reservoir and cause undesirable changes on using reservoir.

In this research, we address the process of sedimentation of Goleatan dam reservoir so as to, by accurately predicting sedimentation pattern in future years, can reduce speed of destroying dam reservoir which is the most important part of the dam, by prevention and preventive actions.

Golestan dam is placed on 12 kilometers far from northeast of Gonbad-e-Kavoos. This dam is as a homogenous soil, reservoir capacity of which is 80 millions m^3 . Unfortunately, in 2001, 18 millions m^3 was destroyed due

to sedimentation resulting from flood. In this research, golestan dam reservoir was investigated by models GSTARS3.0 and BRISTARS. Input data of Debi model are sediment debi, temperature and ashley as well as soil aggregation that were given to the model according to input way. These two models have the same variable parameters so that, by changing these parameters by trial and error, model error is minimized and, finally, model is calibrated for next phase of hydrography. In each step of calibration, coefficients were determined such that value of error function RMSE is minimized. With regard to predictions of the model, 50-year sediment volume equals 51.6 million m^3 , something about 60% of dam capacity.

Keywords: sedimentation, golestan dam 1, dam reservoir, GSTARS3.0, BRISTARS



Shahrood University of Technology

faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Water Structures Engineering

Investigation of Sedimentation in the Golestan 1 Reservoir using
GSTAR3.0 and BRISTARS Numerical Models

By Morteza Ghezelsofloo

Supervisors:

Dr. Samad Emamgholizadeh

Advisor:

Dr. Abdolreza Zahiri

July 2017