Archive of SID

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره اول، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

# بررسی انتقال رسوب و تغییرات بستر رودخانه با استفاده از مدل ریاضی Gstars3 (مطالعه موردی: رودخانه گاوه‌رود)

*آزاده بطنی[۱]، سیدحسن گلمایی[۲] و میرخالق ضیا تبار احمدی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه مازندران،
[۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه مازندران، [۳]استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه مازندران

تاریخ دریافت: ۹۲/٤/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۹

## چکیده

مطالعه رفتار مواد رسوبی و تأثیر آن بر تغییر مورفولوژی رودخانه و هیدرولیک آن دارای اهمیت فراوانی است. همچنین به‌منظور بررسی دقیق مسأله رسوب در مخازن سدها باید فرآیند انتقال رسوب در رودخانه را مورد بررسی قرار داد. از آن‌جایی‌که استفاده از روش‌های ریاضی مبتنی بر معادلات حاکم بر پدیده انتقال و توزیع رسوبات یکی از مناسب‌ترین روش‌ها می‌باشد؛ در این مقاله انتقال رسوب در بخشی از رودخانه گاوه‌رود با استفاده از مدل ریاضی Gstars3 شبیه‌سازی گردید. مدل با استفاده از مفهوم لوله جریان دارای قابلیت شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات بستر رودخانه در هر دو جهت طولی و عرضی می‌باشد. هدف از این مطالعه انتخاب مدل ریاضی مناسب برای برآورد نرخ انتقال رسوب است، به‌نحوی‌که قادر به شبیه‌سازی با دقت مناسب در رودخانه باشد. با استفاده از مدل ریاضی رسوبات سالیانه در حدود ٦۲۰ هزار مترمکعب برآورد گردید. مقایسه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی با مقادیر مشاهداتی نشان داد که تابع انتقال رسوب یانگ (۱۹۷۹) بهترین معادله برای شبیه‌سازی انتقال رسوب می‌باشد و با شرایط رودخانه تطابق بیش‌تری دارد. در نهایت حساسیت مدل نسبت به تغییر پارامترهای مؤثر بر پدیده انتقال رسوب و تأثیر آن‌ها بر حجم رسوبات و پروفیل طولی رودخانه سنجیده شد. نتایج نشان داد مدل نسبت به تغییر تابع انتقال رسوب دارای بالاترین میزان حساسیت می‌باشد.

***واژه‌های کلیدی:*** شبیه‌سازی، مدل ریاضی Gstars3، لوله جریان، تابع انتقال رسوب، حساسیت مدل

* مسئول مکاتبه: azadehbatny@gmail.com



www.SID.ir

Archive of SID



**مقدمه**

پیش‌بینی میزان رسوب در رودخانه‌ها اهمیت بالایی دارد و از دیرباز مورد توجه قرار داشته است. با وجود پیشرفت‌های فراوانی که در این زمینه صورت گرفته به‌دلیل پیچیده بودن مسأله رسوب و وابستگی آن به شرایط طبیعی نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌ها در این زمینه را با عدم قطعیت و احتمالات فراوان مواجه ساخته است. با این وجود، پیش‌بینی رسوب امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. مهندسین هیدرولیک و زمین‌شناسان طی دو قرن گذشته حرکت مواد رسوبی در رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند چرا که رفتار مواد رسوبی در هیدرولیک رودخانه و تغییر مورفولوژی آن دارای اهمیت است. طبیعت پیچیده انتقال رسوب و وابستگی آن به شرایط طبیعی، علم انتقال رسوب را به رشته‌ای تجربی و یا حداقل نیمه‌تجربی تبدیل کرده است. انتقال رسوب زمانی اتفاق می‌افتد که جریان آب قدرت انتقال ذرات تشکیل‌دهنده را دارا باشد. زمانی که ذرات بستر کانال یا رودخانه قابلیت انتقال را پیدا کنند فرسایش و یا رسوب‌گذاری رخ می‌دهد. تغییرات بستر رودخانه به عوامل مختلفی مانند شرایط هیدرولیکی (مانند سرعت جریان و عمق آب) و ترکیبات ذرات بستر (مانند اندازه و شکل ذرات تشکیل‌دهنده) بستگی دارد. مطالعات هیدرولیک رودخانه، انتقال رسوب و تغییرات آبراهه می‌تواند از طریق مدل فیزیکی و یا مدل ریاضی انجام گیرد. مدل‌های فیزیکی به‌طور عموم برای یک پروژه خاص ساخته می‌شوند در حالی‌که مدل‌های ریاضی نسبت به مدل‌های فیزیکی حالت کلی‌تر دارند. مدل‌های ریاضی به‌صورت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی وجود دارد، مدل‌های تک‌بعدی ساده‌ترند در حالی‌که مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی تغییرات هندسه مسیر را دقیق‌تر شبیه‌سازی می‌کنند.

تربن (۲۰۰٤) به بررسی کیفی سه مدل ریاضی Gstars3، SSIIM، Fluvial 12 پرداخت و در طی تحلیل خود به بررسی قابلیت‌های هر کدام از مدل‌های یاد شده پرداخت و در نهایت مدل Gstars3 را نسبت به دو مدل دیگر برتر شناخت. وی در پایان اشاره کرد که با وجود سه‌بعدی بودن مدل SSIIM کارایی آن به‌دلیل نیاز به ورود حجم گسترده‌ای از اطلاعات و پیچیده بودن تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. زارع و شمسایی (۲۰۰۷) با استفاده از مدل Gstars3 و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی روند رسوب‌گذاری در مخزن سد سفیدرود را مورد مطالعه قرار دادند در این پژوهش روند رسوب‌گذاری با استفاده از مدل شبیه‌سازی گردید محل‌ها و میزان رسوب‌گذاری شناسایی و روند شکل‌گیری دلتای رسوب پیش‌بینی شد. سیدیان و شفاعی (۲۰۰۷) در مقاله خود به بررسی وضعیت



www.SID.ir

Archive of SID



رسوب‌گذاری سد وشمگیر با استفاده از مدل Gstars3 پرداختند و با استفاده از هیدروگرافی موجود و اطلاعات دیگر و واسنجی مدل وضعیت رسوب‌گذاری را در این سد پیش‌بینی نمودند با توجه به پژوهش آن‌ها ۸۰ درصد حجم سد در سال ۱۳۹۲ از رسوبات پر می‌شود.

حسن‌زاده و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی پدیده رسوب در مخزن سد علویان با به‌کارگیری مدل Gstars3 پرداختند که محاسبات آن‌ها نشان داد که پس از طی ۵۰ سال حجم رسوبات انباشته شده در مخزن به حدود ۱۵ میلیون مترمکعب بالغ می‌شود که تقریباً معادل ۲۵ درصد ظرفیت مخزن می‌باشد. راهول (۱۹۹۵) با استفاده از یک مدل عدی که بر پایه مفاهیم ریاضی بنا شده بود به شبیه‌سازی شرایط رسوب‌گذاری و هیدرودینامیک جریان در رودخانه‌ها و کانال‌های آبرفتی پرداخت وی بیان کرد با استفاده از روش ارایه شده سرعت جریان، عمق جریان در رابطه هیدرودینامیک جریان و همچنین تغییرات بستر قابل شبیه‌سازی می‌باشد. وی بیان کرد که با استفاده از مدل ارایه شده تأثیر امواج ایجاد شده بر شرایط جریان، توپوگرافی بستر و ترکیب مواد بستر قابل استخراج است که چنین اطلاعاتی در صورت استفاده از مدل‌های ارایه شده براساس مفاهیم تفاضلات محدود قابل دستیابی نیست.

سیلینو و ایسیاد (۲۰۰۲) مدل Gstar3 را برای تعیین میزان رسوب‌گذاری و کاهش میزان رسوب در رودخانه درنس که انشعابی از رودخانه رن در کشور سوئیس می‌باشد مورد استفاده قرار دادند میزان رسوب اندازه‌گیری شده با میزان محاسبه شده توسط مدل دارای تطابق خوبی بود. اوتمن و ونگ (۲۰۰٤) مدل Gstar3 را برای شبیه‌سازی مراحل رسوب‌گذاری در رودخانه تیگریس در پایین‌دست سد ماسول در عراق مورد استفاده قرار دادند. نتایج حاصله بیانگر مطابقت خوب مدل با مقادیر واقعی رسوب بود به‌علاوه این‌که تغییرات در اندازه ذرات رسوبی در طول رودخانه را با استفاده از مدل شبیه‌سازی نمودند. یانتایو (۲۰۰۵) در مقاله خود روشی عددی برای شبیه‌سازی انتقال رسوبات درشت‌دانه در رودخانه‌ها را ارایه نمود که قادر به تحلیل مسایل رسوب و هیدرودینامیک جریان بود. وی انتقال رسوبات مواد درشت‌دانه را با استفاده از معادله پارکر (۱۹۹۰) به‌دست آورد، هدف از این پژوهش تعیین میزان رسوبات وارده به مخزن سد و شبیه‌سازی الگوی رسوب‌گذاری در مخزن قبل از بهره‌برداری با استفاده از مدل ریاضی و روش کاهش سطح بود. السی و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله‌ای به بررسی فرآیند رسوب‌گذاری در مخزن سدی با ارتفاع ۵۰ متر با استفاده از مدل سه‌بعدی پرداختند. پارامترهای هیدرودینامیک جریان شامل سرعت جریان و عمق با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده به مدل معرفی گردید آن‌ها در بررسی‌های خود اشاره کردند که رسوبات ورودی به سد تنها با توجه به



www.SID.ir

Archive of SID



رسوبات شاخه‌های فرعی مورد بررسی قرار می‌گیرد در حالی‌که رسوبات به‌دست آمده از مخـزن سـد در اثر فرسایش سواحل آن نیز دارای اهمیت است. رسوبات به‌دست آمده از این بخش را با استفاده از عکس هوایی که در سال‌های مختلف تهیه گردیده بود به‌دست آورند. هدف از این مطالعـه ارایـه یـک روش برای ادغام فرسایش ساحلی در مطالعات رسوب بود که نتایج به‌دست آمده از پژوهش می‌توانـد در هر مخزنی استفاده شود.

با توجه به اهمیت پدیده رسوب در این مقاله از مدل ریاضی Gstars3 که یک مدل دوبعدی است برای بررسی انتقال رسوب و حجم رسوبات خارج شده از بازه مورد مطالعه و مقایسه نتایج حاصله بـا مقادیر حجم رسوبات مشاهداتی استفاده شد. مراحل و اهداف پژوهش به‌شرح ذیل می‌باشد:

- انتخاب مدل ریاضی مناسب برای برآورد رسوب به‌نحوی‌که قادر به شبیه‌سازی با دقت مناسب باشد.
- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای مدل کردن محدوده مورد نظر.
- اجرای مدل در محدوده مورد مطالعه و مقایسه نتایج با مقادیر مشاهداتی.
- تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به پارامترهای مؤثر بر انتقال رسوب رودخانه و تـأثیر آن‌هـا بـر حجم رسوبات و پروفیل طولی رودخانه.

## مواد و روش‌ها

**مدل ریاضی Gstars3**: سری برنامه‌های کامپیوتری Gstars3 برای محاسبات رسوب در رودخانه‌های آبرفتی توسط مؤسسه USBR گسترش یافته است. اولین نسخه این برنامـه توسـط مولیـانس و یانـگ (۱۹۸۵) ارایه شد که نسخه ۳ آن را یانگ و سیموس (۲۰۰۲) توسط مؤسـسه USBR توسـعه دادنـد. برخی قابلیت‌های این مدل عبارت است از:

- محاسبه پروفیل سطح آب در رژیم‌های جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی.
- شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات هیدرولیکی و رسوبی در هر دو جهت طولی و عرضی. مدل براساس مفهوم لوله جریان کار می‌کند اگر تنها یک لوله جریان انتخاب شود مدل یک‌بعدی عمل نموده و در صورت استفاده از چند لوله جریان تغییرات بستر در هر دو جهت قائم و جانبی می‌تواند شبیه‌سازی گردد.
- شبیه‌سازی تغییرات مشخصات هندسی کانال در عرض و عمق براساس مفهوم تئوری حداقل انرژی کل جریان.
- مدل قادر به محاسبه رسوب در حالت شبه دوبعدی براساس مفهوم لوله جریان می‌باشد.



www.SID.ir

Archive of SID



**لوله جریان و خطوط جریان:** مدل کامپیوتری Gstars3 برای محاسبه رسوبات از مفهوم لوله جریان استفاده می‌نماید. طبق تعریف خط جریان عبارت است از: یک خط فرضی در یک لحظه مشخص که بر بردارهای سرعت مماس باشد. لوله جریان را می‌توان مجموعه‌ای از خطوط جریان دانست که بر روی منحنی بسته‌ای متکی باشند و تشکیل فضایی شبیه به یک لوله را بدهند و از آن‌جایی‌که جدار این لوله از مجموعه خطوط جریان تشکیل شده است و مؤلفه عمودی سرعت در روی این خطوط صفر است، هیچ جریانی از جدار لوله جریان وارد و خارج نمی‌گردد. در مدل Gstars3 ابتدا پروفیل سطح آب توسط مدل محاسبه می‌گردد و سطح مقطع به مقاطع کوچکی تقسیم می‌گردد که این مقاطع کوچک همانند لوله‌های جریان عمل می‌کنند و حدودی که مقاطع را از هم مجزا می‌کند همانند خطوط جریان عمل می‌کند. نرم‌افزار Gstars3 انتقال رسوبات را براساس اندازه ذرات انجام می‌دهد و نتیجه آن این است که ذرات با اندازه‌های مختلف با نرخ‌های متفاوتی در طول آبراهه جابه‌جا می‌گردند. ممکن است ذراتی در طول مسیر دچار فرسایش و حرکت گردند در حالی‌که ذرات دیگر تحت همان شرایط در حالت سکون باقی‌مانده و تولید رسوب نمایند و با توجه به فرآیند پیچیده رسوب و فرسایش احتمال رخداد حالت‌های متفاوتی وجود دارد. تغییرات عرض آبراهه با استفاده از مفهوم تئوری حداقل انرژی کل جریان که توسط یانگ (۱۹۸۵) ارایه شد قابل محاسبه می‌باشد. مفهوم تئوری حداقل انرژی کل جریان به‌شرح زیر است:

در تمام آبراهه‌های آبرفتی شرایط لازم و کافی برای دست‌یابی به حالت تعادل هنگامی حاصل می‌گردد که نیروی جریان در واحد طول آبراهه، $\tau Q_s$، با توجه به محدودیت‌های موجود در حداقل مقدار خود قرار داشته باشد. بنابراین در یک آبراهه آبرفتی با دبی $Q$ و بار رسوب $Q_s$. تمایل به آن دارند که عرض، عمق و شیب آن به‌نحوی باشد که $\tau Q_s$ حداقل شود.

**معادله پیوستگی رسوب:** اساس محاسبات انتقال رسوب در Gstars3 براساس معادله رسوب در حالت یک‌بعدی برای جریان غیرماندگار به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + \eta \frac{\partial Ad}{\partial t} - q_{Lat} = ۰ \qquad (۱)$$



www.SID.ir

Archive of SID



که در آن، $\eta$: حجم رسوبات در واحد حجم مصالح بستر رودخانه، $Ad$: حجم رسوبات بستر در واحد طول رودخانه، $Q_s$: دبی حجمی رسوبات و $q_{Lat}$: جریان رسوبات ورودی جانبی. این رابطه یک معادله دیفرانسیلی می‌باشد که تنها از طریق عددی می‌توان آن را حل نمود بنابراین باید معادله به‌نحوی قابل تحلیل توسط کامپیوتر درآید. مدل ریاضی برای حل آن از روش تفاضلات محدود بهره می‌گیرد و در خلال حل معادله هر یک از محاسبات توسط مدل به‌طور جداگانه و مرحله به مرحله صورت می‌پذیرد یعنی ابتدا محاسبات پروفیل آب و سپس محاسبات رسوب تکمیل شده و در طول محاسبات شرایط هیدرولیکی ثابت می‌ماند. مدل Gstars3 معادله دیفرانسیلی ۱ طی مراحل زیر تبدیل به معادله قابل حل عددی می‌نماید:

$\Delta Ad$: به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\Delta Ad = (aT_{i-1} + bT_i + cT_i + 1)\Delta Z_i \qquad (۲)$$

که در آن، $T$: سطح آزاد، $\Delta Z_i$: تغییرات در تراز بستر (که مقدار مثبت بیانگر رسوب‌گذاری و مقدار منفی نشان‌دهنده فرسایش است). $i$: شاخص سطح مقطع. مقادیر $a$، $b$ و $c$ ثابت‌هایی که باید مشخص گردند.

$$a + b + c = 1$$

در مدل Gstars3 مقادیر $a=c=0/25$ و $b=0/5$ می‌باشد. با استفاده از رابطه ۲ ترم‌های مشتق جزیی تقریب می‌یابند.

مقدار $\frac{\partial Ad}{\partial t}$ به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial Ad}{\partial t} \approx \frac{(aT_i - bT_i + cT_i + 1)\Delta Z_i}{\Delta t} \qquad (۳)$$

و مقدار $\frac{\partial Q_s}{\partial x}$ برای حل عددی توسط مدل به‌صورت زیر تبدیل می‌گردد:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} \approx \frac{Q_{s,i} - Q_{s,i-1}}{\frac{1}{2}(\Delta x_i + \Delta x_{i-1})} \qquad (٤)$$



www.SID.ir

Archive of SID



که در آن، $\Delta x_i$ : فاصله بین دو مقطع را نشان می‌دهد، $Q_{s,i}$ : بیانگر میزان انتقال رسوب در مقطع $i$ ام. معادله رسوب ۱ برای محاسبه تغییرات ارتفاع $\Delta Z_i$ به‌کار می‌رود. با وارد کردن رابطه‌های ۳ و ٤ به رابطه ۱ خواهیم داشت:

$$\Delta Z_{i,k} = \frac{\Delta t}{\eta_i} \cdot \frac{q_{lat}(\Delta x_i + \Delta x_{i-1}) + 2(Q_{s,i-1} - Q_{si,k})}{a(T_{i-1} + bT_i + cT_{i+1})(\Delta x_i + \Delta x_{i-1})} \qquad (5)$$

که در آن، $k$: اندازه ذره موردنظر؛ $\eta_i$ : حجم رسوبات در یک لایه به‌خصوص در مقطع $i$ ام و $Q_{s,i,k}$: دبی حجمی رسوبات برای ذرات کلاس $k$ ام در مقطع $i$ ام. مجموع کل تغییرات بستر در طول یک لوله جریان در مقطع $i$ ام به‌صورت زیر درخواهد آمد:

$$\Delta Z_i = \sum_{k=1}^{N} \Delta Z_{i,k} \qquad (6)$$

که در آن، $N$: کل کلاس‌های ذرات که در مقطع $i$ ام ظاهر می‌گردد. تغییرات بستر به‌دست آمده از این رابطه به‌وسیله مدل در گام بعدی زمان استفاده می‌شود.

**منطقه مورد مطالعه:** رودخانه سیروان طولانی‌ترین رودخانه استان کردستان است که سرچشمه‌های اصلی آن رودهای گاوه‌رود و رود قشلاق می‌باشد. رودخانه گاوه‌رود در جنوب‌غربی شهر سنندج در امتداد جاده کامیاران- سنندج جریان دارد. منطقه مورد مطالعه رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری گاوه‌رود تا محل احداث سد در دست ساخت ژاوه محدوده‌ای در حدود ۲۰ کیلومترمی‌باشد. با ملاحظه خطوط هم‌باران در حوضه رود سیروان بارندگی از سراب به پایاب افزایش می‌یابد. در حوضه گاوه‌رود بارندگی بین ۵۰۰-۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. ارتفاع حداقل در محدوده مورد مطالعه ۱۲٤۵ متر، ارتفاع متوسط حوضه برابر ۱۹۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد و شیب متوسط رودخانه اصلی ۱/۲ و شیب حوضه آبریز برابر ۱٦ درصد است.

**ایستگاه هیدرومتری گاوه‌رود- شیلان:** این ایستگاه در تلاقی رودخانه گاوه‌رود با جاده کامیاران به سنندج و در ۳۰ کیلومتری جنوب این شهر در یک بستر شنی تثبیت شده تأسیس گردیده است. دقت آماری آن با توجه به موقعیت و تجهیزات ایستگاه خوب است.



www.SID.ir

Archive of SID

**شکل ۱- پلان رودخانه.**

**داده‌های ورودی مدل ریاضی:** برای اجرای شبیه‌سازی ابتدا به آماده‌سازی فایل ورودی مدل پرداخته شد، در این بخش داده‌های مورد نیاز در ۳ بخش هندسی داده‌های هندسی، داده‌های هیدرولیکی و اطلاعات رسوبی به مدل معرفی گردید. آمار موجود جهت شبیه‌سازی مربوط به یک دوره ٤۲ ساله از سال ۱۳۳۷ تا ۱۳۷۸ می‌باشد.

**اطلاعات هندسی:** با تهیه نقشه توپوگرافی سال ۱۳۸۰ با مقیاس ۱:۵۰۰۰ ژئومتری رودخانه و داده‌های مربوط به هندسه مقاطع در محیط Auto Cad آماده و با استفاده از نقشه توپوگرافی مقاطع عرضی به سه بخش ساحل راست، ساحل چپ و کانال اصلی تقسیم شد. انتخاب مقاطع در طول رودخانه به‌نحوی انجام گرفت که بیش‌ترین انطباق را با ژئومتری کلی رودخانه دارا باشد و به‌صورت مجموعه‌ای از نقاط که عمود بر مسیر جریان و از حاشیه سمت چپ رودخانه به حاشیه دیگر آن گسترش می‌یابد به مدل معرفی و در مجموع ٢٤ مقطع انتخاب گردید. هر مقطع شامل تعدادی نقاط و هر نقطه دارای مختصات ارتفاع و عرض است که مختص عرضی هر نقطه به‌صورت فاصله‌ای از یک نقطه مرجع تعیین گردید. شکل ۱ پلان رودخانه را نشان می‌دهد.

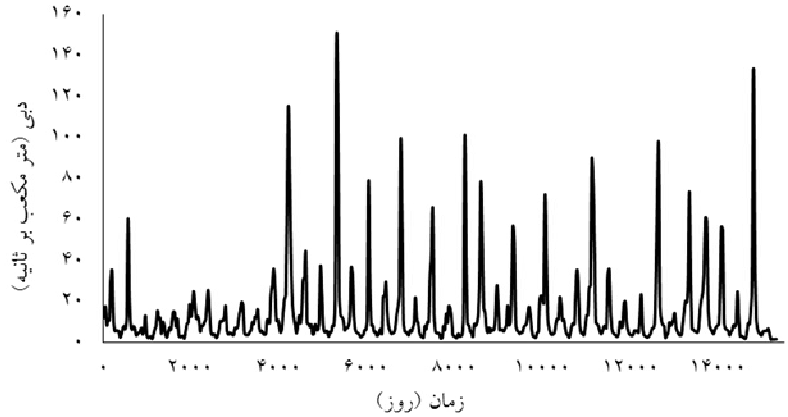
**اطلاعات هیدرولیکی:** از هیدروگراف روزانه دبی جریان در ایستگاه بالادست و نسبت دبی- اشل در ایستگاه پایین‌دست به‌عنوان اطلاعات هیدرولیکی مورد نیاز مدل استفاده شد. با توجه به شکل ۲ میانگین داده‌های ورودی مربوط به دبی آب معادل ۱۳/۸٦ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد. مقدار ماکزیمم دبی آب در طول دوره آبی ٤۲ ساله ۱٤۸/۲٤ و مقدار مینیمم آن ۱/٤۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. با توجه به این‌که دمای آب در میزان رسوب اثرگذار است و یکی از داده‌های لازم برای تحلیل رسوب می‌باشد این مقدار با توجه به داده‌های موجود به‌طور میانگین ۱۳/۷ در نظر گرفته شد.



www.SID.ir

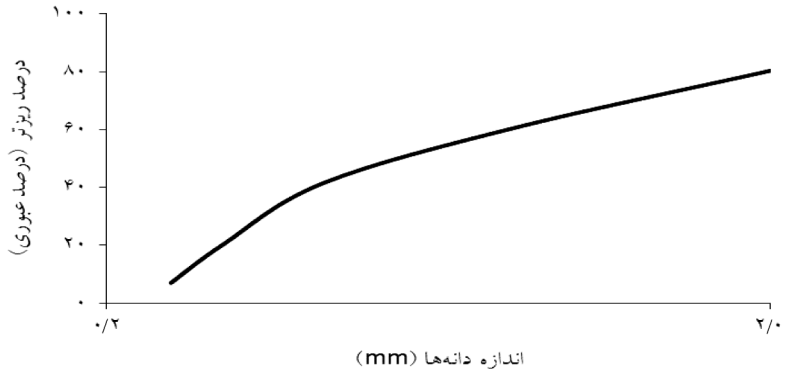
Archive of SID






**شکل ۲- هیدروگراف دبی جریان روزانه.**

**اطلاعات رسوبی:** اطلاعات رسوبی شامل دبی رسوبات معلق به‌صورت تابعی از دبی جریان با توجه به آمار موجود به‌صورت $Q_s = ۱۱/۸۸ Q_w^{۱/۶۸۹}$ می‌باشد که به مدل معرفی گردید. بخش دوم اطلاعات رسوبی شامل اطلاعات دانه‌بندی مواد و مصالح بستر رودخانه می‌باشد، اطلاعات منحنی دانه‌بندی مصالح بستر نقش مهمی در شبیه‌سازی دارد. طبق آمار موجود دانه‌بندی معرفی شده به مدل، میانگینی از دانه‌بندی‌های اندازه‌گیری شده طی سال‌های آماری بود که با توجه به دانه‌بندی ذرات خاک در گروه درشت‌دانه قرار می‌گیرد و مصالح بستر به‌طور عمده متشکل از شن و ماسه است (شکل ۳).




**شکل ۳- دانه‌بندی مصالح بستر.**



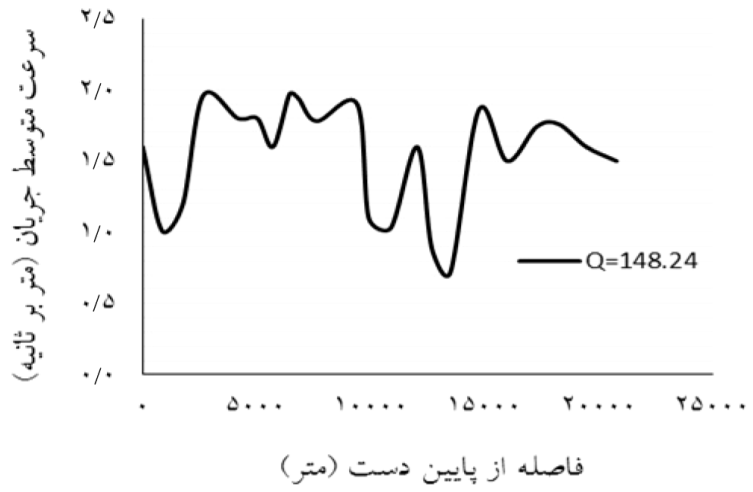
www.SID.ir

Archive of SID



## نتایج و بحث

**کالیبراسیون هیدرولیک جریان (تعیین ضریب مانینگ):** با توجه به این‌که هدف از این پژوهش بررسی وضعیت انتقال رسوب در محدوده مورد مطالعه می‌باشد بنابراین ابتدا پارامترهای هیدرولیکی مدل تعیین گردید. شکل ٤ تغییرات سرعت متوسط جریان را نسبت به پروفیل طولی خط‌القعر رودخانه را نشان می‌دهد. در این شکل با توجه به دبی ١٤٨/٢٤ مترمکعب بر ثانیه سرعت متوسط جریان توسط مدل محاسبه گردید. برای بررسی تغییرات تنش برشی محاسبه شده توسط مدل در دبی ١٤٨/٢٤ مترمکعب بر ثانیه، رودخانه به سه بازه تقسیم شد بازه اول از ابتدای رودخانه تا فاصله ١٤/٧٢ کیلومتری، بازه دوم فاصله ١٤/٧٢-٩/٩ کیلومتری و بازه سوم فاصله ٩/٩ کیلومتری تا انتهای محدوده مورد مطالعه. تنش برشی محاسبه شده توسط مدل نشان می‌دهد که متوسط تنش برشی در بازه اول ٢٨/٧٣، در بازه دوم ١٩/٤٣ و در بازه انتهایی ٥٦/٦١ نیوتن بر مترمربع می‌باشد. در بازه میانی به‌دلیل کاهش شیب، تنش برشی کاهش یافته و متناسب با آن کاهش ظرفیت حمل رسوب رخ می‌دهد.




**شکل ٤- تغییرات طولی سرعت متوسط جریان.**



www.SID.ir

Archive of SID



از آن‌جایی که در مدل ریاضی ابتدا محاسبات پروفیل سطح آب صورت می‌گیرد و محاسبات هیدرولیک جریان مبنای محاسبات رسوب قرار می‌گیرد لازم است کالیبراسیون مدل در این بخش صورت گیرد. به همین جهت ضریب مانینگ در ابتدا تعیین گردید در بخش محاسبات هیدرولیک جریان توسط مدل با استفاده از نسبت دبی- اشل به‌ازای دبی ورودی تراز سطح آب توسط مدل محاسبه گردید که با ضریب مانینگ برابر ۰/۰۴۲ مقادیر محاسبه شده مدل با تراز مشاهداتی دارای تطابق بود. عوامل بسیاری بر روی ضریب زبری اثرگذار هستند از جمله این عوامل می‌توان به زبری سطح بستر و پوشش گیاهی اشاره نمود. زمانی که بستر کانال از گیاهان متراکم پوشیده شده باشد این عامل در سرعت کم آب می‌تواند تأثیرگذار باشد اما در سرعت‌های بالا تأثیر آن به مراتب کم‌تر خواهد بود. در رودخانه‌های رسوبی n را به‌صورت تابعی از قطر ذرات تشکیل‌دهنده جدار رودخانه یا کانال بیان می‌کنند. در رودخانه‌ها و کانال‌های رسوبی که بستر از مواد غیرچسبنده (ماسه، شن، ریگ) تشکیل شده است، فرمول استریکلر مقدار n را به‌صورت فوق برآورد می‌نماید که فرمول آن به‌صورت زیر است:

$$n = \frac{d_{50}^{1/6}}{21/1} \qquad (۷)$$

که در آن، $d_{50}$: ۵۰ درصد وزنی ذرات قطری مساوی یا بیش‌تر از $d_{50}$ دارند. در رودخانه مورد مطالعه با استفاده از فرمول استریکلر و با توجه به جدول چاو (chow) مقدار ضریب مانینگ برابر ۰/۰۴۵ اصلاح و تدقیق و در محاسبات رسوب این مقدار در مدل در نظر گرفته شد.

**هیدرولیک رسوب:** علاوه‌بر پارامترهای اساسی که در قسمت داده‌های ورودی به آن‌ها اشاره شد در محاسبه حجم رسوبات و پروفیل رودخانه پارامترهای معادله حمل رسوب، گام زمانی محاسبات رسوب و تعداد لوله‌های جریان تأثیرگذار هستند که با اجرای مدل در حالت‌های مختلف مقدار مناسب برای هر کدام از پارامترها به‌دست آمد.

**مقایسه نتایج مدل با مقادیر مشاهداتی بر مبنای حجم رسوبات:** هدف از مدل‌سازی در این مطالعه محاسبه مقدار رسوبات خارج شده از بازه مورد مطالعه می‌باشد. به‌دلیل عدم وجود نقشه توپوگرافی در دو بازه مختلف کالیبراسیون بر مبنای حجم رسوبات انتقال‌یافته صورت گرفت و با استفاده از اطلاعات و داده‌های آماری موجود خروجی مدل بر مبنای حجم رسوبات کالیبره گردید. تغییرات هر مقطع در



www.SID.ir

Archive of SID



هر گام زمانی و بار رسوبات عبوری از هر مقطع محاسبه و نتیجه به‌دست آمده از اجـرای مـدل بـرای آخرین گام زمانی (در این مطالعه ٤۲ سال) به‌دست آمد. با توجه به آمار موجود رسوب کـل رودخانـه در طی ٤۲ سال آماری میزان رسوبات انتقال‌یافته در بـازه برابـر ۲۷/٤۸ میلیـون مترمکعـب مـی‌باشـد. مقایسه آمار موجود با خروجی مدل و به‌کارگیری معادلات انتقال رسوب صورت گرفت کـه نتـایج در جدول ۱ و شکل ۵ آمده است. با توجه به شکل ۵ مشخص می‌شود که بهترین معادله برای شبیه‌سازی انتقال رسوب در بازه مورد نظر فرمول یانگ (۱۹۷۹) و دارای کم‌ترین خطا در مقایسه با سایر معادلات انتقال رسوب می‌باشد. یانگ اولین بار در سال ۱۹۷۳ معادله‌ای را برای محاسبه غلظت وزنی بـار کـل رسوبات ماسه‌ای ارایه داد. وی در سال ۱۹۷۹ رابطه اخیر را برای حالتی که غلظت وزنی مواد رسـوبی در آب بیش‌تر از ppm ۱۰۰ است (که در بیش‌تر رودخانه‌ها نیز همین شرایط رخ می‌دهـد) اصـلاح و به‌صورت زیر ارایه نمود:

$$\log C_{ts} = ۵/۱۶۵ - ۰/۱۵۳ \times \log\frac{\omega \times d}{\upsilon} - ۰/۲۹۷ \times \log\frac{u*}{\omega} + (۱/۷۸۰ - ۰/۳۶۰ \times \log\frac{\omega \times d}{\upsilon} - ۰/٤۸۰ \times \log\frac{u*}{\omega}) \times \log\left(\frac{V \times S}{\omega}\right) \quad (۸)$$

در سال ۱۹۸٤ نیز رابطه زیر توسط این محقق برای بسترهای شنی ارایه شد:

$$\log C_{tg} = ٦/٦۸۱ - ۰/٦۳۳ \times \log\frac{\omega \times d}{\upsilon} - ٤/۸۱٦ \times \log\frac{u*}{\omega} + (۲/۷۸٤ - ۰/۳۰۵ \times \log\frac{\omega \times d}{\upsilon} - ۰/۲۸۲ \times \log\frac{u*}{\omega}) \times \log\left(\frac{V \times S}{\omega} - \frac{V_{cr} \times S}{\omega}\right) \quad (۹)$$

که در آن‌ها، $\omega$: سرعت ته‌نشینی دانه‌های رسوب، $d$: قطر متوسط توده رسوب، $\upsilon$: لزجت سینماتیکی آب، $u*$: سرعت برشی دانه‌ها، $V$: سرعت جریان آب، سرعت بحرانی، $S$: شـیب مـسیر آبراهـه، $C_{ts}$ و $C_{tg}$ به‌ترتیب غلظت وزنی مواد رسـوبی ماسـه‌ای و مـواد رسـوبی متـشکل از دانـه‌هـای شـن در آب می‌باشند.

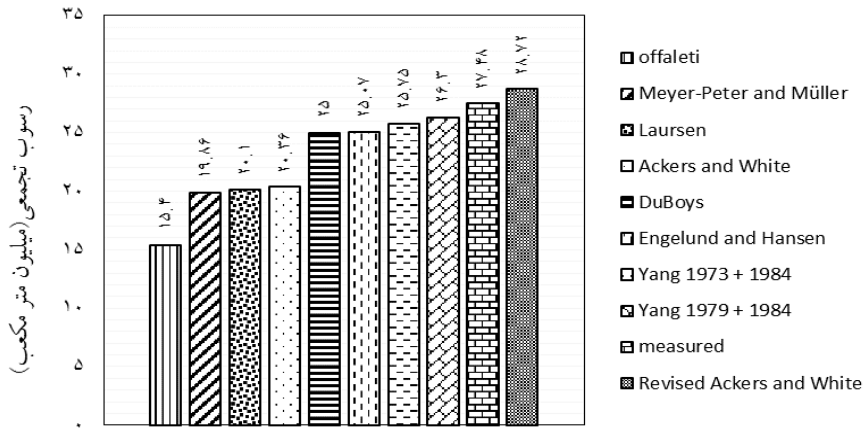
برای بررسی اثر تغییرات ناشی از تغییر معادله انتقال رسوبات بر نتایج بـه‌دسـت آمـده از مـدل در برآورد حجم رسوبات انتقالی سایر پارامترهای ورودی مدل ثابت در نظر گرفته شد که نتایج بـه‌دسـت آمده از این تغییرات در شکل ۵ آمده است.



www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۵- مقادیر حجم برآوردی رسوبات با استفاده از توابع مختلف مدل.**

**جدول ۱- نتایج حاصله از توابع انتقال رسوب توسط مدل ریاضی.**

| معادله انتقال رسوب | مقدار حجم برآورد شده توسط مدل (میلیون متر مکعب) | میزان اختلاف با مقدار حجم رسوبات ورودی (خطای مدل (درصد)) | تخمین مدل (درصد) |
|---|---|---|---|
| یانگ (۱۹۷۹+۱۹۸٤) | ۲٦/۳ | ٤/۲۹ | ۹۵/۷ |
| ایکرز وایت اصلاح‌شده | ۲۸/۷۲ | ٤/۵۱ | ۱۰٤/۵۱ |
| یانگ (۱۹۷۳+۱۹۸٤) | ۲۵/۷۵ | ٦/۲۹ | ۹۳/۷ |
| انگلاند و هانسون | ۲۵/۰۷ | ۸/۷۷ | ۹۱/۲۲ |
| دوبوی | ۲۵ | ۹/۰۲ | ۹۰/۹۷ |
| ایکرز و وایت | ۲۰/۳٦ | ۲۵/۰۹ | ۷٤/۰۹ |
| لارسن | ۲۰/۱ | ۲٦/۸۵ | ۷۳/۱٤ |
| میر- پیتر مولر | ۱۹/۸٦ | ۲۷/۷۲ | ۷۲/۲۷ |
| توفالتی | ۱۵/٤ | ٤۳/۹۵ | ۵٦/۰٤ |

**تعداد لوله‌های جریان:** این متغیر یکی از اصلی‌ترین قسمت‌های ورودی مدل‌های شبه‌دوبعدی به‌شمار می‌رود و در مدل حداکثر تا ۵ لوله جریان قابلیت تعریف دارد در نتیجه یکی از متغیرهایی که باید در کسب نتیجه بهتر از آن استفاده گردد این متغیر است. در نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی مشخص گردید استفاده بیش از یک لوله جریان مدل را در حالت شبه‌دوبعدی قرار داده و نتایج خروجی

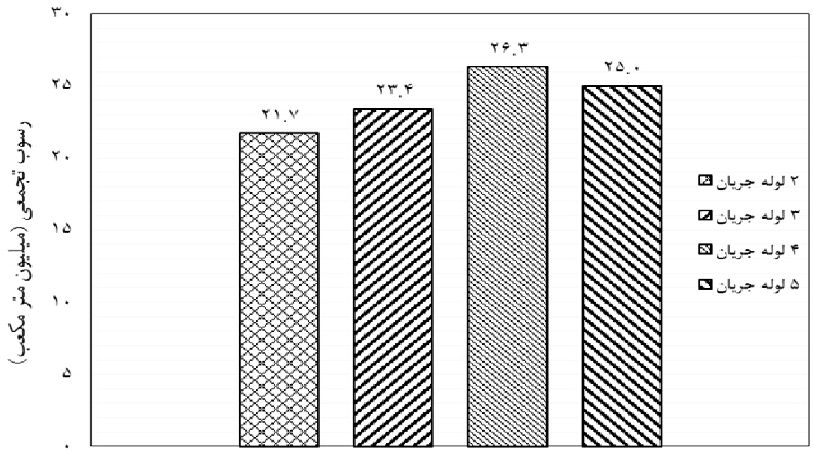


www.SID.ir

Archive of SID



منطقی‌تر خواهد بود بنابراین تعداد لوله‌های جریان در این شبیه‌سازی پس از بررسی ٤ لوله در نظر گرفته شد. میزان حجم رسوبات با استفاده از لوله‌های جریان در شکل ٦ نشان داده شده است.




**شکل ٦- تأثیر لوله‌های جریان بر حجم رسوبات.**

**گام‌های زمانی:** در نرم‌افزار Gstars3 باید برای گام زمانی دو مقدار تعیین شود این مقادیر برای آب و رسوب تعریف می‌گردد. در این مطالعه مقدار گام زمانی برای محاسبات جریان، یک روز در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که ورودی‌های گام زمانی به‌صورت روز، ساعت و دقیقه به مدل معرفی می‌شود و از طرفی به‌دلیل این‌که نقاط هیدروگراف آب ورودی ضریبی از روز بودند فاصله زمانی روزانه در نظر گرفته شد که خللی در محاسبات ایجاد نمی‌کرد اما در بخش رسوب مقدار گام زمانی تغییر داده شد تا اثر آن روی خروجی مشخص گردد. نتایج به‌دست آمده از اجرای برنامه نشان داد تغییر در این مقدار تأثیر مهمی در محاسبه حجم رسوبات دارد، گام‌های زمانی برای محاسبه رسوبات باید تا حدی کوتاه باشد که تغییرات در محاسبه رسوب نزدیک به صفر گردد.

**تحلیل حساسیت مدل Gstars3 نسبت به تابع انتقال رسوب، تغییر ضریب مانینگ و دانه‌بندی بستر:** تحلیل حساسیت عبارت است از تأثیر متغیرهای کنترل‌کننده بر نتایج مدل. به‌منظور مشخص شدن اهمیت نسبی متغیرها و ضرایب و نمادهای تجربی در نتایج مدل. در این قسمت هدف از تحلیل حساسیت بررسی میزان حساسیت مدل نسبت به تغییر پارامترهای مهم و تأثیر آن‌ها روی حجم رسوبات و پروفیل طولی رودخانه است.



www.SID.ir

Archive of SID



رابطه تحلیل حساسیت را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

$$x = \frac{\Delta\bar{x}}{\Delta x_{\cdot}} \qquad (۱۰)$$

که در آن، $\Delta\bar{x}$: میانگین تغییرات مقادیر به‌دست آمده از مدل نسبت به مقدار مبنا و $\Delta x_{\cdot}$: میانگین مقادیر مبنا.

برای بررسی اثر تغییر پارامترها بر روی پروفیل طولی رودخانه از دو کمیت زیر استفاده شده است.

$$\overline{\eta_{۱}} = \frac{۱}{n}\sum_{i=۱}^{n}\frac{x_c - x_{\cdot}}{x_{\cdot}} \qquad (۱۱)$$

$$\overline{\eta_{۲}} = \frac{۱}{n}\sum_{i=۱}^{n}\left|\eta_{۱} - \overline{\eta_{۱}}\right| \qquad (۱۲)$$

که در آن، $\overline{\eta_{۱}}$: متوسط اختلاف بین مقادیر به‌دست آمده از مدل با مقادیر مبنا، $\overline{\eta_{۲}}$: پراکندگی داده‌ها نسبت به متوسط مقدار اختلاف، $X_{\cdot}$: مقدار مبنا، اگر قدرمطلق $\overline{\eta_{۱}}$ کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، مقادیر به‌دست آمده دارای خطای قابل‌قبولی است.

در این قسمت پارامترها شامل تابع انتقال رسوب، ضریب زبری مانینگ و دانه‌بندی بستر با توجه به اهمیت ویژه و تأثیر زیاد آن‌ها در خروجی مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

**الف) تابع انتقال رسوب:** برای بررسی حساسیت مدل، تغییرات حاصله در هر مقطع از رودخانه با استفاده از توابع انتقال رسوب نسبت به تابع انتقال رسوب یانگ حساسیت‌سنجی شد. جدول ۲ نتایج حاصله از تحلیل حساسیت نسبت به تغییر تابع انتقال رسوب را نشان می‌دهد.

**ب) ضریب مانینگ:** ضریب زیری بر روی هیدرولیک جریان اثر می‌گذارد و از پارامترهای مهم در محاسبات و شبیه‌سازی توسط مدل محسوب می‌گردد، تغییر در مقدار آن بر حجم رسوبات و پروفیل طولی مؤثر می‌باشد بنابراین مقدار آن با توجه به شرایط رودخانه تغییر داده شد تا تأثیر آن بر انتقال رسوبات در بازه مورد نظر مشخص گردد. نتایج نشان داد با افزایش مقدار این ضریب در مقاطع میانی رودخانه افزایش میزان رسوب‌گذاری به‌دلیل کاهش سرعت جریان رخ می‌دهد. به‌عبارتی افزایش ضریب مانینگ منجر به ته‌نشینی رسوبات در قسمت‌های پر پیچ و خم مسیر رودخانه می‌شود. تأثیر این مقدار بر مقاطع ابتدایی اندک و در مقاطع میانی نیز با افزایش ضریب مانینگ میزان رسوب‌گذاری



www.SID.ir

Archive of SID



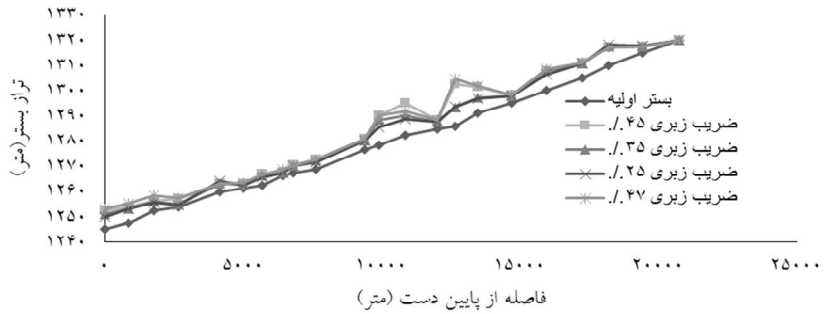
در رودخانه مورد مطالعه افزایش می‌یابد. شکل ۷ این تغییرات را نشان می‌دهد. جدول ۳ حساسیت مدل بر اثر تغییر پارامتر ضریب زبری نسبت به مقدار مبنا (۰/۰٤٥) را نشان می‌دهد، در صورتی که دامنه تغییرات کم‌تر از ۰/۰۱ باشد، تغییری در حجم رسوبات و پروفیل طولی وجود ندارد و مقادیر به‌دست آمده از مدل دارای خطای قابل‌قبولی خواهد بود.

**جدول ۲- نتایج به‌دست آمده از حساسیت‌سنجی نسبت به تغییر تابع انتقال رسوب.**

| تابع انتقال رسوب | x (درصد) | $\overline{\eta_1}$ | $\overline{\eta_2}$ |
|---|---|---|---|
| ایکرز وایت اصلاح‌شده | ۱/٤ | ۰/۱۰۱ | ۰/۲۲ |
| یانگ (۱۹۸٤+۱۹۷۳) | ۰/۷ | ۰/۰۱۸ | ۰/۱۲ |
| انگلاند و هانسون | ۲/٤ | ۰/۳٤ | ۰/۳۹ |
| دوبوی | ۱/۹۸ | ۰/۳۳ | ۰/۳۸ |
| ایکرز و وایت | ۲/٥ | ۰/۳٤ | ۰/۳۸ |
| لارسن | ۲/۸ | ۰/۳٦ | ۰/۳۹ |
| میر- پیتر مولر | ۲/۹ | ۰/٤۲ | ۰/٥۱ |
| توفالتی | ۲/۹٤ | ۰/٤٤ | ۰/٥۳ |

**جدول ۳- نتایج به‌دست آمده از حساسیت‌سنجی نسبت به تغییر ضریب مانینگ.**

| n | x (درصد) | $\overline{\eta_1}$ | $\overline{\eta_2}$ |
|---|---|---|---|
| ۰/۰۲٥ | ۰/۹ | ۰/۱۷ | ۰/٤٤ |
| ۰/۰۳٥ | ۰/۱ | ۰/۱۱ | ۰/۳۲ |
| ۰/۰٤۷ | ۰/۰۳ | ۰/۰۹۸ | ۰/۱۳ |




**شکل ۷- مقایسه پروفیل بستر رودخانه با مقادیر مختلف ضریب مانینگ.**



www.SID.ir

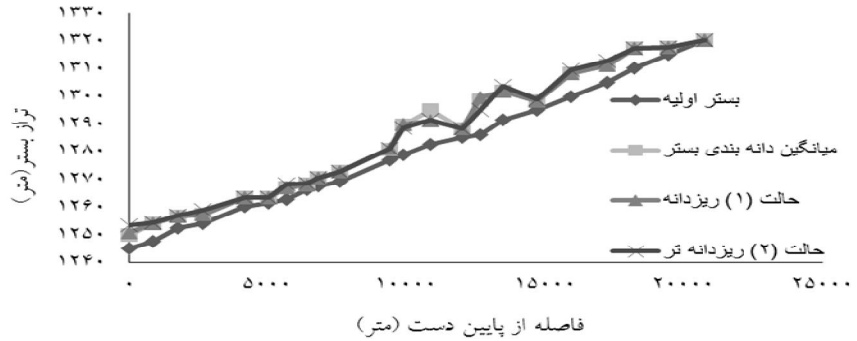
Archive of SID



**ج) دانه‌بندی بستر:** یکی از متغیرهایی که برای سنجش حساسیت مدل تغییر داده شد تا تأثیر آن روی خروجی مشخص گردد دانه‌بندی بستر بود، با توجه به این‌که متوسط دانه‌بندی بستر که در ورودی مدل به‌کار رفته بیانگر درشت‌دانه بودن مواد بستر می‌باشد بنابراین با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای ورودی مدل، دانه‌بندی بستر به‌نحوی تغییر داده شد که بیانگر ریزدانه‌تر بودن مواد بستر باشد. مدل برای دو حالت دانه‌بندی که نسبت به متوسط دانه‌بندی بستر رودخانه ریزدانه‌تر بود، اجرا شد که نتایج به‌دست آمده از تغییرات پروفیل در شکل ۸ و تحلیل حساسیت مدل به‌طور کمی در جدول ٤ آمده است، نتایج نشان می‌دهد ظرفیت انتقال رسوب با اندازه دانه‌های تشکیل‌دهنده بستر نسبت عکس دارد و دانه‌های درشت‌تر دارای ظرفیت انتقال کم‌تر نسبت به دانه‌های کوچک‌تر هستند. در فاصله ۱۳/٤۷–۱۲/٦٥ کیلومتری و ۱۰/۸٦–۹/۹ کیلومتری از پایین‌دست به‌دلیل وضعیت مئاندری رودخانه در این ناحیه و افزایش سطح مقطع جریان و در نتیجه کاهش سرعت جریان مقدار رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد. با توجه به افزایش اندازه ذرات و درشت‌دانه شدن دانه‌بندی مصالح بستر مقدار ته‌نشینی رسوبات افزایش می‌یابد. شکل ۸ این تغییرات را نشان می‌دهد. به‌طورکلی حجم رسوبات خارج شده از بازه با درشت‌دانه‌تر شدن ذرات کاهش می‌یابد.

**جدول ٤- نتایج به‌دست آمده از حساسیت‌سنجی نسبت به تغییر دانه‌بندی مصالح بستر.**

| دانه‌بندی | x (درصد) | $\overline{\eta_1}$ | $\overline{\eta_2}$ |
|---|---|---|---|
| حالت (۱) (ریزدانه) | ۰/۰۱ | ۰/۰۰۸ | ۰/۰۲۸ |
| حالت (۲) (ریزدانه‌تر) | ۰/۰۸ | ۰/۱۸ | ۰/۲۹ |




**شکل ۸- مقایسه پروفیل بستر رودخانه برای حالت‌های مختلف دانه‌بندی مصالح بستر.**



www.SID.ir

Archive of SID



## نتیجه‌گیری

۱- نتایج اجرای مدل ریاضی و تحلیل حساسیت مدل نسبت به تغییر پارامترهای مؤثر بر رسوب نشان داد که طبق روابط تحلیل حساسیت، مدل نسبت به تابع انتقال رسوب دارای بالاترین میزان حساسیت می‌باشد و انتخاب صحیح انتقال رسوب مهم‌ترین تأثیر را در بر آورد صحیح حجم رسوب و شبیه‌سازی دارد. با به‌کارگیری توابع انتقال رسوب مشخص گردید تابع یانگ و تابع اصلاح‌شده ایکرز و وایت نسبت به سایر توابع انتقال رسوب میزان رسوبات را با خطای کم‌تری برآورد می‌نماید اما با توجه به این‌که محدوده دانه‌بندی در محدوده قابل کاربرد معادله یانگ (بستر ماسه‌ای) قراردارد، این معادله جهت شبیه‌سازی انتخاب شد. طبق تحلیل‌ها و مقایسه‌های وایت و همکاران (۱۹۷۵) معادله ایکرز و وایت و انگلاند و هانسون دارای دقت مناسب و معادلات میر- پیتر مولر و توفالتی دارای دقت بسیار پایینی هستند. طبق مطالعات آلنسو (۱۹۸۰) معادله یانگ به‌طور متوسط دارای خطایی حدود ۱ درصد است همچنین نتایج هر دو فرمول ایکرز و وایت و انگلاند و هانسون در شرایط عادی میزان رسوبات را با دقت مناسبی برآورد می‌نماید اما روش لارسن و میر- پیتر مولر در آبراهه‌های طبیعی بسیار ضعیف عمل می‌نماید. نتایج این مطالعه با نتایج پژوهش وایت و همکاران (۱۹۷۵) و آلنسو (۱۹۸۰) هم‌خوانی دارد.

۲- میزان رسوبات مشاهداتی در طی ٤۲ سال، ۲۷/٤۸ میلیون مترمکعب می‌باشد که رسوبات سالیانه در حدود ٦٥۰ هزار مترمکعب است، با استفاده از مدل و به‌کارگیری معادله یانگ مقدار رسوبات سالیانه ٦۲۰ هزار مترمکعب بر آورد گردید. مدل ریاضی با دقت قابل‌قبولی میزان رسوبات را برآورد می‌نماید.

۳- مدل ریاضی قابلیت شبیه‌سازی پروفیل بستر را داراست و پیچ و خم‌های مسیر رودخانه را می‌توان در هندسه مسیر آبراهه اعمال نمود.

٤- از میان پارامترها و داده‌های ورودی مدل، تغییر در دمای آب، کم‌ترین تأثیر را بر نتایج می‌گذارد و مدل به تغییر دما (در محدوده دماهای معمول و منطقی) حساسیت چندان زیادی ندارد. انتخاب تعداد لوله‌های جریان در مدل‌سازی اهمیت دارد. در مطالعه موردی انجام شده با تعداد ٤ لوله جریان در فایل ورودی مدل، نتایج صحیح‌تری به‌دست آمد.



www.SID.ir

Archive of SID



## منابع


1.Alonso, C.V. 1980. Selecting a formula to estimate sediment transport in non-vegetated channels, CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, Erosion from Agricultural Management Systems. Conservation Research Report. 26, United States Department of Agriculture. Pp: 426-439.

2.Cellino, M., and Essyad, K. 2002. Reduction of sediment deposition by introducing an artificial stony bank a practical example in upper Rhon River, Switzerland, Proceeding of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Louvain-La-Neuve, Belgium. Pp: 951-959.

3.Elci, S., Paul, A., and Hayter, J. 2007. Influence of stratification and shoreline erosion on reservoir sedimentation patterns. J. Hydraul. Engin. ASCE. 3: 255-266.

4.Hasanzadeh, Y., Feizi Khankandy, A., and Alami, M.T. 2008. Comparison of a mathematical sedimentation model results and hydrographically measured data in Alavian dam reservoir. J. Water Waste Water. 19: 67. 47-57. (In Persian)

5.Molinas, A., and Yang, C.T. 1985. Generalized water surface profile computations. J. Hydraul Engin. ASCE. 3: 381-397.

6.Othman, K.I., and Wang, D. 2004. Application of GSTARS 2.1 model for degradation in alluvial channels. Proceeding of the 9th International Symposium on River Sedimentation, Yichang, China. Pp: 1532-1537.

7.Parker, G. 1990. Surface-based bed load transport relation for gravel rivers. J. Hydraul. Res. 28: 417-436.

8.Rahul, J.L. 1995. Modeling non-uniform-sediment fluvial process by characteristics method. J. Hydraul. Engin. ASCE. 2: 159-170.

9.Seyedian, S.M., and Shafaei Bajestan, M. 2007. Investigation of sediment distribution in Voshmgir dam reservoir using GSTARS3 model, 7th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University, 9p. (In Persian)

10.Tarbon, S.A. 2004. Simulation of sedimentation in dam reservoirs using one, semi-two and three dimensional models. M.Sc. Thesis. Department of Civil Engineering, Tarbiat Moddares University, 96p. (In Persian)

11.White, W.R., Milli, H., and Crabbe, A.D. 1975. Sediment transport theories: a review. Proc. of the Inst. of Civil Engineers, England. 59: 265-292.

12.Yang, C.T. 1985. Theory of Minimum Rate of Energy Dissipation and Its Applications, Proceedings of the Pakistan Engineering Congress Annual Convention, Lahor, Pakistan. Pp: 105-129.

13.Yang, C.T., and Simões, F.J.M. 2002. User's Manual for GSTARS 3.0 (Generalized Tube model for Alluvial River Simulation version 3.0). Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, Colorado. 345p.

14.Yantao, C. 2005. Numerical model of sediment pulses and sediment-supply disturbances in mountain Rivers. J. Hydraul. Engin. ASCE. 8: 646-656.

15.Zare, S., and Shamsaee, A. 2007. Numerical investigation of morphological changes in reservoirs affected by sedimentation with GSTARS3 model and GIS, 7th International River Engineering Conference, Shahid chamran University, 10p. (In Persian)




www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(1), 2015*
*http://jwsc.gau.ac.ir*

# The study of sediment transport and the changes of river bed using Gstars3 Mathematical model (Case study: Gaveh Roud River)

***A. Batny[1], S.H. Golmaee[2] and M.Kh. Zia Tabar Ahmadi[3]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, University of Mazandaran,
[2]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, University of Mazandaran,
[3]Professor, Dept. of Water Engineering, University of Mazandaran
Received: 07/02/2013; Accepted: 11/10/2013

**Abstract**

The study of sediments behavior and its impact on morphological changes of river and its hydraulics is highly important. Also, In order to explore sedimentation in reservoirs of dams the process of sediment transport in river must be studied. Since using mathematical models based on equations governing on the phenomenon of sediments transport and distribution is one of the suitable methods, in present study sediment transport in a certain part of Gaveh Roud River was simulated by using Gstars3 mathematical model. By applying the concept of stream tube, this model is able to simulate and predict changes of river bed in both longitudinal and transverse directions. The purpose of this study is choosing a suitable mathematical model for estimating sediment transport rate, such that the simulation with required accuracy in the river is possible. By using this mathematical model, the annual sediments were estimated 620,000 $m^3$. The comparison between the results obtained from simulation and observed rates indicated that Young's sediment transport function (1979) is the best equation for simulating sediments transport and it has a good correspondence with the conditions of river. At the end, the sensitivity of model to the change of parameters affecting the phenomenon of sediments transport and their impacts on the volume of sediments and longitudinal profile of river were measured. The results indicated that this model has the highest sensitivity toward the changes of sediments transport function.

***Keywords:*** Simulation, Mathematical model (GSTARS3), Stream tube, Sediment transport function, Model sensitivity

* Corresponding Author; Email: azadehbatny@gmail.com



www.SID.ir