

بررسی تأثیر روش های مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات در مدل های مختلف بر آورد بار بستر با استفاده از نرم افزار STE

رضایتیموری^{۱*}، امیر احمد دهقانی^۲

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

آدرس رایانامه نویسنده رابط R.Teimourey@hwstr.ir

خلاصه

بر آورد بار رسوبی در رودخانه ها، یکی از مهمترین قسمت های مطالعات انتقال رسوب و مهندسی رودخانه است. برای محاسبه بار بستر در رودخانه ها، روابط تجربی و نیمه تجربی زیادی توسعه یافته اند که بسته به شرایط هیدرولیکی و مشخصات رسوب در هر رودخانه، ممکن است برخی از این روابط نتایج بهتری ارائه نمایند. یکی از پارامترهایی که در روابط تخمین بار رسوبی وجود دارد میزان تنش برشی و یا سرعت آستانه حرکت رسوبات است. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص تعیین آستانه حرکت رسوبات در کانال های روباز انجام شده است و روابط یا نمودارهایی در این زمینه ارائه شده است. استفاده از روابط مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات در روابط بر آورد بار رسوبی نتایج مختلفی را به همراه خواهد داشت. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار توسعه یافته STE دقت بر آورد ۳۰ روش هیدرولیکی بر آورد بار بستر، به ازای ۱۲ روش مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات در رودخانه زارم رود استان مازندران ارزیابی شد. نتایج این تحقیق نشان داد بهترین روش برای محاسبه بار بستر در رودخانه زارم رود واقع در استان مازندران روش ساماگا و همکاران ۱۹۸۶ و تعیین آستانه حرکت رسوبات با استفاده از روش گونچاروف ۱۹۶۴ که در این حالت روش نام برده قادر به تخمین ۴۲ درصد از داده ها در بازه نسبت ناجوری نیم تا دو با نسبت ناجوری متوسط ۱.۵ می باشد.

کلمات کلیدی: بر آورد بار بستر، بار رسوبی، آستانه حرکت رسوبات، روش های هیدرولیکی، نرم افزار STE

۱. مقدمه

یکی از مسائل و مشکلاتی که در رابطه با بهره برداری از منابع آبی اهمیت خاصی پیدا نموده، مسئله رسوب می باشد. معمولاً رسوباتی که در مجاری آبی در حال حرکت هستند یا از طریق فرسایش حوزه های بالادست به آبراه ها منتقل می شوند و یا منشأ آنها از بدنه و کف خود مجرای آبی است. بر آورد رسوب و تعیین رابطه ای که بتواند دقیق ترین مقدار را محاسبه نماید، همواره یکی از مهم ترین مسایل در زمینه مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، برای مدیریت بهتر منابع آب و آبهای ذخیره شده در مخازن سدها بوده است. مقدار رسوب انتقالی در یک رودخانه به خصوصیات آب و هوائی، هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، بیولوژیکی و زمین شناسی منطقه کاملاً وابسته است. در بین عوامل فوق، ارتباط مقدار رسوب با عوامل هیدرولیکی و هیدرولوژیکی مهم تر جلوه می کند. برای محاسبه بار بستر در رودخانه ها، روابط تجربی و نیمه تجربی زیادی توسعه یافته اند که بسته به شرایط هیدرولیکی و مشخصات رسوب در هر رودخانه، ممکن است برخی از این روابط نتایج بهتری ارائه نمایند. در بین آن ها روابط زیادی هستند که مقدار بار رسوبی را با توجه به آستانه حرکت رسوبات بر آورد می کنند. به طور کلی لحظه ای را که ذرات رسوبی شروع به حرکت در مسیر جریان می کنند، اصطلاحاً آستانه حرکت رسوبات می نامند. در آبراه های فرسایش پذیر مجموعه ای از نیروهای هیدرودینامیکی به ذرات رسوب موجود در بستر آبراه وارد می شوند. با افزایش سرعت جریان، مقدار این نیروها نیز بتدریج افزایش می یابد. چنانچه نیروهای هیدرودینامیکی از یک مقدار بحرانی بیشتر شوند، ذرات رسوب شروع به حرکت می کنند. شروع حرکت ذرات رسوبی را اصطلاحاً آستانه حرکت و شرایطی که در آن ذرات در آستانه حرکت قرار می گیرند را شرایط آستانه یا بحرانی گویند.

تاکنون مطالعات زیادی در خصوص تعیین آستانه حرکت رسوبات در کانال های روباز انجام شده است و روابط یا نمودارهایی در این زمینه ارائه شده است. مطالعات انجام شده در این زمینه به دو روش تنش برشی و سرعت بحرانی می باشد. شیلز اولین شخصی بود که در زمینه روش تنش برشی مطالعات

بنیادی انجام داد. استفاده از روابط مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات برای محاسبه آستانه در روابط برآورد بار رسوبی نتایج مختلفی را به همراه خواهد داشت و می تواند باعث افزایش دقت برآورد روش های مختلف در رودخانه ها شود. معادلات انتقال رسوب در بیشتر موارد توسط داده های محدود گردآوری شده در شرایط آزمایشگاهی دقیق بدست آمده اند. به سبب عدم عمومیت فرضیات بکار رفته، سازگاری این معادلات برای شرایط دیگری از جریان غالباً ضعیف می باشد. نتایج حاصل از معادلات مختلف انتقال رسوب، غالباً با یکدیگر و با اندازه گیری ها تفاوت زیادی دارند.

در سال ۱۸۷۹، مهندس جوان فرانسوی (Paul Francois Dominique Du Boys., 1879) مدل انتقال رسوب خود را به صورت اصول نظری ارائه داد. (۱۸۸۸-۱۹۶۹) Armin Schoklitsch را می توان به عنوان اولین محقق نام برد که به صورت جدی به بررسی و آزمون رابطه دو بویز پرداخت و برای ضریب ثابت در معادله دو بویز با توجه به آزمایش های خود مقادیری را پیشنهاد داد [۱]. اهمیت معادله دو بویز پس از ورود به ایالات متحده، جایی که رودخانه های بزرگتری نسبت به فرانسه دارد، بیش از پیش نمایان شد و از آن پس رابطه دو بویز به عنوان اولین مدل انتقال رسوب سر مشق بسیاری از محققین برای بررسی انتقال بار های رسوبی قرار گرفت. تلاش ها برای یافتن بهترین و مناسب ترین معادله چه به صورت کلی و یا اختصاصی (برای یک رودخانه ی خاص) آغاز شد و محققین بسیار زیادی به بررسی دقت این معادلات با اندازه گیری های صحرایی پرداختند. با این وجود تا برآورد دقیق بار رسوبی رودخانه ها فاصله زیادی باقی است و نیاز به بررسی های بیشتر احساس می شود [۲]. هرچند برخی دیگر از محققین بر این باورند که برآورد بار رسوبی با خطای کم تر از ۲۰ درصد، به دلیل پیچیدگی های این فرایند امکان پذیر نیست [۳].

راحت طلب نخجیری و همکاران (۲۰۰۴) ۱۶ رابطه برآورد بار کف را برای رودخانه زیرین گل در استان گلستان مورد بررسی قرار دادند. با مقایسه ی مقادیر محاسباتی با مقادیر اندازه گیری شده بار کف و تجزیه و تحلیل نتایج با روش های گرافیکی به ترتیب روابط میر پیترو و مولر، توفالتی و انیشیتین را برای تعیین دبی بار کف رودخانه زیرین گل پیشنهاد داده اند [۴].

حدادچی و همکاران (۲۰۱۱)، با اندازه گیری بار رسوبی در رودخانه چهل چای با بستر شنی مسلح و شیب تند توسط دستگاه نمونه بردار هلی اسمیت؛ به بررسی ۱۳ معادله ی شناخته شده ی بار بستر پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که روابط ون راین، میر - پیترو و مولر و ایکرز و وایت، مقدار بار بستر را مناسب تر از سایر روابط پیش بینی می کنند [۵].

دهقانی و همکاران (۲۰۱۴)، نیز با استفاده از داده های اندازه گیری شده صحرایی از دو رودخانه ی کورا و آرا واقع در کشور مالزی، به بررسی دقت ۱۲ معادله ی نرخ انتقال بار بستر پرداخته اند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که معادله ایکرز و وایت بهترین نتایج را با ۶۴.۳ درصد نرخ حمل پیش بینی شده در رنج نسبت ناجوری بین ۰.۵ تا ۲ ارائه می دهد. معادلات میر - پیترو و مولر و ون راین نیز نتایج خوبی را به ترتیب با ۴۳ درصد و ۳۶ درصد نرخ حمل پیش بینی شده ارائه می دهد [۶].

تیموری و دهقانی (۲۰۱۹) با توسعه نرم افزاری کاربردی با قابلیت هایی نظیر استفاده از مدل شبه دو بعدی شیونو ونایت و الگوریتم های هوشمند ژنتیک با هدف افزایش دقت در تخمین بار رسوبی، اقدام به بررسی دقت ۳۴ روش در برآورد بار بستر در رودخانه های استان گلستان و رودخانه بابلرود در استان مازندران کرده و نشان دادند با استفاده از نرم افزار توسعه داده شده و مدل شبه دو بعدی شیونو ونایت روش توفالتی در رودخانه بابلرود و روش یانگ برای رودخانه چهل چای در استان گلستان بهترین برآورد ها را به همراه داشته و این نرم افزار با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل شبه دو بعدی قادر به افزایش دقت در برآورد بار بستر با روش های نام برده بوده است [۷]، [۸].

با توجه به حجم بالای محاسبات هیدرولیکی، روش های مختلف برآورد بار بستر و وجود روش های متعدد برای تعیین آستانه حرکت رسوبات و همچنین وابستگی نتایج به مقدار آستانه، نیاز به بررسی تاثیر روش های مختلف محاسبه آستانه حرکت ذرات در مدل های مختلف برآورد بار رسوبی کاملاً احساس می شود. از این رو در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از ۱۲ روش برای تعیین آستانه حرکت رسوبات، بهترین روش برای برآورد بار بستر در رودخانه زارم رود استان مازندران معرفی شود.

۲. مواد و روش ها

۲-۱ - نرم افزار STE

با توجه به پیچیدگی های زیاد محاسبات هیدرولیکی و هیدرولیک رسوب و همچنین پارامترهای مختلف مورد نیاز در این محاسبات، تعداد دفعات تکرار این محاسبات برای داده های مختلف رسوبی در ایستگاه ها و رودخانه های مختلف و از همه مهم تر اهمیت دقت و اجتناب از اشتباهات محاسباتی، نیاز به استفاده از کامپیوتر و برنامه های کامپیوتری را محسوس تر می کند لذا توسعه نرم افزاری کاربردی و کاربر پسند با هدف راحت تر کردن دسته بندی داده های ورودی، محاسبه پارامترهای اولیه مورد نیاز (مانند شعاع هیدرولیکی جریان، شیب انرژی، اطلاعات دانه بندی و غیره)، محاسبات هیدرولیکی و

برآورد بار رسوبی (بستر، معلق و کل) و از همه مهم تر بالا بردن دقت و اجتناب از خطا های محاسباتی همراه با کم کردن زمان مورد نیاز برای محاسبات می باشد.

با استفاده از کامپیوتر و نرم افزار های کامپیوتری به راحتی قادر به حل عددی معادله مدل شبه دو بعدی شیونو ونایت که با انتگرال گیری عمقی از معادله ناویه-استوکس در شرایط جریان ماندگار حاصل شده است، خواهیم بود و تغییرات سرعت طولی جریان در عرض رودخانه قابل محاسبه شده و با استفاده از روش های مختلف برآورد بار رسوب قادر به مدلسازی نرخ حرکت بار رسوبی در عرض رودخانه ها خواهیم شد.

نرم افزار (STE) Sediment Transport Estimator که با زبان VB.NET در محیط Microsoft Visual Studio تنظیم و برنامه نویسی شده است قابلیت ها و امکانات زیر را برای کاربران خود فراهم می کند:

- ایجاد فایل های دیتابیس برای هر پروژه با پسوند (.accdB)، که اطلاعات ذخیره شده در این نوع فایل هم از طریق خود نرم افزار و هم از طریق نرم افزار Microsoft Access قابل فراخوانی و اصلاح می باشند
- محاسبه بار رسوبی به هر دو سبک هیدرولیکی و هیدرولوژیکی

بخش محاسبات هیدرولیکی در نرم افزار STE امکانات زیر را برای کاربران خود فراهم می کند:

- تحلیل داده های رسوبی و محاسبه قطر رسوبات
- بررسی سطح مقطع رودخانه و محاسبه تمامی پارامتر های مربوطه
- محاسبه شیب انرژی با استفاده از مدل ها مختلف
- تخمین دبی جریان و ارائه منحنی دبی اشل با استفاده از ۷ مدل تک بعدی و یک مدل شبه دو بعدی شیونو ونایت
- بهینه سازی پارامتر های مدل شبه دو بعدی شیونو و نایت با استفاده از داده های اندازه گیری شده و الگوریتم هوشمند ژنتیک
- برازش خطوط رگرسیونی و تعلیم شبکه های عصبی مصنوعی با استفاده از داده های اندازه گیری شده برای برآورد دقیق تر دبی جریان در رودخانه مورد بررسی
- برآورد دبی بار بستر با استفاده از ۵۶ رابطه هیدرولیکی
- برآورد دبی بار معلق با استفاده از ۱۵ رابطه هیدرولیکی
- برآورد دبی بار کل با استفاده از ۲۱ رابطه هیدرولیکی
- مجهز به ۲۰ روش برای تعیین آستانه حرکت رسوبات یکنواخت و ۶ روش نیز برای تعیین آستانه حرکت رسوبات غیر یکنواخت
- مجهز به روش های مختلف برای محاسبه سرعت سقوط
- محاسبه توزیع دبی بار رسوب در عرض رودخانه
- محاسبه پارامتر های نسبت ناجوری و خطای محاسباتی، ارائه گزارش برای تک تک روش ها و معرفی بهترین روش در رودخانه مورد مطالعه
- افزایش دقت در برآورد دبی بار رسوب با استفاده از روش های ذیل :

(۱) ضرایب کالیبراسیون

(۲) تلفیق معادلات و ایجاد روابط جدید

(۳) اصلاح معادلات

(۴) تعلیم شبکه های عصبی مصنوعی

بخش محاسبات هیدرولوژیکی در نرم افزار STE امکانات زیر را برای کاربران خود فراهم می کند:

- امکان اضافه کردن بی نهایت داده در هر فایل پروژه
 - فیلتر داده ها بر اساس نام رودخانه، نام مقطع، سال، ماه، روز و ...
 - روش های فیلتر داده ها به منظور افزایش دقت در برازش خطوط رگرسیونی و تعلیم شبکه های عصبی مصنوعی :
- (۱) فیلتر داده ها با توجه به مواقع پرآبی، کم آبی
- (۲) فیلتر داده ها به روش دبی کلاسه
- (۳) روش حد وسط دسته ها

- شناسایی و حذف داده های پرت
- برازش خطوط رگرسیونی با استفاده از الگوریتم هوشمند ژنتیک :

(۱) منحنی سنجه تک خطه (USBR)

(۲) منحنی سنجه چند خطه (منحنی S)

دسته بندی داده ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک هوشمند با هدف حداکثر سازی کاهش انحراف معیار (SDR)

- تعلیم شبکه های عصبی مصنوعی
- برآورد بار رسوبی با استفاده از منحنی های سنجه رسوب
- برآورد بار رسوبی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

اطلاعات بیشتر در سایت www.ste.hwstr.ir



شکل ۱- محیط کاربری نرم افزار STE

۲-۲- مدل های مورد بررسی

از بین ۵۶ روش هیدرولیکی برآورد بار بستر کد نویسی شده و قابل استفاده در نرم افزار STE، ۳۰ روش از روش هایی که در محاسبات خود از پارامتر آستانه حرکت ذرات استفاده می کنند انتخاب شده اند. مدل های انتخاب شده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- معادلات انتخاب شده برای برآورد بار بستر

Du Boys (1879)	Dou (1964)	Misri et al (1984)
Donat (1929)	Chang et al (1965)	Layer Properties - Van Rijn (1984)
Shields (1936)	Wilson (1966)	Samaga el al (1986)
Kalinske (1947)	Ashida and Michiue (1972)	Madsen (1991)
MPM (Manning) (1948)	Fernandez Luque and Vanbeek (1976)	Layer Properties - Nielsen (1992)
MPM (Chezy) (1948)	Engelund and Fredsoe (1976)	Patel and Ranga Raju (1996)
Frijlink (1952)	Parker (1979)	Nino and Gracia (1998)
Chien (1954)	Smart and Jaeggi (1983)	Wu et al (2000)
Barekhan (1962)	Van Rijn (SV) (1984)	Wong and Parker (2006)
Yalin (1963)	Van Rijn (MP) (1984)	Lajeunesse et al (2010)

همچنین برای بررسی تاثیر روش های مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات روش های جدول ۲ انتخاب شده است.

جدول ۲- معادلات انتخاب شده برای تعیین آستانه حرکت رسوبات

Schoklitsch (1914)	Shields (1936)	Neill (1968)
Schoklitsch and Krey (1925)	Kurihara (1948)	Brownlie (1981)
Kramer (1935)	Goncharov (1964)	Van Rijn (1984)
USWES (1936)	Leliavsky (1966)	Soulsby and Whitehouse (1997)

۳-۲ پارامترهای مورد استفاده برای تعیین دقت روش ها

پس از انجام محاسبات برآورد بار رسوبی و بدست آوردن میزان دبی رسوب توسط روابط مختلف نیاز به بررسی دقت مقادیر بدست آمده توسط مقادیر دبی رسوبی مشاهده شده می باشد. در اولین گام برای بررسی دقت روش مورد نظر ابتدا معیار نسبت ناجوری و خطا برای هر سری داده محاسباتی که مقادیر مشاهداتی نظیر آن موجود می باشد، محاسبه می شود.

معیار نسبت ناجوری (DR)

به نسبت بین بار رسوبی محاسبه شده به بار رسوبی اندازه گیری شده توسط تجهیزات اندازه گیری، نسبت ناجوری گفته می شود. محققان بر این باورند با توجه به دشواری و نبود دقت کافی در محاسبه بار رسوبی و یکسان نبودن شرایط در تمامی رودخانه ها و آبراهه های مورد مطالعه با شرایط رابطه مربوطه مقادیر نسبت ناجوری از ۰/۵ تا ۲ مورد قبول خواهد بود.

$$DR = \frac{(q_b)_{calculated}}{(q_b)_{measured}} \quad (1)$$

که در این رابطه $(q_b)_{calculated}$ دبی بار رسوبی محاسبه شده و $(q_b)_{measured}$ دبی بار رسوبی اندازه گیری شده می باشد.

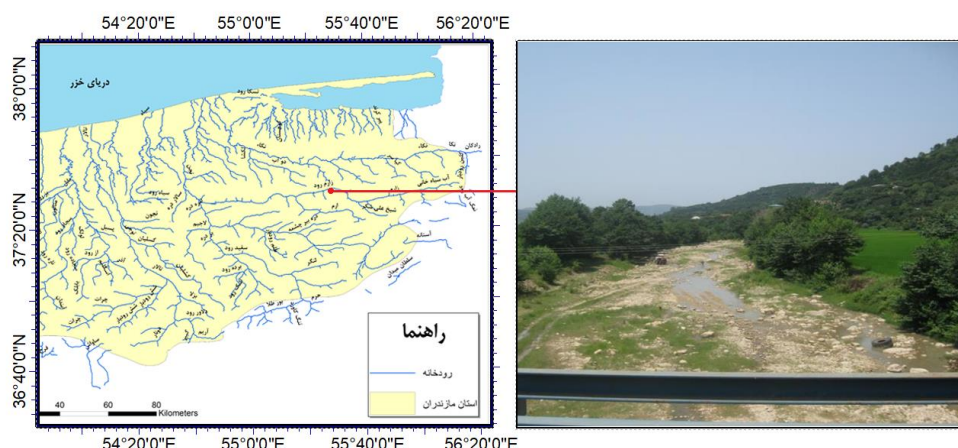
معیار نسبت ناجوری متوسط ($Mean DR$)

به میانگین مقادیر نسبت ناجوری بدست آمده توسط روش مورد بررسی نسبت ناجوری متوسط گفته می شود. در حالتی که تعداد داده هایی که یک روش در بازه نسبت ناجوری نیم تا دو محاسبه می کند برابر باشد، هرچه نسبت ناجوری متوسط یک روش به یک نزدیک تر باشد آن روش برآورد بهتری داشته است.

$$\text{نسبت های ناجوری} = \frac{\sum \text{نسبت های ناجوری}}{\text{تعداد کل داده ها}} \quad (2)$$

۴-۲ - منطقه مورد مطالعه

رودخانه زارم رود در استان مازندران در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر ساری قرار دارد. از نظر جغرافیایی بین طول شرقی $53^{\circ} 11'$ تا $53^{\circ} 17'$ و عرض شمالی $36^{\circ} 42'$ الی $36^{\circ} 49'$ قرار دارد. حوزه ی آبخیز زارم رود، پوشش گیاهی و جنگلی انبوه با دامنه هایی با شیب متوسط دارد که قسمت اعظم بارش در آن به صورت باران است، ولی بارش برف در ماه های زمستانی سال به طور محلی دیده می شود. تنها ایستگاه هیدرومتری موجود در این رودخانه که تقریباً در خروجی حوضه واقع شده است، گرم رود نام دارد. بر اساس آمار ثبت شده در این ایستگاه، بیشترین دبی متوسط سالیانه ۴۸ متر مکعب بر ثانیه و حجم برآورد سالانه ی آن معادل ۱۵۲ میلیون متر مکعب است. همچنین آبدهی ماهانه حداکثر در فروردین ماه و حداقل آن در مرداد ماه بوده و بیشترین آبدهی فصلی، مربوط به فصل بهار و کمترین آبدهی مربوط به فصل تابستان است. آمار دبی جریان و رسوب از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۴ در این ایستگاه ثبت شده است. موقعیت این رودخانه در شکل ۱ ارایه شده است.



شکل ۱- محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر

¹ Discrepancy Ratios

۳. نتایج و بحث

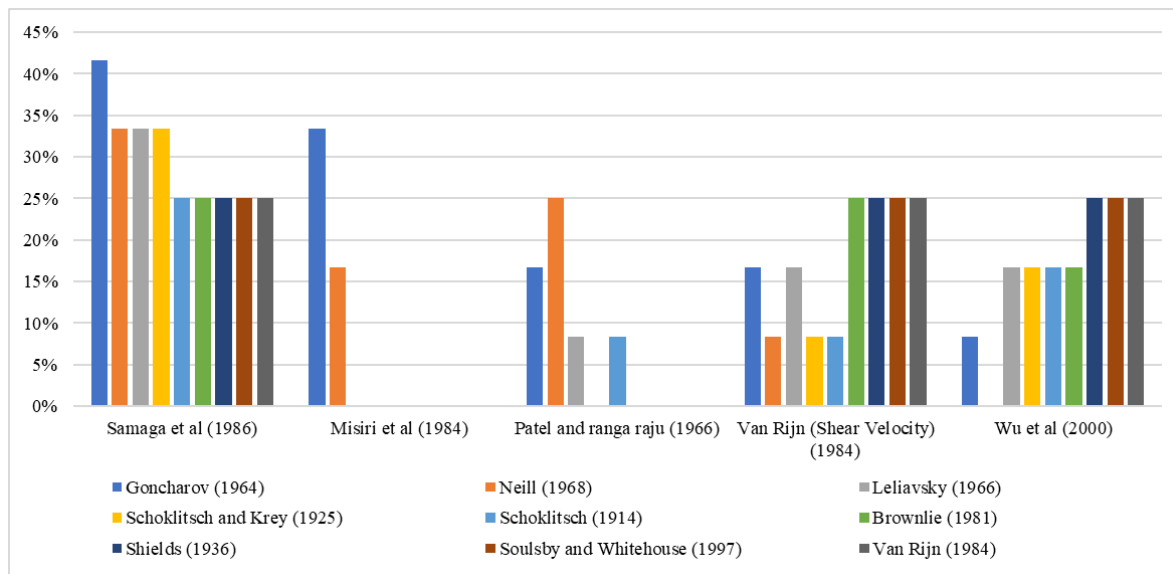
پس از تحلیل داده های رسوبی، تعیین اندازه قطر های مختلف و دبی بار رسوب اندازه گیری شده، انجام محاسبات هیدرولیکی و مشخص سازی پارامتر های هیدرولیکی اعم از مساحت سطح مقطع، محیط خیس شده و ... توسط نرم افزار STE، ۱۲ داده با استفاده از ۳۰ روش مختلف برآورد بار بستر وارد محاسبات رسوبی شدند. محاسبات برای ۱۲ روش مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات تکرار شد. نتایج بدست آمده برای ۵ روش هیدرولیکی برتر برآورد بار بستر در رودخانه زارم رود مطابق جدول ۳ و شکل ۲ می باشد.

جدول ۳- مقادیر درصد ناجوری برای ۵ روش برتر برآورد بار بستر با استفاده از روش های مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات

ردیف	نام مدل	Samaga et al (1986)		Misiri et al (1984)		Patel and Ranga Raju (1966)		Van Rijn (SV) (1984)		Wu et al (2000)	
		DR%	DR	DR%	DR	DR%	DR	DR%	DR	DR%	DR
1	Goncharov (1964)	41.67%	1.5	33.33%	60.66	16.67%	251	16.67%	1.08	8.33%	0.1
2	Neill (1968)	33.33%	0.83	16.67%	14.2	25%	99.33	8.33%	0.12	0%	0.01
3	Leliavsky (1966)	33.33%	2.27	0%	86.04	8.33%	295.03	16.67%	1.48	16.67%	0.17
4	Schoklitsch and Krey (1925)	33.33%	42.72	0%	301.77	0%	1034.19	8.33%	14.83	16.67%	3.24
5	Schoklitsch (1914)	25%	42.91	0%	302.84	8.33%	1295.96	8.33%	21.84	16.67%	5.61
6	Brownlie (1981)	25%	68.68	0%	432.44	0%	1087.68	25%	16.92	16.67%	4.6
7	Shields (1936)	25%	71.58	0%	436.39	0%	1086.85	25%	16.97	25%	4.73
8	Soulsby and Whitehouse (1997)	25%	75.95	0%	457.04	0%	1104.56	25%	17.55	25%	5.02
9	Van Rijn (1984)	25%	78.09	0%	468.45	0%	1123.93	25%	18.07	25%	5.2
10	USWES (1936)	16.67%	3.55	8.33%	11.17	8.33%	43.99	0%	0.02	0%	0.01
11	Kurihara (1948)	16.67%	12.67	0%	139.15	8.33%	602.82	8.33%	6.17	8.33%	1.18
12	Kramer (1935)	16.67%	215.54	0%	694.47	0%	686.68	25%	21.28	0%	11.7

DR% = فراوانی نسبت ناجوری بین نیم تا دو

DR = نسبت ناجوری متوسط



شکل ۲- تغییرات فراوانی نسبت ناجوری بین نیم تا دو برای ۵ روش برتر برآورد بار بستر با استفاده از روش های مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات

با توجه به شکل ۲ و جدول ۳ بهترین روش هیدرولیکی برآورد بار بستر برای رودخانه زارم رود روش ساماگا و همکاران می باشد. در صورتی که پارامتر آستانه حرکت رسوبات با استفاده از رابطه گونچاروف ۱۹۶۴ محاسبه شود رابطه ساماگا و همکاران بیشترین دقت را برای محاسبه بار بستر داشته و قادر است ۴۲ درصد از داده های بار بستر را برای رودخانه زارم رود در بازه نسبت ناجوری نیم تا دو با نسبت ناجوری متوسط ۱.۵ محاسبه کند. در صورتی که اگر پارامتر آستانه حرکت رسوبات با استفاده از رابطه های دیگر محاسبه شود از دقت برآورد روش ساماگا و همکاران کاسته خواهد شد. این حالت برای روش میزری و همکاران هم صدق می کند این روش دومین روش مناسب برای برآورد بار رسوبی بستر در رودخانه زارم رود بوده و بهترین تخمین خود را با مقدار آستانه حرکت رسوبات محاسبه شده توسط رابطه گونچاروف ۱۹۶۴ نشان داده است که قادر به محاسبه ۳۳ درصد از داده ها در بازه نسبت ناجوری نیم تا دو با نسبت ناجوری متوسط ۶۰.۶۶ می باشد. بررسی نتایج روش های هیدرولیکی برآورد بار بستر نیز نشان می دهد مناسب ترین روش برای محاسبه آستانه حرکت رسوبات جهت برآورد بار رسوبی بستر در این رودخانه روش گونچاروف ۱۹۶۴ است.

۴. نتیجه گیری

در این تحقیق، دقت برآورد بار رسوب در رودخانه زارم رود، بوسیله ۳۰ معادله از متداول ترین معادلات برآورد بار بستر با استفاده از مدل های مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات به کمک نرم افزار توسعه یافته توسط مولفین (STE)، ارزیابی گردید. هدف از این تحقیق ارائه ی مناسب ترین معادله برای برآورد بار رسوبی بستر و ارزیابی مدل های مختلف تعیین آستانه حرکت رسوبات در انجام محاسبات رسوبی است. نتایج بدست آمده از ارزیابی این معادلات نشان می دهند که:

۱. معادله های ساماگا و همکاران، میزری و همکاران، پاتل و رائگا راجو، ون راین و وو و همکاران به ترتیب، نتایج مناسب تری نسبت به سایر معادلات ارائه می دهند.
۲. از بین معادلات مختلف برای محاسبه آستانه حرکت رسوبات بهترین آن ها برای برآورد بار بستر در رودخانه زارم رود عبارتند از گونچاروف ۱۹۶۴، نیل ۱۹۶۸، لیلیاوسکی ۱۹۶۶، شوکلیچ و کری ۱۹۲۵ و ... می باشند که با محاسبه پارامتر آستانه حرکت رسوبات با استفاده از دو مدل اول نسبت ناجوری بین نیم تا دو در نتایج معادله های ساماگا و همکاران و میزری و همکاران از ۱۰ تا ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت.

1. A. Schoklitsch, (1950). *Handbuch des wasserbaues*, Springer-Verlag.
2. V.A. Vanoni, (1964). *Measurements of critical shear stress for entraining fine sediments in a boundary layer*.
3. L.C.v. Rijn, (1984). *Sediment transport, part II: suspended load transport*, Journal of hydraulic engineering, 110(11), 1613-1641.
4. Rahattalab Nakhjiri, H, Golmaee, H, Yusofi, A, Oktape, R. (2004). *Comparison and choosing the best methods of estimating rivers bed load*, J. Water Soil, 11(3), 133-140.
5. Haddadchi, A, Omid, M.H, Dehghani, A.A. (2011). *Evaluation of Bed Load Discharge Formulas in Alpine Gravel Bed Rivers*, J. Water Soil, 18(3), 149-165.
6. Tahmasbi, M, Dehghani, A.A. (2014). *Evaluating the Accuracy of Conventional Methods For estimating Bed-load Transport Rate Using Field Data*, Iranian Journal of irrigation and Drainage, 8(1), 116-126.
7. Teimourey, R., Dehghani, A. (2019). *Assessment of bed load estimators in rivers of Golestan province by developing applied software (STE)*. Amirkabir Journal of Civil Engineering.
8. Teimourey, R., Dehghani, A. (2020). *Comparison of Different Methods for Estimating Bed Load using developed software of STE (case study: Babolroud River)*. Journal of Water and Soil Conservation, 27(1), 229-236.