فصلنامه علمی-پژوهشی
پژوهش‌های فرسایش محیطی
سال سوم، شماره ۱۲، زمستان ۱۳۹۲، صص ۶۸-۵۸
www.magazine.hormozgan.ac.ir

اولویت‌بندی روابط لین-کالینسک، بگنولد و توفالتی در برآورد دبی رسوب معلق رودخانه سولگان با استفاده از تکنیکAHP

نازیلا صدائی[۱] و کاکا شاهدی[۲]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری گرایش آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، nsdaei@yahoo.com
۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، k.shahedi@sanru.ac.ir

چکیده

برای انتخاب مناسب‌ترین معادله برآورد رسوب نیاز به ارزیابی آن‌ها برای رودخانه مورد نظر می‌باشد. در این مقاله ارزیابی معادله‌های برآورد بار از رودخانه سولگان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP بررسی گردید. سه فرمول برآورد رسوب معلق توفالتی، لین-کالینسک و بگنولد در این پژوهش به کار رفت. با استفاده از روش‌های حل عددی به برآورد دبی بار رسوب معلق برای رودخانه سولگان پرداخته شد. بعد از این مرحله میزان دقت هر کدام از فرمول‌ها با سه ضریب D_v، NS و R^2ارزیابی شد. علاوه بر میزان دقت هزینه برآورد دبی رسوب معلق و نیز تعداد داده‌های ورودی به هر کدام از فرمول‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از این طریق ماتریس مقایسات زوجی برای هر کدام از فرمول‌ها از بابت هر معیار ایجاد شد و در نهایت با محاسبه وزن نهایی برای هر کدام از فرمول‌ها میزان ارجحیت آن‌ها برای رودخانه سولگان مشخص شد. فرمول لین-کالینسک با وزن نهایی۰/۳۱ و بگنولد با وزن نهایی ۰/۳۳ و در نهایت توفالتی با وزن نهایی ۰/۳۹ به ترتیب (از فرمول با اولویت کمتر تا فرمول با اولویت بیشتر) برای برآورد دبی رسوب معلق در رودخانه سولگان واقع در استان چهارمهال و بختیاری اولویت‌بندی شدند.

واژه‌های کلیدی:
توفالتی، لین-کالینسک، بگنولد، سولگان، AHP

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر یکی از مشکلات مورد توجه بشر تجمع رسوب در آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و در نهایت در ذخایر آبی می‌باشد (قمشی و ترابی پوده، ۱۳۸۱). محاسبه و بررسی مقدار رسوب موجود در رودخانه‌ها، یکی از مسائلی بوده که در مطالعات مربوط به رسوب مورد توجه قرار گرفته است. در این زمینه مواردی مانند طراحی و برنامه‌ریزی برای منابع آب، وضعیت ظاهری و تغییر بستر رودخانه‌ها، میزان دبی رسوب که وارد آبگیرها می‌شود، حایز اهمیت می‌باشند. بر همین اساس محققین زیادی از جمله توفالتی، انیشتین، بروکس، بگنولد و سایر متخصصین به ارائه روابط جهت برآورد دبی رسوب در رودخانه‌ها پرداخته‌اند (قمشی و ترابی پوده، ۱۳۸۱). در مقایسه با رشته‌های دیگر دانش هیدرولیک، توسعه در زمینه برآورد دبی رسوب بسیار کمتر بوده است. یکی از دلایل مهم را می‌توان ارتباط پیچیده تعداد زیادی از ورودی‌های رسوب و جریان آب دانست (فولادی پناه و جورابلو، ۱۳۹۰). در داخل رودخانه می‌توان بار رسوب را به سه دسته تقسیم‌بندی نمود که عبارتند از رسوب معلق، بار کف و بار محلول (شفاعی بجستانی، ۱۳۸۴). به علت اهمیت زیاد بار معلق در ایجاد آلودگی، در منابع متعدد به بررسی میزان دبی رسوب بار معلق بیشتر پرداخته می‌شود (قمشی و ترابی پوده، ۱۳۸۱). ارائه یک رابطه مناسب برای برآورد دبی بار رسوب معلق رودخانه به دلیل تغییرات زیادی که در رودخانه‌ها در جهات مختلف صورت می‌گیرد، بسیار مشکل خواهد بود. به همین دلیل تاکنون هر گونه معادله‌ای که ارائه شده است با اعمال یک سری از ساده‌سازی‌ها بوده است، که این ساده‌سازی‌ها باعث ایجاد بی‌دقتی در نتایج می‌شوند (شفاعی بجستانی، ۱۳۸۴). یکی دیگر از مشکلات، دقت پائین در اندازه‌گیری پارامترهای مورفولوژی رودخانه همچون رسوبات بار کف و غلظت ذرات معلق در آب و هم چنین دقیق نبودن وسایل مورد استفاده برای اندازه‌گیری این عوامل در رودخانه‌ها است. از طرفی به دلیل یک سری از محدودیت‌ها (برای مثال عدم وجود ابزار مناسب نیروی انسانی ماهر) در هنگام اندازه‌گیری، تعداد نمونه‌های برداشت شده از رودخانه بسیار کم و با دقت پایین می‌باشد، که این موضوع باعث کاهش ضریب اطمینان در نتایج برآورد دبی رسوب معلق می‌شود (قمشی و ترابی پوده، ۱۳۸۱). روابط مورد استفاده در هیدرولیک رودخانه‌ها و رسوب در شرایط آزمایشگاهی طراحی شده‌اند که می‌توانند نتایج این روابط را در شرایط طبیعی تحت تاثیر قرار داده و صحت و دقت آن را کاهش دهد (مولیناز، ۲۰۰۰). کاربرد یک معادله و میزان کارایی و دقت آن نه تنها به مفاهیم تئوریکی بلکه به نوع داده‌های ورودی و تعداد آن نیز بستگی خواهد داشت (مولیناز، ۲۰۰۰). از این رو در مقاله حاضر سعی شده است تا تعداد داده‌های ورودی به رابطه به عنوان یکی از معیارهای انتخاب رابطه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. هم‌چنین با توجه به هزینه بالای عملیات صحرایی جهت برداشت نمونه و انجام کارهای آزمایشگاهی، برآورد هزینه محاسبه دبی بار رسوب معلق به عنوان معیاری که کمتر مورد توجه قرار بوده نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

در دهه‌های اولیه (از سال ۱۹۳۸) متخصصین زیادی بخش عمده‌ای از تلاش‌های خود را معطوف به بار معلق و بار کل در رودخانه نموده‌اند. از آن جمله می‌توان به ارائه اولین معادلات برآورد رسوب معلق توسط اوبراین و ریندولاب (۱۹۳۴)، استراب (۱۹۳۵)، شیلدز (۱۹۳۶)، کالینسکی (۱۹۴۲)، انیشتین (۱۹۴۲)، کلبی و همبری (۱۹۵۵)، یالین (۱۹۶۳)، بگنولد (۱۹۶۶) و در نهایت چانگ و همکاران (۱۹۶۷) اشاره نمود. انگلند و هانسن (۱۹۶۷) در ادامه با استفاده از تئوری بگنولد رابطه جدیدی را برای برآورد دبی بار رسوب معلق معرفی نمودند. توفالتی (۱۹۶۹) نیز با تقسیم نمودن ارتفاع رودخانه به چهار قسمت میزان دبی رسوب معلق را در رودخانه برآورد نمود.

کلیبه و دوشیمن (۲۰۰۶) در مطالعه خود نشان دادند که روابط رگرسیونی در برآورد دبی رسوب با دقت بالایی عمل می-نمایند. چانگ تای و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از روش حل عددی دریافتند که فرمول انیشتین مطابقت زیادی با نتایج حاصله از روش‌های عددی به کارگرفته شده دارد. ایشان بیان داشتند که از این روش عددی می‌توان برای ارزیابی سایر فرمول‌های برآورد دبی رسوب معلق در رودخانه استفاده نمود. در مطالعات داخل کشور نیز؛ حکیم خانی (۱۳۷۷) و رستمی (۱۳۸۰) از میان روش‌های مختلف برآورد رسوب، روش منحنی سنجش رسوب را به عنوان بهترین روش معرفی نمودند. میرزایی (۱۳۸۱) پس از مقایسه ۲۱ روش آماری برآورد رسوب معلق رودخانه با مقادیر واقعی، به این نتیجه رسیده است که روش دبی متوسط و تلفیق آن با منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها، برآورد نا اریبی را از میزان رسوب معلق دارد. قمشی و ترابی پوده (۱۳۸۱) به این نتیجه رسیده‌اند که فرمول انیشتین در برآورد رسوب معلق دارای پراکندگی بسیار بالایی می‌باشد و فرمول بگنولد میزان دبی رسوب معلق را کمتر از میزان واقعی آن نشان می‌دهد. قربانی (۱۳۸۳) رابطه انیشتین را به عنوان بهترین رابطه برای برآورد دبی رسوب معلق معرفی نمودند. پرتانی و مجدزاده طباطبایی (۱۳۸۵) در مطالعه خود دریافتند که رابطه بگنولد در دبی‌های زیاد می‌توان به عنوان رابطه‌ای توانا عمل نماید. رحمانی (۱۳۸۶) با برآورد بار رسوبی با استفاده از روش‌های تجربی مبتنی بر خصوصیات هیدرولوژیک جریان در رودخانه کرج به این نتیجه رسید که برای بار بستر معادله وان راین و برای بار معلق معادله انیشتین برآورد منطقی‌تری را ارائه می‌دهند. کاظمی (۱۳۸۷) به برآورد نسبت بار بستر به بار معلق در رودخانه‌های البرز مرکزی پرداخت و به این نتیجه رسید که مقدار بار معلق برآوردی در دو رودخانه جاجرود و طالقان توسط معادلات انیشتین، چانگ سایمونز ریچاردسون، بگنولد و توفالتی به ترتیب دارای دقت عمل از زیاد به کم می‌باشند و معادله انیشتین برای بار معلق در رودخانه‌های شنی نتایج خوبی را ارائه می‌دهد. سوابق ارائه شده حاکی از تنوع روابط برآورد دبی رسوب می‌باشد. بنابراین برای انتخاب مناسب‌ترین معادله برآورد رسوب نیاز به ارزیابی آن‌ها برای رودخانه مورد نظر می‌باشد. از این رو در مطالعه موردی برآورد دبی رسوب معلق رودخانه سولگان از سه رابطه‌ی لین-کالینسک، بگنولد و توفالتی استفاده شده و برای اولویت‌بندی این روابط با استفاده از معیارهای هزینه، تعداد داده‌های ورودی و دقت برآورد از روش سلسله مراتبی یا AHP استفاده گردید.

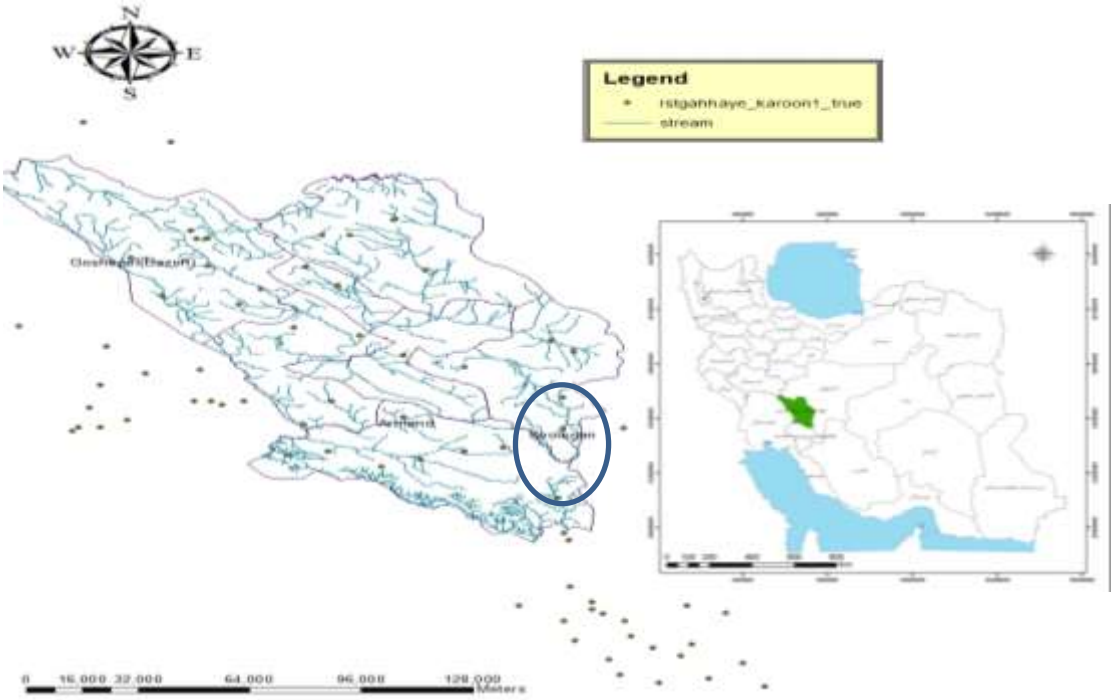
۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کارون شمالی بخشی از حوزه آبخیز بزرگ کارون می‌باشد و در محدوده جغرافیایی ′۳۴ °۴۹ تا ′۴۷ °۵۱ طول شرقی و ′۱۸ °۳۱ تا ′۴۰ °۳۲ عرض شمالی قرار دارد. مساحت حوزه آبخیز کارون شمالی ۱۴۴۷۶ کیلومتر مربع است. حداکثر بارش سالانه در قسمت غربی حوضه و ارتفاعات زردکوه به میزان متوسط ۱۶۰۰ میلی‌متر است که در برخی سال-ها به ۲۰۰۰ میلی متر نیز می‌رسد و حداقل بارش متوسط سالانه در نواحی شمال به میزان ۳۰۰ میلی متر تخمین زده می‌شود که در برخی سال‌های خشک به ۲۰۰ میلی‌متر نیز تقلیل می‌یابد (صدائی، ۱۳۹۰). به علت دامنه زیاد مقادیر بارندگی در حوضه فوق، تنوع اقلیمی قابل توجهی (از جمله اقلیم بسیار مرطوب خنک با زمستان‌های بسیار سرد تا اقلیم نیمه‌مرطوب گرم با زمستان‌های کمی سرد) را می‌توان مشاهده نمود (چاوشی و بروجنی، ۱۳۷۷). مشخصات ایستگاه انتخابی (سولگان) در جدول ۱ آمده است.

جدول۱- مشخصات ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه

نام ایستگاه	نام رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع(متر)
سولگان	سولگان	۵۱° ۱۴′	۳۱° ۳۸′	۲۰۸۶



شکل ۱- موقعیت رودخانه سولگان در حوضه کارون شمالی در استان چهارمحال بختیاری

روابط مورد استفاده

روابط متعددی جهت برآورد دبی رسوب معلق در رودخانه‌ها ارائه شده است که در این مقاله مشخصا به بررسی عملکرد سه رابطه پرداخته شده است. هدف اصلی تحقیق بررسی عملکرد روابط لین-کالینسک، بگنولد و توفالتی در رودخانه سولگان و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. داده‌های ورودی روابط ذکر شده به شرح جدول ۲ می‌باشد.

جدول۲- داده‌های ورودی برای روابط منتخب برآورد رسوب

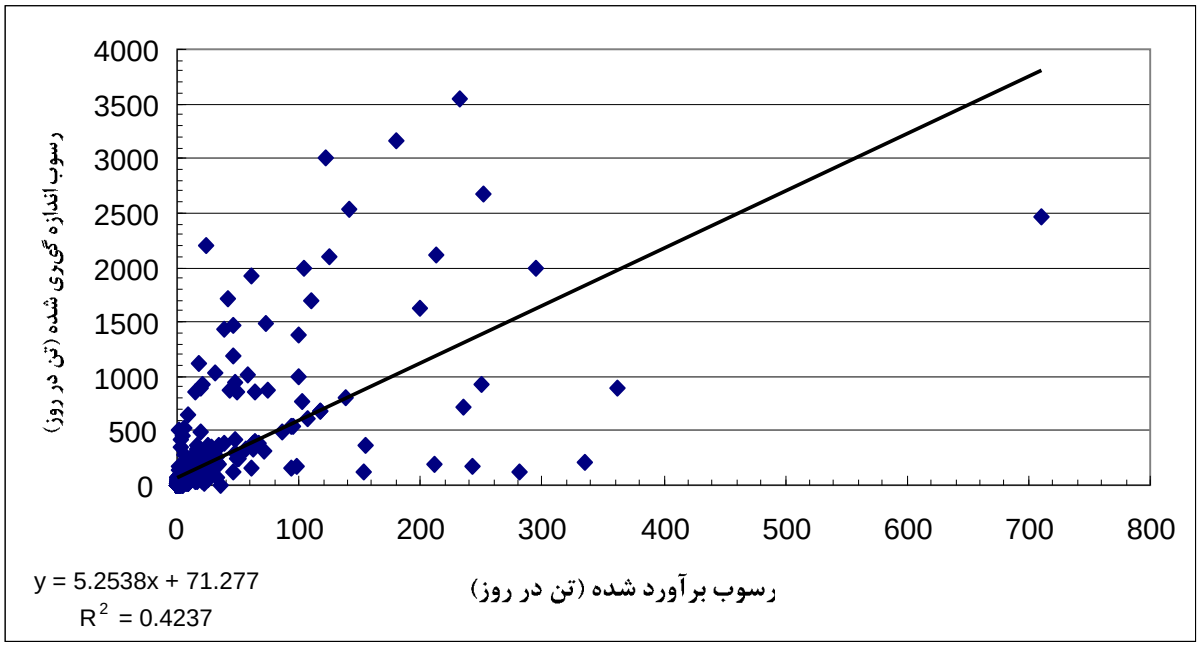
معادله انتقال رسوب	ویژگی های رسوب	ویژگی‌های سیال	شرایط جریان	پارامتر مستقل	تعداد پارامترهای ورودی
لین-کالینسک	Υ_s	v-Υ	D-S	Q_b-Q_s	۷
بگنولد	d_a-P_i-Υ_s	v-Υ	B-D-S-V	Q_b-Q_s	۱۱
توفالتی	d_{65} -D_i-P_i-Υ_s	v-Υ	B-D-S-V	Q_b-Q_s	۱۲

Υ: وزن مخصوص ذرات رسوبی،Υ: وزن مخصوص آب، v: لزجت سینماتیک آب، V: سرعت آب، S: شیب سطح آب، D: عرض سطح آب، Q_b: دبی بار بستر، Q_s: دبی بار معلق، d_{65}: قطر متوسط ذرات کف بستر قطری از ذرات که ۶۵ درصد ذرات از آن کوچکتر است، d_i: قطری از بستر که I درصد ذرات از آن کوچکتر است، P_i: درصد ذرات کوچکتر از قطر di، D عمق

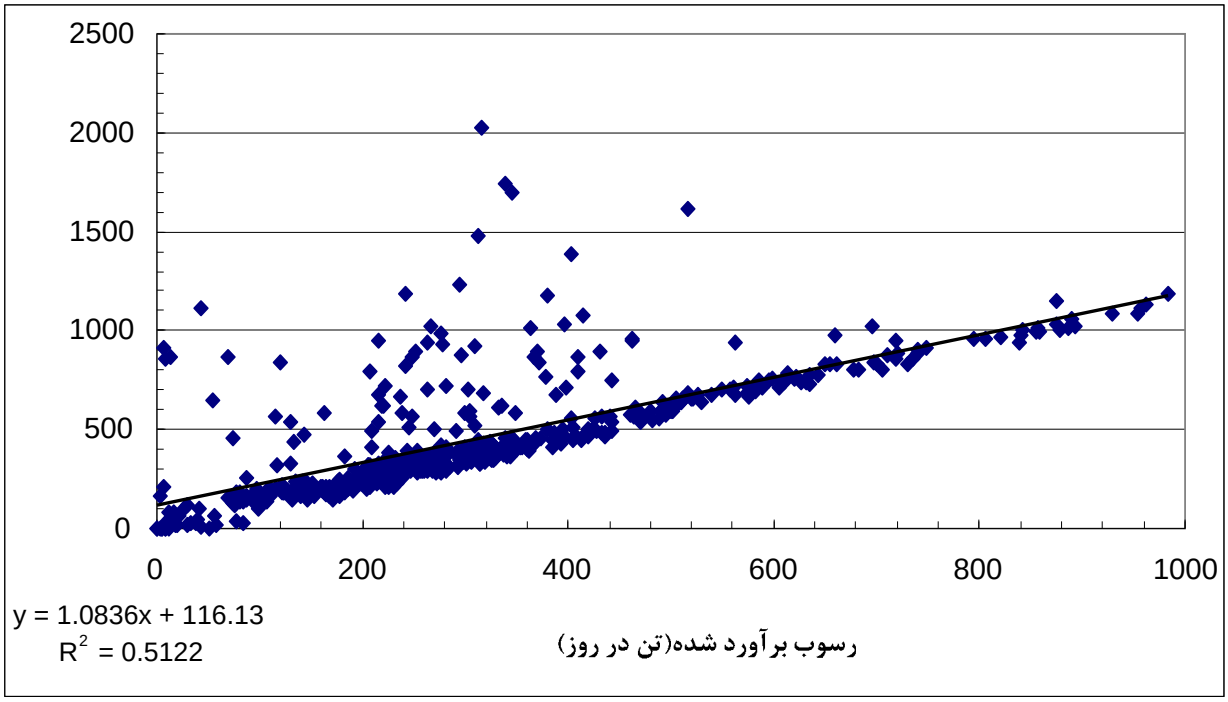
آب رودخانه. دبی رسوب بار معلق در رودخانه توسط سه فرمول لین-کالینسک، توفالتی و بگنولد برآورده شده و در نهایت در تصمیم‌گیری نهائی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انتخاب بهترین رابطه، پارامترهای ورودی به هر کدام از فرمول‌ها و هم‌چنین دبی‌های برآوردی مورد استفاده قرار گرفتند.

۳- نتایج

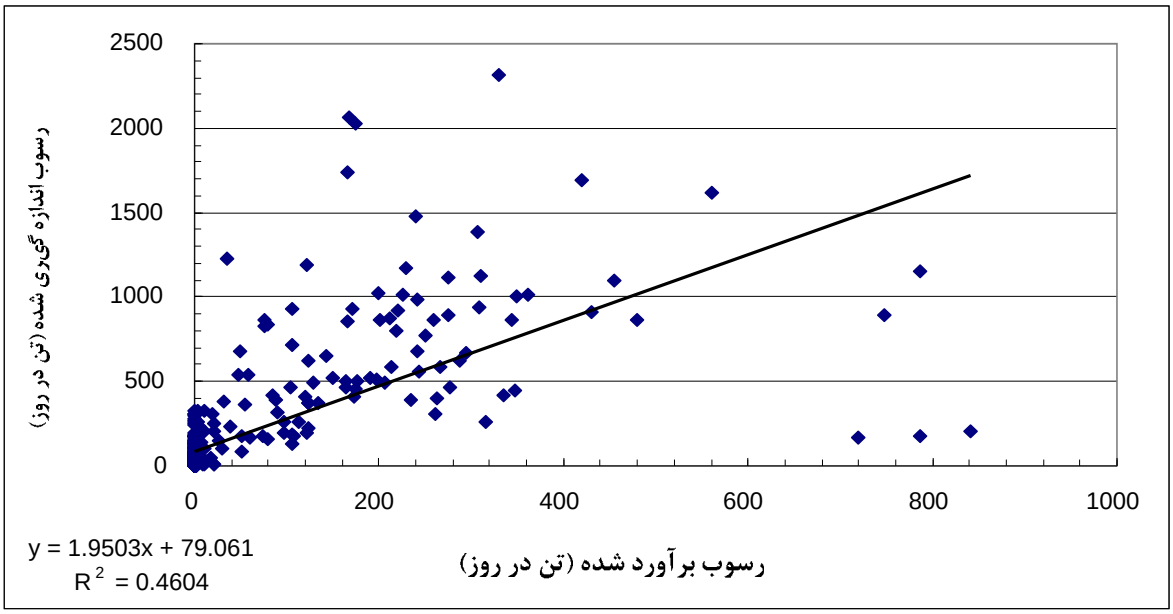
نتایج حاصله از برآورد دبی رسوب معلق رودخانه سولگان، در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ ارائه شده‌اند.



شکل۷- مقایسه دبی رسوب برآورد شده با روش لین-کالینسک با دبی رسوب اندازه‌گیری شده در رودخانه سولگان



شکل۸- مقایسه دبی رسوب برآورد شده با روش توفالتی دبی رسوب اندازه‌گیری شده در رودخانه سولگان



شکل۹- مقایسه دبی رسوب برآورد شده با روش بگنولد با دبی رسوب اندازه‌گیری شده در رودخانه سولگان

با توجه به جدول ۲ مشخص است که تعداد داده‌های ورودی فرمول بگنولد بیشتر از لین-کالینسک و برابر با توفالتی است. از طرفی اندازه‌گیری و به عبارتی بهتر تخمین میزان قطری از ذرات که در حدود ۶۵ درصد ذرات کوچکتر از آن است نیاز به نمونه‌برداری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه جهت برآورد میزان درصد ذرات و در نهایت تعیین منحنی دانه-بندی دارد، به همین دلیل برآورد این پارامتر، با در نظر گرفتن هزینه انجام آزمایشات در آزمایشگاه همراه است. از این رو

فرمول توفالتی می‌تواند هزینه بیشتری را نسبت به دو فرمول دیگر به خود اختصاص دهد. هم چنین در مورد فرمول لین-کالینسک باید به این نکته اشاره نمود که با توجه به اینکه در فرمول مورد نظر نیاز به برآورد این پارامتر (d65) نمی‌باشد، هزینه استفاده از این فرمول می‌تواند کمتر از توفالتی باشد. فرمول بگنولد در نهایت به دلیل اینکه باید درصدی از ذرات را که در ارتفاع a (ارتفاعی که در آن می‌توان مرز بار معلق و بارکف را به راحتی مشاهده نمود) هستند را برآورد نمود، هزینه آزمایشگاه و انجام آزمایشات را دارا نمی‌باشد. میزان دقت برآورد دبی رسوب معلق توسط ضریب ناش-ساتکلیف NS (مایر و همکاران، ۱۹۸۳) و ضریب تبیین R^2 و درصد خطای تخمین درصد خطای تخمین ٪ (Dv) (پاندی و همکاران، ۲۰۰۸) در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول۵- نتایج ارزیابی روش‌های برآورد دبی رسوب معلق در رودخانه سولگان

رودخانه	معادلات	R^2	NS	D_v
سولگان	لین-کالینسک	۰/۴۲	۰/۳۹	-۱/۰۳
	بگنولد	۰/۴۶	۰/۷۵	۰/۲
	توفالتی	۰/۵۱	۰/۷۸	-۰/۱۵

با ارزیابی و مقایسه هر کدام از روابط توسط سه ضریب مذکور هم اکنون می‌توان با در دست داشتن مقدار دقت برای هر کدام از روابط آن‌ها را با توجه به همین معیار در جدول شماره ۶ مورد مقایسه انجام داد. در جداول شماره ۷ و ۸ نیز روابط معرفی شده توسط معیارهای هزینه و تعداد پارامترهای دیگری با یکدیگر مقایسه می‌شوند. مقدار هزینه برای هر کدام از روابط توسط محاسبه نمودن هزینه جمع‌آوری و مشخص شدن مقدار هر کدام از پارامترهای ورودی (برای مثال هزینه جمع‌آوری بار بستر و بار معلق از رودخانه توسط تکنسین آب منطقه‌ای) به روابط بدست آمده است. با استفاده از مقادیر مشخص شده برای هر کدام از روابط آن‌ها را در جدول شماره ۷ مورد مقایسه قرار داده‌ایم.

جدول۶- ماتریس مقایسات زوجی گزینه ها از بابت معیار دقت

گزینه	توفالتی	بگنولد	لین-کالینسک
توفالتی	۱	۱/۱	۱/۲۱
بگنولد	۰/۹	۱	۱/۰۹
لین-کالینسک	۰/۸۲	۰/۹۱	۱

جدول۷- ماتریس مقایسات زوجی گزینه ها از بابت معیار هزینه

گزینه	توفالتی	بگنولد	لین-کالینسک
توفالتی	۱	۰/۵	۰/۱۱
بگنولد	۲	۱	۰/۱۴
لین-کالینسک	۹	۷	۱

جدول۸- ماتریس مقایسات زوجی گزینه ها از بابت معیار تعداد داده های ورودی

گزینه	توفالتی	بگنولد	لین-کالینسک
توفالتی	۱	۰/۵	۰/۱۴
بگنولد	۲	۱	۰/۲
لین-کالینسک	۷	۵	۱

با انجام مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی و در نهایت با ادغام نمودن اوزان محاسبه شده برای هر کدام از معیارها در هر کدام از گزینه‌ها (فرمول‌ها)، میزان وزن نهایی محاسبه می‌شود. برای فرمول توفالتی میزان وزن نهایی محاسبه شده برابر با ۰/۳۹، برای فرمول بگنولد برابر با ۰/۳۳و برای لین-کالینسک برابر با ۰/۳۱ بدست آمد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه که عنوان شد، مطالب زیر نتیجه‌گیری می‌شود:

باید در ابتدا عنوان نمود که بهترین روش برآورد بارمعلق رودخانه‌ها، در کل روش مستقیم می‌باشد. که در آن نمونه‌های برداشتی در زمان‌های محدود و مشخص، معرف تغییرات غلظت رسوب موجود بوده و می‌توان با ضرب غلظت نمونه‌های برداشت شده در دبی جریان متناظر و فواصل زمانی ما بین نمونه‌برداری‌ها و در نهایت جمع کردن آن‌ها و تبدیل واحدها، بار معلق دوره زمانی مورد نظر را بدست آورد. در اغلب موارد که نمونه‌های معرف، از تغییرات رسوب و دبی در دسترس نباشد به ناچار می‌توان از روش‌های غیرمستقیم مانند فرمول‌های برآورد دبی رسوب معلق استفاده نمود. بهترین روش برآورد دبی رسوب معلق در رودخانه سولگان، روش توفالتی می‌باشد. با انجام مقایسه‌ای بین فرمول‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مشخص شد که به ترتیب فرمول‌های بگنولد و لین-کالینسک می‌توانند از اهمیت نه چندان زیاد در برآورد دبی رسوب معلق در رودخانه سولگان برخوردار باشند. با بالارفتن دبی لحظه‌ای رودخانه، مقدار خطای هر روش در برآورد بار معلق افزایش می‌یابد. نتایج بدست آمده در این مطالعه با نتایج بدست آمده توسط یانگ (۲۰۰۹)، مارتین (۲۰۰۳)، حسن‌زاده (۲۰۰۷)، ژائو و همکاران (۱۹۹۹) و هم‌چنین با نتایج حاصله از کاربرد فرمول بگنولد توسط قمشی و ترابی‌پوده (۱۳۸۱) و همچنین گیرما و هورلاشر (۲۰۰۴) مطابقت دارد. با بررسی‌های انجام شده بر روی فرمول‌ها می‌توان متوجه شد که فرمول بگنولد مقدار دبی رسوب معلق را در رودخانه کمتر از مقدار واقعی آن و با پراکندگی بسیار زیاد نسبت به سایر فرمول‌ها نشان می‌دهد. این نتیجه نیز با نتایج قمشی و ترابی‌پوده (۱۳۸۱) و گیرما و همکاران (۱۹۹۹) مطابقت دارد. همچنین تنها با مقایسه فرمول‌های بگنولد و توفالتی از نظر معیار دقت با یکدیگر مشخص شد که فرمول توفالتی نسبت به بگنولد در اولویت می‌باشد. نتیجه این قسمت با نتایج کاظمی (۱۳۸۷) هم‌خوانی ندارد. ایشان در مطالعه خود فرمول توفالتی را با دقت بیشتری نسبت به بگنولد معرفی نمودند.

۵- پیشنهادات

با توجه به عبور بخش بسیار زیادی از رسوبات رودخانه در مواقع سیلابی و عدم نمونه برداری‌های به موقع در این زمان‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری وزارت نیرو و تاثیر بسیار زیاد این نمونه‌ها در برآورد صحیح رسوب عبوری از رودخانه که در این تحقیق به طور واضح در افزایش صحت و دقت برآوردها مشاهده گردید، توصیه می شود وزارت نیرو برنامه‌هایی را جهت آماربرداری از این پدیده تا حد ممکن با فواصل زمانی کوتاه اتخاذ و یا از نمونه‌بردارهای اتوماتیک وگل آلودگی سنج‌ها در مسیر رودخانه‌های اصلی و مهم کشور استفاده کند تا بتوان تغییرات دقیق رسوب - دبی رودخانه را حداقل در زمان کوتاهی در دسترس داشته و در نهایت مقدار صحیح رسوب عبوری، برآورد گردد ودر مطالعات پایه‌ای مورد استفاده و ارزیابی قرار گیرد. همچنین با توجه به بررسی که صورت گرفته است توصیه می‌شود تا نتایج این فرمول‌ها در فصول مختلف نیز با یکدیگر مقایسه شوند. چرا که در فصول مختلف ممکن است به دلیل افزایش شدت جریان و سرعت آن میزان رسوبی که جا به جا می‌شود متفاوت بوده و در این صورت احتمال داده می‌شود که تعدادی از فرمول‌ها نتوانند در شدت‌های بالای جریان نتایج خوبی را ارائه دهند.

۶- مراجع

۱- پرتانی، ص و م. مجدزاده طباطبایی، ۱۳۸۵. بررسی روش‌های برآورد بار معلق رودخانه قزل اوزن و انتخاب معادله بهینه، مجموعه مقالات هفتمین سمینار مهندسی رودخانه، اهواز.

۲- چاوشی بروجنی، س و س. اسلامیان، ۱۳۷۷. تخمین دبی سیل با تناوب مختلف در حوزه آبخیز زاینده رود طبق روش هیبرید، علوم آب و خاک. ۳(۲):۱-۱۱.

۳- حکیم‌خانی ش و م. رستمی، ۱۳۸۰. ارائه مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس عوامل مؤثر بر رسوب‌دهی معلق حوضه‌های آبخیز دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۴- رحمانی، ا.، ۱۳۸۶. برآورد بار رسوبی با استفاده از مدل‌های تجربی مبتنی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان در رودخانه کرج، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۵- شفاعی بجستان، م.، ۱۳۸۴. هیدرولیک رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ سوم.

۶- صدائی، ن.، ۱۳۹۰. بهینه‌سازی روش‌های برآورد دبی رسوب معلق در حوضه کارون شمالی در استان چهارمهال و بختیاری: انتخاب بهترین روش، واسنجی و اعتبارسنجی آن‌ها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.

۷- فولادی پناه، م و م. جورابلو، ۱۳۹۰. مروری بر مدل های عددی جریان آب و انتقال رسوب، اولین همایش منطقه‌ای توسعه منابع آب.

۸- قمشی، م.، ح. ترابی پوده، ۱۳۸۱. ارزیابی کاربرد معادله های برآورد بار رسوبی در رودخانه های خوزستان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم، شماره اول.

۹- کاظمی، ی.، ۱۳۸۷. برآورد نسبت بار بستر به بار معلق در رودخانه‌های البرز مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۱۰- میرزایی، م.، ۱۳۸۱. مقایسه روش‌های آماری برآورد بار معلق رودخانه‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

11- Bagnold, R. A., 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics, US Geological Survey Professional Paper, 422-J.

12- Chang, F. M., D. B. Simons and E. V. Richardson, 1967. Total bed-material discharge in alluvial channels, Proc, 12th Congress of IAGR, Fort Collins, Colorado, USA.

13- Chang-Tai, T., T. Chih-Heng, W.Chun-Hun, B. Jinn-Jong and C. Ching-Nuo, 2010: Calculation of bed load based on the measured data of suspended load, *journal Paddy and Water Environment* (2010) 8:371–384.

14- Colby, B. R and C. H. Hmbree, 1955. Computations of bed material discharge, J. Hydr., Niobrara River near Cody, Nebraska, U.S. *Geological Survey of Iran*, Water Supply Paper 1357.

15- Einstein, H. A., 1942. Formula for the transportation of bed load. Trans., ASCE 107.

16- Engelund, F and E. Hansen, 1967. A monograph on sediment transport in alluvial streams, TedniskVorlag.

17- Girma, N. T and H. B. Horlacher, 2004. Investigation of performance of sediment transport formulation in natural rivers based on measured data in Kulfo River, southern Ethiopia, FWU, VOL. 4, Lake Abaya research symposium.

18- Hassanzadeh, Y., 2007. Evaluation of sediment load in a natural river, Water International, Volume 32, Number 1, Pg. 145-154.

19- Kalinske, A. A., 1942. Criteria for determining sand-transport by surface creep and salution. *Transactions of the American Geophysical Union*, 23:2.

20- Martin, Y., 2003. Evaluation of bed load transport formulae using field evidence from the Vedder River, British Columbia, Geomorphology, 53(1-2): 75-95.

21- Meyer, L. D., B. A. Zuhdi, N. L. Coleman and S. N. Prasad, 1983. Transport of sand-sized sediment along crop-row furrows, Transactions of the ASAE, 26(1):106-111.

22- Molinas, A and B. Wu, 2000. Transport of sediment in large sand-bed rivers. *Journal of Hydraulic research*, 39(2): 2001.

23- Oue, B and M. P. Rindlaub, 1934. The transport of bed lead by streams. *Transactions of the American Geophysical Union*. 87-119.

24- Pandey, A., V. M. Chowdary, B. C. Mal and M. Billib, 2008. Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model, *Journal of Hydrology*. 348(3-4): 305-319.

25- Quilbe, R. R and A. N. Duchemin, 2006. Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient load in streams: Application to the Beaurivage River (Quebec, Canada), *Journal of Hydrology*, 326: 296-310.

26- Shields, A., 1936. Anwendung der aehnlichkeits mechanic undderturbulens for schung auf die geschiebebewegung. Mitteilungen der Pruessischenver Such Sanstalt Fur Wasser, Erd, Schiffsbau, Berlin, No.26.

27- Straub, L. G., 1935. Missouri river report. House Document 238, 73rd Congress, 2nd session, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

28- Toffaleti, F. B., 1969. Definitive computations of sand discharge in rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 95(10): 225-246.

29- Yalin, M. S., 1963. An expression for bed load transportation. *Journal Hydraulic Division*, ASCE, 89: 221–250.

30- Yang, C. T., R. Marsooli and M. T. Aalami, 2009. Evaluation of total load sediment transport formulas using ANN. *International Journal of Sediment Research* 24: 274-286.
31- Zhao, Q and J. T. Kirby, 1999. Bagnold formula revised: incorporating pressure gradient in to energetics models. *Journal Hydraulic Division*, ASCE.

Quarterly Journal of
Environmental Erosion Researches
No. 12, Winter 2013, pp: 43-57
www.magazine.hormozgan.ac.ir

Classification of three formulae Lane_Kalinske, Bagnold, Toffaleti in Soolegan River using AHP

Nazila Sedaei[1] and Kaka Shahedi[2]
1- PhD student in watershed management at Sari agriculture and Natural Resources University, Iran, nsdaei@yahoo.com
2- Assistant Professor at Sari agriculture and Natural Resources University, Iran, k.shahedi@sanru.ac.ir

Abstract
For selecting the most proper equation of sediment estimation discharge, there is a great need to evaluate them for the concerned river. In this paper suspended sediment estimation formulae in Soolegan River using Analytical Hierarchy Processing (AHP) is investigated. Three equations of sediment estimation; Lane_Kalinske, Bagnold, Toffaleti were applied in this study. For estimating the amount of suspended sediment discharge for Soolegan River, numerical methods were used. After this step the amount of the accuracy of each of the formulae were evaluated with three coefficients (R^2, NS, D_v). In addition, the cost of solving each of the equation and also the numbers of the input parameters to each of them were used for classifying these three formulae. At first couple evaluation matrix for each of the criteria was created and then at last by calculating the final weight for each of the equations the preference of them was determined. Toffaleti with final weight of 0.39, Bagnold with 0.33 and Lane_Kalinske with 0.31 were classified in three groups for estimating the suspended sediment discharge.

Keywords

Analytical Hierarchy Processing, Lane_Kalinske, Bagnold, Toffaleti, Soolegan