

## اولویت بندی سه فرمول چانگ - سایمونز - ریچاردسون، بگنولد و توفالتی در سه رودخانه

### با استفاده از روش AHP

نازیلا صدائی<sup>1\*</sup> و کریم سلیمانی<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 91/05/10 تاریخ پذیرش: 91/10/24

<sup>1</sup> دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>2</sup> استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [nsdaei@yahoo.com](mailto:nsdaei@yahoo.com)

### چکیده

برای انتخاب مناسب ترین فرمول برآورد رسوب در هر رودخانه، ارزیابی فرمول‌های مربوطه ضروری می‌باشد. در این مقاله ارزیابی فرمول‌های برآورد بار رسوب بر مبنای داده های سه رودخانه بازفت، سولگان و ارمند با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام پذیرفت. سه فرمول برآورد رسوب معلق توفالتی، چانگ- سایمونز- ریچاردسون و بگنولد در این پژوهش به کار رفت. برای حل این فرمول‌ها از روش‌های حل عددی استفاده شد. دقت هر کدام از فرمول‌ها با دو آماره NS و  $R^2$  ارزیابی شد. علاوه بر محاسبه هزینه حل هر کدام از فرمول‌ها، تعداد مناسب داده‌های ورودی به هر کدام از فرمول‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از این طریق ماتریس مقایسات زوجی برای هر کدام از فرمول‌ها از نظر هرمعیار ایجاد شد و در نهایت با محاسبه وزن نهایی برای هر کدام از فرمول‌ها مناسب‌ترین آنها برای هر کدام از سه رودخانه مشخص شد. فرمول چانگ-سایمونز-ریچاردسون با وزن نهایی 0/34، 0/53 و 0/43 به ترتیب در سه رودخانه ارمند، سولگان و بازفت به عنوان فرمول مناسب جهت برآورد بار رسوب معلق رودخانه پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: بگنولد، توفالتی، چانگ- سایمونز- ریچاردسون، روش تحلیل سلسله مراتبی

## Classification of Three Formulae Chang- Simons- Richardson, Bagnold, Toffaleti in Three Rivers Using AHP

N Sedaei<sup>1\*</sup> and K Solaimani<sup>2</sup>

Received: 31 July 2012 Accepted: 26 December 2012

<sup>1</sup>Ph.D. student in Watershed Management, Sari Univ. of Agric. & Natural Resources, Sari, Iran.

<sup>2</sup>Prof., Sari Univ. of Agric. & Natural Resources, Sari, Iran.

\*Corresponding Author Email: [solaimani2001@yahoo.co.uk](mailto:solaimani2001@yahoo.co.uk)

### Abstract

For selecting the most proper formula to estimate sediment discharge, there is a great need to evaluate them for any river. In this paper, suspended sediment estimation formulae in Bazoft, Soolegan and Armand River using Analytical Hierarchy Processing (AHP) were investigated and at last the priority of each formula in three rivers was compared. Three formulae of sediment estimation; Chang-Simons-Richardson, Bagnold, and Toffaleti were applied in this research. For solving these formulae numerical methods were applied. Accuracy of each formula was evaluated using two statistics ( $R^2$ , NS). In addition to the cost calculation of solving each of the formula, the suitable numbers of its input parameters were studied. At first, pair-wise matrix for each of the criteria was created and then by calculating the final weight for each formula the preference rank of it was determined for each river. Chang-Simons-Richardson formula with final weights of 0.34, 0.53 and 0.43 for Armand, Soolegan and Bazoft rivers was proposed as suitable formula for sediment discharge estimation of the three rivers, respectively.

**Keywords:** Analytical hierarchy processing, Bagnold, Chang- Simons- Richardson, Toffaleti

### مقدمه

داشتن متغیرهای گوناگون در رسوب حاصله دانست. مطالعات گویای این امر است که برآورد میزان بار معلق نیز از پیچیده‌ترین مسائل هیدرودینامیکی است که تعیین دقیق معادلات حاکم بر آن به دلیل تاثیرات متغیرهای مختلف و غیر خطی بودن به آسانی میسر نمی‌باشد (آپیتاز و همکاران 2005). از طرفی، ارائه یک رابطه مناسب جهت برآورد بار رسوب معلق در رودخانه به دلیل تغییرات زیاد رودخانه‌ها در جهات مختلف بسیار مشکل خواهد بود. به همین دلیل رابطه‌های ارائه شده

پدیده فرسایش و انتقال رسوب در رودخانه‌ها و ذخایر آبی از پیچیده‌ترین مباحث مهندسی رودخانه به خصوص مطالعه میزان دبی رسوب بوده و در سال‌های اخیر به عنوان یکی از مشکلات اصلی مورد توجه بشر بوده است. در مقایسه با رشته‌های دیگر دانش هیدرولیک، توسعه برآورد دبی رسوب به میزان کمی صورت گرفته است. یکی از دلایل مهم این امر را می‌توان به ارتباط پیچیده رسوب و جریان آب و دخالت

بوده که به خوبی رفتار پیچیده و واقعی رسوب را پیش‌بینی نمی‌کنند. بنابراین با توجه به مشکلات موجود، امروزه بسیاری از محققین به روش‌های نوین پردازشی برای حل این مسائل روی آورده‌اند. یکی از روش‌های ارزیابی و اولویت‌بندی روش‌های مورد استفاده برای یک هدف خاص، استفاده از روش فازی و به کارگیری مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP می‌باشد. از روش AHP استفاده‌های متعددی شده است. از جمله این کاربردها می‌توان به اولویت‌بندی کاربری اراضی اشاره کرد (اونق و همکاران 1385). مطالعات نشان می‌دهد که با وجود اولویت‌بندی‌های زیاد صورت گرفته در زمینه‌های متعدد، به کارگیری روش AHP در ارتباط با مدیریت رسوب به دلیل عدم دسترسی به منابع و داده مورد اطمینان بسیار مشکل می‌باشد (آپیتاز و همکاران 2005). در کنار روش AHP، روش MCDA از جمله روش‌های مورد استفاده به منظور اولویت‌بندی مدیریت رسوب بوده است (بالاسوبرامانیام و وولولیس 2005، کیکر و همکاران 2005، لینکو و همکاران 2006). همچنین از کاربردهای دیگر این روش در علوم مرتبط با آب می‌توان به مطالعات مختلف (مانند چودهری و رامن 2008، منزس و هلر 2008) و زمین (بالاسوبرامانیام و همکاران 2007، هارباتل و همکاران 2008) اشاره نمود. با توجه به مطالب فوق، در این بررسی بر خلاف آنچه که تاکنون در ارتباط با روش‌های ارزیابی و اولویت‌بندی انجام گرفته است، از این روش‌ها برای ارزیابی و اولویت‌بندی سه رابطه برآورد بار رسوب معلق توفالتی (1969)، چانگ-سایمونز-ریچاردسون (1965) و بگنولد (1966) در سه رودخانه بازفت، سولگان و ارمند استفاده شده است. در نهایت اولویت‌بندی برای هر کدام از سه فرمول در هر یک از سه رودخانه انجام شد و اولویت برآورد شده برای هر سه فرمول در هر سه رودخانه با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. هدف این مقاله یافتن و مشخص کردن

در این زمینه با اعمال یک سری از ساده‌سازی‌ها در آزمایشگاه صورت گرفته که این امر موجب کاهش کارایی این رابطه‌ها در رودخانه‌های بزرگ می‌شود (مولیناز و وو 2000). تعداد کم نمونه‌های برداشت شده و در نتیجه بی‌دقتی و وجود خطای محاسباتی در اندازه‌گیری‌ها، مشکل دیگر در این زمینه محسوب می‌شود. معمولاً محدودیت هزینه جهت جمع‌آوری داده‌های ورودی مورد نیاز معادلات وجود دارد. به طور مثال، گردآوری داده‌های بار بستر جهت وارد نمودن به یک رابطه خاص، هزینه بیشتری را نسبت به گردآوری داده‌های بار معلق و دبی جریان دارد. از مشکلات دیگر در این زمینه تعداد داده‌های ورودی می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به کارگیری یک رابطه و میزان کارایی آن نه تنها به مفاهیم تئوریک اعمال شده در آن بستگی دارد، بلکه به داده‌های ورودی و تعداد آن نیز مرتبط است (مولیناز و وو 2000). به منظور برآورد بار رسوب رودخانه‌ها رابطه‌های زیادی ارائه شده است.

اوبراین و ریندلایب (1934)، استراب (1935)، شیلدز (1936)، کالینسکی (1942)، یالین (1963) و چانگ و همکاران (1965) اولین محقق‌هایی بودند که بر اساس تنش برشی بحرانی رابطه‌های مربوطه را در این زمینه ارائه کردند. انیشیتین (1942) از مفاهیم آماری و احتمالاتی برای برآورد بار بستر استفاده کرد. با استفاده از این تئوری مدل‌های مشابهی در روابط رسوب ارائه شده است. میریگ سبزواری (1371) به منظور برآورد رسوب در رودخانه کارون برای یک دوره 50 ساله از بین روش‌های انیشیتین (1950)، توفالتی (1969) به این نتیجه رسید که روابط مذکور نمی‌توانند جواب قابل قبولی را برای این رودخانه ارائه دهند. در ادامه محققین مختلف از توسعه مدل‌های ریاضی برای رسیدن به این هدف استفاده کردند که این تکنیک‌ها نیاز به داده‌های زیاد و طول دوره آماری بالایی دارند. بسیاری از روابط و تکنیک‌های فعلی تخمین رسوب براساس روابط خطی بین متغیرها است وارد

فرمولی است که دارای بیشترین و کمترین اولویت‌ها در سه رودخانه بوده است.

### مواد و روش‌ها

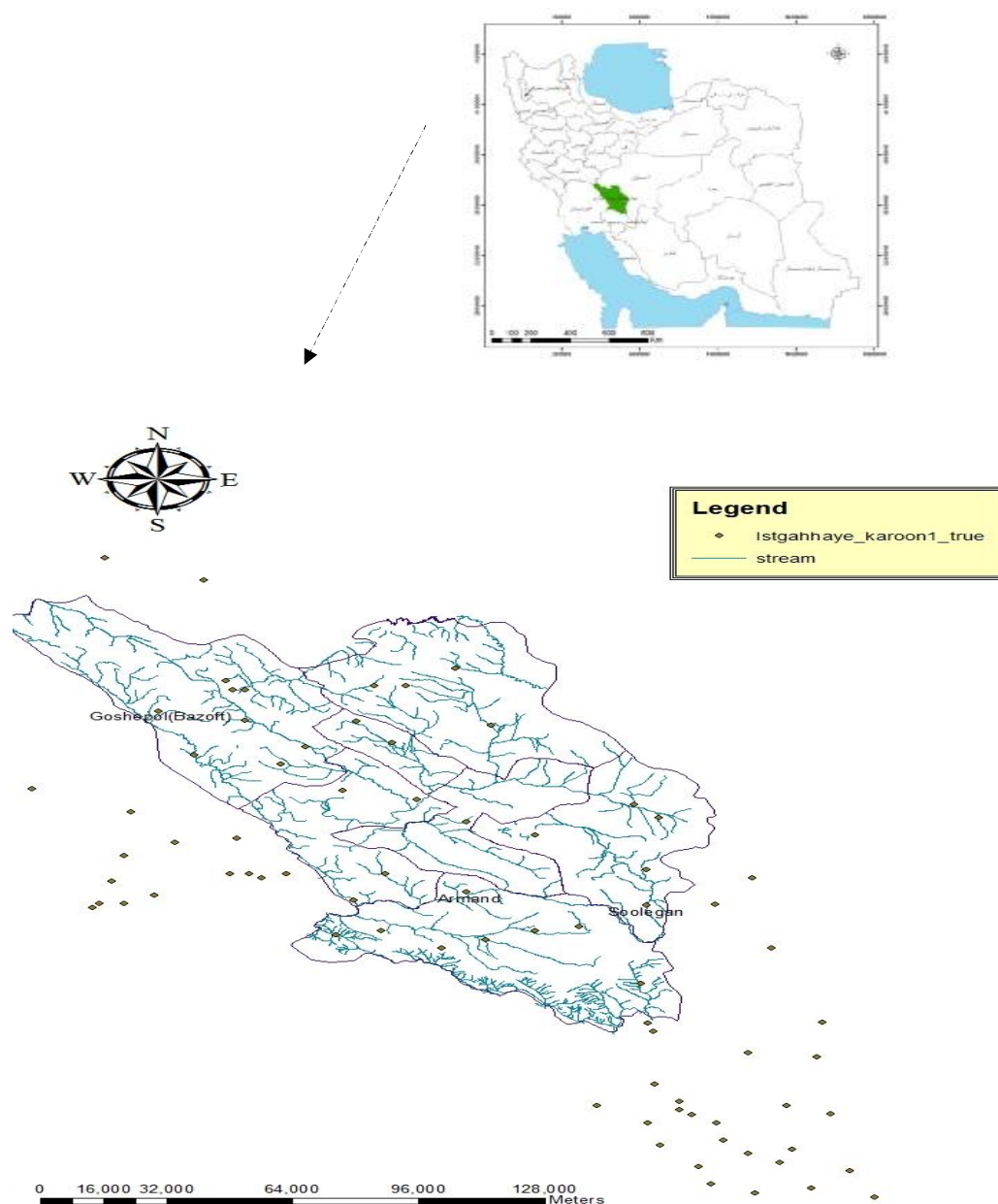
#### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کارون شمالی بخشی از حوضه آبخیز رودخانه کارون بوده که در محدوده جغرافیایی بین  $49^{\circ}34'$  تا  $51^{\circ}47'$  طول شرقی و  $31^{\circ}18'$  و  $32^{\circ}40'$  عرض شمالی قرار دارد (شکل 1). حوضه مذکور از شمال و شمال‌شرق به حوضه آبخیز سد زاینده‌رود، از شمال‌غرب به حوضه رودخانه دز، از جنوب به حوضه آبخیز رودخانه خرسان و از جنوب غرب به بخش‌هایی از حوضه آبخیز کارون بزرگ منتهی می‌گردد. مساحت حوزه آبخیز کارون شمالی 14476 کیلومتر مربع و در حدود 23 درصد از کل مساحت حوزه آبخیز کارون بزرگ را شامل می‌شود. حوضه آبخیز کارون شمالی با توجه به سیستم شبکه زهکشی و وضعیت توپوگرافی به 6 زیر حوضه بهشت‌آباد، کوه‌رنگ، کارون میانی، ونک، بازفت و لردگان (منج) و 23 واحد هیدرولوژیک تقسیم شده است. منطقه مورد بررسی به دلیل توپوگرافی خاص و وجود مناطق برف‌گیر از پرآب‌ترین

مناطق کشور بوده، به‌طوریکه سرچشمه مهم‌ترین رودخانه کشور یعنی کارون در آن قرار دارد. از لحاظ سنگ‌شناسی ارتفاعات این حوزه از تشکیلات آهکی مربوط به دوره کرتاسه تشکیل شده است. پراکندگی نزولات آسمانی در نقاط مختلف حوضه متفاوت بوده، به‌طوریکه حداکثر بارش سالانه در قسمت غربی حوضه و ارتفاعات زردکوه به میزان متوسط 1600 و حداکثر 2000 میلی‌متر تخمین زده می‌شود. در مقابل حداقل بارش متوسط سالانه در نواحی شمال به میزان 300 میلی‌متر مشاهده شده که در برخی سال‌های خشک به 200 میلی‌متر نیز تقلیل می‌یابد. به علت وضعیت اقلیمی مناسب و ریزش جوی نسبتاً زیاد منطقه، وضعیت پوشش گیاهی مناسب بوده و عمدتاً شامل مراتع استپی و جنگل‌های نیمه متراکم می‌باشد. جدول 1 مشخصات 3 ایستگاه هیدرومتری را در رودخانه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

#### داده‌های مورد استفاده

در این مقاله از سه فرمول برآورد رسوب معلق استفاده شده است. داده‌هایی که برای این سه فرمول مورد استفاده قرار گرفته به شرح جدول 2 می‌باشد.



شکل 1- موقعیت رودخانه‌های مورد مطالعه در حوضه کارون شمالی در استان چهارمهرال بختیاری.

جدول 1- مشخصات رودخانه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوضه کارون شمالی.

نام رودخانه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	مساحت (km <sup>2</sup> )
بازفت	گوشه پل (آب ترکی)	49° 56'	31° 21'	1716	82/5
کارون	ارمند	50° 46'	31° 40'	1082	9986
سولگان	سولگان	51° 14'	31° 38'	2086	1992

## جدول 2- فرمول‌های استفاده شده و پارامترهای مورد نیاز آنها جهت برآورد بار رسوب معلق رودخانه.

فرمول	تیرگی رسوب	نسبت تیرگی رسوب	درجه حرارت	شعاع هیدرولیکی رسوب	وزن مخصوص رسوب	وزن مخصوص آب	$D_{65}$	ویسکوزیته	عرض بستر	عمق جریان	غلظت رسوب
چانگ-سایمونز-ریچاردسون	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
بگنولد	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
توفالتی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

برای اینکه بتوان راحت تر در مورد تعداد داده- فرمول‌ها پرداخته می‌شود قضاوت کرد جدول 3 ارائه های ورودی و همچنین هزینه‌ای که برای حل نمودن داده شده است.

## جدول 3- پارامترهای ورودی مورد نیاز فرمول‌ها منتخب جهت برآورد رسوب رودخانه‌ها.

فرمول انتقال رسوب	ویژگی های رسوب	ویژگی های سیال	شرایط جریان	پارامتر مستقل
چانگ-سایمونز-ریچاردسون	$d_{65}-Y_s$	$v-Y$	B-D-S-V	$Q_b-Q_s$
بگنولد	$d_a-D_i-P_i-Y_s$	$v-Y$	B-D-S-V	$Q_b-Q_s$
توفالتی	$d_{65}-D_i-P_i-Y_s$	$v-Y$	B-D-S-V	$Q_b-Q_s$

$Y_s$ : وزن مخصوص ذرات رسوبی  $Y$ : 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 65 درصد ذرات از آن کوچکتر است  $d_i$ : قطری از مصالح بستر که  $i$  درصد ذرات از آن کوچکتر است  $P_i$ : درصد وزن ذرات موجود در کلاس  $i$ ام

### روش تحلیل سلسله مراتبی AHP

در واقع این روش اولویت‌بندی گزینه‌ها با وجود چندین معیار است. با این کار می‌توان این گزینه‌ها را به راحتی رتبه‌بندی نمود. این روش در شمار جامع‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای زیاد می‌باشد. از مزایای اصلی این روش آن است که امکان مقایسه معیارهای کمی و کیفی را در کنار یکدیگر فراهم می‌سازد (رنجبر و روغنی 1388). برای اینکه بتوان این روش را اعمال نمود باید چندین مرحله بشرح زیر انجام شود: الف) درخت تصمیم یا مدل‌سازی را رسم می‌نمائیم. ب) انجام مقایسات زوجی (بین گزینه‌ها و شاخص‌ها و در خود شاخص‌ها نسبت به هم) ج) محاسبه وزن‌های نسبی معیارها و گزینه‌ها از بابت معیارها در ماتریس‌ها د) ترکیب وزن‌های نسبی و ادغام آنها (ضرب آنها) و محاسبه وزن نهایی. تخصیص

با توجه به این جدول کاملاً مشخص است که تعداد داده‌های ورودی به فرمول بگنولد (1966) کمتر از چانگ-سایمونز-ریچاردسون (1965) و توفالتی (1969) است. چرا که در هر دوی این فرمول‌ها به قطر متوسط ذرات کف بستر قطری از ذرات که 65 درصد ذرات از آن کوچکتر است نیاز است و این یکی از مواردی است که باید در آزمایشگاه به مقدار عددی آن پی برد. از طرفی فرمول توفالتی علاوه بر این پارامتر هزینه ساز نیاز به نوعی دیگر از قطر ذرات دارد که همان قطر ذراتی است که در مرز رسوب معلق و بستر قرار دارد و به همین خاطر هزینه انجام آزمایشات برای تهیه پارامترهای این فرمول از چانگ بیشتر است.

آماره‌های مورد استفاده جهت ارزیابی عملکرد فرمول‌ها

برای ارزیابی نتایج در این تحقیق معیار ضریب تعیین (رابطه 1) و ضریب ناش-ساتکلیف (رابطه 2) استفاده شد. ضریب تعیین، معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر با یک می‌باشد. ناش-ساتکلیف ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده را نشان می‌دهد. محققین مختلف از این شاخص برای ارزیابی معادلات استفاده کرده‌اند (مایلر و مولر 1948).

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2} \quad [1]$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_o \cdot Q_e}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Q_o^2 \sum_{i=1}^n Q_e^2}} \quad [2]$$

### نتایج و بحث

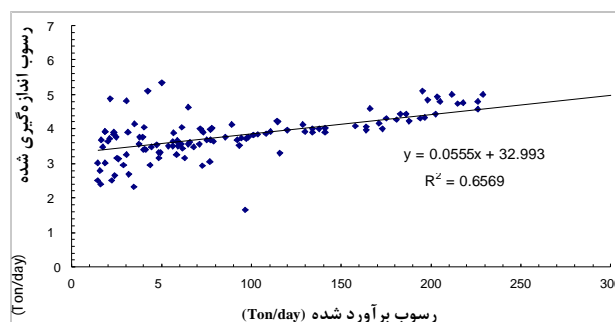
با حل معادلات و برآورد رسوب معلق‌های مورد مطالعه رودخانه عملکرد آن‌ها ارزیابی (اشکال 2، 3 و 4) و میزان دقت آن‌ها را برای وارد نمودن در ماتریس مقایسات زوجی بررسی شد.

امتیازهای مقایسات زوجی به چهار روش زیر انجام گرفت: 1- استفاده از دانش کارشناسی 2- استفاده از دانش داده‌ای 3- تلفیقی از این روش‌ها 4- پرسشنامه. از نکات قابل توجه در این روش آن است که در تصمیم‌گیری در این روش معیارهای کمی اعم از پیوسته و گسسته با ترجیحاتی که در جدول 4 ارائه شده است، همگی در کنار معیارهای کیفی به صورت بسیار ساده بیان می‌گردند. یک سیستم تصمیم‌گیری باید قابلیت فرموله کردن مساله را داشته باشد. این روش گزینه‌های مختلف اعم از کیفی و کمی، گسسته و یا پیوسته را در نظر می‌گیرد، امکان تلفیق آن‌ها را فراهم ساخته و سرانجام آن‌ها را فرموله می‌سازد (قدسی‌پور 1387).

جدول 4- شماره مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی.

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
9	کاملاً مرجح یا مطلوب‌ترین
7	ترجیح یا مطلوب خیلی قوی
5	ترجیح یا مطلوب قوی
3	کمی مرجح یا کمی مطلوب‌تر
1	ترجیح با مطلوبیت کمتر یا کمی مهم‌تر
2-4-6-8	ترجیحات بین فواصل فوق

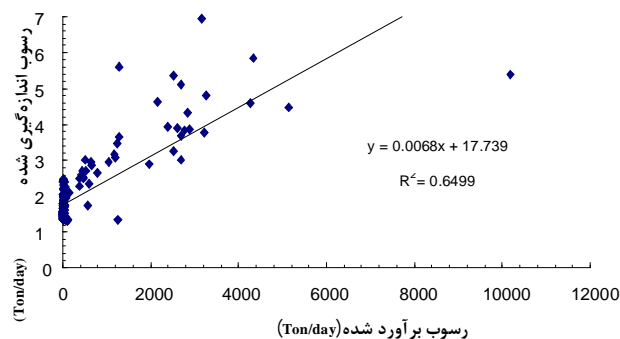
منبع: (عبدالامیر و همکاران 1384)



شکل 2- مقایسه دبی رسوب برآورد شده با روش چانگ-سایمونز-ریچاردسون با دبی رسوب اندازه‌گیری شده در رودخانه بازفت.

مطلب می‌باشد که فرمول در صورتی که برای رودخانه مورد نظر واسنجی شود می‌تواند جهت برآورد بار رسوب معلق مورد استفاده قرار گیرد.

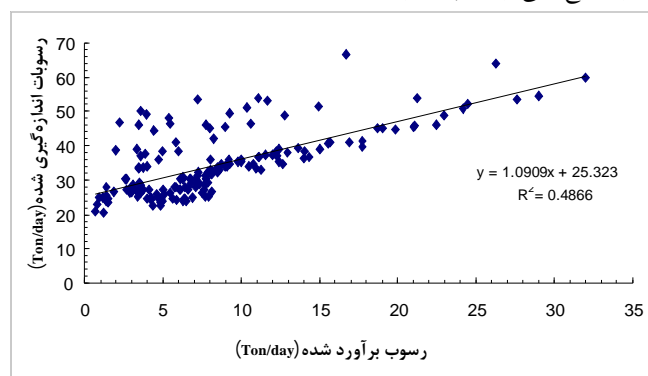
با توجه به شکل شماره 2 میزان برآورد رسوب معلق در رودخانه بازفت با استفاده از روش چانگ-سایمونز-ریچاردسون (1965) دارای آماره برابر با 0/65 درصد می‌باشد. از طرفی می‌توان اظهار نمود که ارقام برآورد شده توسط این فرمول دارای دامنه‌ای متوسط بین 0 تا 250 می‌باشند. این نشان دهنده این



شکل 3- مقایسه دبی رسوب برآورد شده با روش توفالتی با دبی رسوب اندازه‌گیری شده در رودخانه بازفت.

احتمال درصد موفقیت این فرمول جهت برآورد بار رسوب معلق حتی با وجود واسنجی موثر بوده و میزان آن را کاهش دهد.

با توجه به شکل 3 فرمول توفالتی (1969) با اینکه دارای  $R^2$  برابر با 0/64 می‌باشد ولی می‌توان گفت که ارقام برآورد شده توسط این فرمول جهت ارائه میزان بار رسوب معلق در رودخانه دارای پراکندگی بسیار بالایی می‌باشد. این موضوع می‌تواند بر روی



شکل 4- مقایسه دبی رسوب برآورد شده با روش بگنولد با دبی رسوب اندازه‌گیری شده در رودخانه بازفت.

طور که در این شکل مشاهده می‌شود میزان عدد ارائه شده برای آماره  $R^2$  برابر با 0/48 می‌باشد. از طرفی با توجه به این نمودار کاملاً واضح است که فرمول بگنولد

آنچه که در شکل شماره 4 مشاهده می‌شود گویای میزان دقت فرمول بگنولد (1966) جهت برآورد بار رسوب معلق در رودخانه بازفت می‌باشد. همان



(1966) مقدار ارائه شده برای برآورد بار رسوب معلق در رودخانه را با دقت کمتری نشان می‌دهد. این موضوع هم چنین نشان دهنده این مطلب است که حتی با وجود واسنجی نمی‌توان این فرمول را برای برآورد بار رسوب معلق در رودخانه بازفت مناسب دانست. ماتریس مقایسات زوجی را برای همه گزینه‌ها از نظر هر کدام از معیارها بدست می‌آوریم.

جدول 5- ضرایب آماری روابط بین دبی رسوب اندازه گیری شده و برآورد شده معادلات.

رودخانه	معادلات	R <sup>2</sup>	NS
چانگ-سایمونز-ریچاردسون		0/65	0/88
بازفت	بگنولد	0/48	0/37
	توفالتی	0/64	0/79

جدول 6- ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها از نظر معیار دقت.

گزینه	توفالتی	بگنولد	چانگ-سایمونز-ریچاردسون
توفالتی	1	1/33	0/98
بگنولد	0/75	1	0/73
چانگ-سایمونز-ریچاردسون	1/01	1/35	1

جدول 7- ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها از نظر معیار هزینه.

گزینه	توفالتی	بگنولد	چانگ-سایمونز-ریچاردسون
توفالتی	1	0/5	0/2
بگنولد	2	1	6
چانگ-سایمونز-ریچاردسون	5	0/16	1

جدول 8- ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها از نظر معیار تعداد داده‌های ورودی.

گزینه	توفالتی	بگنولد	چانگ-سایمونز-ریچاردسون
توفالتی	1	0/5	0/2
بگنولد	2	1	0/25
چانگ-سایمونز-ریچاردسون	5	4	1

طرفی روش بیان شده در این مقاله عینا برای دو رودخانه دیگر ارمند و سولگان نیز انجام شد. به دلیل کاهش حجم مقاله و جلوگیری از طولانی شدن صفحات آن نتایج بدست آمده در قالب جدول شماره 9 ارائه داده شده است.

با انجام سایر مراحل در نهایت وزن‌های نهائی برای هر کدام از فرمول‌ها به این صورت ارائه داده شد: توفالتی (1969) میزان وزن نهائی محاسبه شده برابر با 0/28 برای فرمول بگنولد (1966) برابر با 0/22 و برای چانگ-سایمونز-ریچاردسون (1965) برابر 0/43. از

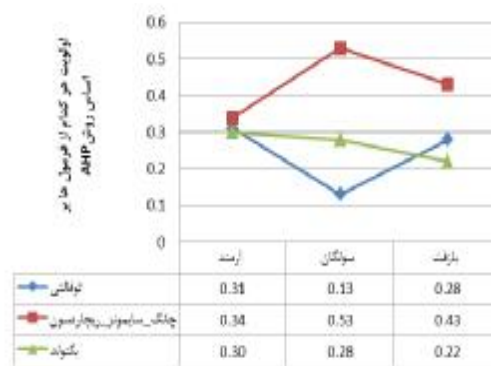
### نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق فرمول توفالتی با وزن‌های نهائی 0/34، 0/53 و 0/43 به ترتیب برای رودخانه‌های ارمند، سولگان و بازفت به عنوان مناسب‌ترین فرمول برآورد بار معلق شناخته شد. از طرفی با توجه به جدول 9 و شکل 5 می‌توان نتیجه گرفت که این رابطه نسبت به دو فرمول دیگر دارای اولویت کمتری برای برآورد بار رسوب معلق در رودخانه می‌باشد. با این حال این فرمول دبی بار معلق رسوب را کمتر از مقدار واقعی در هر سه رودخانه تخمین زده شده است. از آن جایی که در این مقاله برای اولین بار از روش تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت‌بندی سه فرمول برآورد بار رسوب معلق در رودخانه استفاده شده است و از طرفی به مقایسه اولویت‌های این سه فرمول در سه رودخانه پرداخته شده است، لذا به دلیل تازگی ایده استفاده شده در این مقاله نگارندگان تحقیق و نتایجی که بتوان یافته‌های این مطالعه را با آنها مقایسه نمود نیافتند. ولی می‌توان به نتایجی اشاره نمود که تنها به مقایسه چند فرمول برآورد بار رسوب در رودخانه پرداخته‌اند. البته در این مقالات از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی استفاده نشده است. از طرفی بین سه رودخانه اولویت‌بندی فرمول‌ها از جمله مواردی می‌باشد که بسیار کمتر تا کنون انجام شده است. در کنار این نکات یکی از مقالاتی که می‌توان نتایج آن را با یافته‌های مطالعه حاضر مقایسه نمود مقاله‌ای است که توسط قمشی و ترابی پوده (1381) ارائه شده است. ایشان در مقاله خود اقدام به رسم نسبت بار رسوبی در برابر تعداد دوره داده‌ها برای چهار ایستگاه واقع در رودخانه‌ای در خوزستان نمود. آشکار است که هر چه نقاط رسم شده به خط  $L_{sr} = 1$  نزدیک‌تر و در راستای این خط پراکنده شده باشند، دقت فرمول مربوطه بیشتر است. با توجه به نتایج بررسی ایشان روش انیشتین (1950) دارای روندی نامشخص و پراکنده‌گی زیاد در برآورد رسوب می‌باشد.

جدول 9- وزن‌های نهائی ارائه داده شده برای هر کدام از فرمول‌های برآورد بار رسوب معلق در سه رودخانه مورد مطالعه.

فرمول	ارمند	سولگان	بازفت
توفالتی	0/31	0/13	0/28
چانگ-سایمونز-ریچاردسون	0/34	0/53	0/43
بگنولد	0/3	0/28	0/22

جدول شماره 9 نشان دهنده این مطلب می‌باشد که فرمول توفالتی (1969) در رودخانه ارمند دارای اولویت بیشتری نسبت به دو رودخانه دیگر می‌باشد. از طرفی با نگاهی به عملکرد فرمول چانگ-سایمونز-ریچاردسون (1965) کاملاً مشخص می‌باشد که در رودخانه سولگان فرمول ذکر شده نسبت به دو رودخانه دیگر دارای عملکرد و اولویت بیشتری برای برآورد دبی رسوب معلق در رودخانه می‌باشد. در نهایت فرمول بگنولد (1966) در رودخانه ارمند دارای اولویت بیشتری می‌باشد. از طرفی می‌توان این طور بیان داشت که وزن نهائی در رودخانه ارمند از آن فرمول چانگ-سایمونز-ریچاردسون (1965)، در سولگان فرمول چانگ-سایمونز-ریچاردسون (1965) و در نهایت در بازفت نیز مجدداً چانگ-سایمونز-ریچاردسون (1965) می‌باشد. از این جدول می‌توان نتیجه گرفت که فرمول چانگ-سایمونز-ریچاردسون (1965) در هر سه رودخانه دارای اولویت بیشتری نسبت به سایر فرمول‌ها می‌باشد.



شکل 5. مقایسه اولویت‌بندی فرمول‌های برآورد بار رسوب معلق در سه رودخانه با استفاده از روش AHP.

فرمول‌ها تنها توسط دقت برآورد دبی بار معلق توسط آنها در رودخانه بازفت و ارمند هماهنگ ولی در رودخانه سولگان ناهماهنگ می‌باشد. همچنین از طرفی می‌توان گفت کمتر برآورد نمودن مقادیر بار رسوب معلق در رودخانه از جمله مواردی است که در این تحقیق نیز به آن اشاره شده است. نتایج بدست آمده در این مقاله تا حدودی با نتایج بدست آمده توسط یانگ (2009)، مارتین (2003)، حسن زاده (2007)، ژائو و کربی (2005) در تضاد است. شاید دلیل این موضوع را بتوان مربوط به این دانست که تنها در این تحقیقات به بررسی دقت فرمول‌ها پرداخته شده است. در صورتی که در مقاله حاضر علاوه بر دقت، هزینه و تعداد داده‌های ورودی به نوعی آسانی حل فرمول‌ها در نظر گرفته شده است. البته می‌توان از نظر سختی راه حل این فرمول‌ها را نیز بررسی نمود که این مهم در مقاله‌هایی که در آینده توسط نگارندگان ارائه خواهند شد بررسی می‌شود. چرا که برای حل بعضی از این فرمول‌ها از روش‌های حل عددی استفاده می‌شود. که این موضوع باعث می‌شود تعدادی از آنها حذف شوند و دامنه کاربرد آنها محدودیت پیدا نماید. از طرفی نتایج بدست آمده در این مقاله با نتیجه‌گیری تکلیه و هورلاشر (2004) همخوانی ندارد. با توجه به بررسی‌هایی که صورت گرفته است توصیه می‌شود تا نتایج این فرمول‌ها در فصول مختلف نیز با یکدیگر مقایسه شوند. زیرا در فصول مختلف ممکن است به دلیل افزایش شدت جریان و سرعت آب میزان رسوبی که جا به جا می‌شود نیز متفاوت بوده و در این صورت احتمال داده می‌شود که تعدادی از فرمول‌ها نتوانند در شدت‌های جریان بالاتر نتایج خوبی را ارائه دهند. از طرفی پارامترهای دیگری می‌توانند برای اولویت‌بندی فرمول‌ها مورد استفاده قرار گیرند. برای مثال می‌توان میزان برتری فرمول‌ها را در پارامترهای متفاوت مورفولوژیکی و یا حتی هیدرولوژیکی مورد بررسی قرار داد.

همچنین در این مطالعه مشخص شد که نمی‌توان دقت فرمول انیشتین (1950) را با هیچ کدام از روش‌های اصلاح نمود. عدم قابلیت اصلاح یک فرمول یکی از مواردی می‌باشد که با نتایج حاصل از این تحقیق تطابق دارد. به عبارتی می‌توان ذکر نمود که فرمول‌های بگنولد (1966) و توفالتی وضعیتی مشابه با فرمول انیشتین (1950) در رودخانه خوزستان را دارا می‌باشند. هم‌چنین در بررسی انجام شده توسط قمشی ترابی پوده (1381) مشخص شد که فرمول بگنولد (1966) در هیچ کدام از ایستگاه‌ها بار رسوب را با برآوردی خوب ارائه ننموده است. به عبارتی میزان بار رسوب را کمتر از مقادیر اندازه گیری برآورد کرده است. ولی با توجه به اینکه نقاط برآوردی توسط فرمول بگنولد (1966) نزدیک به خط  $L_{sr}=1$  می‌باشد در نتیجه این فرمول را می‌توان اصلاح نمود. این نتیجه با آنچه که در این تحقیق بدست آمده است مغایرت دارد. در نهایت در مقاله قمشی و ترابی پوده (1381) فرمول توفالتی (1969) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج این فرمول مشابه با فرمول انیشتین (1950) بوده. که این مطلب با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. با قرار دادن نتایج حاصل از اولویت بندی فرمول‌ها و مقایسه آنها تنها با استفاده از دقت برآورد بار رسوب معلق در رودخانه می‌توان نتیجه گرفت که نتایج برای فرمول توفالتی (1969) و بگنولد (1966) با نتایج حاصله برای این دو فرمول از مطالعه صورت گرفته توسط قمشی و ترابی پوده (1381) متفاوت می‌شود. به عبارتی زمانی که وزن نهائی ارائه شده توسط روش تحلیل سلسله مراتبی را ارائه می‌نمائیم توفالتی (1969) در جایگاه دوم در رودخانه‌های ارمند و بازفت قرار می‌گیرد ولی در رودخانه سولگان در جایگاه سوم بیان می‌شود. از طرفی فرمول بگنولد (1966) در رودخانه بازفت و ارمند در جایگاه سوم و در رودخانه سولگان در جایگاه دوم می‌نشیند. که این موضوع نشان دهنده این مطلب می‌باشد که ارائه روش تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه

## منابع مورد استفاده

- اونق م، قانقرمه ع، عابدی ق، 1385. برنامه مدیریت کاربری اراضی سواحل جنوب شرقی دریای خزر (معرفی مدل عددی ارزیابی توان اکولوژیکی و آمایش سرزمین)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال 13، شماره 5. صفحه‌های 139-151.
- رنجبر م و روغنی پ، 1388. پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فصل نامه جغرافیای چشم انداز زاگرس، سال اول، شماره 2، صفحه‌های 12 تا 14.
- عبدالامیر ک، محمودی ف، 1384. مدل سازی کمی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در زاگرس چین خورده مطالعه موردی: حوضه سرخون در استان چهارمهل و بختیاری، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 1. صفحه 51.
- قدسی پور ح، 1387. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ پنجم.
- قمشی م و ترابی پوده ح، 1381. ارزیابی کاربرد فرمول‌های برآورد بار رسوبی در رودخانه‌های خوزستان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 6، شماره 1. صفحه 13-16.
- میربیگ سبزواری ن، 1371. بررسی روش‌های برآورد بار رسوب و محاسبه رسوبات رودخانه کارون در ایستگاه اهواز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Apitaz SE, Davis JW, Finkelstein K, Hohreiter DW, Hoke R, Jensen RH, 2005. Assessing and managing contaminated sediments: part II, evaluating risk and monitoring sediment remedy effectiveness. *Integr Environ Assess Manag* 1(1): e1-e14.
- Bagnold RA, 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. USGS. 422: 280-283.
- Balasubramaniam A, Voulvoulis N, 2005. The appropriateness of multicriteria analysis in environmental decision-making problems. *Environ Technol* 26 (9): 951-62.
- Balasubramaniam A, Boyle AR, Voulvoulis N, 2007. Improving petroleum contaminated land remediation decision-making through the MCA weighting process. *Chemosphere* 66 (5): 791-798.
- Chang FM, Simons DB, Richardson EV, 1965. Total bed-material discharge in alluvial channels. USGS Water Supply Paper: (1): 1498.
- Chowdhury RK and Rahman R, 2008. Multicriteria decision analysis in water resources management: the Malnichara channel improvement. *Int J Environ Sci Tech* 5(2):195-204.
- Einstein HA, 1942. Formulaw for the transportation of bed load. *Trans, ASCE* 107.
- Einstein HA, 1950. The bed load function for sediment transportation in open channels. Technical Bulletin 1026, U.S Dept of Agric, Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- Harbottle MJ, Al-Tabbaa A, Evans CW, 2008. Sustainability of land remediation. Part 1: overall analysis. *Proc Inst Civ Eng Geotech Eng* 161(2): 75-92.
- Hassanzadeh Y, 2007. Evaluation of sediment load in a natural river, *Water International*, 32 (1): 145-154.
- Kalinske, A.A. 1942. Criteria for determining sand-transport by surface creep and solution. Maxwell Stanley Hydraulics Laboratory Iowa City, Iowa 52242-1585, 23: 2-3.
- Kiker GA, Bridges TS, Varghese A, Seager PT, Linkov I, 2005. Application of multi criteria decision analysis in environmental decision-making. *Integr Environ Assess Manag* 1(2): 95-108.
- Linkov I, Satterstrom FK, Kiker G, Seager TP, Bridges T, Gardner KH, 2006. Multi criteria decision analysis: a comprehensive decision approach for management of contaminated sediments. *Risk Anal* 26 (1): 61-78.
- Martin Y, 2003. Evaluation of bed load transport formulae using field evidence from the Vedder River, British Columbia, *Geomorphology* 53(1-2): 75-95.
- Menezes CT, Heller L, 2008. A method for prioritization of areas for pesticides surveillance on surface waters: a study in Minas Gerais, Brazil. *Water Sci Techno* 57 (11): 1693-8.
- Meyer-Peter E, Muller R, 1948. Formulas for bed load transport. Report on Second Meeting of Int. Assoc. for Hydraulic Res., Stockholm, Sweden.
- Molinas A, Wu B, 2000. Transport of sediment in large sand-bed rivers. *J Hydrol Res* 39 (2):34-35.
- Obrien L, Rindlaub MP, 1934. The transport of bed lead by streams. *Trans Am Geophy Sci* 2: 87-119.
- 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.

- Straub LG, 1935. Missouri river report. House Document 238, 73<sup>rd</sup> Congress, 2<sup>nd</sup> session, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 25:238-239.
- Teklie N and Horlacher HB, 2004. Investigation of Performance of Sediment Transport Formulation in Natural Rivers Based on Measured Data in Kulfo River, Lake Abaya Research Symposium.
- Toffaleti FB, 1969. Definitive computations of sand discharge in rivers. Journal of the Hydraulics Division, 95 (1): 225-248.
- Yalin M.S, 1963. An expression for bed load transportation. Journal Hydraulic Division, ASCE 89: 221-250.
- Yang CT, Marsooli R, and Aalami MT, 2009. Evaluation of total load sediment transport formulas using ANN. IJSR 24: 268-274.
- Zhao, Q. and Kirby, J. T., 2005. Bagnold formula revisited, Incorporating pressure gradient into energetics models, Proc. 32nd Int. Conf. Coastal Engrng., Madrid, Spain.