

کارآیی روش‌های مختلف تفکیک داده در افزایش دقت و صحت برآورد رسوب معلق ایستگاه‌ها با استفاده از روش نسبت‌ها در منحنی سنجه رسوب (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز اترک واقع در استان گلستان)

- ❖ عباسعلی قزل سوفلو؛ استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران.
- ❖ محبوبه حاجی بیگلر؛ دانشجوی دکترای آبخیزداری، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

چکیده

برآورد رسوب معلق حوضه‌های دارای آمار و اطلاعات به آسانی امکان‌پذیر است ولی حوضه‌های فاقد آمار، روش‌های دیگری را می‌طلبند. بر این اساس، روش‌های تجربی موسوم به منحنی سنجه رسوب یا روابط "دبی-دبی رسوب" ارائه شده است. تحقیق حاضر درصدد ارائه روش‌های بهتر تفکیک داده و در نهایت تهیه و تدقیق منحنی سنجه رسوب معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری مراوه تپه، هوتن، قازانقایه واقع بر رودخانه اترک در حوضه آبخیز اترک سقلی واقع در استان گلستان است. به منظور افزایش دقت برآورد رسوب از دسته‌بندی ماهانه، فصلی، کل نمونه‌ها، دوره خشک و مرطوب و کلاسه‌بندی دبی همراه با تناوب برازش منحنی سنجه رسوب به روش‌های برازش تک خطی، برازش تک خطی با تعدیل FAO، برازش ترکیبی (چند خطی)، روش ترسیمی (حداکثر غلظت) و برازش حد وسط دسته‌ها بهره‌گیری شده است. به این منظور، از شاخص‌های آماری به منظور انتخاب روش برتر استفاده شد. نتایج نشان داد مدل منحنی سنجه رسوب با برازش یک خط برای کل داده‌ها با اعمال تصحیح FAO در ایستگاه مراوه تپه، روش برازش یک خط در تقسیم‌بندی داده‌ها براساس دوره خشک و مرطوب با اعمال تعدیل FAO در ایستگاه قازانقایه و روش برازش یک خط در تقسیم‌بندی داده‌ها براساس کلاسه‌بندی دبی در ایستگاه هوتن در بین مدل‌های مورد آزمون دارای کم‌ترین میزان میانگین مربعات خطا بوده و بهترین قابلیت پیش‌بینی را در برآورد رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه داراست. براساس روش‌های منتخب میزان متوسط رسوب ویژه معلق حوضه آبخیز اترک تا محل ایستگاه مراوه تپه، قازانقایه و هوتن به ترتیب برابر ۷۰۵، ۶۸۳ و ۷۸۱ تن در سال در کیلومتر مربع برآورد گردید.

کلید واژگان: برآورد رسوب معلق، منحنی سنجه رسوب، تفکیک داده، شاخص‌های آماری

۱. مقدمه

رسوبات معلق رودخانه به عنوان مهم‌ترین پیامد فرسایش خاک محسوب می‌شود. تقریباً تمام اطلاعات درباره تولید رسوب در سطح جهان مربوط به تولید رسوب معلق است [۱۰]. غلظت رسوب متغیر بسیار مهمی است که نقش عمده‌ای در ارزیابی کیفیت منابع آب دارد [۱۳]. برآورد رسوب معلق حوضه‌های دارای آمار و اطلاعات به آسانی امکان‌پذیر است ولی حوضه‌های فاقد آمار، روش‌های دیگری را می‌طلبد [۶]. تعداد کم ایستگاه‌های رسوب‌سنجی در کشور و عدم دقت کافی و تعداد کم نمونه‌برداری‌ها جزء مشکلات همیشگی این مطالعات بوده است [۲۲]. همچنین [۳] تحقیقات در زمینه برآورد و اندازه‌گیری رسوب و فقدان اندازه‌گیری‌های درازمدت از فرسایش مانع از دستیابی به اطلاعات مفید داده‌های مشاهداتی شده است. سابقه بررسی و تحقیق در مورد انتقال رسوب معلق به رودخانه بیش از صد سال است، به طوری که نخستین نمونه‌برداری از بار معلق رودخانه‌ها در سال ۱۸۴۵ میلادی در رودخانه می‌سی‌سی‌پی انجام شد [۲۲]. پس از آن در ۱۸۶۳ در رودخانه‌های سن و مارن^۱ فرانسه و در ۱۹۳۹ در رودخانه نیل صورت گرفت و به تدریج در سرتاسر جهان توسعه یافت [۱۷]. به طور کلی روش‌های برآورد بارمعلق رودخانه‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. روش‌های مبتنی بر قوانین دینامیک و مکانیک سیالات که اغلب توسط متخصصان علم هیدرولیک ارائه و به روش‌های هیدرولیکی برآورد بار معلق شهرت یافته‌اند و روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری مستقیم و تحلیل‌های آماری که بیشتر توسط صاحب‌نظران علم هیدرولوژی توصیه و تحت عنوان روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق نامیده می‌شوند. نمونه‌برداری از بار معلق و گذر حجمی متناظر با

آن، این امکان را به وجود می‌آورد که بتوان مقادیر درازمدت رسوبات حمل شده توسط رودخانه را تخمین زد. بر این اساس، روش‌های تجربی موسوم به منحنی سنجه رسوب یا روابط "دبی-دبی رسوب" ارائه شدند. معمولی‌ترین روش ترسیم منحنی سنجه رسوب گذراندن یک خط (یا بیش از یک خط) از بین ابر نقاط دبی جریان و دبی رسوب می‌باشد که تحت عنوان منحنی سنجه رسوب یک خطی^۲ نامیده می‌شود. علاوه بر این [۱۲]، پیشنهاد می‌کند دبی‌های جریان با یک افزایش مشخص به تعدادی دسته تقسیم شده و برای دبی متوسط هر دسته میانگین رسوب همان دسته تعیین گردد و منحنی سنجه رسوب با استفاده از این داده‌های جدید ترسیم گردد. این روش به نام منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته‌ها^۳ نامیده می‌شود [۱۲]. در مطالعه‌ای [۵] از مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی پارامترهای منحنی سنجه رسوب (α و β) در حوزه آبخیز اونتاریو^۴ استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل ANN از کارایی بالایی در بیان ضرایب معادله منحنی سنجه رسوب برخوردار است. [۶] در مطالعه‌ای، به مدل‌سازی رسوبات معلق با استفاده از رگرسیون چندمتغیره، منحنی سنجه رسوب، و الگوریتم ژنتیک پرداختند. در این مطالعه کارایی بیشتر مدل‌سازی بر اساس الگوریتم ژنتیک تأیید شد. داده‌های ورودی برای مدل‌سازی آن‌ها عبارت بود از دبی روز واقعه و دبی و رسوب یک و دو روز قبل. در مطالعات آن‌ها بر اساس رگرسیون چندمتغیره دبی روز واقعه و دبی و رسوب یک روز قبل به ترتیب دارای اهمیت بالاتری بودند. در مطالعه‌ای دیگر [۲۳] اقدام به بهینه‌سازی ضرایب معادله منحنی سنجه رسوب با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که براساس معیار MSE^۵ الگوریتم‌های فراابتکاری از نوع GA^۶

1 Seine and Marne

2 Linear sediment rating curve

3 Mean load within discharge classes

4 Ontario

5 Mean Square Error

6 Goal Approach

منحنی سنجۀ رسوب معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری مراوه تپه، هوتن، قازانقایه واقع بر رودخانه اترک در حوضۀ آبخیز اترک سفلی واقع در استان گلستان است.

۲. روش‌شناسی

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضۀ آبریز اترک ۴۱ درصد سطح استان گلستان را با ۸۶۰۰ کیلومتر مربع تشکیل می‌دهد. بخش عمدۀ این حوضه در استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی و کشور ترکمنستان واقع گردیده و بخش سفلی آن در استان گلستان قرار دارد. این حوضه در محدوده جغرافیایی $54^{\circ}59'$ تا $54^{\circ}44'$ طول شرقی و $38^{\circ}57'$ تا $38^{\circ}17'$ عرض شمالی قرار دارد. رودخانه اترک پس از گذشتن از قازانقایه تا دشت‌های ساحلی دریای خزر به نام اترک سفلی معروف است که مساحت حوضۀ این قسمت حدود ۸۵۹۷ کیلومتر مربع می‌باشد. در این تحقیق از آمار دبی و رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری مراوه تپه، هوتن و قازانقایه استفاده گردید. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضۀ آبخیز اترک نشان داده شده است.

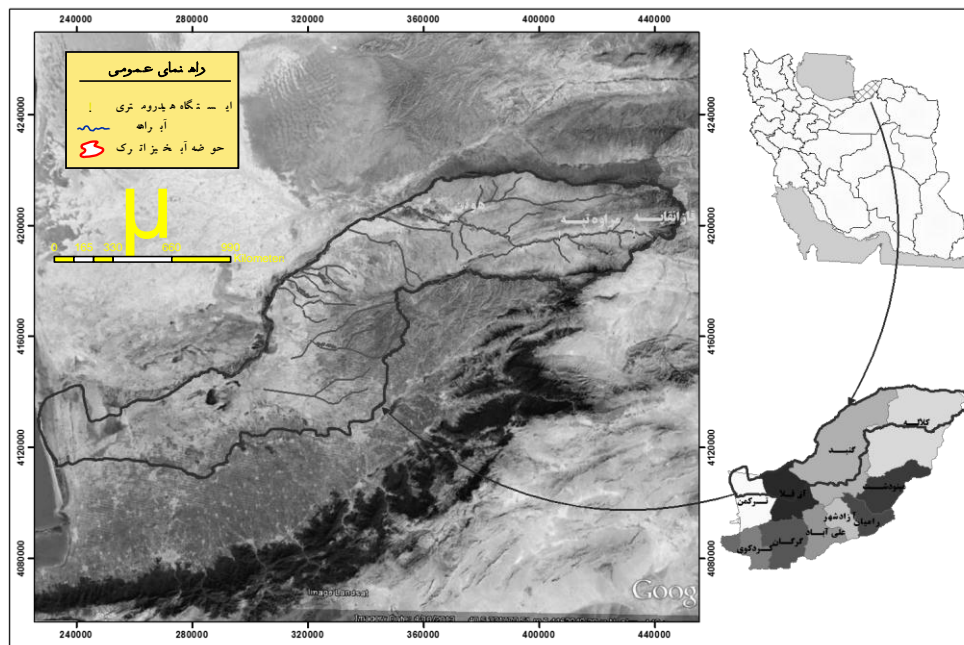
در آغاز از میان ایستگاه‌های موجود، ایستگاه‌هایی که به داشتن آمار رسوب و دبی کامل روزانه، از پراکنش نمونه‌برداری خوبی در فصول مختلف برخوردار بودند، گزینش شد. پس از آزمون درستی و همگنی داده‌ها (داده دبی آب و رسوب معلق) و نیز حذف داده‌های ناقص و پرت، در نهایت ایستگاه‌های هیدرومتری قازانقایه، مراوه تپه و هوتن در حوضه آبخیز انتخاب شد. ۲۰ درصد از شمار سال‌های نمونه‌برداری شده از رسوب ایستگاه به منظور ارزیابی روش‌های هیدرولوژیکی، به صورت تصادفی کنار گذاشته و روش‌های هیدرولوژیکی با ۸۰ درصد داده‌های باقیمانده برآورد شدند. البته لازم به یادآوری است، نمونه‌های کنارگذاشته شده به صورت تصادفی باید بیانگر جامعۀ آماری باشند، یعنی میانگین و انحراف از

کارایی خوبی را از خود نشان داده است. در تحقیقی [۹] اقدام به مقایسه و ارزیابی روش‌های برآورد رسوب معلق با استفاده از دسته‌بندی داده‌ها در سه ایستگاه با دو منطقه اقلیمی کاملاً متفاوت کردند. نتایج نشان داد مدل FAO در هر سه ایستگاه از کارایی بالایی برخوردار نبود. در برخی از ایستگاه‌ها روش کلی بدون دسته‌بندی داده‌ها و در برخی از ایستگاه‌ها دسته‌بندی هیدرواقلیمی بهترین برآورد را داشته‌اند. جمع‌بندی نتایج نشان داد که تغییر منطقه اقلیمی بین ایستگاه‌های مورد بررسی موجب تغییر مدل بهینه برآورد رسوب معلق انتخابی شد. در مطالعه‌ای [۴] با هدف مدل‌سازی تغییرات روزانه رسوب آبخیز کجور با استفاده از آمار بارندگی، دبی و رسوب روزانه اقدام به مدل‌سازی برای کلیۀ داده‌ها به صورت یک‌جا و دسته‌بندی ماهانه و فصلی در اشکال خطی و غیرخطی نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل‌های روزانه روابط خطی و غیرخطی مناسبی ارائه نکردند و تقسیم‌بندی ماهانه و فصلی وقایع به دست‌یابی به روابط مناسب‌تری با ضریب تبیین معنی‌دار در سطح ۵ درصد و خطای نسبی کمتر از ۴۰ درصد در بین معادلات به‌دست آمده منجر شد. [۷] در تحقیقی با عنوان اصلاح منحنی‌های سنجۀ رسوب بر روی ایستگاه ایدانک در حوضۀ سد مارون واقع در بهبهان از روش FAO برای کاهش خطای ناشی از برآورد رسوب معلق به روش USBR استفاده کردند. آن‌ها از سه شاخص آماری GSD، STDEV و RMSE برای اصلاح روش FAO استفاده کردند. نتایج نشان از برتری روش FAO در افزایش دقت برآورد رسوب معلق در منحنی سنجۀ رسوب می‌باشد. در تحقیقی دیگر [۲۰] در یک حوضۀ آبخیز کوهستانی واقع در ژاپن بوده است که نتایج مطالعه ایشان نشان داد طبقه‌بندی داده‌های دبی جریان و رسوب به لحاظ زمان، جداسازی اجزاء جریان (دبی پایه، دبی سیلابی و...) و نیز به‌کارگیری عامل تصحیح اریب قادر به بهبود روابط میان دبی آب و رسوب نبود.

با توجه به موارد ذکر شده، تحقیق حاضر در صدد ارائۀ روش‌های بهتر تفکیک داده و در نهایت تهیه و تدقیق

نزدیک باشد. در جدول (۱) مشخصات و طول دوره آماری ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه ارائه گردیده است.

معیار داده‌های کنار گذاشته شده با میانگین و انحراف از معیار جامعه آماری داده‌های مورد بهره‌گیری برابر و یا



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوضه آبخیز اترک سفلی

جدول ۱. مشخصات و طول دوره آماری ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

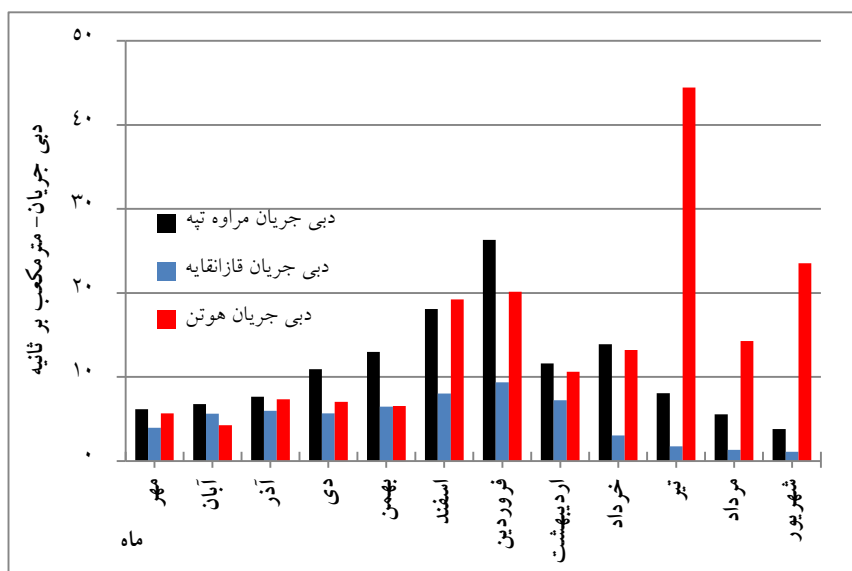
کد ایستگاه	نام ایستگاه	طول (دقیقه-درجه)	عرض (دقیقه-درجه)	ارتفاع از سطح دریا (m)	مساحت حوضه آبریز (Km ²)	تعداد سال‌های آماری	تعداد کل نمونه رسوب	تعداد نمونه های قابل استفاده
۱۱۰۴۵	قازانقایه	۵۶-۱۴	۳۷-۵۶	۲۲۰	۱۶۴۱۷	۲۲	۲۹۵	۲۴۷
۱۱۰۴۷	مراوه تپه	۵۶-۵۵	۳۷-۵۵	۱۹۰	۱۷۱۳۶	۴۵	۱۱۰۱	۹۸۶
۱۱۰۷۳	هوتن	۵۵-۳۱	۳۷-۵۶	۱۰۰	۱۷۹۵۴	۲۵	۳۲۴	۲۵۸

ایستگاه مراوه تپه، قازانقایه و هوتن به ترتیب معادل ۰/۰۰۵ و ۱۳۰/۳۶، ۰/۰۰۱ و ۳۷/۵۱، ۰/۸۸ و ۱۰۰/۷۳ مترمکعب بر ثانیه است (اشکال ۲ و ۳). به منظور افزایش دقت برآورد رسوب توصیه‌های مختلفی برای دسته‌بندی آمار گردیده است [۱۱] که براساس آن‌ها در بررسی حاضر از دسته‌بندی ماهانه، فصلی، کل نمونه‌ها، دوره خشک و مرطوب و کلاسه‌بندی دبی همراه با تناوب برازش منحنی سنجه رسوب به روش‌های برازش تک خطی، برازش تک خطی با تعدیل FAO، برازش ترکیبی (چند خطی)، روش ترسیمی

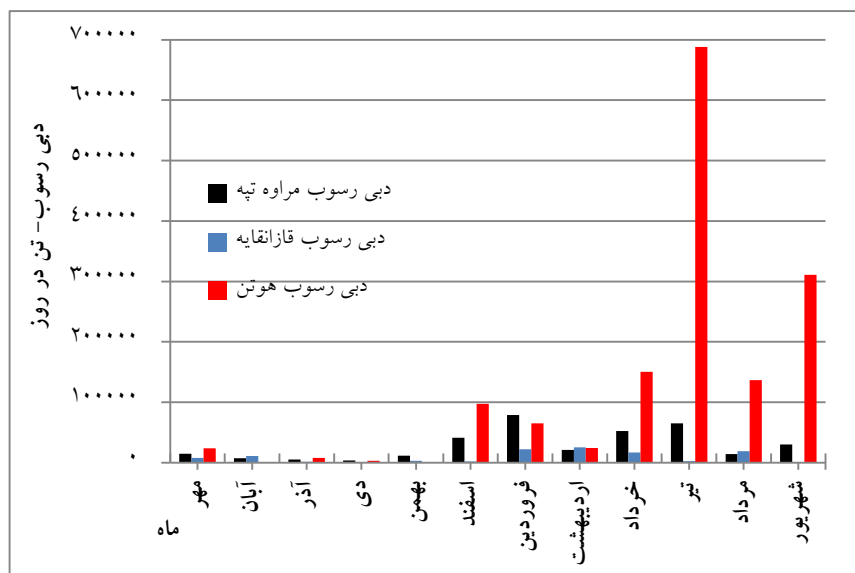
آمار هم زمان نتایج آنالیز نمونه‌های بار معلق رسوب و دبی رودخانه ۳ ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه از بدو تأسیس تاکنون جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همان‌طور که در اشکال زیر مشخص است براساس شاخص آماری میانگین برای کل نمونه‌ها بیشترین تعداد نمونه‌های قابل استفاده براساس آمار هم زمان دبی و رسوب مربوط به ایستگاه مراوه تپه با ۹۸۶ نمونه قابل استفاده در منحنی سنجه رسوب می‌باشد. حداقل و حداکثر دبی جریان رودخانه هم زمان با برداشت نمونه رسوب در

شد که در مجموع ۲۵ معادله مجزا برای محاسبه رسوب روزانه در اختیار قرار گرفته است.

حداکثر غلظت) و برازش حد وسط دسته‌ها بهره‌گیری شده است. در واقع با این رویکرد برای هر روش دسته‌بندی داده‌ها، پنج روش رسم منحنی سنجه رسوب به کار برده



شکل ۲. تغییرات دبی جریان در ماه‌های مختلف سال در طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۳. تغییرات دبی رسوب در ماه‌های مختلف سال در طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه

غلظت یا دبی رسوب و دبی جریان متناظر آن‌ها به یک محور مختصات لگاریتمی منتقل شده و بهترین خط برازش با بهره‌گیری از روش کمینه مربعات از میان نقاط

رویکردهای برازش منحنی بر سری داده‌های دسته‌بندی شده به شرح ذیل می‌باشد:

۱- منحنی سنجه یک خطی: در این روش داده‌های

در تحقیق حاضر با روش دسته‌بندی فصلی، ماهانه، کل نمونه‌ها، دوره خشک و مرطوب، کلاسه‌بندی دبی همراه با تناوب برآزش منحنی سنجه رسوب به روش‌های برآزش تک خطی، برآزش تک خطی با تعدیل FAO، برآزش ترکیبی (چند خطی)، روش ترسیمی (حداکثر غلظت) و برآزش حد وسط دسته‌ها اقدام به برآورد رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری مراوه تپه، قازانقایه و هوتن در حوضه آبخیز اترک شده است. به این منظور از آمار متناظر دبی و رسوب طی سال‌های موجود استفاده شد. پس از تعیین معادلات رسوب به روش‌های مختلف، با مقایسه پارامترهای آماری، از قبیل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2)، نسبت میانگین داده‌های برآوردی به مشاهداتی (r)، ضریب تغییرات (CV)، نسبت جذر میانگین مربعات خطا به میانگین داده‌های برآوردی (GSD)، ضریب همبستگی بین رسوبات برآوردی و مشاهداتی (R)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین انحراف خطا (MBE) بهترین معادله انتخاب و رسوب ایستگاه براساس روش انتخابی، برآورد گردید [۱۴].

معادلات به کار گرفته شده در مورد هر یک از شاخص‌های آماری به شرح زیر می‌باشد [۱۸].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_{actual} - Y_{forecast})^2} \quad (2)$$

که در آن n تعداد داده‌ها، Y_{actual} مقادیر رسوب مشاهده شده و $Y_{forecast}$ مقادیر رسوب برآورد شده می‌باشد.

$$R = \frac{\sum (\log Q_{si} - \log \bar{Q}_s)(\log Q_{wi} - \log \bar{Q}_w)}{\sqrt{\sum (\log Q_{si} - \log \bar{Q}_s)^2 \sum (\log Q_{wi} - \log \bar{Q}_w)^2}} \quad (3)$$

در این رابطه، Q_{si} دبی رسوب برآورد شده، Q_s میانگین رسوب اندازه‌گیری شده، Q_{wi} دبی جریان و Q_w میانگین دبی جریان می‌باشد.

$$CV = \frac{Stdev}{\bar{x}} \times 100 \quad (4)$$

عبور داده می‌شود. بنابراین از این روش بدون توجه به چگونگی پراکنش نقاط تنها یک خط از بین نقاط عبور داده می‌شود [۱].

۲- عبور دادن بیش از یک خط از نقاط (منحنی سنجه چند خطی): در صورتی که شرایط داده‌ها و پراکنش ابر نقاط در منحنی سنجه رسوب اجازه دهد، می‌توان به جای یک خط، چند خط از بین ابر نقاط عبور داد. بنابراین در این حالت بیش از یک معادله برای منحنی سنجه رسوب وجود خواهد داشت [۱۵].

۳- روش حد وسط دسته‌ها: در این روش دبی‌های جریان با یک نمو معین به چندین دسته تقسیم شده و برای دبی میانگین هر دسته، دبی میانگین رسوب اندازه‌گیری شده همان دسته تعیین می‌شود و منحنی سنجه‌ای با بهره‌گیری از دبی میانگین هر دسته و رسوب میانگین متناظر همان دسته به دست می‌آید [۱۲].

۴- روش ضریب اصلاحی فائو: در این روش که توسط جونز و همکاران تشریح شده است [۱۴] در آغاز بهترین خط را با معادله رابطه (۱) به روش کمینه مربعات به میزان لگاریتمی (نه میزان واقعی) برآزش می‌دهند. ولی پس از آن از معادله فوق که از نقاط میانگین‌های $\log Q_w$ و $\log Q_s$ عبور می‌کند، بهره‌گیری نمی‌شود و به جای آن از معادله خطی موازی با آن که از میانگین‌های Q_w و Q_s متناظر می‌گذرد منحنی سنجه ترسیم می‌شود. معادله جدید به صورت زیر است:

$$\hat{a} = Q_s / Q_w^b \quad (1)$$

که در آن میزان \hat{a} از تقسیم میانگین‌های Q_w و Q_s متناظر اندازه‌گیری شده به دست می‌آید. (\hat{a} به جای a در معادله اول قرار می‌گیرد).

۵- روش ترسیمی (حداکثر غلظت): در این روش به صورت ترسیمی یک منحنی S شکل از میان نقاط طوری برآزش داده می‌شود که انتهای منحنی مذکور مجانب بر خط دو برابر حداکثر غلظت یا غلظت بزرگ‌ترین گذر حجمی عبور نماید [۲].

به بار رسوبی مینا) و شاخص دقت (ضریب تغییرات برآورد) روش‌های مختلف در ایستگاه‌های منتخب در جداول (۲)، (۳) و (۴) آورده شده است.

با برازش معادلات منحنی سنجه رسوب، براساس مدل‌های مورد مطالعه بین داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه، مقادیر شاخص‌های آماری محاسبه شده برای هر یک از مدل‌ها در وضعیت‌های مختلف دسته‌بندی داده‌ها در جداول زیر ارائه گردیده است. با توجه به جداول، مدلی که دارای کمترین RMSE، بیشترین R^2 ، کمترین GSD باشد بهترین قابلیت پیش‌بینی را داراست. در نتیجه این مدل به عنوان مناسب‌ترین مدل برآورد رسوب معلق از میان مدل‌های مورد بررسی تعیین می‌گردد. محاسبه رسوب معلق هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس مدل انتخاب شده می‌باشد.

که در آن Stdev انحراف معیار مقادیر رسوب برآورد شده و X میانگین مقادیر رسوب برآورد شده می‌باشد.

$$r = \frac{\sum Y_{forecast}}{\sum Y_{actual}} \quad (5)$$

که در آن Y_{actual} ریشه میانگین مربعات خطا و $Y_{forecast}$ میانگین مقادیر رسوب برآورد شده می‌باشد.

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{Y}_{forecast}} \quad (6)$$

که در آن RMSE ریشه میانگین مربعات خطا و $Y_{forecast}$ میانگین مقادیر رسوب برآورد شده می‌باشد.

۳. نتایج

مقادیر شاخص صحت (نسبت بار رسوبی برآورد شده

جدول ۳. نتایج محاسبات شاخص‌های آماری برآورد رسوبات معلق در ایستگاه هیدرومتری هوتن

دسته‌بندی داده‌ها	نام مدل	R^2	r	R	RMSE	CV	GSD	MAE	MBE
کل داده‌ها	برازش یک خط	۰/۸۷	۰/۲۳	۰/۹۶۱	۳۰۲۶۱۷	۴/۷۸	۱۶/۲۷	۶۲۶۹۱	-۶۲۱۳۴
	یک خط با تعدیل FAO	۱/۰۰	۴/۶۳	۰/۹۶۱	۱۴۴۲۳۹۸	۴/۷۸	۳/۸۶	۲۹۲۷۰۸	۲۹۲۷۰۸
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۸۶	۱/۸۴	۰/۹۷۷	۶۲۸۵۰۸	۶/۵۲	۴/۲۲	۸۸۴۱۷	۶۸۱۸۸
	روش ترسیمی	۰/۸۷	۱/۲۴	۰/۹۷۸	۱۳۶۷۹۳	۴/۸۳	۱/۳۷	۳۱۲۸۱	۱۹۱۱۶
فصلی	روش حد وسط دسته‌ها	۰/۸۹	۰/۳۳	۰/۹۶۱	۲۶۵۵۰۴	۴/۷۹	۱۰/۰۰	۵۵۳۰۱	-۵۴۱۸۲
	برازش یک خط	۰/۸۶	۰/۳۶	۰/۹۶۷	۲۵۳۵۰۴	۴/۸۸	۸/۶۶	۵۲۰۴۲	-۵۱۴۶۹
	یک خط با تعدیل FAO	۰/۹۹	۴/۱۷	۰/۹۶۵	۱۴۵۳۴۷۶	۵/۳۵	۴/۳۲	۲۵۵۸۱۴	۲۵۵۷۲۴
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۸۶	۱/۲۱	۰/۹۷۹	۲۲۳۷۰۳	۵/۶۸	۲/۳۰	۴۲۷۹۸	۱۶۷۳۵
ماهانه	روش ترسیمی	۰/۸۹	۱/۱۶	۰/۹۷۱	۱۲۱۱۱۱	۴/۸۷	۱/۲۹	۲۵۵۱۲	۱۲۹۸۳
	روش حد وسط دسته‌ها	۰/۸۷	۱/۶۴	۰/۹۶۱	۶۱۴۹۳۴	۷/۱۰	۴/۶۵	۹۱۵۷۱	۵۱۳۷۹
	برازش یک خط	۰/۸۶	۰/۴۱	۰/۹۷۳	۲۵۱۶۲۷	۴/۳۴	۸/۸۲	۴۲۰۵۷	-۴۰۵۴۶
	یک خط با تعدیل FAO	۰/۹۲	۴/۵۴	۰/۹۵۳	۱۳۹۶۵۴۲	۵/۳۵	۴/۴۴	۲۴۵۷۶۲	۲۴۵۲۰۵
دوره خشک و مرطوب	برازش ترکیبی (چند خطی)	-	-	-	-	-	-	-	-
	روش ترسیمی	۰/۸۶	۱۲/۴۶	۰/۹۶۵	۱۱۱۳۱۰۲۳	۱۳/۰۴	۱۲/۹۱	۷۹۶۵۲۲	۷۹۲۷۰۶
	روش حد وسط دسته‌ها	۰/۸۷	۰/۵۸	۰/۹۷۲	۲۰۷۳۱۷	۴/۶۱	۵/۱۳	۳۵۱۴۳	-۲۸۷۵۱
	برازش یک خط	۰/۸۷	۰/۲۳	۰/۹۶۲	۳۰۶۴۴۲	۴/۵۹	۱۶/۴۷	۶۲۶۹۰	-۶۲۱۳۰
کلاس بندی دبی	یک خط با تعدیل FAO	۰/۹۹	۵/۰۹	۰/۹۵۶	۱۹۷۸۱۵۴	۵/۶۳	۴/۸۱	۳۳۰۶۹۵	۳۳۰۵۳۱
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۸۶	۱/۵۹	۰/۹۷۸	۴۰۸۰۶۱	۵/۸۱	۳/۱۷	۶۷۶۷۸	۴۷۹۹۱
	روش ترسیمی	۰/۸۷	۱/۲۵	۰/۹۷۹	۱۳۶۳۹۲	۴/۸۰	۱/۳۶	۳۰۹۸۷	۱۹۹۱۵
	روش حد وسط دسته‌ها	۰/۸۸	۰/۳۱	۰/۹۶۲	۲۷۶۶۷۸	۴/۵۶	۱۰/۸۹	۵۶۴۳۰	-۵۵۳۲۰
کلاس بندی دبی	برازش یک خط	۰/۸۶	۰/۹۴	۰/۹۷۶	۷۹۴۰۵	۴/۹۳	۱/۰۲	۱۷۱۹۹	-۵۱۵۵
	یک خط با تعدیل FAO	۰/۸۹	۱/۴۳	۰/۹۷۶	۲۱۶۷۵۸	۴/۹۱	۱/۸۳	۴۴۴۲۴	۳۵۶۶۸
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۸۵	۰/۹۸	۰/۹۷۶	۹۳۸۲۲	۵/۱۵	۱/۱۵	۲۱۰۰۳	-۱۵۲۵
	روش ترسیمی	۰/۹۱	۱/۵۲	۰/۹۶۹	۲۶۵۹۳۸	۴/۹۹	۲/۱۱	۵۳۲۲۵	۴۳۳۸۲
روش حد وسط دسته‌ها	۰/۸۶	۱/۰۳	۰/۹۸۰	۹۲۶۳۸	۴/۹۹	۱/۰۸	۲۱۵۳۷	۲۸۱۲	

جدول ۴. نتایج محاسبات شاخص‌های آماری برآورد رسوبات معلق در ایستگاه هیدرومتری قازانقایه

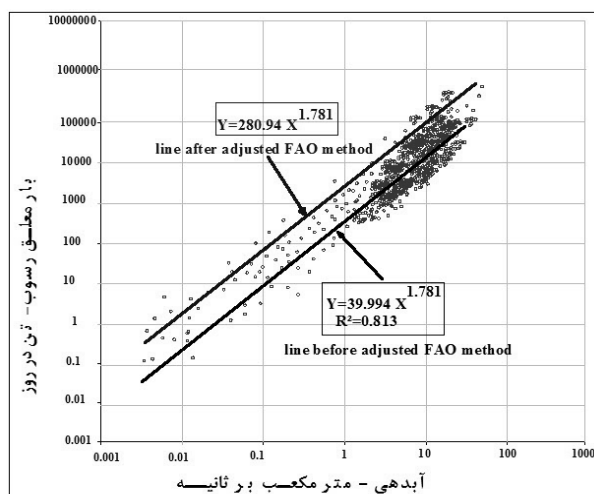
MBE	MAE	GSD	CV	RMSE	R	r	R ²	نام مدل	دسته‌بندی داده‌ها
-۴۶۰۰	۳۸۳۸	۲۰/۷۰	۱/۸۹	۱۶۹۳۴	۰/۹۱۱	۰/۱۹	۰/۸۰	برازش یک خط	کل داده‌ها
۲۴۱۷	۵۱۴۰	۱/۷۳	۱/۸۹	۱۱۸۲۸	۰/۹۱۱	۱/۵۵	۱/۰۰	یک خط با تعدیل FAO	
-۲۲۰۴	۲۹۱۱	۵/۸۳	۳/۷۷	۱۲۹۰۱	۰/۹۳۷	۰/۵۰	۰/۷۸	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۶۶۱۸	۸۱۳۳	۲/۳۶	۳/۲۶	۲۶۰۰۰	۰/۹۳۹	۲/۵۰	۰/۸۸	روش ترسیمی	
-۲۶۵۲	۳۵۱۳	۸/۶۱	۲/۱۶	۱۵۲۱۵	۰/۹۱۱	۰/۴۰	۰/۸۹	روش حد وسط دسته‌ها	
-۲۰۹۲	۲۷۶۵	۴/۹۴	۴/۲۳	۱۲۵۹۴	۰/۹۵۲	۰/۵۵	۰/۷۸	برازش یک خط	
۹۱۳۰	۹۹۶۹	۳/۲۹	۴/۱۲	۴۵۲۹۳	۰/۹۲۵	۲/۹۷	۰/۸۵	یک خط با تعدیل FAO	
-	-	-	-	-	-	-	-	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۳۸۵۹	۵۸۸۶	۳/۰۹	۴/۳۱	۲۶۲۵۱	۰/۹۵۹	۱/۸۳	۰/۸۰	روش ترسیمی	
۵۲	۳۶۰۴	۳/۲۴	۴/۷۴	۱۵۱۹۸	۰/۹۵۱	۱/۰۱	۰/۸۰	روش حد وسط دسته‌ها	
-۱۳۴۶	۳۶۷۹	۳/۷۵	۴/۷۶	۱۴۸۸۵	۰/۹۵۲	۰/۷۵	۰/۷۶	برازش یک خط	ماهانه
۱۱۰۷۰	۱۲۲۲۵	۳/۶۶	۴/۳۸	۶۰۰۲۳	۰/۹۲۴	۳/۰۸	۰/۸۰	یک خط با تعدیل FAO	
-	-	-	-	-	-	-	-	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۸۱۶۲	۱۱۰۱۳	۴/۷۷	۵/۳۴	۶۴۲۶۰	۰/۹۵۱	۲/۵۴	۰/۷۶	روش ترسیمی	
۴۱۱	۴۷۶۷	۳/۶۱	۴/۶۱	۱۹۵۲۱	۰/۹۴۸	۱/۰۸	۰/۷۶	روش حد وسط دسته‌ها	
-۲۶۷۱	۲۹۶۳	۱۱/۲۰	۲/۶۹	۱۲۴۳۲	۰/۹۲۶	۰/۲۹	۰/۸۱	برازش یک خط	
۳۳۱۶	۴۲۹۷	۱/۲۳	۲/۲۴	۸۷۴۰	۰/۹۱۲	۱/۸۸	۰/۹۲	یک خط با تعدیل FAO	
-۱۶۴۰	۲۱۸۷	۴/۱۲	۳/۴۶	۸۸۲۶	۰/۹۴۸	۱	۰/۷۹	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۲۸۴۷	۳۵۷۳	۱/۷۹	۳/۲۵	۱۱۸۷۳	۰/۹۴۰	۱/۸	۰/۸۳	روش ترسیمی	
-۱۵۹۵	۲۵۵۴	۴/۵۸	۲/۷۸	۱۰۰۰۸	۰/۹۲۴	۰/۵۸	۰/۸۸	روش حد وسط دسته‌ها	
-۱۳۵۹	۲۵۲۲	۳/۷۶	۳/۹۲	۱۰۹۷۸	۰/۹۳۰	۰/۶۸	۰/۷۸	برازش یک خط	کلاسه بندی دبی
۲۹۰	۳۰۲۲	۲/۳۲	۳/۴۳	۱۰۵۹۴	۰/۹۱۶	۱/۰۷	۰/۹۱	یک خط با تعدیل FAO	
-	-	-	-	-	-	-	-	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۶۶۱۹	۸۶۷۰	۲/۷۲	۳/۴۷	۲۹۶۴۵	۰/۸۸۵	۲/۵۵	۰/۸۹	روش ترسیمی	
-۱۱۶۰	۲۵۷۴	۳/۵۱	۳/۶۶	۱۰۹۵۷	۰/۹۲۵	۰/۷۳	۰/۸۶	روش حد وسط دسته‌ها	

جدول ۵. نتایج محاسبات شاخص‌های آماری برآورد رسوبات معلق در ایستگاه هیدرومتری مراوه تپه

MBE	MAE	GSD	CV	RMSE	R	r	R ²	نام مدل	دسته‌بندی داده‌ها
-۱۵۶۵۷	۱۷۳۰۰	۱۴/۲۰	۲/۹۵	۸۵۳۳۳	۰/۹۰۲	۰/۲۸	۰/۸۱	برازش یک خط	کل داده‌ها
۲۰۵۴۳	۳۰۲۲۸	۲/۱۶	۲/۹۵	۹۱۲۸۹	۰/۹۰۲	۱/۹۵	۱/۰۰	یک خط با تعدیل FAO	
-۶۲۹۲	۱۵۶۰۱	۴/۷۵	۴/۹۲	۷۲۹۵۶	۰/۹۲۰	۰/۷۱	۰/۷۹	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۲۳۱۲۹	۳۳۷۵۵	۴/۲۹	۵/۳۹	۱۹۲۳۰۸	۰/۹۱۷	۲/۰۷	۰/۸۹	روش ترسیمی	
-۱۱۷۱۶	۱۵۹۲۷	۷/۸۳	۲/۹۸	۷۸۲۵۹	۰/۹۰۲	۰/۴۶	۰/۸۷	روش حد وسط دسته‌ها	
-۹۹۸۹	۱۵۱۲۳	۶/۲۲	۴/۸۱	۷۳۱۹۹	۰/۸۲۵	۰/۵۴	۰/۸۰	برازش یک خط	
۳۳۹۶۵	۳۹۲۲۰	۳/۲۹	۴/۳۱	۱۸۳۳۵۲	۰/۸۶۱	۲/۵۶	۰/۸۳	یک خط با تعدیل FAO	
-	-	-	-	-	-	-	-	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۵۴۵۷۹	۵۷۵۴۲	۳/۹۲	۴/۵۴	۲۹۹۵۳۴	۰/۸۹۲	۳/۵۱	۰/۸۸	روش ترسیمی	
-۱۰۷۱	۱۶۷۳۹	۳/۹۰	۴/۹۴	۸۰۶۵۷	۰/۹۰۴	۰/۹۵	۰/۸۵	روش حد وسط دسته‌ها	
-۶۵۶۷	۱۱۹۸۲	۴/۷۹	۴/۱۲	۷۱۹۱۹	۰/۹۷۱	۰/۷۰	۰/۷۹	برازش یک خط	ماهانه
۵۷۰۲۸	۵۷۹۹۲	۴/۹۳	۵/۶۱	۳۸۷۷۹۰	۰/۸۹۸	۳/۶۴	۰/۷۹	یک خط با تعدیل FAO	
-	-	-	-	-	-	-	-	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۲۴۴۶۳	۲۶۰۱۹	۳/۶۶	۴/۷۶	۱۶۸۶۴۹	۰/۹۷۴	۲/۱۳	۰/۸۲	روش ترسیمی	
۳۶۶۴	۱۶۵۴۸	۴/۱۲	۵/۰۴	۱۰۴۰۳۵	۰/۹۵۲	۱/۱۷	۰/۷۹	روش حد وسط دسته‌ها	
-۱۲۳۹۲	۱۵۹۲۲	۷/۴۷	۴/۱۷	۷۷۲۲۷	۰/۹۳۰	۰/۴۵	۰/۸۴	برازش یک خط	
۳۱۰۴۳	۳۷۹۸۰	۲/۸۵	۳/۷۷	۱۵۳۴۴۶	۰/۹۰۵	۲/۳۷	۰/۸۲	یک خط با تعدیل FAO	
۹۲۱	۱۹۱۹۵	۵/۸۳	۷/۱۰	۱۲۷۹۲۴	۰/۹۴۵	۱/۰۴	۰/۸۳	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۲۳۳۹۵	۳۱۲۲۷	۴/۰۶	۵/۳۳	۱۸۷۴۶۴	۰/۹۴۱	۲/۰۳	۰/۸۷	روش ترسیمی	
-۷۱۳۵	۱۵۶۵۱	۴/۷۰	۴/۲۵	۷۳۳۷۷	۰/۹۳۰	۰/۶۹	۰/۸۸	روش حد وسط دسته‌ها	
-۲۸۴۳	۱۳۴۰۱	۴/۴۳	۵/۱۹	۷۱۲۰۴	۰/۹۲۲	۰/۸۱	۱/۸۶	برازش یک خط	کلاسه بندی دبی
۱۸۰۶۰	۲۵۶۳۵	۳/۹۶	۵/۲۲	۱۵۰۲۶۲	۰/۹۳۸	۱/۹۱	۶/۰۰	یک خط با تعدیل FAO	
-	-	-	-	-	-	-	-	برازش ترکیبی (چند خطی)	
۶۰۷۱۰	۶۹۳۲۱	۶/۱۳	۶/۶۳	۴۹۳۸۱۹	۰/۷۸۸	۴/۰۵	۸/۳۲	روش ترسیمی	
۱۹۶۱	۱۴۹۱۹	۳/۷۲	۵/۰۳	۸۱۳۰۱	۰/۹۴۰	۱/۱۰	۵/۲۰	روش حد وسط دسته‌ها	

روزانه بار معلق رسوب برابر ۳۳۰۷۶ تن در روز و میزان متوسط رسوب ویژه معلق حوضه آبخیز اترک تا محل ایستگاه مراوه تپه برابر ۷۰۵ تن در سال در کیلومتر مربع برآورد گردید. در شکل (۴) منحنی سنجه رسوب این روش نمایش داده شده است.

با توجه به نتایج حاصل از محاسبات آماری، منحنی سنجه رسوب با برازش یک خط برای کل داده‌ها با اعمال تصحیح FAO براساس نتایج شاخص‌های آماری Cv ، R^2 و GSD بهترین روش در ایستگاه هیدرومتری مراوه تپه محسوب گردید. براساس این روش میزان متوسط آورد

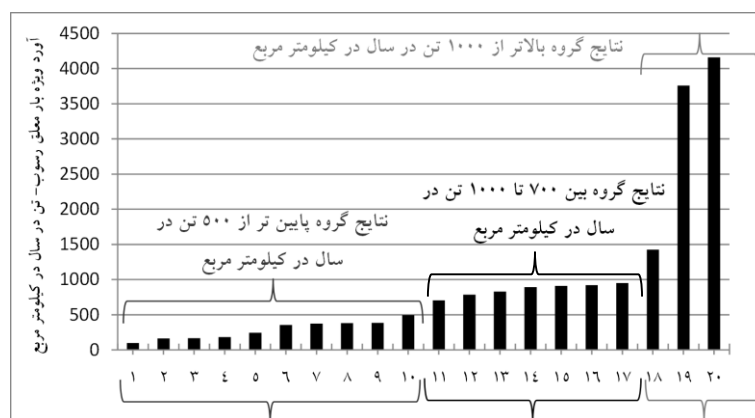


شکل ۴. منحنی سنجه رسوب رودخانه اترک در ایستگاه مراوه تپه - روش ترسیم کل داده‌های موجود و اعمال تعدیل FAO

۳۹۷ تن در سال در کیلومتر مربع، این میزان در گروه بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر ۲۴۵ و در گروه بالاتر از ۱۰۰۰ برابر ۲۷۳۳ تن در سال در کیلومتر مربع می‌باشد. لذا گروه نتایج بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ تن در سال در کیلومتر مربع دارای ضریب تغییرات ۰/۱ بوده در حالی که دو گروه دیگر دارای ضریب تغییرات ۰/۴۶ و ۰/۴۷ می‌باشد.

از طرفی با بررسی نتایج جدول (۵) ملاحظه گردید، در ایستگاه مراوه تپه تعداد ۲۰ نتیجه قابل بررسی در سه گروه آورد ویژه معلق کمتر از ۵۰۰، بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ و بیشتر از ۱۰۰۰ تن در سال در کیلومتر مربع مطابق شکل (۵) می‌باشد.

اختلاف آورد بار معلق ویژه کم‌ترین و بیش‌ترین میزان در گروه پایین‌تر از ۵۰۰ تن در سال در کیلومتر مربع برابر



شکل ۵. گروه‌بندی نتایج میزان بار معلق ویژه رسوب در ایستگاه هیدرومتری مراوه تپه

مشخص است میزان آورد رسوب قابل ملاحظه‌ای توسط سیلاب‌های تابستانه به‌خصوص در فصل شهریور و مرداد مشهود است.

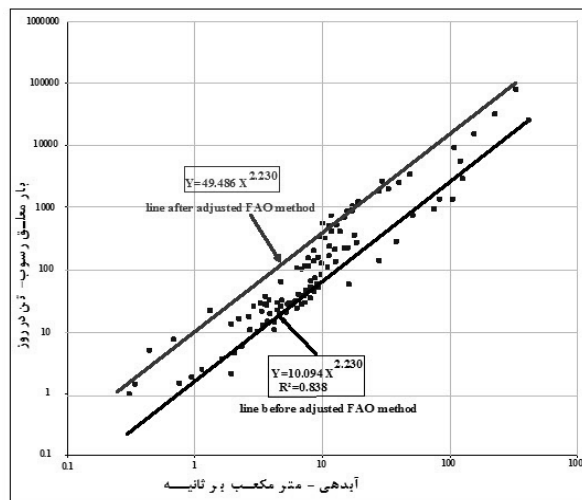
در جدول (۶) خلاصه نتایج رسوب ماهانه در ایستگاه مراوه تپه که براساس آمار دبی روزانه و محاسبات روز به روز رسوب توسط رویکرد برازش یک خط با اعمال تصحیح FAO ارائه گردیده است. همان‌طور که در این جدول نیز

جدول ۶. خلاصه نتایج ماهانه بار معلق رسوب رودخانه اترک در ایستگاه مراوه تپه براساس روش منتخب (ارقام برحسب تن در ماه)

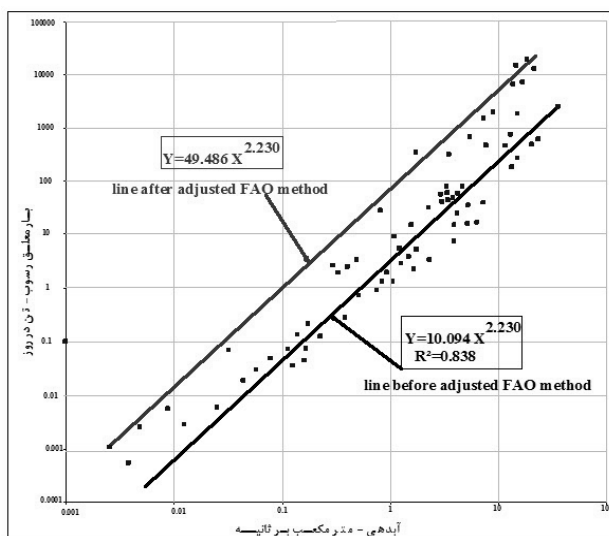
پارامتر آماری	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
متوسط	۲۹۲۶۹۰	۴۹۴۰۰۶	۴۹۷۰۰۷	۴۳۶۴۵۴	۶۰۴۲۸۹	۱۲۵۰۱۲۶	۲۶۶۰۲۲۸	۲۴۵۱۶۱۵	۱۳۳۰۲۱۴	۲۲۳۴۸۴	۷۷۷۹۵۸	۱۲۰۷۲۶۶۹
حداکثر	۴۰۳۰۹۵۷	۲۴۰۰۸۰۲	۱۸۳۸۸۸۳	۱۹۰۷۲۲۶	۲۶۲۳۶۷۸	۹۷۳۰۸۲۷	۲۵۰۷۷۵۶۸	۴۱۳۴۸۰۰۷	۱۶۴۸۸۷۶۸	۳۱۸۲۵۹۴	۶۷۱۸۳۴۵	۶۰۲۸۴۸۳۴
حداقل	۸۸۹۲	۷۶۳۶	۱۴۳۵۱	۱۳۶۱۰	۳۹۱۱۸	۳۰۵۱۷	۲۵۵۷۷	۰	۰	۰	۰	۱۰۴۳۳۳۵
انحراف معیار	۲۷۹۷۳۰	۵۰۶۹۸۴	۳۷۹۲۸۵	۳۴۰۹۶۵	۵۴۳۸۴۷	۲۱۷۲۰۵۳	۴۸۸۸۴۱۴	۷۷۶۳۰۴۷	۲۰۷۰۲۳۳	۶۲۷۳۱۲	۱۶۱۶۱۴۹	۱۲۲۸۹۳۷۷
ضریب تغییرات	۰/۹۶	۱/۰۳	-۰/۷۶	-۰/۷۸	۰/۹۰	۱/۷۴	۱/۸۴	۳/۱۷	۱/۵۶	۲/۸۱	۲/۰۸	۱/۰۳
درصد ماهانه	۲/۴	۴/۱	۴/۱	۳/۶	۵/۰	۱۰/۴	۲۲/۰	۲۰/۳	۱۱/۰	۱/۹	۶/۴	۱۰۰

تقسیم‌بندی منتخب نمایش داده شده است. در جدول (۷) خلاصه نتایج رسوب ماهانه در ایستگاه قازانقایه که براساس آمار دبی روزانه و محاسبات روز به روز رسوب توسط رویکرد برازش یک خط با اعمال تصحیح FAO برای داده‌ها براساس دوره خشک و مرطوب ارائه گردیده است. همان‌طور که در این جدول نیز مشخص است همانند ایستگاه مراوه تپه میزان آورد رسوب قابل ملاحظه‌ای توسط سیلاب‌های تابستانه به‌خصوص در فصل شهریور و مرداد مشهود است.

در ایستگاه قازانقایه بالادست ایستگاه مراوه تپه، از میان روش‌های مختلف ترسیم منحنی سنجه رسوب، روش برازش یک خط در تقسیم‌بندی داده‌ها براساس دوره خشک و مرطوب با اعمال تعدیل FAO براساس شاخص‌های آماری RMSE و GSD بهترین روش محسوب گردید. براساس این روش میزان متوسط آورد روزانه بار معلق رسوب برابر ۳۰۷۱۴ تن در روز و و میزان متوسط رسوب ویژه معلق حوضه آبخیز اترک تا محل ایستگاه قازانقایه برابر ۶۸۳ تن در سال در کیلومتر مربع برآورد گردید. در اشکال (۶) و (۷) منحنی سنجه رسوب



شکل ۶. منحنی سنجه رسوب رودخانه اترک در ایستگاه قازانقایه روش دوره خشک و تر (دوره مرطوب با اعمال تعدیل FAO)



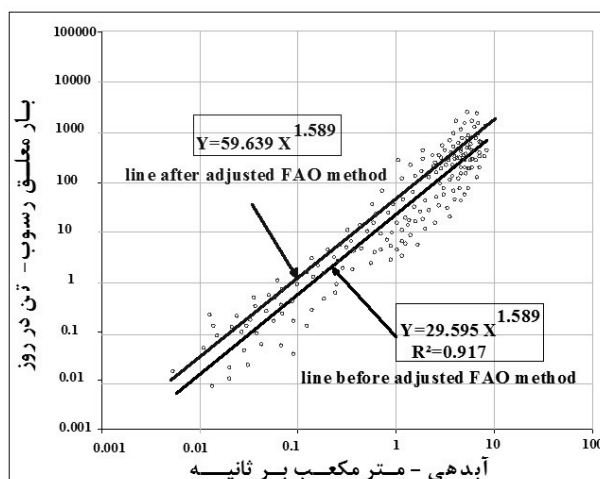
شکل ۷. منحنی سنجۀ رسوب رودخانه اترک در ایستگاه قازانقایه - روش دورۀ خشک و تر (دورۀ خشک با اعمال تعدیل FAO)

جدول ۷. خلاصه نتایج ماهانۀ بار معلق رسوب رودخانه اترک در ایستگاه قازانقایه براساس روش منتخب (ارقام برحسب تن در ماه)

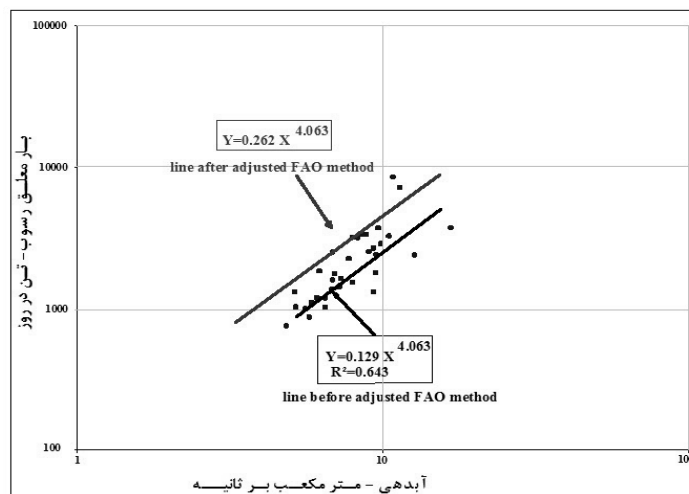
پارامتر آماری	مهر	آبان	آذر	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
متوسط	۲۶۶۶۴۷	۷۰۳۵۹۵	۳۰۶۵۳۳	۲۳۵۸۵۱	۹۲۸۰۵۹	۲۱۶۶۶۳۹	۱۶۴۵۰۰۵	۱۲۲۲۵۷۵	۴۳۳۲۸۶	۱۴۹۵۰۱۲	۱۶۵۱۴۴۳
حداکثر	۹۹۶۸۸۳	۳۷۵۵۲۳۶	۱۸۲۸۴۹۵	۱۳۸۴۴۴۳	۸۵۷۷۱۷۷	۲۷۶۶۳۴۲۳	۲۴۹۸۰۷۰۹	۱۳۰۷۵۷۲۴	۴۰۳۴۲۵۸	۱۱۲۴۵۶۳۲	۱۸۸۴۱۵۲۲
حداقل	۸۷۰۴	۲۴۴۴۷	۲۶۷۸	۱۱۶۹۳	۹۹۲۸	۱۲۰۳	۱۰۲	۴	۶۰	.	.
انحراف معیار	۲۵۵۱۲۷	۷۷۹۴۱۷	۴۴۴۱۶۹	۲۹۳۷۵۲	۹۹۳۹۱۸	۵۷۸۵۰۸۸	۵۰۸۹۴۳۱	۱۰۹۱۷۵۱	۹۸۲۲۷۸	۲۸۴۱۵۴۱	۴۹۵۹۲۱۲
ضریب تغییرات	۰/۹۶	۱/۱۱	۱/۴۵	۱/۲۵	۱/۰۷	۲/۶۷	۳/۰۹	۰/۸۹	۲/۲۷	۱/۹۸	۳/۰۰
درصد ماهانه	۲/۴	۶/۳	۲/۷	۲/۱	۸/۳	۱۹/۳	۱۴/۷	۱۰/۹	۳/۹	۱۳/۳	۱۴/۷

متوسط آورد روزانۀ بار معلق رسوب برابر ۳۸۴۱۳ تن در روز و میزان متوسط رسوب ویژه معلق حوضۀ آبخیز اترک تا محل ایستگاه قازانقایه برابر ۷۸۱ تن در سال در کیلومتر مربع برآورد گردید. در اشکال (۸)، (۹) و (۱۰) منحنی سنجۀ رسوب تقسیم‌بندی منتخب نمایش داده شده است.

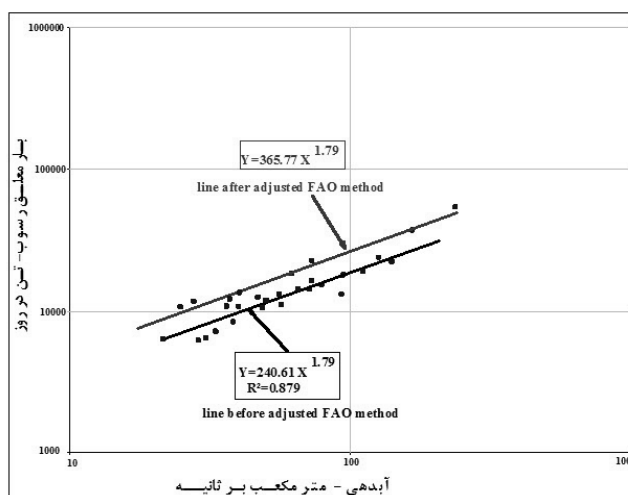
در ایستگاه هوتن پایین دست ایستگاه مراوه تپه، از میان روش‌های مختلف ترسیم منحنی سنجۀ رسوب، روش برازش یک خط در تقسیم‌بندی داده‌ها براساس کلاسه‌بندی دبی براساس شاخص‌های آماری RMSE، GSD و MAE بهترین روش محسوب گردید. براساس این روش میزان



شکل ۸. منحنی سنجۀ رسوب رودخانه اترک در ایستگاه هوتن - روش ترسیم کلاسه بندی آبدهی (دبی‌های کمتر از میانگین سالانه)



شکل ۹. منحنی سنجه رسوب رودخانه اترک در ایستگاه هوتن - روش ترسیم کلاسه بندی آبدهی (دبی های بین میانگین و دو برابر میانگین)



شکل ۱۰. منحنی سنجه رسوب رودخانه اترک در ایستگاه هوتن - روش ترسیم کلاسه بندی آبدهی (دبی های بزرگتر از دو برابر میانگین سالانه)

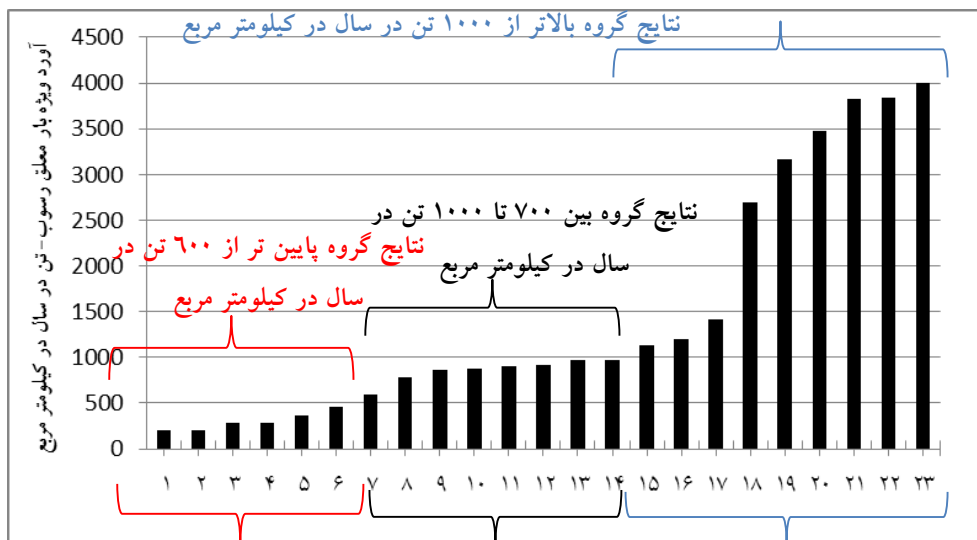
۳۹۰ تن در سال در کیلومتر مربع، این میزان در گروه بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر ۱۹۶ و در گروه بالاتر از ۱۰۰۰ برابر ۲۸۶۴ تن در سال در کیلومتر مربع می باشد. لذا گروه نتایج بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ تن در سال در کیلومتر مربع دارای ضریب تغییرات ۰/۰۷ بوده در حالی که دو گروه دیگر دارای ضریب تغییرات ۰/۴۲ و ۰/۴۳ می باشد. نتایج گروه بار معلق ویژه بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ تن در سال

از طرفی با بررسی نتایج جدول (۲) ملاحظه گردید، در ایستگاه هوتن تعداد ۲۳ نتیجه قابل بررسی در سه گروه آورد ویژه معلق کمتر از ۶۰۰، بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ و بیشتر از ۱۰۰۰ تن در سال در کیلومتر مربع مطابق شکل (۱۱) می باشد.

اختلاف آورد بار معلق ویژه کمترین و بیشترین میزان در گروه پایین تر از ۶۰۰ تن در سال در کیلومتر مربع برابر

دبی ارائه گردیده است. همان‌طور که در این جدول نیز مشخص است میزان آورد رسوب قابل ملاحظه‌ای توسط سیلاب‌های تابستانه به‌خصوص در فصل شهریور و مرداد مشهود است.

در کیلومتر مربع برای ایستگاه هوتن قابل قبول می‌باشد. در جدول (۸) خلاصه نتایج رسوب ماهانه در ایستگاه هوتن که براساس آمار دبی روزانه و محاسبات روز به روز رسوب توسط رویکرد برازش یک خط براساس کلاسه‌بندی



شکل ۱۱. گروه‌بندی نتایج میزان بار معلق ویژه رسوب در ایستگاه هیدرومتری هوتن

جدول ۸. خلاصه نتایج ماهانه بار معلق رسوب رودخانه اترک در ایستگاه مراوه تپه براساس روش منتخب (ارقام برحسب تن در ماه)

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	پارامتر آماری
۲۸۶۵۴۱۲	۱۶۴۱۱۲	۳۴۸۳۶۳	۱۳۸۷۹۰۴	۳۶۴۸۳۸۴	۱۲۱۰۲۱۴	۲۵۰۴۵۴	۱۰۸۱۷۴	۲۲۵۶۷۷	۲۰۷۱۳۲	۱۸۷۷۶۲	متوسط
۷۱۲۱۹۸۸۷	۱۱۳۹۹۴۰۲	۴۷۵۳۱۷۱	۱۴۱۸۹۲۳۹	۵۷۷۸۹۲۳۲	۸۵۱۲۳۳۷	۱۸۳۷۴۸۸	۸۴۸۰۰۶	۱۳۳۷۷۳۱	۱۹۲۶۳۱۶	۱۱۹۳۴۲۸	حداکثر
.	.	.	.	۲	۱۹۴۳	۱۳۰۴	۳۳۶	۱۵۷۳	۶۳	۳۶	حداقل
۱۲۱۵۴۵۱۶	۳۲۶۶۹۷۲	۹۴۷۰۳۶	۳۰۱۸۲۱۹	۱۱۱۴۶۶۸۸	۲۱۶۲۸۹۷	۴۲۹۷۷۴	۱۵۸۵۵۷	۲۸۶۰۲۲	۳۸۹۲۷۷	۳۲۹۷۰۶	انحراف معیار
۴/۲۴	۱/۹۹	۲/۷۲	۲/۱۷	۳/۰۶	۱/۷۹	۱/۷۶	۱/۴۷	۱/۲۷	۱/۸۸	۱/۷۱	ضریب تغییرات
۲۰/۴	۱۱/۷	۲/۵	۹/۹	۲۶/۰	۸/۶	۱/۸	۰/۸	۱/۶	۱/۵	۱/۳	درصد ماهانه

میانگین مقادیری که از رابطه دبی-دبی رسوب منحنی سنجه رسوب به دست می‌آید، کمتر از مقادیر مشاهده شده است.

به منظور دستیابی به روابط منطقه‌ای آورد بار معلق رسوب رودخانه‌ها در محدوده مطالعاتی از نتایج به‌دست آمده رسوب ویژه بار معلق در ایستگاه هیدرومتری منتخب بر روی رودخانه اترک و ایجاد همبستگی با مساحت حوضه آبخیز و آب‌دهی ویژه آن استفاده گردید. لذا از دو رویکرد استفاده گردید. در رویکرد اول، رابطه مذکور از

۴. بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که برآورد مقدار رسوب موجود در رودخانه‌ها (آورد رسوب رودخانه) یکی از عوامل مهم و مؤثر در تعیین طول عمر سدها و شناخت و تنظیم تغییرات بستر و کناره رودخانه‌ها می‌باشد و از طرفی به دلیل پیچیدگی شرایط رودخانه و نیاز به اطلاعات وسیع، معادلات هیدرولیکی برای برآورد رسوب‌دهی سالانه رودخانه‌ها به سادگی قابل کاربرد نمی‌باشند، لذا برآورد رسوب‌دهی غالباً از طریق روش منحنی سنجه رسوب انجام می‌گیرد. معمولاً

مناسب تر می باشد. براساس این رابطه میزان آورد بار ویژه رسوبات معلق در ایستگاه های مورد مطالعه به ترتیب در ایستگاه قازانقایه، مراوه تپه و هوتن به ترتیب برابر ۶۸۳، ۹۱۹ و ۹۱۸/۲ تن در سال در واحد کیلومتر مربع برآورد گردید.

با توجه به نتایج بالا مشاهده می شود روش های متوسط دسته ها معمولاً روابط برازش داده شده از بین دبی آب و رسوب، بار رسوبی را کمتر از مقدار واقعی برآورد می کند و این مشکل به این علت است که تعداد برداشت دبی رسوب در مواقع سیلابی بسیار کم، بالعکس برداشت دبی رسوب در مواقع دبی پایین زیاد می باشد، لذا در برازش منحنی به کل آمار فرمول ایجاد شده، دبی های پایین را بهتر برآورد کرده و در برآورد دبی های بالا دچار مشکل می شود. که برای حل این مشکل در این پژوهش از ضرایب تعدیل (افزایش دهنده) FAO بر روی دو روش حد وسط دسته ها و روش خطی استفاده گردید.

بیشترین میانگین مربعات خطا در منحنی سنجه مربوط به مدلی است که در آن برآورد دبی رسوب بدون در نظر گرفتن زمان اندازه گیری دبی و یا کلاسه بندی مقادیر دبی جریان صورت گرفته است که این نتیجه با نتایج [۱۸]، [۲۲]، [۱۷]، [۱۹]، [۲۱]، [۱۶] و [۸] مطابقت دارد.

نوع نمائی با ضریب همبستگی ۰/۸۹۹۱ با سطح اطمینان بالای ۹۹ درصد قابل قبول می باشد. معادله همبستگی رسوب معلق ویژه با مساحت به صورت رابطه زیر می باشد:

$$Y = 363.78 e^{5E-0.5X} \quad (V)$$

$$R = 0.986$$

در این رابطه X مساحت حوضه آبخیز به کیلومتر مربع و Y بار معلق ویژه برحسب تن در سال در کیلومتر مربع و R ضریب همبستگی می باشد.

در رویکرد دوم همبستگی دو متغیر دیگری بین آورد رسوب ویژه معلق و آبدهی ویژه و مساحت حوضه آبریز ایستگاه های مورد مطالعه ایجاد شد که معادله همبستگی به دست آمده به صورت زیر می باشد:

$$Y = 256.5 + (39.1 X_1) + (0.0430 X_2) \quad (A)$$

$$R = 0.889$$

در این رابطه X_1 آبدهی ویژه بر حسب لیتر بر ثانیه در کیلومتر مربع و X_2 مساحت حوضه آبریز به کیلومتر مربع، Y بار معلق ویژه رسوب برحسب تن در سال در کیلومتر مربع و R ضریب همبستگی می باشد.

براساس ضریب همبستگی به دست آمده رویکرد اول

References

- [1] Achite, M. and Ouillon, S. (2007). Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995), *Journal of Hydrology*, 84(3):187-202.
- [2] Alexandrov, Y., Cohen, H., Laronne, J. B. and Reid, I. (2010). Suspended sediment load, bed load, and dissolved load yields from a semiarid drainage basin: a 15-year study, *Water Resource Research*, 45:45-59.
- [3] Arabkhedri, M., Lai, F.S., Noor-Akma and, I., Mohamad-Roslan, M.K. (2010). An application of adaptive cluster sampling for estimating total suspended sediment load, *Journal of Hydrology Research*, 41(1):63-67.
- [4] Assadollahi, Z., Vafakhah, M. and Sadeghi, H. R. (2014). Estimation of daily sediment yield in Kojour forest watershed. *Journal of range and watershed management*, 67(1): 1-15 (In Persian).
- [5] Atieh, M., Mehlretter, S.L., Gharabaghi, B. and Rudra, R. (2015). Integrative neural networks model for prediction of sediment rating curve parameters for ungauged basins, *Journal of Hydrology*, 531(12): 1095-1107.

- [6] Aytek, A. and Kisi, O. (2014). A genetic programming approach to suspended sediment modelling, *Journal of Hydrology*, 351(11): 288-298.
- [7] Bordbar, A. and Fuladipanah, M. (2014). Sediment rating curve modification (case study: Marun dam, behbahan, iran), *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 4 (4):2345-2351.
- [8] Draper, N.R. and Smith, H. (1981). *Applied Regression Analysis*, 2nd Edition, University of New York press.
- [9] Gholami, L., Ghoroghi, J. H., Abdullahi, Z. and Khaledi Darvishan, A.V. (2016). Comparison and evaluation of suspended sediment estimation methods using data classification (Case of study: Doab Mark, Shirgah and Krikla Stations), *Water resources research Journal*, 12:1-5. (In Persian).
- [10] Hadley, R.F. Lal, R. Onstad, C.A. Walling, D.E. and Yair, A. (1985). *Recent developments in erosion and sediment yield studies*, UNESCO, Paris, 127p.
- [11] Heydarnejad, M., Golmaee, S.H., Mosaedi, A. and Ziatabar Ahmadi, M. (2007). Improvement sediment transport formula and estimation of suspended sediment for Tale Zang hydrometric station, *Proceedings of the 7th international river engineering conference*, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, pp. 85-97
- [12] Jansson, M.B. (1996). Estimating a sediment rating curves of the Reventzon River at Palomo using logged mean loads within discharge classes, *Journal of Hydrology*, 183(4): 227-241.
- [13] Khanchoul, K., Boukhrissa, Z.E.A., Acidi, A. and Altschu, T.R. (2010). Estimation of suspended sediment transport in the Kebir drainage basin, *Quaternary nternational*, 4(5): 1- 7.
- [14] Lenzi, M.A. Mao, L. and Comiti, F. (2003). Interannual variation of suspended sediment load and sediment yield in an alpine catchment, *Hydrological Sciences Journal*, 48(6), 899-915.
- [15] Mano, V., Nemery, J., Belleudy, P. and Poirel, A. (2009). Assessment of suspended sediment transport in four alpine watersheds (France): influence of the climatic regime, *Journal of Hydrology*, 23 (12): 777-792.
- [16] Miraboulghasemi, H., and Morid, S. (1997). Investigation of hydrological methods for estimating suspended load of rivers, *Journal of Water and Development*, 35: 95-116.
- [17] Mohammadi Ostad Kalaye, A. (2002). Optimizing the relationship between flow and suspended sediment discharge at the river gauging stations Gorganroud, Thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, 120 p.
- [18] Mosaedi, A., Shahabi, M. and Mohammadi, A. (2006). Investigation on changing of relations between flow discharge and suspended sediment during the times at Maraveh hydrometric station, 2th National Conference on Soil and Water Management, Kerman, Iran, pp. 1941-1948.
- [19] Piri, A., Habib Nejad, M., Ahmadi, M., Soleimani, k. and Mosaedi, A. (2001), Optimize the relationship between flow and sediment load in the basin represents Amameh, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of the Caspian*, 3(3), Mazandaran University, 40:57-70. (In Persian).
- [20] Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T. S., Miyata, T., Gomi, K., Kosugi, T., Fukushima, S., Mizugaki, S. and Onda, Y. (2008). Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed, *Geoderma*, 144(1):198–211.
- [21] Tarkhorany, H. (2001). Optimizing the relationship between water discharge and sediment load in Lighvan representative, Thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, 86 p.
- [22] Waling, D.E. (1977). Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin, *Water Resources Research*, 13: 531-538.
- [23] Zeynali, M. J. and Shahidi, A. (2017). Performance assessment of grasshopper optimization algorithm for optimizing coefficients of sediment rating curve, *Amirkabir Journal of civil engineering*, 3 (4): 1-12. (In Persian).

