Archive of SID

ارزیابی و برآورد رسوب رودخانه اترک در محل ایستگاه‌های هیدرومتری دارای آمار با استفاده از روش‌های هیدورلوژیکی

محمدرضا اکبرزاده[۱]، عباسعلی قزل سوفلو[۲]، محبوبه حاجی بیگلو[۳*]

۱- دانشجوی دوره دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

۳*- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد، Hajibigloo_m@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۵

چکیده

در یک حوضه آبخیز، رسوب در اثر فرآیند فرسایش تحت تأثیر عواملی مانند تخریب مراتع، تغییر کاربری، کشاورزی غیر اصولی و سایر موارد به وجود می‌آید که مشکلاتی نظیر رسوبگذاری در مخازن سدها، کاهش حجم مفید آنها، کاهش کیفیت آب و.. را سبب می‌شود. برای پایداری و مدیریت حوضه و برای ممانعت از هدررفت خاک و رسوب در حوضه و رودخانه، همچنین برای احداث طرح‌های حفاظتی آبخیزداری نیاز به تخمین میزان رسوب معلق در رودخانه‌ها می‌باشد. در تحقیق حاضر به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری بارزو، باباامان، قتلش، دربند، آغمزار، تبرک‌آباد واقع بر رودخانه اترک، داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب در طی دوره آماری موجود جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با برقراری رابطه بین مقادیر متناظر دبی آب و دبی رسوب براساس پنج مدل خطی، خطی ترکیبی (چند خطی)، خطی با اعمال تصحیح فائو، حد وسط دسته‌ها و روش ترسیمی (مماس بر خط حداکثر غلظت)، اقدام به انتخاب مدل مناسب که دارای بهترین قابلیت پیش‌بینی باشد، براساس شاخص‌های آماری گردید. به این منظور، از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، نسبت میانگین داده‌های برآوردی به مشاهداتی، ضریب تغییرات، نسبت جذر میانگین مربعات خطا به میانگین داده‌های برآوردی، ضریب همبستگی بین رسوبات برآوردی و مشاهداتی، میانگین قدر مطلق خطا و میانگین انحراف خطا استفاده شد. نتایج نشان داد مدل حد وسط دسته‌ها در ایستگاه تبرک آباد، مدل خطی در ایستگاه آغمزار و بارزو، مدل ترسیمی (حداکثر غلظت) در ایستگاه باباامان و قتلش، مدل ترکیبی (چند خطی) در ایستگاه دربند در بین مدل‌های مورد آزمون دارای کمترین میزان میانگین مربعات خطا بوده و بهترین قابلیت پیش‌بینی را در برآورد رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه داراست.

کلید واژه‌ها: رسوب معلق، منحنی سنجه رسوب، روش‌های هیدرولوژیکی، پارامترهای آماری.

Assessment of Atrak River Sediment at the Hydrometric Stations with Data Using Hydrological Methods

M. R. Akbarzadeh[1], A. A. Ghezelsofloo[2], M. Hajibigloo[3]

1- Ph.D. Student of Water Structures, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
2- Assistant professor of IAUM, Mashhad, Iran
3- Ms.c. Watershed management, Yazd University, Yazd, Iran

Received:18 July 2013 Accepted:26 Nov.2013

Abstract

In a catchment, deposition of the erosion process is influenced by factors such as degraded pastures, land use change, agriculture non-normative and others may occur. That causes problems such as sedimentation in reservoirs, reducing their, effective volume reduction and water quality. For sustainable and watershed management and to prevent soil loss and sediment in the river and basin, It also plans to build watershed protection is required to estimate suspended sediments in rivers. In the present study, in order to select the most appropriate method for estimating suspended sediment in hydrometric stations Barzu, Babaaman, Ghatlesh, Darband, Aghmazar, Tabarok Abad on the river Atrak, The corresponding

www.SID.ir

Archive of SID

data flow and sediment discharge during the period were collected and analyzed. The relationship between water discharge and sediment load values based on five linear model, linear combination (multi-line), linear correction FAO, middle class and graphical methods (tangent to the line of maximum concentration), to select the appropriate model the best prediction based on the statistical indicators. In order to, the index of root mean square error (RMSE), coefficient of determination (R^2), the estimated mean of the observations (r), coefficient of variation (Cv), the root mean square error of the estimated mean (GSD), the correlation coefficient between estimated and observed sediment (R), mean absolute error (MAE) and mean bias error (MBE) was used. Results showed intermediate model categories in Tabarok abad station, linear model in aghmazar and barzu station, Model drawing (maximum concentration) in Babaaman and Ghatlesh station, hybrid model (multi-line) in Darband station, among the models tested was the lowest rates and the best mean square error in estimating the predicted precipitation stations is studied.

Keywords: Suspended sediment, Sediment rating curves, Hydrological methods, Statistical parameters

مقدمه

فرسایش، انتقال رسوب، رسوبگذاری و کیفیت آب از مسائل بسیار مهم در مدیریت حوضه‌های آبخیز می‌باشند. این مسائل را می‌توان با برقراری و توسعه برنامه‌های اندازه‌گیری مقدار رسوب انتقالی در رودخانه‌ها مورد بررسی قرار داد (الیو و ریگر[1]، ۱۹۹۲). از طرف دیگر رسوب معلق رودخانه تا حد زیادی پیام‌آور وضعیت بالادست است. گروه‌های زیادی نیاز به این داده‌ها دارند. از این اطلاعات می‌توان رابطه بین فرآیندهای فرسایش حوضه و رسوب معلق را مطالعه کرد (هیکس و همکاران[2]، ۲۰۰۰). بنابراین بخش رسوب معلق در ارتباط نزدیک با تحقیقات فرسایش خاک قرار دارد (والینگ[3]، ۱۹۹۴). از اطلاعات حاصل می‌توان برای ارزیابی، اصلاح و بهبود مدل‌های برآورد رسوب و کمک به تصمیم گیری-های مدیریتی در مورد تأثیر کاربری اراضی و استراتژی‌های کنترل آلودگی استفاده کرد. همچنین محاسبات حجم مرده مخازن ناشی از پرشدن مواد رسوبی و طراحی حوضچه‌های رسوب، عملیات رسوب‌زدایی و غیره همگی بر پایه اطلاعات رسوب شناسی حوضه استوارند (علیزاده،۱۳۷۶). در بسیاری از رودخانه‌ها بخش رسوب معلق قسمت اعظم بار کل رسوب را تشکیل می‌دهد و بار بستر بیشتر از فرسایش رودخانه‌ای ناشی می‌شود و به علت مشکلات عملی در اندازه‌گیری بار بستر تقریباً در تمام موارد، اندازه‌گیری رسوب مربوط به بار معلق می‌باشد. سابقه بررسی علمی در مورد انتقال رسوب معلق رودخانه‌ها بیش از ۱۰۰ سال است (والینگ و وب[4]، ۱۹۸۱). به طوری‌که نخستین نمونه‌برداری از بار معلق رودخانه‌ها در سال ۱۸۴۵ میلادی در رودخانه می سی سی پی انجام شد (والینگ، ۱۹۷۷). پس از آن در ۱۸۶۳ در رودخانه‌های سن و مارن[5] فرانسه و در ۱۹۳۹ در رودخانه نیل صورت گرفت و به تدریج در سرتاسر جهان توسعه یافت (میر ابوالقاسمی و مرید، ۱۹۹۷). در این راستا توسعه فعالیت‌های اندازه‌گیری موازی با افزایش نیاز به اطلاعات در مورد بار معلق و تغییرات آن در برنامه های مدیریتی مخازن و تأسیسات آبی بوده است (کراوفورد[6]، ۱۹۹۱). ماهیت متغیر و پیچیده بار رسوب رودخانه‌ها باعث شده است که برآورد میزان رسوب وارده به مخازن و تولید رسوب درازمدت برای تعیین عمر سازه‌ها، با مشکل روبه‌رو باشد.

روش‌های متعددی برای برآورد بار معلق رودخانه‌ها پیشنهاد شده و از جنبه‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. به طور کلی روش برآورد بار معلق رودخانه‌ها به دو دسته تقسیم شده است. دسته اول روش‌های مبتنی بر قوانین دینامیک و مکانیک سیالات که عموماً توسط متخصصان و صاحب‌نظران علم هیدرولیک ارائه شده است و دسته دوم روش مبتنی بر اندازه‌گیری‌های مستقیم و تحلیل‌های آماری که بیشتر توسط صاحبنظران علم هیدرولوژی توصیه شده‌اند (میرابوالقاسمی و مرید،۱۹۹۷). تقسیم‌بندی دیگر توسط پرستون و همکاران[7] (۱۹۸۹) انجام شده است که به نظر طبقه‌بندی جامع‌تری می‌باشد. در این تقسیم‌بندی، سه طبقه عمده از روش هیدرولوژیکی دیده می‌شود که عبارت از برآوردکننده‌های میانگین[8]، نسبتی[9] و رگرسیونی[10] است. برآوردکننده‌های رگرسیونی (منحنی‌های سنجه) در اغلب موارد به صورت لگاریتمی به کار برده می‌شوند زیرا توزیع مناسب غلظت و جریان توزیع لوگ نرمال دو متغیره می‌باشد. در کاربرد منحنی‌های سنجه رسوب دو نوع اریب به مدل رگرسیون خطی وارد می‌شود. اریب نوع اول مربوط به نوع روشی است که برای به دست آوردن معادله رگرسیون به کار می‌رود و اریب نوع دوم به علت تغییر حالت از لگاریتمی به حالت طبیعی ناشی می‌گردد. اریب نوع اول را می‌توان تا حدودی با کاربرد روش مناسب مثل حداقل مربعات که تا حدودی نااریب می‌باشد، کاهش داد ولی در مورد اریب نوع دوم بایستی یک سری تصحیحات مثل اضافه‌کردن متغیرهای مستقل اضافی به معادله انجام داد. در یک مدل نااریب یک واحد برآورد بیش از حد واقعی[11] با همان مقدار

1- Olive and Reiger
2- Hicks, Gomez and Trustrum
3- Walling
4- Walling and Webb
5- Seine and Marne

6- Crawford
7- Preston et al.
8- Averaging Estimator
9- Ratio Estimator
10- Regression estimator
11 Overestimation

www.SID.ir

Archive of SID

برآورد زیر حد واقعی[1] احتمال و شانس یکسانی دارد. 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[2] نامیده می‌شود. علاوه بر این جانسون[3] (۱۹۹۶)، پیشنهاد می‌کند دبی‌های جریان با یک نمو معین 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[4] نامیده می‌شود. جونز و همکاران[5] (۱۹۸۱) به جای استفاده از معادله توانی سنجه رسوب که از نقطه‌ای با مختصات میانگین نقاط لگاریتم دبی و آب عبور می‌کند از معادله خطی موازی که از میانگین نقاط رسوب و دبی متناظر با آن می‌گذرد استفاده می‌کنند. این روش به نام روش فائو مطرح شده است و در عمل به عنوان ضریبی محاسبه شده و در منحنی سنجه رسوب یک خطی اعمال می گردد. سبهانی و ملکیان (۱۳۹۰) تأثیر چهار مدل طبقه‌بندی داده‌ها بر صحت برآورد رسوب معلق در حوضه آبخیز حبله رود را بررسی نمودند. برای انتخاب مدل بهینه از شاخص‌های آماری میانگین خطای نسبی و میانگین خطای مطلق استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل بهینه انتخاب شده از هر دو روش محاسبه خطا یکسان نیست. در روش متوسط خطای نسبی، مدل طبقه‌بندی داده‌ها براساس زمان وقوع اندازه‌گیری و کلاس‌بندی دبی جریان و در روش متوسط خطای مطلق مدل طبقه‌بندی داده‌ها براساس کلاس‌بندی دبی به عنوان مدل‌های بهینه مشخص شدند [۲].

ماینگی و مارش[6] (۲۰۰۲) در یک بررسی با بهره گیری از روش‌های زمین آماری کریجینگ (K) و کوکریجینگ (CK) اقدام به برآورد بار معلق روزانه نمودند به گونه‌ای که از رسوب معلق و دبی لحظه‌ای روزانه ایستگاه به طور هفتگی، دوهفته یکبار و ماهانه نمونه‌برداری کرده و با روش منحنی سنجه مورد آزمون قرار دادند. میزان برآورد شده در برابر میزان اندازه‌گیری شده روزانه در طی دوره نه ساله آماری مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که رسوب روزانه برآورد شده از روش کوکریجینگ و روش نمونه‌برداری داده به صورت هفتگی بهترین درستی و دقت آماری را با داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه دارد. همچنین روش منحنی سنجه بر پایه همان داده‌ها دقت بالا، ولی درستی پایینی برآورد نمود، به گونه‌ای که داده‌های اوج را کم برآورد کرده و داده‌های پائین را زیاد برآورد می‌کند. لنزی و همکاران[7] (۲۰۰۳) با انجام تحقیقی بر روی رودخانه ریو کوردن با آمار ۱۶ ساله، نتیجه گرفتند که ۷۶ درصد کل بار رسوبی انتقال یافته از نوع بار معلق می‌باشد و بخش عظیمی از رسوبات معلق انتقال یافته در اثر وقوع دو سیلاب مهیب در سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۰۱ بوده است. جانسن (۱۹۹۶) طی مطالعه‌ای نتیجه گرفت که به‌خاطر تغییرات گسترده و تکرار کم نمونه‌ها در دبی‌های بالا، امکان بهبود منحنی سنجه رسوب از راه معمولی آن یعنی مدل لگاریتمی وجود ندارد. بنابراین برای تعیین میزان رسوب معلق از روشی بنام منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها استفاده کرد. صادقی (۲۰۱۰) وجود ضریب کارایی کم‌تر از ۵۰ درصد در مدل‌های مورد بررسی در حوضه آبخیز خامسان را نشانه بی‌کفایتی منحنی سنجه در تخمین کامل و دقیق بار معلق می‌دانند. با توجه به این‌که بیش‌ترین میزان حمل رسوب در زمان-های سیلابی رخ می‌دهد، بنابراین اندازه‌گیری رسوب در مواقع سیلابی ضروری می‌باشد. نتایج پژوهش نجفی نژاد و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهد که از بین انواع معادلات منحنی سنجه رسوب، رابطه توانی دارای بالاترین میزان همبستگی می‌باشد.

مساعدی و همکاران (۲۰۰۶) مدلی که در آن تقسیم‌بندی داده‌ها براساس ماه اندازه‌گیری دبی جریان صورت گرفته است را به عنوان مدل مناسب در ایستگاه مراوه تپه واقع بر رودخانه اترک معرفی نمودند. محققان بسیاری نیز نشان دادند که روش حد وسط دسته‌ها در بهبود روابط مؤثر بوده و همبستگی دبی و رسوب را به طور چشم‌گیری افزایش می‌دهد.

در این تحقیق سعی شده است با استفاده از آمار رسوب و دبی متناظر شش ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانه اترک و سرشاخه‌های آن از بدو تأسیس تا کنون براساس کل داده‌های آن‌ها بر مبنای پنج مدل شامل مدل‌های خطی، خطی ترکیبی، خطی با اعمال تصحیح فائو[8]، روش ترسیمی و حد وسط دسته‌ها، منحنی سنجه رسوب هر یک از ایستگاه‌ها ترسیم و براساس شاخص‌های آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

در مرحله بعد با بهره‌گیری از آمار دبی روزانه ایستگاه‌های منتخب میزان آورد بار رسوبات معلق به روش روز به روز محاسبه و نتایج ماهانه، سالانه و دبی ویژه بار معلق سالانه ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

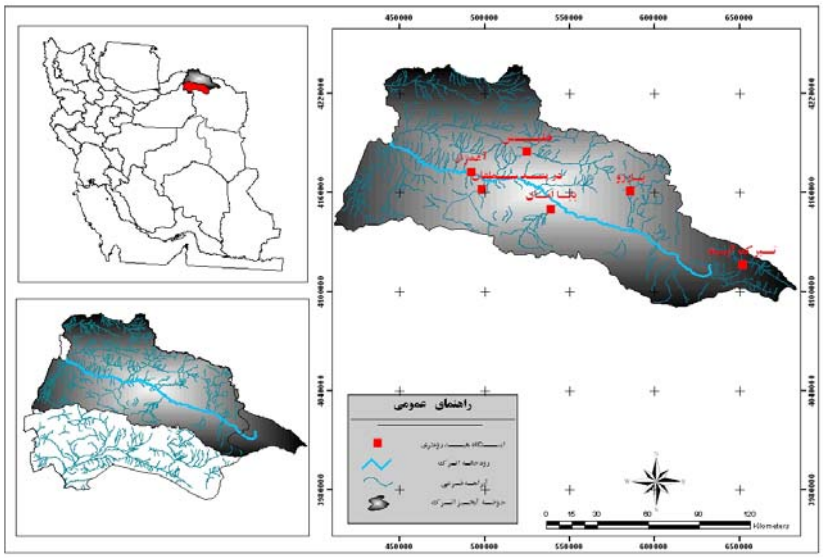
حوضه آبخیز اترک بخشی از حوضه دریای مازندران محسوب شده که وسعت آن در داخل استان خراسان شمالی بالغ بر ۱۴۹۱۳/۲۴ کیلومتر مربع می‌باشد.

این حوضه در شمال شرق ایران و در محدوده طول‌های "۳۲ ´۰۱ °۵۶ الی "۱۵ ´۲۵ °۵۶ طول‌شرقی و عرض های "۱۶ ´۵۶ °۳۶ الی "۴۲ ´۱۴ °۳۸ عرض شمالی واقع گردیده است. طول رودخانه اصلی در حوضه آبخیز اترک ۲۱۱ کیلومتر می‌باشد. رودخانه‌های موجود در حوضه آبخیز اترک واقع در خراسان شمالی، شامل: رودخانه‌های

1- Underestimation
2- Linear sediment rating curve
3- Jansson
4- Mean load within discharge classes
5- Jones et al.
6- Maingi and Marsh
7- Lenzi et al.
8- FAO

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران و استان خراسان شمالی

چری و شاه‌وردی در شهرستان فاروج، رودخانه‌های تنسوان، قلجق، قرق و گلول در شهرستان شیروان، رودخانه‌های چناران، فیروزه، باباامان، بش قاداش، بدرانلو، قزلقان، خرتوت، سومبار و چندیر در شهرستان بجنورد، رودخانه‌های شیرین دره، کال ایمانی، کال اینچه و گرماب در شهرستان مانه و سملقان می‌باشد. شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را در ایران و استان خراسان شمالی نشان می‌دهد.

ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

برای برآورد میزان رسوب ایستگاه‌های منتخب اقدام به جمع‌آوری آمار آبدهی روزانه و همچنین آمار نمونه‌برداری‌های رسوب گردید. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه جزء مناطق نیمه‌خشک می‌باشد، لذا در این تحقیق برای تحلیل آمار رسوب ایستگاه های آب‌سنجی مورد مطالعه از روش تهیه منحنی های Q_S- Q_W با رویکردهای مختلفی استفاده شده است. در جدول (۱) مشخصات و طول دوره آماری ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه ارائه گردیده است.

برآورد میزان رسوب روزانه و ترسیم منحنی سنجه رسوب با بهره‌گیری از روش‌های هیدرولوژیکی (پنج روش مختلف) انجام گرفت که همه این روش‌ها بر پایه روش منحنی سنجه رسوب می‌باشند (حیدرنژاد و همکاران، ۲۰۰۷):

۱- منحنی سنجه یک خطی: در این روش داده‌های غلظت یا دبی رسوب و دبی جریان متناظر آنان به یک محور مختصات لگاریتمی منتقل شده و بهترین خط برازش با بهره‌گیری از روش کمینه مربعات از میان نقاط عبور داده می‌شود. بنابراین از این روش بدون توجه به چگونگی پراکنش نقاط تنها یک خط از بین نقاط عبور داده می‌شود (شفاعی بجستان، ۱۳۸۳).

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 (عرب خدری، ۲۰۰۵).

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 (جانسن، ۱۹۹۶).

۴- روش ضریب اصلاحی فائو: در این روش که توسط جونز و همکاران (۱۹۸۱) تشریح شده است در آغاز بهترین خط را با معادله رابطه (۱) به روش کمینه مربعات به میزان لگاریتمی (نه میزان واقعی) برازش می‌دهد ولی پس از آن از معادله فوق که از نقاط میانگین‌های $LogQ_w$ و $LogQ_s$ 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:

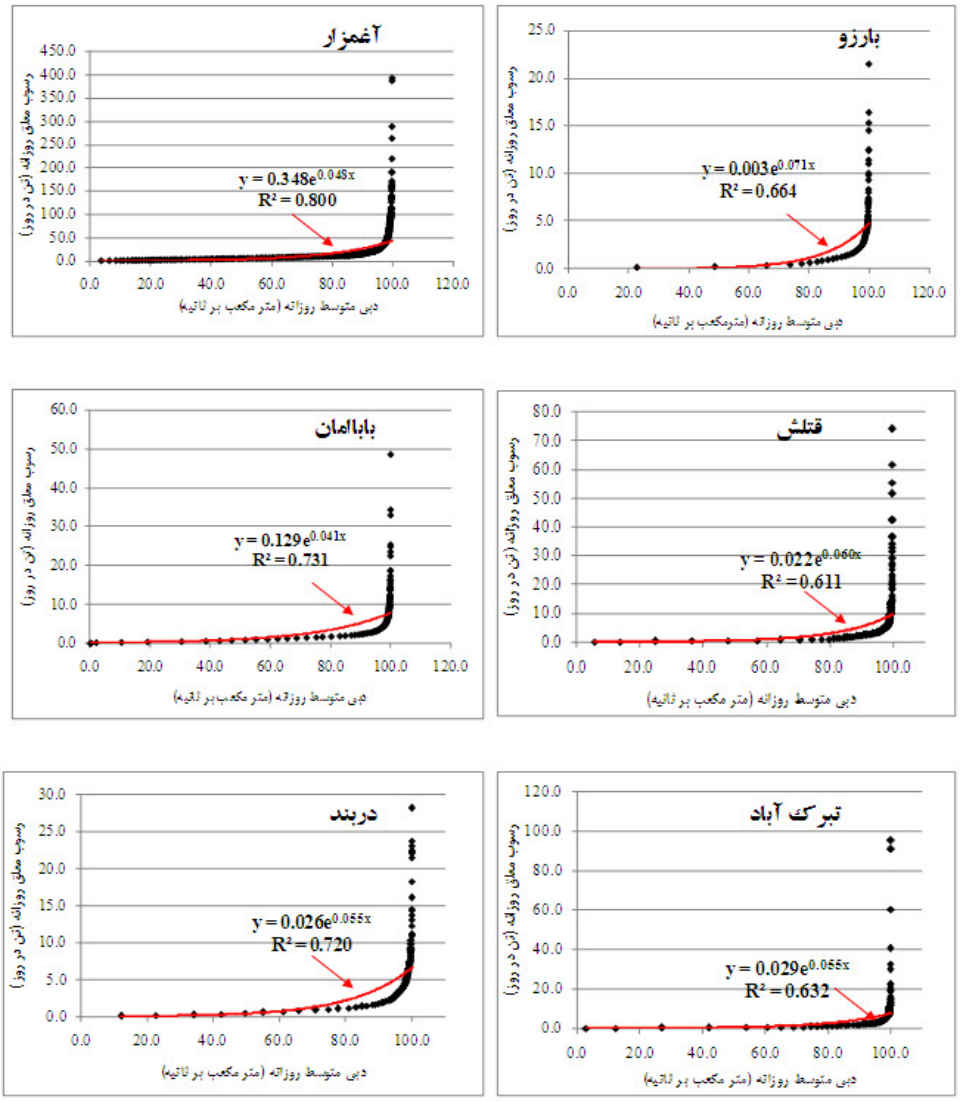
$$a' = Qs/(Qw\hat{}b) \qquad (۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- مشخصات و طول دوره آماری ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

کد ایستگاه	نام ایستگاه	طول (دقیقه- درجه)	عرض (دقیقه- درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت حوضه آبریز(کیلومتر مربع)	تعداد سال های آماری	تعداد کل نمونه رسوب	تعداد نمونه های قابل استفاده
۱۱۰۳۹	آغمزار	۵۶-۵۵	۳۷-۴۲	۵۶۰	۱۳۰۰۴	۳۸	۱۳۴۶	۱۰۸۰
۱۱۰۱۱	بارزو	۵۷-۵۷	۳۷-۳۶	۱۴۱۰	۴۸۷	۲۴	۷۵۶	۶۵۹
۱۱۰۲۱	باباامان	۵۷-۲۶	۳۷-۲۹	۱۰۱۰	۱۲۳۳	۲۶	۵۴۹	۵۰۷
۱۱۰۲۷	قتلش	۵۷-۱۷	۳۷-۴۹	۹۶۰	۱۳۵۲	۲۷	۹۱۱	۸۲۲
۱۱۰۳۵	دربند سملقان	۵۶-۵۹	۳۷-۳۶	۶۸۰	۱۰۲۳	۲۴	۶۶۵	۶۱۹
۱۱۰۰۱	تبرک آباد	۵۸-۴۳	۳۷-۱۱	۱۴۷۰	۵۵۳	۲۹	۹۴۲	۸۲۸



شکل۲- منحنی سنجه رسوب داده‌های اولیه در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن میزان á از تقسیم میانگین‌های Q_s وQ_w متناظر اندازه‌گیری شده به‌دست می‌آید. (á 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 برازش داده می‌شود که انتهای منحنی مذکور مجانب بر خط دو برابر حداکثر غلظت یا غلظت بزرگ‌ترین گذر حجمی عبور نماید.

مجموعه داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب هر یک از ایستگاه‌ها در دوره آماری موجود مورد بررسی قرار گرفته و منحنی سنجه رسوب برای داده‌های دبی متناظر با رسوب معلق برای هر یک از ایستگاه‌ها در شکل‌های زیر نشان داده شده است.

انتخاب روش هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه

در روش هیدرولوژیکی ابتدا در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی غلظت مواد معلق(c) برحسب گرم بر لیتر و گذر حجمی متناظر با آن (Q_W) بر حسب متر مکعب بر ثانیه طی یک دوره آماری طولانی‌مدت اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از رابطه (۲) بار معلق (Q_S) بر حسب تن در روز محاسبه می‌شود:

$$Q_s=0.0864.c.Q_w \qquad (۲)$$

در تحقیق حاضر براساس کل داده‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه، برازش منحنی سنجه رسوب به روش های برازش تک خطی، برازش تک خطی با تعدیل فائو، برازش ترکیبی (چند خطی)، روش ترسیمی (حداکثر غلظت) و برازش حد وسط دسته‌ها اقدام به برآورد رسوب در ایستگاه‌های رسوب سنجی مورد مطالعه در حوضه آبخیز اترک شده است. به این منظور از آمار متناظر دبی و رسوب طی سال‌های موجود استفاده شد. پس از تعیین معادله‌های رسوب به روش‌های مختلف، با مقایسه پارامترهای آماری، از قبیل جذر میانگین مربعات خطا[1] (RMSE)، ضریب تعیین[2] (R^2)، نسبت میانگین داده‌های برآوردی به مشاهداتی[3] (r)، ضریب تغییرات[4] (Cv)، نسبت جذر میانگین مربعات خطا به میانگین داده های برآوردی[5] (GSD)، ضریب همبستگی بین رسوبات برآوردی و مشاهداتی[6] (R)، میانگین قدر مطلق خطا[7] (MAE) و میانگین انحراف خطا[8] (MBE) بهترین معادله انتخاب و رسوب ایستگاه براساس روش انتخابی، برآورد گردید (حیدرنژاد و همکاران، ۲۰۰۷).

معادله‌های به کار گرفته شده در مورد هر یک از شاخص‌های آماری به شرح زیر می‌باشد (مساعدی و همکاران، ۲۰۰۶):

$$RMSE=\sqrt{(1/n \sum (Y_{actual}-Y_{forecast})^{\wedge})^{2}} \qquad (۳)$$

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

$$R=\sum(\log Q_{si}-\log Q_s)(\log Q_{wi}-\log Q_s) \qquad (۴)$$
$$/\sqrt{\sum(\log Q_{si}-\log Q_s)^2\sum(\log Q_{wi}-\log Q_w)^2}$$

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.

$$CV=Stdev/X\times 100 \qquad (۵)$$

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

$$r= (\sum Yforecast)/(\sum Yactual) \qquad (۶)$$

که در آن Yactual: مقادیر رسوب مشاهده شده و Yforecast: مقادیر رسوب برآورد شده می‌باشد.

$$GSD= RMSE/(Y\ forecast) \qquad (۷)$$

که در آن RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا و Yforecast: میانگین مقادیر رسوب برآورد شده می‌باشد.

نتایج و بحث

مقادیر شاخص صحت (نسبت بار رسوبی برآورد شده به بار رسوبی مبنا) و شاخص دقت (ضریب تغییرات برآورد) روش‌های مختلف در ایستگاه‌های منتخب در جدول (۲) آورده شده است. با برازش معادله‌های 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 جدول (۲) ارائه گردیده است. با توجه به جدول (۲) مدلی که دارای کمترین جذر میانگین مربعات خطا، بیشترین ضریب تعیین، کمترین نسبت جذر میانگین مربعات خطا به میانگین داده‌های رسوب برآوردی باشد بهترین قابلیت پیش‌بینی را داراست (اعظمی و همکاران، ۲۰۰۵). 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.

1- Root mean square error
2- Coefficient of determination
3- Mean estimate of the observational data
4- Coefficient of Variation
5- Root mean square error of the mean estimated
6- correlation coefficient
7- Mean absolute error
8- Mean deviation error

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج محاسبات شاخص‌های آماری برآورد رسوبات معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری

نام ایستگاه	نام مدل	ضریب تعیین	نسبت میانگین داده‌های برآوردی به مشاهداتی	ضریب همبستگی	جذر میانگین مربعات خطا	ضریب تغییرات	نسبت جذر میانگین مربعات خطا به میانگین داده های برآوردی	میانگین قدر مطلق خطا	میانگین انحراف خطا
تبرک آباد	برازش یک خط	۰/۶۸	۰/۲۲	۰/۷۹۳	۱۸۶۹۸	۱۷/۰۳	۳۸/۷۳	۱۷۶۹	-۱۷۵۰
	برازش یک خط با تعدیل فائو	۱/۰۰	۹/۳۴	۰/۷۹۳	۳۳۱۴۳۴	۱۷/۰۳	۱۵/۸۹	۱۸۶۲۶	۱۸۶۲۱
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۶۷	۴/۸۱	۰/۸۲۳	۲۳۶۷۱۶	۲۴/۱۵	۲۲/۰۵	۹۱۳۷	۸۵۰۱
	روش ترسیمی(حداکثر غلظت)	۰/۷۶	۱/۶۵	۰/۸۱۶	۲۳۵۶۷	۱۶/۸۶	۱۵/۹۲	۱۷۰۴	۱۴۵۳
	روش حد وسط دسته‌ها	۰/۸۹	۰/۳۸	۰/۸۲۵	۱۳۶۷۱	۱۳/۱۱	۶/۳۹	۱۴۳۱	-۱۳۷۵
بارزو	برازش یک خط	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۹۲۶	۸۵	۶/۵۱	۰/۰۱	۳۸۴۸	-۸۶۲
	برازش یک خط با تعدیل فائو	۱/۰۰	۱۷/۶۶	۰/۹۱۱	۱۲۷	۷/۸۵	۴/۹۶	۱۱۱۵۵۵	۱۱۴۸۹۳
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۸۴	۲/۴۴	۰/۹۱۱	۱۱۳	۷/۷۷	۰/۳۰	۱۲۶۹۵	۹۶۵۷
	روش ترسیمی(حداکثر غلظت)	۰/۸۴	۳/۳۲	۰/۹۲۰	۲۸۹	۸/۵۵	۰/۰۶	۱۶۰۰۸	۱۵۵۰۹
	روش حد وسط دسته‌ها	۰/۸۷	۱/۵۷	۰/۹۱۱	۳۳۴	۷/۹۶	۰/۰۶	۷۲۶۳	۳۸۳۸
بابامان	برازش یک خط	۰/۴۵	۰/۱۴	۰/۸۳۷	۴۸۸۴	۱۸/۷۹	۸۲/۹۵	۳۷۲۶	-۳۶۵۸
	برازش یک خط با تعدیل فائو	۱/۰۰	۵/۷۲	۰/۸۳۷	۱۸۳۰۰۴	۱۰/۰۲	۷/۵۲	۲۰۰۶۲	۲۰۰۶۲
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۴۶	۵/۲۲	۰/۸۷۰	۳۶۴۱۱۱	۱۱/۱۷	۱۶/۴۱	۱۹۰۶۴	۱۷۹۳۶
	روش ترسیمی(حداکثر غلظت)	۰/۴۸	۱/۵۲	۰/۸۷۲	۲۳۴۴۲	۹/۶۶	۳/۶۳	۲۸۷۱	۲۲۲۰
	روش حد وسط دسته‌ها	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۸۳۷	۳۹۷۲۵	۱۰/۶۱	۲۹/۵۱	۳۲۶۱	-۲۹۰۱
قتلش	برازش یک خط	۰/۸۵	۰/۲۳	۰/۹۱۱	۳۴۴۲۰۵۱	۸/۵۳	۶/۴۲	۳۹۶۹۰۵	۳۹۶۸۴۵
	برازش یک خط با تعدیل فائو	۱/۰۰	۳۵/۰۹	۰/۹۱۱	۱۷۹۸۷۷	۸/۵۳	۸/۴۲	۱۹۰۷۸	۱۵۷۲۰
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۸۵	۲/۵۲	۰/۹۱۲	۱۷۰۵۸۳	۸/۵۶	۶/۶۲	۱۹۲۴۵	۱۷۳۹۱
	روش ترسیمی(حداکثر غلظت)	۰/۸۹	۲/۱۶	۰/۹۱۴	۱۵۸۹۸۹	۷/۸۸	۵/۹۱	۱۶۹۲۴	۱۳۳۰۰
	روش حد وسط دسته ها	۰/۸۸	۴/۰۸	۰/۹۱۱	۳۴۷۰۹۰	۸/۶۰	۷/۴۲	۳۷۱۲۰	۳۵۳۴۳
دربند	برازش یک خط	۰/۷۷	۰/۳۴	۰/۸۸۶	۷۸۳۴	۴/۹۳	۲۱/۱۹	۷۵۳	-۷۱۱
	برازش یک خط با تعدیل فائو	۱/۰۰	۲/۲۸	۰/۸۸۶	۶۹۲۹	۴/۹۱	۷/۹۸	۱۸۱۷	۱۳۸۱
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۹۱۷	۶۴۸۵	۳/۲۵	۲/۸۱	۷۴۷	-۲۶۷
	روش ترسیمی(حداکثر غلظت)	۰/۷۶	۲/۶۶	۰/۹۱۷	۹۳۲۷	۴/۹۹	۳/۲۵	۱۹۷۶	۱۷۹۴
	روش حد وسط دسته‌ها	۰/۸۱	۰/۴۷	۰/۸۸۶	۷۵۵۱	۳/۳۱	۱۴/۸۵	۷۸۳	-۵۷۲
آغمزار	برازش یک خط	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۹۷۸	۵۱۷۹۴	۶/۱۵	۲/۵۲	۱۲۳۶۰	-۱۰۱۰۴
	برازش یک خط با تعدیل فائو	۱/۰۰	۴/۰۴	۰/۹۱۶	۵۳۲۳۹۴	۶/۱۵	۵/۲۳	۷۹۷۴۱	۷۶۵۸۰
	برازش ترکیبی (چند خطی)	۰/۷۶	۲/۴۵	۰/۹۴۵	۴۶۶۸۴۳	۹/۰۱	۷/۵۵	۴۸۸۶۳	۳۶۶۳۱
	روش ترسیمی(حداکثر غلظت)	۰/۷۹	۱/۳۹	۰/۹۴۸	۱۲۲۱۳۱	۶/۱۵	۳/۴۸	۱۹۹۶۵	۹۸۵۷
	روش حد وسط دسته‌ها	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۹۱۶	۶۴۸۷۳	۶/۳۵	۲/۹۲	۱۲۶۰۹	-۳۰۲۳

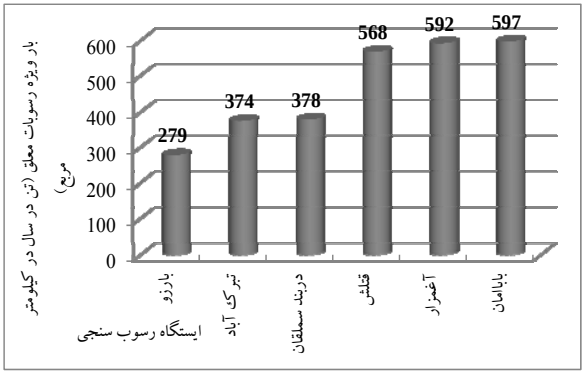
همان‌طور که در جدول (۲) ملاحظه گردید، نتایج برآورد رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه از روش های مختلف برازش خط در منحنی سنجه رسوب براساس کل داده‌های همزمان دبی جریان و دبی رسوب به دست آمده است. شاخص‌های مختلف آماری براساس رسوب برآوردی و رسوب مشاهده‌ای محاسبه گردیده است. انتخاب نهایی رسوب برآوردی در ایستگاه‌ها براساس بررسی نتایج شاخص‌های آماری مشخص گردید. در ایستگاه تبرک آباد روش حد وسط دسته‌ها، در ایستگاه بارزو روش خطی، در ایستگاه بابامان و قتلش روش ترسیمی (حداکثر غلظت)، در ایستگاه دربند سملقان روش ترکیبی و در ایستگاه آغمزار روش خطی به منظور برآورد رسوب معلق انتخاب گردیده است. در شکل (۳) تغییرات بار ویژه رسوبات معلق در ایستگاه‌های مورد بررسی به ترتیب از نزولی به صعودی مرتب و نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، کمترین بار ویژه رسوبات معلق مربوط به ایستگاه بارزو- قلجق با ۲۷۹ تن در سال در کیلومتر مربع و بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه بابامان بر روی رودخانه چناران با ۵۹۷ تن در سال در کیلومتر مربع می‌باشد. در جدول (۳) نتایج ماهانه نهایی بار معلق رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه گردیده است. تغییرات

www.SID.ir

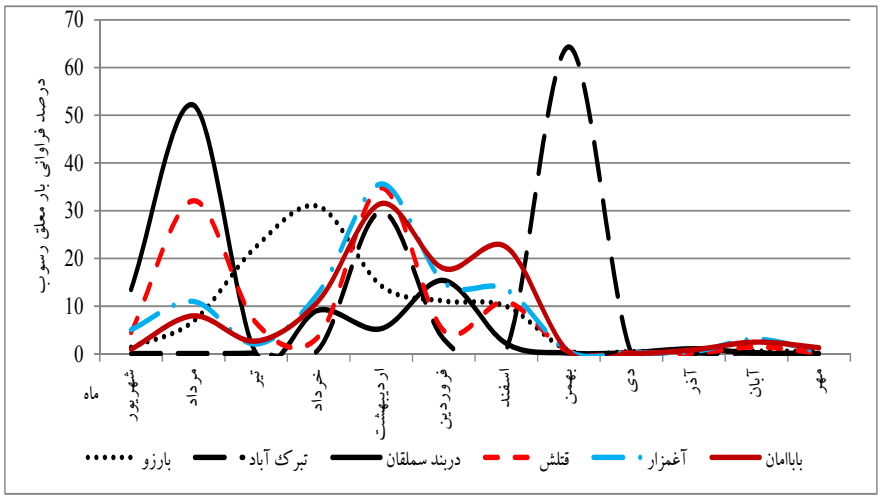
Archive of SID

متوسط ماهانه آورد رسوبات معلق در ایستگاه‌های مورد بررسی براساس روش‌های منتخب در شکل (۴) آورده شده است.

نتایج برآورد رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه از روش‌های مختلف برازش خط در منحنی سنجه رسوب براساس کل داده‌های همزمان دبی جریان و دبی رسوب به‌دست آمد. خلاصه نتایج ماهانه نهایی بار معلق در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه گردیده است. همان‌گونه که در جدول فوق نیز مشخص است، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد فراوانی رسوب معلق در ایستگاه‌های منطقه طرح در دوره آماری مورد بررسی به ترتیب مربوط به ماه‌های اردیبهشت و دی ماه می‌باشد. منحنی سنجه رسوب هر یک از روش‌های منتخب هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۵) آورده شده است.



شکل۳- تغییرات میزان بار ویژه رسوبات معلق در ایستگاه‌های مورد بررسی



شکل٤- تغییرات متوسط ماهانه آورد رسوبات معلق در ایستگاه‌های مورد بررسی

www.SID.ir

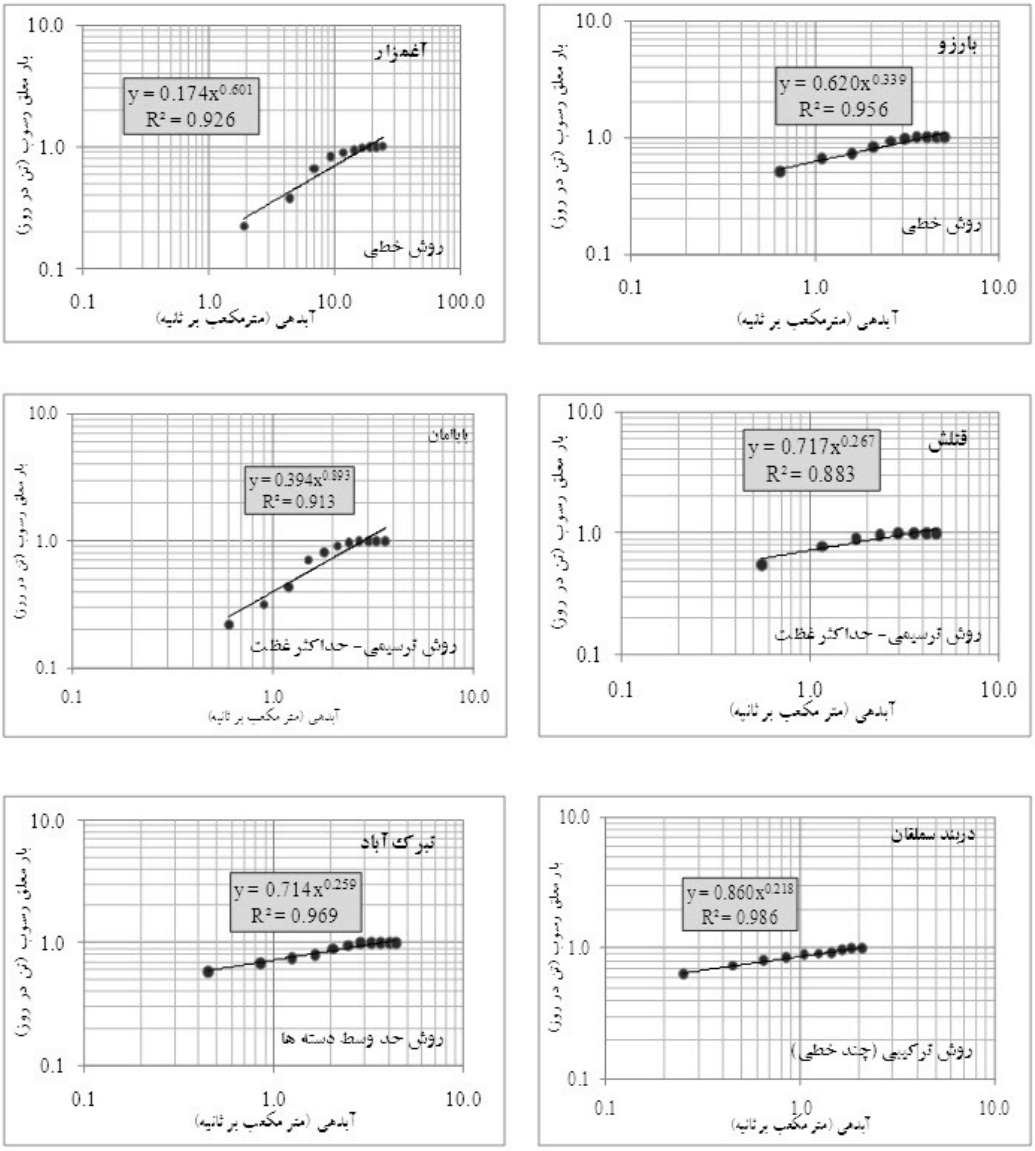
Archive of SID

جدول۳- نتایج بار معلق رسوب ماهانه برآوردی براساس روش‌های هیدرولوژیکی منتخب در ایستگاه‌ها (تن در روز)

نام ایستگاه	پارامتر آماری	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بارزو	متوسط	۸۶۸	۸۳۴	۷۱۴	۷۱۲	۱۰۱۶	۱۳۶۳۴	۱۵۰۴۵	۱۹۴۳۳	۴۱۹۱۳	۳۰۵۲۳	۹۴۱۱	۱۸۴۳
	حداکثر	۳۴۴۹	۷۷۵۰	۲۳۶۵	۴۲۱	۲۷۴۸	۷۰۲۰۴	۶۴۳۲۳	۱۲۷۰۱	۳۰۲۵۹	۳۵۱۸۰	۹۵۰۹۵	۲۵۴۹۷
	حداقل	۲۰	۴۲	۱۲۰	۲	۱۸۴	۲۳۴	۱۲۷۳	۹	۰	۲	۱۲	۸
	انحراف معیار	۱۰۶۴	۱۶۵۰	۶۴۵	۱۰۱	۷۱۰	۲۰۳۰۶	۱۵۷۵۷	۱۵۲	۱۸	۱۷	۲۲۲۶۹	۵۵۰۳
	ضریب تغییرات	۱/۲۳	۱/۹۸	۰/۹	۱۰۵	۰/۷۰	۱/۴۹	۱/۰۵	۳۲۰۰۵	۹۳۵۵۰	۹۰۶۴۵	۲/۳۷	۲/۹۹
	درصد ماهانه	۰/۶	۰/۶	۰/۵	۲	۰/۷	۱۰/۰	۱۱/۱	۱/۶۵	۲/۲۳	۲/۹۷	۶/۹	۱/۴
					۱/۴۸				۱۴/۳	۳۰/۹	۲۲/۵		
					۰/۵								
ترک آباد	متوسط	۱۸۶	۳۵۹	۲۳۳	۲۲۰	۱۳۲۸۶	۲۰۸۶	۶۳۹۲	۶۱۵۵۱	۲۰۷۷	۳۸۶	۱۵۵	۱۹۰
	حداکثر	۱۴۲۷	۲۹۶۴	۶۴۶	۶۱۳	۹	۵۵۳۸۵	۱۶۶۲۵	۱۳۴۴۱	۲۳۱۱۲	۷۸۹۵	۷۳۸	۱۳۹۲
	حداقل	۰	۴۱	۸۱	۷۷	۴۸۹۶۱	۱۱۵	۱	۳۴	۴۶	۰	۰	۰
	انحراف معیار	۲۶۷	۶۲۶	۱۳۴	۱۱۳	۳۵	۹۰۶۲	۱۶۷	۰	۴۶۱۰	۱۲۷۸	۱۷۱	۲۸۲
	ضریب تغییرات	۱/۴۴	۱/۷۴	۰/۵۷	۰/۵۲	۱۰۲	۴/۳۵	۲۷۱۳۰	۲۲۷۳۳	۲/۲۲	۳/۳۱	۱/۱۱	۱/۴۸
	درصد ماهانه	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۸۰۴۸۳	۱/۰	۴/۲۴	۳	۱/۰	۰/۲	۰/۱	۰/۱
						۰		۳/۱	۳/۶۹				
						۶/۰۶			۲۹/۸				
						۶۴/۳							
آغمزار	متوسط	۳۴۲۴	۲۴۱۱۸	۳۷۴۰	۲۲۵	۳۵۸۲۸	۱۰۳۶۷	۱۱۵۸۴	۲۷۴۴۱	۹۹۱۴۲	۱۶۰۳۶	۸۴۷۳۸	۳۹۱۶۴
	حداکثر	۴۹۶۵	۵۱۷۱۱	۲۶۴۳	۷۱۹	۱۸۳۷۷	۱۱۳۳۶	۱۳۷۶۶	۴۶۹۷۷	۱۹۵۶۵	۲۴۹۶۳	۱۲۸۹۳	۶۸۶۱۲
	حداقل	۳۱	۵۸	۷۷	۶۳	۱۸۳۳	۴۴۹	۲۲۶	۳۹۹	۶۹۳	۲۰	۵۵۷	۵۵
	انحراف معیار	۰	۲۸۵۰	۱۶۹۶	۱۹۱	۴۴۰۶۷	۱۷۴۸	۳۰۲۶	۲۷	۱۴	۳	۸۱	۲۷
	ضریب تغییرات	۹۹۸۴	۱۰۱۵۸	۵۴۹۲	۳	۱/۲۳	۲۷۶۹۵	۲۹۰۵۶	۹۴۹۰۳	۳۸۸۴۴	۵۲۷۷۲	۲۵۹۷۵	۱۳۹۹۲
	درصد ماهانه	۷	۸۲	۶	۲۱۶	۰/۵	۱۰	۱۴	۸۲	۵۴۲	۹	۹۷	۴۲
		۲/۹۲	۴/۲۱	۱/۴۷	۳۵	۲/۶۷	۲/۵۱	۳/۴۶	۳/۸۸	۳/۲۹	۳/۰۷	۳/۵۷
		۰/۴	۳/۱	۰/۵	۰/۹۶	۱۳/۵	۱۵/۰	۳۵/۶	۱۲/۹	۲/۱	۱۱/۰	۵/۱
					۰/۳								
قتلش	متوسط	۱۳۰۴	۱۱۴۹۵	۱۵۰۵	۱۷۶	۳۷۸۴	۸۴۱۰۸	۳۷۵۳۴	۲۶۷۳۰	۲۸۷۹۱	۴۹۸۶۵	۲۴۶۵۶	۳۴۴۱۴
	حداکثر	۲۰۲۹	۳۶۶۵۹	۱۸۷۶	۱	۳۷۰۹۴	۱۵۹۹۸	۲۷۷۶۷	۷۱۷۲۴	۲۶۴۷۳	۱۲۲۲۰	۷۳۷۱۶	۶۵۶۰۱
	حداقل	۲	۸	۰	۳۱۰	۷۲	۹۲	۵	۲۸	۵	۹۶	۳۸	۸
	ضریب تغییرات	۷۱	۳۷	۲۵	۷۵	۸۱۷۱	۳۲	۴۰	۴۸	۳	۷	۱۱	۱۰
	درصد ماهانه	۳۸۳۴	۶۲۷۴۸	۳۱۸۷	۵۱	۲/۱۶	۲۸۵۱۳	۵۹۹۸۶	۱۲۶۹۱	۶۰۷۴۲	۲۱۱۸۷	۱۲۶۴۲	۱۳۵۲۳
		۲/۹۴	۵/۴۶	۲/۱۲	۵۲۸	۰/۵	۷	۱/۶۰	۳	۲/۱۱	۱	۲۳	۶
		۰/۲	۱/۵	۰/۲	۵		۳/۳۹	۴/۹	۴/۵۹	۳/۷	۴/۲۵	۵/۱۳	۳/۹۳
					۳/۰۰		۱۰/۹		۳۴/۸		۶/۵	۳۲/۱	۴/۵
					۰/۲								
بابامان	متوسط	۹۸۳۴	۱۸۲۴۲	۶۵۸۲	۱۰۲	۳۰۸۷	۱۶۵۲۲	۱۳۱۷۴	۲۳۲۰۴	۸۲۳۵۰	۱۹۶۴۰	۵۹۲۵۳	۷۲۰۸۳
	حداکثر	۲۹۰۱	۵۹۲۰۲	۱۷۸۰	۴	۷۱۹۹۸	۸	۶	۸	۱۲۹۲۱	۴۱۱۲۷	۱۵۶۷۱	۲۰۸۳۷
	حداقل	۹۵	۲	۷۱	۶۶۱	۱۰۰	۳۰۴۶۴	۲۷۷۸۴	۵۲۶۰۷	۵۶	۷	۰۰	۲
	انحراف معیار	۵۱	۹۸	۱۰۹	۰	۱۲۲۰۹	۷۲	۰۴	۵۴	۷۷	۴۶	۳۲	۳۷
	ضریب تغییرات	۴۹۷۵	۱۰۱۳۹	۳۰۴۵	۱۳۴	۳/۹۶	۹۴	۱۳۱	۹۰	۲۴۴۳۷	۷۹۳۵۵	۲۷۲۰۲	۳۵۸۵۴
	درصد ماهانه	۵	۰	۵	۱۴۲	۰/۴	۵۸۱۱۱	۴۸۵۸۴	۹۰۰۴۶	۱	۴/۰۴	۱	۴/۹۷
		۵/۰۶	۵/۵۶	۴/۶۳	۳		۴	۲	۰	۲/۹۷	۲/۷	۴/۵۹	۱/۰
		۱/۳	۲/۵	۰/۹	۱/۳۹		۳/۴۰	۳/۶۹	۳/۸۸	۱۱/۲		۱/۰	
					۰/۱		۲۲/۴	۱۷/۹	۳۱/۵				

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- منحنی سنجه رسوب مدل‌های منتخب در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

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 (محمدی استاد کلایه، ۱۳۸۱). لذا از دو رویکرد استفاده گردید در رویکرد اول، رابطه مذکور از نوع نمائی با ضریب همبستگی ۰/۸۹۹۱ با سطح اطمینان بالای ۹۹ درصد قابل قبول می‌باشد. معادله همبستگی رسوب معلق ویژه با مساحت به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$Y = 363.78\, e^{5E-0.5X} \quad R=0.986 \qquad (۸)$$

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 متغیره دیگری بین آورد رسوب ویژه معلق و آبدهی ویژه و مساحت حوضه آبریز ایستگاه‌های مورد مطالعه ایجاد شد که معادله همبستگی به‌دست آمده به صورت زیر می باشد:

$$Y = 256.5 + (39.1\, X_1) + (0.0430\, X_2) \qquad (۹)$$
$$R = 0.889$$

www.SID.ir

Archive of SID

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 می‌باشد. براساس ضریب همبستگی به‌دست آمده، رویکرد اول مناسب‌تر می‌باشد. براساس این رابطه میزان آورد بار ویژه رسوبات معلق در ایستگاه‌های مورد مطالعه به ترتیب در ایستگاه تبرک آباد، بارزو، بابامان، قتلش، دربند، آغمزار ۳۷۳/۸، ۲۷۹، ۵۹۷/۱، ۵۶۸/۴، ۳۷۷/۶ و ۵۹۲/۲ تن در سال در واحد کیلومتر مربع برآورد گردید.

با توجه به نتایج بالا مشاهده می‌شود روش‌های متوسط دسته‌ها معمولاً روابط برازش داده شده از بین دبی آب و رسوب، بار رسوبی را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند 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 می‌باشد، لذا در برازش منحنی به کل آمار فرمول ایجاد شده، دبی‌های پایین را بهتر برآورد کرده و در برآورد دبی‌های بالا دچار مشکل می‌شود. که برای حل این مشکل در این پژوهش از ضرایب تعدیل (افزایش دهنده) فائو بر روی دو روش حد وسط دسته‌ها 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 اندازه‌گیری دبی و یا کلاسه‌بندی مقادیر دبی جریان صورت گرفته است که این نتیجه با نتایج مساعدی (۱۹۹۸)، طرخورانی (۱۳۸۰)، محمدی استادکلایه (۱۳۸۱)، پیری و همکاران (۱۳۸۴) و مساعدی و همکاران (۱۳۸۴) مطابقت دارد.

پیشنهادها

با توجه به نتایج به‌دست آمده در بررسی‌های پیشین، میزان خطای برآوردی از منحنی‌های سنجه رسوب از یک حوضه به حوضه دیگر یکسان نیست. نتایج به‌دست آمده از این بررسی قابل تعمیم به مناطق دیگر نخواهد بود، لذا پیشنهاد می‌شود این بررسی در مناطق دیگری انجام و در صورت داشتن کارایی و اثربخشی بالا، به عنوان روش‌های پایه مورد بهره‌گیری در بررسی‌های آبشناسی قرار گیرند.

به طور متوسط ۵۱ درصد توزیع فراوانی آورد رسوبات حوضه مورد مطالعه مربوط به سه ماهه فصل بهار و ۲۷ درصد آن مربوط به سیلاب‌های تابستانه در مرداد و شهریور ماه می‌باشد. لذا لزوم اجرای هم‌زمان طرح‌های آبخیزداری و مدیریت حوضه در محدوده مذکور پیشنهاد می‌گردد.

منابع

۱- پیری، ع، ا.، حبیب نژاد، م .، احمدی، م، ض .، سلیمانی، ک . و ا. مساعدی. ۱۳۸۴. بهینه‌سازی رابطه دبی آب و دبی رسوب در حوضه معرف امامه. پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، سال سوم، شماره سوم، صفحات ۵۸ – ۴۰.

۲- سبهانی، ه، و آ. ملکیان. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر مدل‌های طبقه‌بندی داده‌ها بر صحت برآورد رسوب معلق در حوزه آبخیز حبله رود، چهارمین همایش مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،تهران.

۳- شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۳. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ سوم، ۴۷۰ صفحه.

۴- علیزاده، ا. ۱۳۷۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، چاپ دوم، ۶۲ صفحه.

۵- طرخورانی، ح. ۱۳۸۰. بهینه‌سازی رابطه دبی آب و دبی رسوب در حوزه معرف لیقوان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، رشته مهندسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۸۶ صفحه.

۶- محمدی استاد کلایه، ا. ۱۳۸۱. بهینه‌سازی روابط دبی آب و دبی رسوب معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه گرگانرود. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۰ صفحه.

۷- مساعدی، ا.، شهابی، م . و ا. محمدی استادکلایه. ۱۳۸۴. بررسی تغییرات روابط دبی و رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری مراوه (اترک). دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب، کرمان، اسفندماه ۱۳۸۴، صفحات ۱۹۴۸-۱۹۴۱.

8- Arabkhedri, M. 2005. A study on the suspended sediment yield in river basins of Iran. Iran-Water Resources Research, 1 (2):101-103

9- Azami, A., Najafinejad, A., and M. Arabkhedri, 2005. Evaluation of hydrological models for estimating of suspended sediment in base flow and flood stages in Ilam dam watershed. Proceeding of 3'd National Conference of Erosion and Sedimentation. Tehran, Iran, Pp: 486-490.

10- Crawford, C.G. 1991. Estimation of suspended and sediment ratings curves and mean suspended sediment loads, Journal of Hydrology, 129:331-398.

11- Hicks, D.M, Gomez, B. and N.A. Trustrum. 2000. Erosion thresholds and suspended sediment yields, Waipaoa river basin, New Zealand. Water Resources Research, 36(4): 1129-1142.

12- Heydarnejad, M., Golmaee, S. H., Mosaedi, A. and M. Ziatabar Ahmadi. 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.

13- 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.

www.SID.ir

Archive of SID

14- Jones, K.R., Berney, O., Carr, D.P., and E.C. Barret, 1981. Arid zone hydrology for agricultural development. FAO Irrigation and Drainage Paper, 37: 48.
15- Lenzi, M. A., Mao, L. and F. Comiti. 2003. Interannual variation of suspended sediment load and sediment yield in an alpine catchment. Hydrological Sciences Journal, 48(6): 899-915.
16- Maingi, k. M. and S. Marsh. 2002. Quantifying hydrologic impacts following construction along the Tana River, Kenya" Arid Environments Vol. 50, PP. 33-79.
17- Miraboulghasemi, H. and S. Morid. 1997. Investigation of hydrological methods for estimating suspended load of rivers. Journal of Water and Development. 35: 95-116.
18- Mosaedi, A. 1998. Hydrological sizing of sedimentation reservoir system for irrigation and water supply, Ph. D. Thesis, Technical University of Budapest, Hungary, 101p
19- Mosaedi, A. Shahabi, M. and A. Mohammadi. 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.
20- Najafinejad, A. A. Mosaedi. A. Mohammadi. and F. Yaghmaiee. 2010. Optimization of the relation between flow discharge and suspended sediment discharge in selected hydrometric stations of Gorgan river. Iranian Journal of Natural Resources, 59(2), 331-343.
21- Olive, L.J. and W.A. Reiger. 1992. Stream suspended sediment transport monitoring – why, how and what is being measured? IAHS Public, No: 210.
22- Preston, S.V., Bierman, J. and S.E. Silliman. 1989. An evaluation of methods for the estimation of tributary mass loads, Water Resources Research, 25 (6):1379-1390.
23- Sadeghi, S. H. R. 2010. Development of sediment rating curve equations for rising and falling limbs of hydro graph using regression concept. Iran-Water Resources Research. (1):101-103.
24- Waling, D. E. 1977. Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. Water Resources Research, 13: 531-538.
25- Walling D. E. and B.W. Webb. 1981. The reliability of suspended sediment load data, erosion and sediment transport measurement. IAHS Publication, 133:177-194.
26- Walling, D. E. 1994. Measuring sediment yield from river basins, in: R. Lal (Edd.), Soil erosion research methods, Soil and water conservation society. Pub 1, 2 nd Edition, 39-83.

www.SID.ir