

ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف بر آورد بار معلق به روش منحنی سنجه در حوزه آبخیز سفید رود

- ❖ **صدیقه محمدی؛** استادیار، گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
- ❖ **علی سلاجقه*؛** استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ **حسن احمدی؛** استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ **جمال قدوسی؛** استادیار، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ایران.
- ❖ **علی کیانی راد؛** استادیار، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی، ایران.

چکیده

ر سوب معلق بزرگترین منبع آلوده‌کننده غیرنقطه‌ای و عامل اصلی تخریب کیفیت آب‌های سطحی است. چون مدل‌های هیدرولیکی انتقال رسوب قادر به پیش‌بینی بار معلق رودخانه نیستند، منحنی‌های سنجه رسوب به عنوان معمول‌ترین روش‌های هیدرولوژیکی بر آورد بار رسوبی معلق رودخانه‌ها کاربرد وسیعی دارند. از آنجایی که معادلات رگرسیونی منحنی سنجه به علت تبدیل لگاریتمی آمار دبی جریان و ر سوب معلق دارای اربب زیاد هستند، ضرایب اصلاحی جهت حذف اثر تبدیل لگاریتمی و اربب ناشی از برون‌یابی در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در سرشاخه‌ها و رودخانه‌های اصلی حوزه آبخیز سفیدرود، در ۲۰ ایستگاه، استفاده شد. پس از مقایسه ۹ روش بر آورد منحنی سنجه شامل روش‌های یک‌خطی، یک‌خطی با ضرایب اصلاحی CF1، CF2، FAO، روش دوطبقی، روش حد وسط دسته‌ها، حدوسط با ضرایب اصلاحی CF1، CF2 و FAO با استفاده از دو معیار RMSE و NASH نتایج نشان داد که روش حد وسط و روش حد وسط با ضرایب اصلاحی CF1 و CF2 در مقایسه با سایر روش‌های منحنی سنجه، بیشترین برازش‌ها (از نظر فراوانی) را به ایستگاه‌های حوزه سفید رود دارا هستند. در کل می‌توان نتیجه گرفت که ضرایب اصلاحی CF1 و CF2 در اغلب ایستگاه‌ها به دلیل جبران کم‌تخمینی روش‌های منحنی سنجه، موجب افزایش کارایی مدل شده‌اند. نمودار تغییرات رسوب‌دهی (به دست آمده از توابع منتخب) به ازاء مساحت نشان داد که این تابع نمودار دارای نمای کمی بیشتر از واحد است که ناشی از افزایش رسوب‌دهی به ازاء افزایش واحد مساحت است. طبق نتایج این تحقیق سالانه حدود ۳۰ میلیون تن رسوب معلق وارد مخزن سد سفیدرود می‌شود.

کلید واژگان: بار معلق، سفیدرود، ضریب اصلاحی، کارایی مدل، منحنی سنجه رسوب.

ر سوب معلق بزرگترین منبع آلوده‌کننده غیرنقطه‌ای و

۱. مقدمه

عامل اصلی تخریب کیفیت آب‌های سطحی است. فعالیت‌های تخریبی زمین مانند جاده‌سازی، تخریب مراتع و جنگل‌ها، معدن‌کاری و توسعه فعالیت‌های کشاورزی در ایجاد این مشکل سهم دارند [۳۵]. انتقال رسوب و رسوب‌گذاری پیامدهایی چون انتقال آلودگی‌ها، ایجاد جزایر رسوبی در مسیر رودخانه، کاهش ظرفیت مخازن و عمر مفید سدها، خوردگی تأسیسات رودخانه‌ای و خسارت به ابنیه آبی و مزارع و... را به دنبال دارد [۱۲، ۱۴].

بار معلق رودخانه نه تنها تابعی از ظرفیت حمل رودخانه است بلکه به قابلیت دسترسی رسوب، که از حوزه آبخیز بالادست (بار شسته) منشأ می‌گیرد، بستگی دارد [۵] و شاخصی از رسوب‌دهی کل سطح حوضه است که در اثر شستشوی اراضی حاصلخیز بالادست شکل می‌گیرد [۳۷]. بنابراین مدل‌های هیدرولیکی انتقال رسوب قادر به پیش‌بینی بار معلق رودخانه نیستند و روش‌های تجربی هیدرولوژیکی منحنی سنججه برای این امر مناسب هستند [۶، ۱۷]. این روش‌ها به طور وسیع توسط رسوب‌شناسان، هیدرولوژیست‌ها، مهندسين و دانشمندان علوم زمین برای اهداف مختلف استفاده شده است [۱۶، ۲۶، ۳۹].

یک منحنی سنججه رسوب یک نوع مدل جعبه سیاه است که میانگین رابطه دبی جریان و غلظت رسوب معلق را برای یک محل معین توصیف می‌کند و اغلب به صورت یک تابع توانی است [۴۴، ۴۵]:

$$Q_s = aQ^b \quad (1)$$

که در آن، Q_s دبی رسوب معلق (تن بر روز)، Q دبی آب (مترمکعب بر ثانیه) و a, b ضرایب رگرسیون هستند. ضریب a شاخص شدت فرسایش حوضه و در دسترس بودن منابع تولید رسوب در حوضه که توسط رواناب منتقل می‌شود [۲۹، ۳۶] و ضریب b شاخص قدرت فرساینده‌گی و توان حمل رسوب توسط رودخانه است [۶]. این رابطه به دلیل داشتن اریب در بیشتر مواقع

نتوانسته غلظت رسوب در دبی‌های مختلف جریان را به خوبی نشان دهد، اریب در واقع باعث شده تا مقدار باقیمانده‌ها - اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر محاسباتی - توزیع نرمالی نداشته باشد و مقدار آن بیشتر از صفر شود [۲۳]. اریب منحنی سنججه از دو عامل منشأ می‌گیرد. عامل اول به علت تغییر شکل معادله از حالت لگاریتمی به حالت طبیعی مدل رگرسیون خطی است که در اصل مربوط به ذات منحنی سنججه است. عامل دوم اریب، ناشی از عمل برون‌یابی برای برآورد رسوب دبی‌های بالاست که در ارتباط با کمیت و کیفیت داده‌ها است [۱۷]. دو اریب ناشی از عوامل بالا معمولاً منجر به کم تخمینی مقدار رسوب انتقالی می‌شوند [۱۴، ۶]. برای جبران کم‌تخمینی منحنی سنججه رسوب، فاکتورهای تصحیح اریب مختلفی در سال‌های اخیر پیشنهاد شده است [۱۲]. ضرایب اصلاحی شامل ضریب فائو [۲۱]، ضریب QMLE یا CF1 [۱۴]، ضریب اصلاحی غیرپارامتری یا CF2 [۱۱]، ضریب MVUE [۸]، ضریب β [۲۳]، روش حد وسط دسته‌ها [۲۰] و روش چند خطی [۴۵] هستند.

در مقایسه سه روش برآورد منحنی سنججه رسوب شامل روش‌های یک‌خطی، دوخطی و حد وسط در رودخانه روندتازون، روش منحنی سنججه حد وسط به عنوان دقیق‌ترین روش معرفی شد [۲۰]. در تحقیقی ۴ روش منحنی سنججه در محل ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه اصلی و انشعابات فرعی حوضه راین مقایسه گردید. طبق نتایج منحنی سنججه به روش رگرسیون غیرخطی نتایج بهتری در مقایسه با رگرسیون خطی ارائه داد و نوع منحنی سنججه رسوب برازش شده در ایستگاه‌های مختلف با هم متفاوت بود [۶]. محققین در حوضه رودخانه والنات کریک آمریکا، ضمن مقایسه سه روش کوکریجینگ، کریجینگ و منحنی سنججه رسوب در برآورد بار رسوب معلق نتیجه گرفتند که روش منحنی سنججه رسوب نتایج بهتری نسبت به روش کریجینگ و روش کوکریجینگ به دلیل در نظر گرفتن همبستگی زمانی بین داده‌ها، دارد [

عملکرد بهتری در برآوردی رسوب دبی‌های سیلابی داشته است [۳۳].

از آنجایی که خصوصیات حوزه آبخیز شامل اقلیم، تکتونیک، توپوگرافی، زمین‌شناسی و سایر خصوصیات حوزه در مقیاس زمانی و مکانی متغیر است، بنابراین بار رسوب معلق رودخانه در بعد زمان و مکان بسیار تغییر می‌کند. به علاوه اینکه فعالیت‌های انسانی (شامل تخریب جنگل‌ها، زراعت، معدن‌کاوی و جاده‌سازی) نقش مهمی را در این امر ایفا می‌کند [۷، ۲۴]. اگر چه تحقیقات زیادی در مورد رابطه دبی آب و بار رسوب در کشور انجام شده است [۳، ۹، ۳۱، ۱۳، ۳۳، ۴۱، ۴۹] اما مطالعات کمتری در مورد حوزه آبخیز رودخانه‌های بزرگ (با گستره وسیعی از اقلیم، زمین‌شناسی، توپوگرافی و...) که در آن‌ها روابط بین دبی و رسوب پیچیده‌تر می‌باشد [۳۰، ۴۳، ۱۵] انجام شده است. حوزه آبخیز سفید رود نیز از این قاعده مستثنی نیست و به عنوان یکی از بزرگترین، پرآب‌ترین و مشکل‌دارترین حوزه‌های آبخیز کشور (به دلیل شرایط خاص منطقه‌ای) از نظر فرسایش و رسوب به ویژه فرسایش رودخانه‌ای به شمار می‌رود [۱۸]. به دلیل نبود آمار و اطلاعات کافی در این حوزه، اختلاف زیاد در نتایج انواع روش‌های مختلف برازش منحنی سنجه [۹] و از طرفی اهمیت این منحنی‌ها در برآورد رسوب در ایران [۱۳] ارزیابی دقت این روش‌ها ضرورت دارد. لذا این پژوهش به منظور تعیین بهترین روش برازش منحنی سنجه رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در سرشاخه‌ها و رودخانه‌های اصلی سفیدرود و تعیین مقدار بار رسوب معلق متوسط سالانه حوزه آبخیز هر ایستگاه و کل حوزه سفیدرود انجام گردید.

۲۵. روش‌های مختلف منحنی سنجه رسوب در حوزه آبخیز هینوتانی ژاپن در ایستگاه خروجی حوضه و پنج ایستگاه دیگر مقایسه شدند و طبق یافته‌ها منحنی سنجه توانی با ریشه چهارم دبی جریان (تبدیل شده) با توجه به موقعیت آن‌ها در شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف نتایج بهتری ارائه داد [۳۷]. از روش منحنی سنجه رسوب برای تخمین بار رسوب معلق دوره ۵۰ ساله رودخانه پیرل استفاده شد و نتیجه گرفته شد که منحنی سنجه رسوب و نیز میزان بار رسوبی وارده به مخزن سد با زمان تغییر می‌کند [۴۸]. در بررسی ارتباط بین دبی آب و غلظت رسوب معلق در بالادست رودخانه زرد چین در فصول سیلابی طی یک دوره ۳۵ ساله، معادله تابع چند گانه با توان ۳ مناسب برای برازش منحنی سنجه رسوب معرفی شد [۱۲].

نتایج تحقیقی در برآورد رسوب‌دهی ۱۷ ایستگاه هیدرومتری در کشور، ضمن مقایسه ۱۸ روش برازش منحنی سنجه رسوب (شامل ۶ روش منحنی سنجه و ۳ روش نوع دبی) نشان داد که روش منحنی سنجه حد وسط با آمار دبی روزانه به عنوان بهترین روش برآورد بار رسوب معلق است [۳]. در مقایسه ۸ روش هیدرولوژیکی برآورد منحنی سنجه رسوب، روش حد وسط به عنوان بهترین روش معرفی و مقدار رسوب معلق حوضه طالقان در محل ایستگاه گلینک ۷۵۱۱۷۲ تن در سال برآورد شد [۴۹]. در تحقیقی ۱۰ روش برآورد منحنی سنجه رسوب در ۵ ایستگاه هیدرومتری از مناطق اقلیمی مختلف کشور نتیجه گرفته شد که کاربرد ضریب حداقل واریانس نا اریب باعث افزایش صحت و دقت برآورد منحنی‌های سنجه شده است [۴۱]. کارایی ضرایب اصلاحی در بهینه‌سازی منحنی سنجه رسوب در حوضه سد کمال صالح ارزیابی شد و نتایج نشان داد که فاکتور اصلاحی β در منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها می‌تواند به خوبی اختلاف بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای را در دبی‌های بالا کم کند و منحنی سنجه حد وسط با فاکتور اصلاحی FAO در مقایسه با سایر منحنی‌های سنجه

۲. روش شناسی

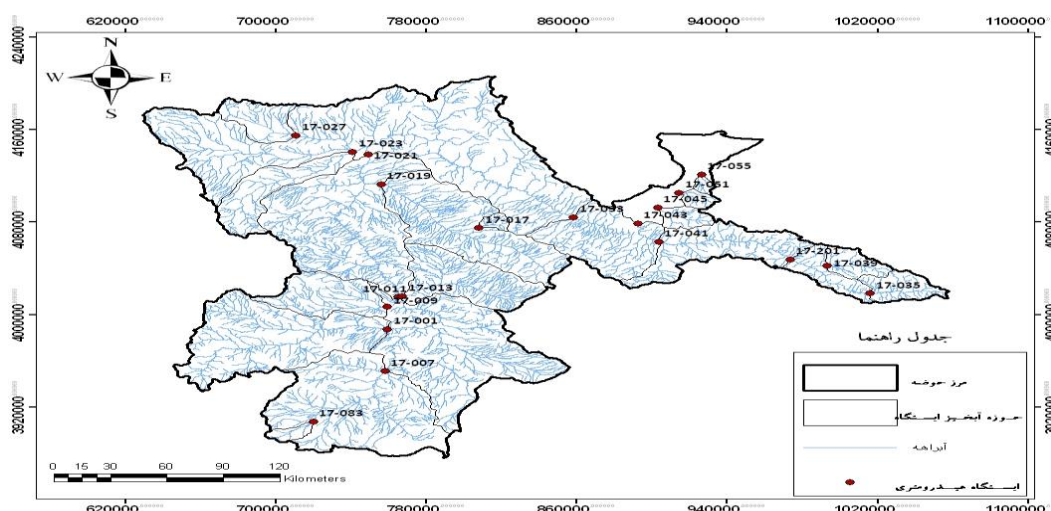
۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز سفید رود با مساحتی معادل ۵۶۷۰۰ کیلومتر مربع در شمال غرب کشور و در زمره مناطق خشک و نیمه خشک ایران است. این حوزه در محدوده سیاسی استان های همدان، کردستان، زنجان، آذربایجان شرقی، قزوین و گیلان قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز سد سفیدرود از ۲۰۰ میلی متر در اطراف مخزن سد تا حدود ۶۰۰ میلی متر در

ارتفاعات متغیر است. این حوزه از تنوع سازندهای زمین شناسی و سوبی بهره مند بوده و تعداد این سازندها بیش از ۲۵ نوع است. رودخانه سفید رود از به هم پیوستن دو شاخه اصلی به نام های قزل اوزن و شاهرود شکل می گیرد. لذا در محدوده حوزه آبخیز سد می توان از دو حوضه بزرگ به نام های قزل اوزن (با مساحت برابر با ۴۹۴۷۰ کیلومتر مربع در ایستگاه آب سنجی گیلوان) و شاهرود (با مساحت ۴۹۷۵ کیلومتر مربع در ایستگاه آبخیز لوشان) نام برد (اشکال شماره ۱ و ۲).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران



شکل ۲. حوزه آبخیز سفیدرود و ایستگاه های هیدرومتری منتخب

۲،۲. روش تحقیق

مراحل انجام تحقیق به صورت گام به گام به شرح زیر است:

۱،۲،۲. گزینش ایستگاه‌های مورد بررسی

پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوط به دبی جریان و رسوب معلق ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز سفیدرود، انتخاب ایستگاه‌ها با توجه به موقعیت پراکنش آن‌ها در سطح حوضه، عدم وجود سد مخزنی در بالادست آن [۴] و کامل بودن آمار هم‌زمان دبی و رسوب در دوره آماری از بدو تأسیس تا سال ۱۳۸۸ انجام شد. در نهایت ۲۰ ایستگاه از مجموع ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه جهت مطالعه، انتخاب گردید.

۲،۲،۲. بررسی آمار دبی جریان و رسوب معلق

در این مرحله آمار دبی جریان و رسوب معلق لحظه‌ای از نظر کیفیت و صحت مورد بررسی قرار گرفتند و با کنترل آمار سعی گردید حتی الامکان داده‌های اشتباه حذف گردد.

۳،۲،۲. برازش منحنی سنجه رسوب به روش‌های

مختلف

انواع روش‌های منحنی سنجه که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت به شرح ذیل هستند:

۱،۳،۲،۲. روش یک خطی

در این روش معمولاً داده‌های متناظر دبی رسوب و دبی جریان به یک محور مختصات تمام لگاریتمی منتقل و بهترین خط برازش با استفاده از روش حداقل مربعات از میان ابر نقاط عبور داده می‌شود.

۲،۳،۲،۲. روش دوخطی

در این حالت با توجه به وضعیت پراکنش نقاط، مجموعه نقاط به دو دسته تقسیم و به هر یک خط مستقیم جداگانه ای برازش داده می‌شود. بنابراین در این حالت دو معادله برای منحنی سنجه رسوب وجود دارد.

۳،۳،۲،۲. روش حد وسط دسته‌ها

در این روش دبی‌های جریان با یک طول دسته معین به تعدادی دسته تقسیم شده و برای دبی متوسط هر دسته، دبی رسوب متوسط اندازه‌گیری شده همان دسته تعیین و در نهایت منحنی سنجه رسوب به روش حداقل مربعات به دست می‌آید.

۴،۲،۲. اعمال ضرایب اصلاحی

پس از برازش منحنی‌های سنجه رسوب، انواع تصحیحات با استفاده از ۳ فاکتور اصلاحی (معادله‌های Smeared، QMLE، FAO) برای هر یک از ایستگاه‌ها اعمال گردید.

۱،۴،۲،۲. ضریب اصلاحی FAO

روش فائو، برای تعدیل ارقام و نزدیک کردن مقادیر محاسباتی به مقادیر مشاهده‌ای برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح شده است [۲۱]. در این روش ضریب α به عنوان فاکتور اصلاحی، به صورت زیر جایگزین ضریب a در رابطه USBR شده است [۳]:

$$\bar{Q}s = \alpha \bar{Q}w^b \quad (2)$$

فاکتور اصلاحی α از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\alpha = \frac{\bar{Q}s}{\bar{Q}w^b} \quad (3)$$

که در آن، $\bar{Q}s$: میانگین دبی رسوب نمونه‌های مشاهده‌ای (تن در روز) و $\bar{Q}w$: میانگین دبی جریان نمونه‌های مشاهده‌ای (مترمکعب بر ثانیه) است.

۲،۴،۲،۲. ضریب اصلاحی QMLE

روش تخمین گر شبه بیشینه درست نمایی [۱۴] برای اصلاح اثر تبدیل لگاریتمی با فرض توزیع نرمال خطاهای باقیمانده به کار گرفته شده است و بیشتر در مورد اریب منفی ذاتی منحنی سنجه به کار برده می‌شود. این روش که به نام روش پارامتری (CF1) نیز گزارش شده؛ از یک ضریب تصحیح

معیار دیگر ضریب ناش - ساتکلیف NSE یا خطای حداکثر است که از منفی بی نهایت تا ۱ متغیر است. در صورتی که مقدار آن برابر با صفر یا کمتر از آن شود بیانگر این است که میانگین مشاهده‌ای بهتر از مقدار برآوردی توسط مدل است و اگر مقدار آن برابر با ۱ شود تطابق کامل بین دبی‌های مشاهده‌ای و برآوردی برقرار است [۳۴].

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^e)^2}{N} \right]^{0.5} \quad (۸)$$

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^e)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q^{mean})^2} \right] \quad (۹)$$

غالباً در پژوهش‌های علمی از این معیارها جهت بررسی کارایی مدل منحنی سنج استفاده می‌نمایند [۹، ۳۱، ۳۳].

۶.۲.۲. به‌دست آوردن میانگین حجم رسوبات

معلق سالانه

پس از تعیین مدل بهینه، اقدام به تعیین مقدار رسوب معلق سالانه با استفاده از داده‌های دبی روزانه شد چرا که این روش نسبت به روش‌های دیگر دقیق‌تر است [۳، ۲۸، ۴۹]. در نهایت مقدار میانگین رسوب معلق سالانه در طول دوره آماری ۳۵ ساله ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۸ به تفکیک در هر ایستگاه به‌دست آمد.

۳. نتایج

جدول شماره ۱، معادلات رگرسیونی برازش شده منحنی سنج رسوب با روش‌های مختلف شامل روش یک‌خطی، روش دوخطی و روش حدوسط دسته‌ها را به همراه ضریب تبیین (R^2) هر معادله در ایستگاه‌های

بر اساس مجذور خطای استاندارد باقیمانده رگرسیون استفاده می‌کند و معادله آن به شکل زیر است [۱۷]:

$$CF_1 = EXP[2.65S^2]$$

که در آن e تابع نمایی برابر ۲.۷۱۸ و S^2 خطای استاندارد (مجذور میانگین) معادله رگرسیون در لگاریتم با مبنای ۱۰ است که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$S^2 = \frac{\sum (\log Q_o - \log Q_e)^2}{n - 2} \quad (۵)$$

در این رابطه Q_o دبی رسوب مشاهده‌ای (تن در روز) و Q_e دبی رسوب برآوردی (تن در روز) و n تعداد نمونه‌های مشاهده‌ای است.

۳، ۴، ۲، ۲. ضریب اصلاحی غیرپارامتری

روش اصلاح گر [۱۱]، در مورد برازش جذر مربع و یا جذر مکعب داده‌ها استفاده می‌شود. این روش با رد توزیع نرمال خطاهای باقیمانده، برای حذف اریبی داده‌ها ارائه شده و شکل کلی معادله آن به صورت زیر است [۴۱].

$$CF_2 = \frac{1}{n} \sum 10^{\varepsilon i} \quad (۶)$$

$$\varepsilon i = \log Q_o - \log Q_e \quad (۷)$$

که در آن، εi باقیمانده حداقل مربعات مدل رگرسیونی، Q_o دبی رسوب مشاهده‌ای (تن در روز) و Q_e دبی رسوب برآوردی (تن در روز) و n تعداد نمونه‌های مشاهده‌ای است.

۵.۲.۲. ارزیابی مدل و انتخاب مدل بهینه

جهت ارزیابی مدل از دو معیار جذر میانگین مربعات خطا RMSE و ضریب ناش - ساتکلیف NSE استفاده شد. RMSE یکی از شاخصه‌های آماری متداول و مهم بررسی خطا است [۳۸، ۴۲].

هیدرومتری مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱. معادلات رگرسیونی برازش شده و ضریب تبیین آن‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

کد ایستگاه هیدرومتری	منحنی سنجۀ یک خطی	R^2	منحنی سنجۀ دو خطی ۱	R^2	منحنی سنجۀ دو خطی ۲	R^2	منحنی سنجۀ حد وسط	R^2
(۱۷-۰۰۱)	$Y=9.0184x^{1.3558}$	۰/۸۰۵	$Y=10.87x^{1.173}$	۰/۷۰۰	$Y=0.277x^{2.254}$	۰/۶۱۶	$Y=4.881x^{1.707}$	۰/۹۱۸
(۱۷-۰۰۷)	$Y=12.60x^{1.377}$	۰/۸۱۹	$Y=12.63x^{1.178}$	۰/۷۴۷	$Y=5.916x^{1.709}$	۰/۶۷	$Y=10.60x^{1.711}$	۰/۸۸۳
(۱۷-۰۰۹)	$Y=14.95x^{1.443}$	۰/۷۸۱	$Y=13.70x^{1.161}$	۰/۷۸۵	$Y=4.538x^{2.254}$	۰/۷۳	$Y=21.03x^{1.776}$	۰/۸۸۵
(۱۷-۰۱۱)	$Y=13.26x^{1.468}$	۰/۷۵۶	$Y=12.40x^{0.964}$	۰/۷۷۹	$Y=7.725x^{1.629}$	۰/۶۶۱	$Y=52.71x^{1.433}$	۰/۸۵
(۱۷-۰۱۳)	$Y=16.34x^{1.705}$	۰/۵۸۷	$Y=46.11x^{1.674}$	۰/۴۴۵	$Y=3.495x^{2.511}$	۰/۶۴۴	$Y=79.84x^{1.666}$	۰/۷۱۴
(۱۷-۰۱۷)	$Y=15.69x^{1.220}$	۰/۶۷۵	$Y=10.67x^{0.968}$	۰/۴۹۳	$Y=12.14x^{1.463}$	۰/۴۰۷	$Y=28.94x^{1.240}$	۰/۹۰۰
(۱۷-۰۱۹)	$Y=14.41x^{1.835}$	۰/۷۹۱	$Y=17.07x^{1.277}$	۰/۷۲۹	$Y=7.911x^{2.096}$	۰/۷۴۷	$Y=37.12x^{1.653}$	۰/۸۱۱
(۱۷-۰۲۱)	$Y=11.01x^{1.624}$	۰/۷۶۴	$Y=17.98x^{1.303}$	۰/۶۳۲	$Y=4.340x^{1.856}$	۰/۶۰۷	$Y=27.38x^{1.6234}$	۰/۷۸۸
(۱۷-۰۲۳)	$Y=19.62x^{1.773}$	۰/۸۲	$Y=21.17x^{1.329}$	۰/۶۸۲	$Y=6.855x^{2.274}$	۰/۷۶۹	$Y=40.638x^{1.8574}$	۰/۹۳۱
(۱۷-۰۲۷)	$Y=18.73x^{1.603}$	۰/۸۵۵	$Y=16.66x^{1.317}$	۰/۶۱۶	$Y=10.37x^{1.911}$	۰/۸۳۰	$Y=22.38x^{1.726}$	۰/۹۶۲
(۱۷-۰۳۳)	$Y=7.234x^{1.729}$	۰/۸۸۹	$Y=12.35x^{1.555}$	۰/۶۹۳	$Y=1.477x^{2.035}$	۰/۷۹۱	$Y=15.07x^{1.676}$	۰/۹۶۷
(۱۷-۰۳۵)	$Y=2.821x^{2.005}$	۰/۷۹۳	$Y=1.783x^{2.328}$	۰/۵۷۵	$Y=8.869x^{1.667}$	۰/۳۶۳	$Y=14.02x^{1.717}$	۰/۹۳۶
(۱۷-۰۳۹)	$Y=11.46x^{1.752}$	۰/۶۵۶	$Y=8.260x^{2.030}$	۰/۴۸۱	$Y=2.556x^{2.230}$	۰/۴۰۱	$Y=16.83x^{1.832}$	۰/۹۰۱
(۱۷-۰۴۱)	$Y=1.655x^{2.226}$	۰/۸۴۸	$Y=7.781x^{1.525}$	۰/۳۸	$Y=0.989x^{2.366}$	۰/۷۳۳	$Y=8.581x^{1.975}$	۰/۹۶۴
(۱۷-۰۸۳)	$Y=4.136x^{1.553}$	۰/۹۰۹	$Y=3.322x^{1.354}$	۰/۷۷۷	$Y=0.621x^{2.084}$	۰/۶۵۹	$Y=2.527x^{1.872}$	۰/۹۵۵
(۱۷-۲۰۱)	$Y=4.858x^{1.870}$	۰/۸۲۳	$Y=3.173x^{2.154}$	۰/۵۶۳	$Y=1.951x^{2.093}$	۰/۶۷۶	$Y=8.839x^{1.809}$	۰/۹۶۱
(۱۷-۰۴۵)	$Y=5.554x^{1.442}$	۰/۷۹۷	$Y=5.153x^{1.130}$	۰/۶۳۶	$Y=3.979x^{1.709}$	۰/۴۹۷	$Y=4.067x^{1.878}$	۰/۸۵۱
(۱۷-۰۵۱)	$Y=1.486x^{1.400}$	۰/۷۲۹	$Y=1.677x^{1.211}$	۰/۵۶۱	$Y=0.399x^{1.898}$	۰/۴۶۹	$Y=1.241x^{1.722}$	۰/۷۶۲
(۱۷-۰۵۵)	$Y=2.694x^{1.187}$	۰/۷۳۶	$Y=2.540x^{1.017}$	۰/۵۸۵	$Y=0.152x^{2.290}$	۰/۶۴۷	$Y=1.046x^{1.830}$	۰/۹۱۸
(۱۷-۰۴۳)	$Y=5.406x^{1.418}$	۰/۳۳۲	$Y=10.11x^{1.218}$	۰/۲۳۱	$Y=2.811x^{1.553}$	۰/۱۲۰	$Y=320.6x^{1.012}$	۰/۶۱۷

مقادیر ضرایب اصلاحی CF1، CF2 و FAO هر یک از روش‌های برازش منحنی سنجۀ رسوب، روش‌های یک خطی و حد وسط، در هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در جدول شماره ۲، ارائه شده است. همچنین نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل‌ها با استفاده از دو معیار RMSE و NASH به ترتیب در جداول شماره ۳ و ۴ ارائه شده است.

پس از انتخاب روش مناسب برازش منحنی سنجۀ

رسوب در هر ایستگاه، اقدام به برآورد رسوب معلق سالانه تولیدی حوزه آبخیز هر ایستگاه هیدرومتری با استفاده از روش دبی روزانه شد که نتایج حاصله در جدول شماره ۵ ارائه شده است. همچنین در این جدول مقادیر رسوب ویژه سالانه هر ایستگاه و نیز کلاس رسوب‌دهی آن با توجه به تقسیم‌بندی جهانی رسوب‌دهی ویژه [۱۹]، ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر ضرایب اصلاحی مورد استفاده در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

STATION	یک خطی			حد وسط		
	CF1	CF2	FAO	CF1	CF2	FAO
(۱۷-۰۰۱)	۱/۸۸۶	۲/۰۲۹	۶/۳۷۵	۱/۸۸۶	۲/۲۹۵	۳/۷۷۲
(۱۷-۰۰۷)	۱/۷۲۴	۱/۸۹	۵/۴۷۶	۱/۷۲۴	۱/۷۹۴	۲/۹۱۱
(۱۷-۰۰۹)	۲/۰۱	۲/۵۳۱	۵/۷۳۵	۲/۰۱	۱/۶۰۹	۲/۵۶۹
(۱۷-۰۱۱)	۲/۵۸۹	۵/۹۴۸	۷/۲۵۹	۲/۵۸۹	۱/۶۶۵	۲/۰۸۶
(۱۷-۰۱۳)	۳/۴۰۵	۷/۵۴۸	۱۴/۶۹۱	۳/۴۰۵	۱/۶۰۸	۳/۲۴
(۱۷-۰۱۷)	۲/۱۶۲	۲/۱۸۱	۲/۱۵۴	۲/۱۶۲	۱/۱۷۹	۱/۱۴۴
(۱۷-۰۱۹)	۲/۵۹۴	۳/۱۳۸	۶/۸۴۵	۲/۵۹۴	۱/۶۱	۴/۱۷۶
(۱۷-۰۲۱)	۲/۴۷۸	۵/۶۸۵	۵/۷۱۱	۲/۴۷۸	۲/۲۹۵	۲/۳۰۸
(۱۷-۰۲۳)	۱/۹۴۶	۲/۶۱۸	۶/۹۰۹	۱/۹۴۶	۱/۱۵۵	۲/۸۲۲
(۱۷-۰۲۷)	۱/۶۸۲	۱/۶۱۹	۳/۶۸	۱/۶۸۲	۱/۲۹۲	۲/۴۳۱
(۱۷-۰۳۳)	۱/۴۴۴	۱/۷۰۶	۲/۷۷۸	۱/۴۴۴	۱/۰۱۴	۱/۷۳۷
(۱۷-۰۳۵)	۱/۹۴۲	۲/۱۸۸	۳/۲۵۴	۱/۹۴۲	۰/۸۹۹	۱/۵۵۳
(۱۷-۰۳۹)	۱/۶۴۱	۱/۶۹۷	۴/۰۵۹	۱/۶۴۱	۰/۹۹۳	۲/۳۲۴
(۱۷-۰۴۱)	۱/۶۵	۲/۱۶۸	۴/۵۵۹	۱/۶۵	۰/۸۹۵	۲/۲۷۷
(۱۷-۰۴۰)	۱/۵۸۴	۱/۶۱۱	۳/۵۰۵	۱/۵۸۴	۱/۰۳۹	۲/۳۵
(۱۷-۰۸۳)	۲/۰۵۶	۲/۱۳۵	۱۱/۲۳	۲/۰۵۶	۴/۴۰۱	۷/۲۴
(۱۷-۰۴۵)	۱/۲۶۶	۱/۳۱۱	۲/۹۲۷	۱/۲۶۶	۱/۴۹	۲/۶۴۹
(۱۷-۰۵۱)	۱/۷۶۸	۲/۲۶۳	۶/۴۵۲	۱/۷۶۸	۱/۷۶۶	۳/۸۴۶
(۱۷-۰۵۵)	۱/۸۳۸	۴/۵۷۷	۴/۱۴۷	۱/۸۳۸	۲۲/۵۵۸	۳/۷۲
(۱۷-۰۴۳)	۲۰/۷۸۳	۱۵/۷۴۶	۱۳/۹۷۵	۲۰/۷۸۳	۱/۷۴۷	۱/۹۰۷

جدول ۳. اعتبار سنجی مدل با ضریب RMSE

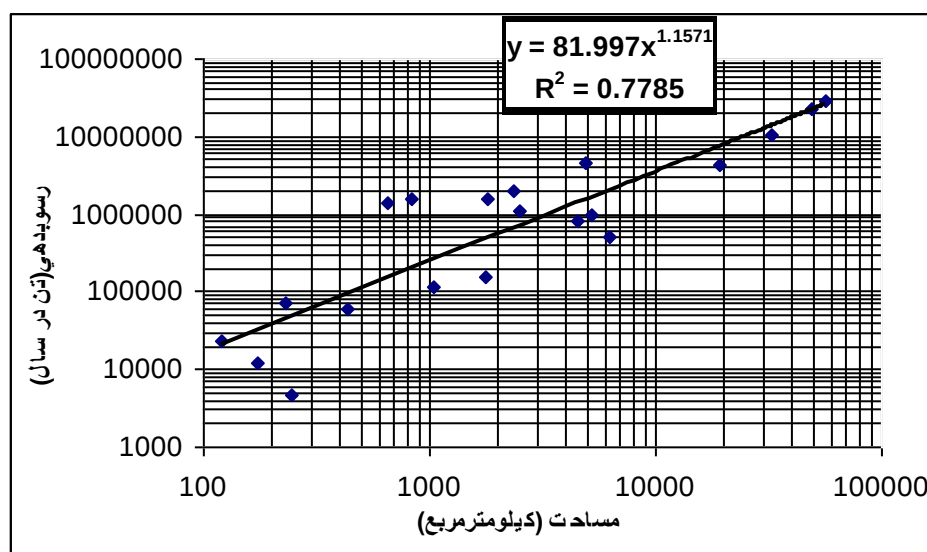
Station	یک خطی RMSE	CF1 RMSE	CF2 RMSE	FAO RMSE	دوخطی RMSE	حد وسط RMSE	CF1 RMSE	CF2 RMSE	FAO RMSE
(۱۷-۰۰۱)	۲۵۴۱۴/۰۸	۲۳۹۶۲/۶۶	۲۳۷۴۲/۵۶	۱۹۷۸۱/۵۳	۲۰۵۸۵/۴۵	۲۱۳۶۸/۸۴	۱۸۸۴۱/۹۴	۱۸۸۶۰/۸	۲۴۶۲۲/۱۵
(۱۷-۰۰۷)	۸۷۸۶/۱۶	۷۸۷۷/۷۳	۷۶۷۳/۸۰	۴۲۸۷/۱۳	۶۶۳۱/۴۰	۴۱۷۴/۸۶	۳۵۵۹/۰۴	۳۸۳۸/۵۶	۱۰۳۵۱/۴۷
(۱۷-۰۰۹)	۱۷۰۹/۵۴	۱۵۵۵/۳۵	۱۴۶۶/۸۲	۱۷۴۶/۴۴	۱۶۹۴/۸۴	۱۵۵۳/۴۰	۲۶۱۱/۷۱	۲۰۸۹/۴۶	۳۴۳۳/۷۳
(۱۷-۰۱۱)	۹۰۷۵۵/۸۶	۷۲۹۹۹/۵۴	۷۴۱۱۲/۱۷	۸۸۷۸۰/۱۵	۸۳۰۸۲/۹۸	۶۷۹۲۵/۹۷	۱۰۸۴۶۲	۷۰۷۸۲/۲۵	۸۴۸۱۸/۰۳
(۱۷-۰۱۳)	۲۹۳۷۱/۴۲	۲۶۰۴۳/۴۳	۲۵۴۶۴/۵۱	۳۸۱۱۲/۰۷	۲۸۳۷۴/۹۵	۲۵۳۴۵/۷	۳۶۳۹۷/۰۸	۲۴۸۳۹/۴۵	۳۴۸۰۶/۹۷
(۱۷-۰۱۷)	۱۸۳/۴۹	۱۶۸/۷۱	۱۶۹/۰۶۳	۱۶۸/۵۴	۱۷۵/۴۴	۱۶۵/۹۲	۲۷۸/۶۵	۱۷۰/۹۸	۱۶۹/۵۱
(۱۷-۰۱۹)	۲۷۲۵۱/۳۷	۲۵۷۰۹/۱۶	۲۷۶۷۹/۸۲	۵۷۳۳۷/۹۵	۲۵۶۷۱/۲۹	۲۶۳۳۱/۶۵	۲۶۸۸۰/۹۳	۲۴۶۶۳/۳۷	۳۹۴۵۲/۳۸
(۱۷-۰۲۱)	۱۴۵۶۲۷/۸	۱۳۰۴۳۴/۵	۲۱۶۰۱۰/۵	۲۱۷۰۷۰/۱	۱۳۶۵۹۶/۲	۱۳۰۳۸۲/۸	۲۳۳۹۰۵	۲۱۵۱۹۸/۸	۲۱۶۵۳۲/۷
(۱۷-۰۲۳)	۱۶۶۶۷/۵	۱۴۱۶۰/۱۶	۱۲۷۸۵/۵۸	۱۶۶۴۲/۴۵	۱۲۴۶۹/۷۲	۱۲۲۲۲/۵۳	۱۲۹۳۸/۴۷	۱۱۶۶۷/۴	۱۹۹۴۳/۷۸
(۱۷-۰۲۷)	۴۵۶۹/۱۸	۲۵۶۹/۱۷	۲۷۲۹/۹۶	۵۳۸۷/۷۰	۱۲۸۲/۶۸	۱۵۶۷/۵۲	۴۷۴۶/۵۱	۲۲۴۱/۱۴	۱۰۰۶۸/۴۶
(۱۷-۰۳۳)	۲۱۷۹۱۰/۱	۲۱۷۰۹۵/۳	۲۳۲۳۳۵/۱	۳۶۹۵۱۲/۲	۲۷۴۲۹۶	۲۱۲۶۴۰/۹	۲۶۵۲۶۸/۹	۲۱۳۴۰۱/۱	۳۲۲۷۲۴/۹
(۱۷-۰۳۵)	۹۰۶۰/۶۱	۸۴۸۷/۴۸	۸۷۶۱/۰۳	۱۱۵۰۹/۸	۹۷۲۵/۰۰۳	۸۶۳۱/۶۱	۱۰۳۳۴/۸۱	۸۷۴۹/۱۶	۹۰۶۶/۸۷
(۱۷-۰۳۹)	۸۴۴۳/۱۸	۷۱۱۲/۶۸	۷۰۰۴/۴۵	۴۸۸۵/۶۱	۸۹۰۳/۶۷۴	۶۲۹۱/۰۷	۴۶۶۹/۶۴	۶۳۱۸/۳۶	۵۳۹۶/۴۸
(۱۷-۰۴۱)	۱۲۱۵۵۷/۴	۱۳۲۳۳۱/۳	۱۵۳۴۷۶/۲	۳۰۹۹۸۹/۷	۱۲۵۶۴/۹	۱۲۰۲۵۲/۹	۱۴۴۴۳۴/۲	۱۱۹۲۵۲/۲	۱۸۷۱۸۵/۷
(۱۷-۰۴۰)	۱۴۴۲۱/۸۱	۱۱۲۱۳/۹۶	۱۱۱۷۵/۹۶	۲۶۷۲۷/۲۲	۱۲۵۴۱/۴۴	۱۲۱۵۴/۴۰	۱۲۵۷۰/۱۴	۱۱۹۰۱/۶۳	۲۲۳۲۷/۶۸
(۱۷-۰۸۳)	۲۴۸۱۱/۲۷	۲۲۶۰۶/۰۹	۲۲۴۵۷/۵۷	۲۷۸۲۴/۲۵	۲۱۲۵۸/۵۶	۲۰۱۴۳/۲۲	۱۸۹۸۳/۲	۳۷۲۸۸/۹۱	۶۸۷۲۹/۱۸
(۱۷-۰۴۵)	۲۹۴/۸۹	۲۸۴/۵۰	۲۸۲/۷۸	۲۳۴/۷۵۵۷	۲۷۲/۴۴	۲۳۳/۶۶	۲۱۲/۷۵	۱۹۸/۷۷	۲۰۲/۳۲
(۱۷-۰۵۱)	۱۸۶۰/۴۱	۱۸۳۳/۱۸	۱۸۱۷/۶۳	۱۷۵۴/۳۹	۱۸۱۸/۱۹	۱۷۹۰/۸۲	۱۷۵۷/۶۴	۱۷۵۷/۶۶	۱۹۰۳/۳۲
(۱۷-۰۵۵)	۳۸۲/۵۴	۳۵۳/۷۸	۲۹۵/۱۱	۲۹۹/۸۶	۲۶۵/۳۱	۲۶۵/۲۶	۲۹۵/۰۲	۵۵۹۸/۳۴	۶۹۱/۲۸
(۱۷-۰۴۳)	۵۰۳۱۷۳/۷	۵۲۸۰۸۸/۶	۴۹۴۰۹۴/۴	۴۸۶۳۰۴/۷	۵۰۱۷۲۱/۸	۴۸۶۱۴۱/۹	۱۷۱۷۲۲۵	۴۷۸۴۴۰/۱	۴۷۷۹۴۵/۸

جدول ۴. اعتبار سنجی مدل با ضریب NASH

Station	یک خطی NSE	CF1 NSE	CF2 NSE	FAO NSE	دوخطی NSE	حد وسط NSE	CF1 NSE	CF2 NSE	FAO NSE
(۱۷-۰۰۱)	۰/۱۰۲	۰/۲۰۲	۰/۲۱۶	۰/۴۵۶	۰/۴۱۱	۰/۳۶۵	۰/۵۰۷	۰/۵۰۶	۰/۱۵۴
(۱۷-۰۰۷)	۰/۲۱۶	۰/۳۷۰	۰/۴۰۲	۰/۸۱۳	۰/۵۵۳	۰/۸۲۳	۰/۸۷۱	۰/۸۵۰	-۰/۰۸۹
(۱۷-۰۰۹)	۰/۱۵۱	۰/۳۲۴	۰/۳۷۵	۰/۱۱۴	۰/۱۶۵	۰/۲۹۹	-۰/۹۸۲	-۰/۲۶۹	-۲/۴۲۶
(۱۷-۰۱۱)	۰/۲۰۴	۰/۴۸۵	۰/۴۶۹	۰/۲۳۸	۰/۳۳۳	۰/۵۵۴	-۰/۱۳۷	۰/۵۱۶	۰/۳۰۵
(۱۷-۰۱۳)	۰/۰۸۰	۰/۳۷۷	۰/۳۰۹	-۰/۵۴۸	۰/۱۴۲	۰/۳۱۵	-۰/۴۱۲	۰/۳۴۲	-۰/۲۹۱
(۱۷-۰۱۷)	۰/۲۲۶	۰/۳۴۶	۰/۳۴۳	۰/۳۴۷	۰/۲۹۳	۰/۳۶۷	-۰/۷۸۴	۰/۳۲۸	۰/۳۴۰
(۱۷-۰۱۹)	۰/۲۵۹	۰/۳۴۰	۰/۲۳۵	-۲/۲۸۱	۰/۳۴۲	۰/۳۰۸	۰/۲۷۹	۰/۳۹۳	-۰/۵۵۴
(۱۷-۰۲۱)	۰/۲۳۴	۰/۳۸۵	-۰/۶۸۶	-۰/۷۰۳	۰/۳۲۶	۰/۳۸۶	-۰/۹۷۷	-۰/۶۷۴	-۰/۶۹۴
(۱۷-۰۲۳)	۰/۲۵۰	۰/۴۵۹	۰/۵۵۹	۰/۲۵۲	۰/۵۸۰	۰/۵۹۶	۰/۵۴۸	۰/۶۳۳	-۰/۰۷۴
(۱۷-۰۲۷)	۰/۶۵۱	۰/۸۹۰	۰/۸۷۵	۰/۵۱۴	۰/۹۷۲	۰/۹۵۹	۰/۶۲۳	۰/۹۱۶	-۰/۶۹۷
(۱۷-۰۳۳)	۰/۴۷۵	۰/۴۷۹	۰/۴۰۴	-۰/۵۰۹	۰/۱۶۹	۰/۵۰۰	۰/۲۲۲	۰/۴۹۷	-۰/۱۵۱
(۱۷-۰۳۵)	۰/۳۵۷	۰/۴۳۵	۰/۳۹۸	-۰/۰۳۸	۰/۲۵۹	۰/۴۱۶	۰/۱۶۳	۰/۴۰۰	۰/۳۵۶
(۱۷-۰۳۹)	۰/۳۵۶	۰/۵۴۳	۰/۵۵۷	۰/۷۸۴	۰/۲۸۳	۰/۶۴۲	۰/۸۰۳	۰/۶۳۹	۰/۷۳۷
(۱۷-۰۴۱)	۰/۲۵۸	۰/۱۲۱	-۰/۱۸۳	-۳/۸۲۶	۰/۱۹۵	۰/۲۷۴	-۰/۰۴۸	۰/۲۸۶	-۰/۷۶۰
(۱۷-۰۴۱)	۰/۶۴۲	۰/۷۸۴	۰/۷۸۵	-۰/۲۲۸	۰/۷۳۰	۰/۷۴۶	۰/۷۲۸	۰/۷۵۶	۰/۱۴۳
(۱۷-۰۸۳)	۰/۱۴۶	۰/۲۹۱	۰/۳۰۱	-۰/۰۷۴	۰/۳۷۳	۰/۴۳۷	۰/۵۰۰	-۰/۹۲۸	-۵/۵۵۰
(۱۷-۰۴۵)	۰/۲۱۲	۰/۲۶۶	۰/۲۷۵	۰/۵۰۰	۰/۳۲۷	۰/۵۰۵	۰/۵۹۰	۰/۶۴۲	۰/۶۲۹
(۱۷-۰۵۱)	۰/۰۳۲	۰/۰۶۰	۰/۰۷۶	۰/۱۳۹	۰/۰۷۵	۰/۱۰۳	۰/۱۳۶	۰/۱۳۶	-۰/۰۱۳
(۱۷-۰۵۵)	۰/۱۴۶	۰/۲۶۹	۰/۴۹۲	۰/۴۷۵	۰/۵۸۹	۰/۵۸۹	۰/۴۹۲	-۱۸۱/۹۴۷	-۱/۷۸۹
(۱۷-۰۴۳)	-۰/۰۲۵	-۰/۱۲۹	۰/۰۱۲	۰/۰۴۳	-۰/۰۱۹	۰/۰۴۳	-۱۰/۹۳۵	۰/۰۷۴	۰/۰۷۵

جدول ۵. مقادیر رسوب سالانه، رسوب ویژه سالانه تولیدی زیر حوضه‌ها و کلاس رسوبدهی

کلاس رسوبدهی	رسوب ویژه سالانه (تن در کیلومتر مربع)	رسوب سالانه (تن)	نام ایستگاه	کد ایستگاه
۴	۱۸۳/۰۴	۹۵۸۶۰۸/۱۸	بیانلو	(۱۷-۰۰۱)
۳	۸۲/۱۲	۵۱۲۶۳۹/۴۱	سلامت آباد	(۱۷-۰۰۷)
۳	۸۹/۰۶	۱۵۹۱۴۷/۹۷	هشتادجفت	(۱۷-۰۰۹)
۴	۲۲۲/۷۶	۴۳۱۹۲۳۳/۳۶	قره گونی	(۱۷-۰۱۱)
۴	۴۳۵/۰۵	۱۰۸۱۰۶۰/۸۴	ینگلی کند	(۱۷-۰۱۳)
۳	۶۸/۸۶	۱۱۹۶۲/۹۲	پالتی	(۱۷-۰۱۷)
۴	۱۷۷/۲۱	۸۰۴۴۷۴/۷۹	سرچم	(۱۷-۰۱۹)
۴	۳۲۰/۰۰	۱۰۵۲۴۳۰۲/۹۸	پل دختر	(۱۷-۰۲۱)
۵	۸۵۲/۶۷	۱۵۳۵۲۳۴/۲۹	موتورخانه	(۱۷-۰۲۳)
۴	۱۱۲/۲۴	۱۱۷۴۷۲/۶۱	کوهسالار	(۱۷-۰۲۷)
۴	۴۵۳/۰۸	۲۲۰۹۸۱۳۱/۶۳	گیلوان	(۱۷-۰۳۳)
۵	۸۹۶/۳۹	۷۱۲۳۱۶/۲۲	گلینک	(۱۷-۰۳۵)
۶	۱۱۰۹/۳۲	۷۱۸۸۴۰	باغکلايه	(۱۷-۰۳۹)
۵	۹۵۵/۱۹	۴۶۶۵۷۶۷/۸۴	لوشان	(۱۷-۰۴۱)
۴	۱۳۷/۲۰	۵۹۴۶۵/۶۳	توتکابن	(۱۷-۰۴۵)
۴	۳۰۱/۳۸	۶۹۹۵۱/۱۸	شهر بیجار	(۱۷-۰۵۱)
۴	۱۹۰/۰۱	۲۳۰۵۰/۶۳	پاشاکی	(۱۷-۰۵۵)
۲	۱۹/۳۴	۴۷۱۱/۲۷	دهگلان	(۱۷-۰۸۳)
۵	۸۳۶/۶۷	۱۹۵۴۵۱۶/۳۸	رجائی دشت	(۱۷-۲۰۱)
۵	۵۱۹/۴۳	۲۹۳۱۷۱۷۷/۲۳	بین راه رودبار	(۱۷-۰۴۳)



شکل ۳. نمودار تغییرات رسوبدهی به ازاء مساحت

۴. بحث و نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که داده‌های روش حد وسط و روش حد وسط با ضرایب اصلاحی CF1 و CF2 در مقایسه با سایر روش‌های منحنی سنج، بیشترین برآزش (از نظر فراوانی) را با داده‌های ایستگاه‌های حوضه سفید رود دارا هستند. در این رابطه روش حد وسط به عنوان مناسب‌ترین روش منحنی سنج برآزش داده شده به ۵ ایستگاه (ایستگاه‌های قره‌گونی، پالتی، پاشاکی، پل دختر و گیلوان)، روش حد وسط با ضریب اصلاحی CF2 مناسب‌ترین روش منحنی سنج برآزش داده شده به ۵ ایستگاه (ایستگاه‌های ینگکند، سرچم، موتورخانه، لوشان و توتکابن) و روش حد وسط با ضریب اصلاحی CF1 مناسب‌ترین روش منحنی سنج برآزش داده شده به ۴ ایستگاه (ایستگاه‌های بیانلو، سلامت آباد، باغ کلایه و دهگلان) تشخیص داده شدند. نتایج تحقیقات بعضی از محققان، روش حد وسط دسته‌ها [۳، ۲۸، ۴۰، ۴۹] و عده‌ای دیگر روش حد وسط با اعمال ضریب اصلاحی را به عنوان روش بهینه نشان می‌دهد [۲۲، ۳۳].

هر چند طبق یافته‌های این تحقیق روش یک‌خطی

نسبت به هیچ کدام از ایستگاه‌های حوضه برآزش مناسبی نشان نداد ولی این روش با اعمال ضرایب اصلاحی توانست در برخی از ایستگاه‌ها به عنوان روش مناسب معرفی شود. در این رابطه روش یک‌خطی با ضریب اصلاحی CF1 روش مناسب ایستگاه گلینک، یک‌خطی با ضریب اصلاحی CF2 روش مناسب ایستگاه‌های هشتاد جفت و رجائی دشت و روش یک‌خطی با ضریب اصلاحی FAO روش مناسب ایستگاه شهر بیجار است. نتایج تحقیقات محققین در ایستگاه هیدرومتری رودک حاکی از آن است که روش دوخطی مناسب‌ترین روش و روش یک‌خطی با ضریب تصحیح فائو نامناسب‌ترین روش برآورد بار معلق رسوب است [۱]، نتایج این تحقیق با یافته‌های محققین در ایستگاه شهر بیجار مغایرت داشت اما در پژوهش دیگر در حوضه سد کمال صالح، روش یک‌خطی با اعمال ضریب اصلاحی به عنوان روش مناسب معرفی شده است [۴۱].

هر چند در این تحقیق روش حد وسط، حد وسط با ضریب اصلاحی CF2 و حد وسط با ضریب اصلاحی CF1 به دلیل برآزش بیشتر با ایستگاه‌های حوضه سفیدرود، به عنوان روش مناسب معرفی گردیدند اما این روش‌ها نتوانستند به عنوان مناسب‌ترین روش در تمامی ایستگاه

متغیر مستقلی است که در معادلات رگرسیون منحنی سنج رسوب وارد می‌شود. پیشنهاد می‌شود علاوه بر مقادیر دبی جریان، کاربرد متغیرهای دیگر نیز در ترسیم منحنی‌های سنج رسوب مورد آزمون قرار گیرد و یا به عبارت دیگر منحنی‌های سنج رسوب چندمتغیره ترسیم گردد.

با توجه به عبور بخش زیادی از رسوبات در مواقع سیلابی و عدم نمونه برداری‌های به‌موقع در آن زمان و تأثیر زیاد تعداد نمونه‌ها در برآورد صحیح رسوب عبوری از رودخانه‌ها، پیشنهاد می‌گردد تا حد ممکن در ایستگاه‌های نمونه‌برداری با فاصله‌های زمانی کوتاه مدت از رودخانه‌ها انجام و یا این که از نمونه بردارهای اتوماتیک استفاده گردد تا بتوان تغییرات دقیق دبی-رسوب را در زمان کوتاهی پایش و در نهایت مقدار صحیح رسوب عبوری از رودخانه برآورد گردد. در این راستا برنامه نمونه‌گیری سازوار خوشه‌ای جهت انجام نمونه‌برداری رسوب معلق به وزارت نیرو پیشنهاد می‌گردد [۴].

نمودار تغییرات رسوب‌دهی به ازاء مساحت نشان داد که این رابطه دارای نمای کمی بیش از واحد است که نشان دهنده رابطه تقریباً مستقیم میزان رسوب‌دهی به ازاء واحد سطح است. به‌طوری که به ازاء افزایش واحد به مساحت، افزایش قابل ملاحظه در رسوب‌دهی را شاهد هستیم. این نتیجه حاکی از اثر بیشتر مناطق کوهپایه‌ای نسبت به ارتفاعات در تولید رسوب است [۲]. نتایج حاصل از این تحقیق در شاخه قزل اوزن نشان داد با وجود کلاس رسوب‌دهی ویژه ۳ و ۴ تمامی ایستگاه‌ها (به‌جز ایستگاه موتورخانه که دارای کلاس رسوب‌دهی ۵ یا زیاد است)، به دلیل مساحت بالای حوزه سهم زیادی از تولید رسوب حوزه آبخیز سفیدرود به این زیر حوزه تعلق دارد. از این‌رو به منظور کاهش رسوب ورودی به مخزن سد سفیدرود پیشنهاد می‌شود گزینه مکان‌یابی مناسب انجام عملیات مناسب آبخیزداری و حفاظت آب و خاک در این زیرحوزه های بزرگ عملیاتی شود. همچنین بررسی‌ها حاکی از آن است که شاخه شاهرود از حوزه آبخیز سفیدرود دارای

های حوزه سفیدرود خودنمایی نمایند. با توجه به اینکه روش دوخطی روش مناسب برازش شده در دو ایستگاه کوهسالار و پاشاکی معرفی شد (که با نتایج [۱]، مطابقت داشت) و روش تک خطی با ضرایب اصلاحی توانست به‌عنوان روشی مناسب در برخی ایستگاه‌ها قابل کاربرد باشد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که شرایط محلی منطقه بالادست ایستگاه، ویژگی‌های مرفولوژیکی کانال رودخانه و نیز جامعه آماری که با توجه به آن نمونه‌برداری انجام شده و در نهایت منحنی سنج رسوب بر اساس آن نمونه‌ها به‌دست می‌آید تأثیر زیادی در دقت منحنی‌های مذکور و انتخاب روش مناسب دارد. لازم به ذکر است که طبق نتایج این تحقیق، ضرایب اصلاحی CF1 و CF2 در اغلب ایستگاه‌ها به دلیل جبران کم‌تخمینی روش‌های منحنی سنج، موجب افزایش کارایی مدل می‌شوند. هرچند که نمی‌توان این ضرایب را به‌عنوان یک قاعده کلی در تمام ایستگاه‌ها پیشنهاد کرد، به عبارت دیگر، روش مناسب هر ایستگاه منحصر به فرد تعیین می‌شود. پژوهش‌های محققین مختلف [۱۰، ۳۲، ۴۶، ۲۷، ۲۴، ۴۷] نیز حاکی از تأیید تغییرپذیری مکانی خصوصیات منحنی سنج رسوب و رابطه دبی با رسوب است. بنابراین اگر روش مناسب برازش منحنی سنج به درستی تعیین نشود، منجر به برآورد کم یا زیاد رسوب حوضه خواهد گردید. لذا پیشنهاد می‌شود در انجام پروژه‌های اجرایی قبل از هر اقدامی راجع به تعیین منحنی سنج بهینه اقدام، تا با استفاده از آن برآورد تقریبی مناسبی از میزان تولید رسوب حوضه داشته باشیم.

به‌طور کلی در جهت بهبود روابط منحنی سنج رسوب در ایستگاه‌های مختلف کشور باید تحقیقات بیشتری صورت گیرد تا ماهیت و پیچیدگی برآوردکننده‌های رگرسیونی و یا سایر مدل‌ها به خوبی روشن شود. آنچه در این بین نقش مهم و به‌سزایی دارد داشتن جامعه آماری مناسب از داده‌های هم‌زمان غلظت رسوب و دبی جریان است. دبی جریان به‌عنوان یک متغیر کمکی نقش زیادی در نتایج کاربرد منحنی‌های سنج رسوب دارد و تنها

از ده درصد مساحت کل حوزه آبخیز) این زیر حوزه حدود یک پنجم رسوب کل حوضه را تولید می کند. لذا کنترل فرسایش خاک و اخذ رسوبات به عنوان اقدامات ضروری در چارچوب طرح های حفاظتی توصیه می گردد.

رسوبدهی ویژه بالایی است. در این رابطه ایستگاه باغ کلایه دارای کلاس رسوبدهی ۶ و سایر ایستگاه های مورد مطالعه این شاخه دارای کلاس رسوبدهی ۵ (رسوبدهی بالا) است. یعنی با وجود مساحت کم (کمتر

References

- [1]Ahmadi, H., Malekian, A. and Abedi, R. (2012). The most appropriate statistical method for suspended sediment estimation of rivers, Case Study: Roodak station of the Jajrood basin. *Environmental Erosion Researches Journal*, 5, 78-88.
- [2]Arabkhedri, M. (2005). A study on suspended sediment yield in river basins of Iran. *Iran – water resources research*, 1(2), 51-60.
- [3]Arabkhedri, M., Hakimkhani, S. and Varvani, J. (2004). The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 hydrometric stations). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 11 (3), 123-131.
- [4]Arabkhedri, M., Lai, F.S., Noor Akma, I. and Mohamad Roslan, M. K. (2010). An application of adaptive cluster sampling for estimating total suspended sediment load. *Journal of Hydrology Research*, 41(1), 63-73.
- [5]Asselman, N.E.M. (1999). Suspended sediment dynamics in a large drainage basin: the River Rhine. *Hydrological Processes*, 13 (10), 1437-1450.
- [6]Asselman, N.E.M. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*, 234, 228–248.
- [7]Batalla, R.J., Gomez, C.M. and Kondolf, G.M. (2004). Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro River basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 290 (1-2), 117-136.
- [8]Cohn, T.A., Delong, L.L., Gilroy, E.J., Hirsch, R.M. and Wells, D.K. (1989). Estimating constituent loads. *Water Resources Research*, 25 (5), 937-942.
- [9]Dehghani, A.A., Zanganeh, M.E., Mosaede, A. and Kohestane, N. (2009). Comparison of suspended sediment estimation by artificial neural network and sediment rating curve methods (Case Study: Doogh River in Golestan province). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 6, 266-277.
- [10]de Vente, J., Poesen, J., Bazzoffi, P., Van Rompaey, A. and Verstraeten, G. (2006). Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins. *Earth Surf Process Land*, 31, 1017–1034.
- [11]Duan, N. (1983). Smearing estimate, a nonparametric retransformation method. *Journal of American Statistical Association*, 78 (383), 605-610.
- [12]Fan, X.L., Shi, C.X., Zhou, Y.Y. and Shao, W. (2012). Sediment rating curves in the Ningxia-Inner Mongolia reaches of the upper Yellow River and their implications. *Quaternary International*, 282, 152-162.
- [13]Farokhzadeh, B., Azarakhshi, M., Mahdavi, M. and Salajegheh, A. (2008). Regional assessment of sediment rating curves in the different climates of Iran. *Journal of the Iranian Natural Res*, 61 (1), 1-12
- [14]Ferguson, R.I. (1986). River loads underestimated by rating curves. *Water Resources Research*, 22, 74-76.
- [15]Hudson, P.F. (2003). Event sequence and sediment exhaustion in the lower Panuco Basin, Mexico. *Catena*, 52 (1), 57-76.
- [16]Hu, B.Q., Wang, H.J., Yang, Z.S. and Sun, X.X. (2011). Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. *Quaternary International*, 230 (1-2), 34-43.

- [17]Iadanza, C. and Napolitano, F. (2006). Sediment transport time series in the Tiber River. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31 (18), 1212-1227.
- [18]Iran Water Resources Research Center. (2001). River improving of Sefidrood. (Talfigh study).
- [19]Jansson, M.B. (1988). A global survey of sediment yield. *Geografiska Annaler*, 70 (1-2), 81-98.
- [20]Jansson, M.B. (1996). Estimating a sediment rating curve of the Reventazón river at Palomo using logged mean loads within discharge classes. *Journal of Hydrology*, 183 (3-4), 227-241.
- [21]Jones, K.R., Berney, O., Carr, D.P. and Barret, E.C. (1981). Arid zone hydrology for agricultural development. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 37, 271.
- [22]Kalvandi, S., Khodashenas, S., Ghahraman, B., Tahmasbi, R. and Bustani, A. (2010). Analysis of different methods of rating curves in estimating of dams alluvia and study on Doosti Dam. *Errigation & Water Engineering*, 1, 10-20.
- [23]Kao, Sh., Lee, T. and Milliman, J.D. (2005). Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan. *TAO*, 16 (3), 653-675.
- [24]Le, T.P.Q., Garnier, J., Gilles, B., Sylvain, T. and Van Minh, C. (2007). The changing flow regime and sediment load of the Red River, Viet Nam. *Journal of Hydrology*, 334 (1-2), 199-214.
- [25]Li, Z., Zhang, Y.K., Schilling, K. and Skopec, M. (2006). Cokriging estimation of daily suspended sediment loads. *Journal of Hydrology*, 327, 389- 398.
- [26]Meade, R.H., Yuzyk, T.R. and Day, T.J. (1990). Movement and storage of sediment in rivers of the United States and Canada. In: *Surface Water Hydrology*. Geological Society of America, 251, 165-179.
- [27]Milliman, J.D. and Meade, R.H. (1983). World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Journal of Geology*, 91 (1), 1-21.
- [28]Mirzaei, M.R., Arabkhedri, M., Feiznia, S. and Ahmadi, H. (2005). Comparing the statistical methods of sediment suspended load of rivers. *Iranian Journal of Natural Resources*. 58 (2), 301-314.
- [29]Morgan, R.P.C. (1995). *Soil Erosion and Conservation*. 2nd ed. Longman, London press.
- [30]Mossa, J. (1988). Discharge-sediment Dynamics of the Lower Mississippi River. *Transactions Gulf Coast Association of Geological*, 38, 303-314.
- [31]Moayeri, M.M., Nikpoor, R., Hoseinzadeh Dalir, A. and Farsadizadeh, D. (2010). Comparison of artificial neural networks, adaptive neuro-fuzzy and sediment rating curve models for estimating suspended sediment load of Ajichay river. *Soil and Water Knowledge*, 20 (2), 71-83.
- [32]Nadal-Romero, E., Latron, J., Marti-Bono, C. and Regues, D. (2008). Temporal distribution of suspended sediment transport in a humid Mediterranean badland area: the Araguás catchment. *Central Pyrenees, Geomorphology*, 97, 601-616.
- [33]Najafinejad, A., Mardian, M., Varvani, J. and Sheikh, V.B. (2011). Performance evaluation of correction factors in optimization of sediment rating curve (Case Study: Kamal Saleh dam watershed, Markazi province, Iran). *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(2), 105-122.
- [34]Nash, J. E. and Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282-290.
- [35]Newcombe, C.P. and Jensen, J.O.T. (1996). Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries and Management*, 16, 693-727.
- [36]Peters-Kümmerly, B.E. (1973). Untersuchungen über Zusammensetzung und transport von Schwebstoffen in einigen Schweizer Flüseen. *Geographica Helvetica*, 28, 137-151.
- [37]Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S. and Onda, Y. (2008). Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed. *Geoderma*, 144, 198-211.
- [38]Singh, J., Knapp, H.V. and Demissie, M. (2004). *Hydrologic Modeling of the Iroquois River Watershed Using HSPF and SWAT*. Illinois State Water Survey Contract Report press.

- [39] Syvitski, J.P.M. and Morehead, M.D. (1999). Estimating river-sediment discharge to the ocean: application to the Eel margin, northern California. *Marine Geology*, 154 (1-4), 13-28.
- [40] Varvani, J., Feiznia, S., Mahdavi, M. and Arabkhedri, M. (2001). Regional analysis of suspended load in Gorganrood and investigation on sediment producing condition of up stream of Veshmgir dam. Ms.c. thesis, Faculty of natural resources, Tehran university.
- [41] Varvani, J., Najafi Nejad, A. and Mirmoini Karahroudi, A. (2008). Improving of sediment rating curve using minimum variance unbiased estimator. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(1), 1-13.
- [42] Vazquez-Amábile, G. G. and Engel, B.A. (2005). Use of SWAT to compute groundwater table depth and streamflow in the Muscatatuck River watershed. *Trans, ASAE*, 48(3), 991-1003.
- [43] Walling, D.E. and Webb, B.W. (1983). *Patterns of Sediment Yield*. In: *Background to Paleohydrology*, John Wiley and Sons press, New York.
- [44] Walling, D.E. (1974). Suspended sediment and solute yields from a small catchment prior to urbanization. In: Gregory, K.J., Walling, D.E., *Fluvial Processes in Instrumented Watersheds*. Institute of British Geographers, 6, 169-192.
- [45] Walling, D.E. (1978). Suspended sediment and solute response characteristics of the river Exe, Devon, England. *Research in Fluvial Geomorphology*, 15, 169-197.
- [46] Walling, D.E. and Kane, P. (1982). Temporal Variation of Suspended Sediment Properties. *IAHS Publ.*, 137, 409-419.
- [47] Wilkinson, S.N., Prosser, I.P., Rustomji, P. and Read, A.M. (2009). Modelling and testing spatially distributed sediment budgets to relate erosion processes to sediment yields. *Environmental Modelling and Software*, 24, 489-501.
- [48] Zhang, W., Xiaoyan, W., Jinhai, Z., Yuliang, Z. and Zhang, Y. (2012). Estimating suspended sediment load in the Pearl River Delta region using sediment rating curves. *Continental Shelf Research Journal*, 38, 35-46.
- [49] Zorrapour, A. (2007). A comparison of hydrological (statistical) methods for estimating suspended load (case study: Taleghan watershed). Ms.c. thesis, Faculty of natural resources, Tehran university press.