

ارزیابی کارایی مدل‌های برآورد بار رسوبی معلق در شمال و غرب ایران (مطالعه موردی: رودخانه‌های قره‌سو و تجن)

جبار هادی قورقی^۱ و عبدالواحد خالدی درویشان^{۲*}

چکیده

در بسیاری از رودخانه‌های کشور فقط در تعدادی از روزهای سال دبی و غلظت رسوب معلق اندازه‌گیری می‌شود. به همین دلیل به کارگیری روش‌هایی که قابلیت تخمین و پیش‌بینی رسوب را با استفاده از داده‌های کم و ناقص دارا باشند، اجتناب‌ناپذیر است. این پژوهش برای مقایسه کارایی برخی روش‌های دسته‌بندی داده در تهیه منحنی سنجه‌رسوب و ۶ روش هیدرولوژیکی برآورد بار رسوبی معلق در دو ایستگاه هیدرومتری در دو منطقه اقلیمی متفاوت در غرب و شمال ایران (قورباغستان در رودخانه قره‌سو و کردخیل در رودخانه تجن) انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار رسوب معلق تخمینی در روش‌های منحنی سنجه معمولی، Smearing و \hat{LQMLE} (در حالت روش کلی و سال پرآب و کم‌آب) در ایستگاه قورباغستان کمتر از مقدار مشاهده‌ای بوده و در روش‌های CF_1 ، CF_2 ، FAO و \hat{LQMLE} (در حالت فصول هیدرواقليمی، فصول اصلی و روش ترکیبی) بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای بوده است در حالیکه در ایستگاه کردخیل به طور تقریبی در تمامی حالت‌های تفکیک داده‌ها بجز مدل FAO نتایج تمامی مدل‌های مورد بررسی کمتر از مقادیر مشاهده‌ای بوده است.

واژه‌های کلیدی: تخمین رسوب، دسته‌بندی داده، فصول هیدرواقليمی، منحنی سنجه‌رسوب.

ارجاع: هادی قورقی ج. و خالدی درویشان ع. ۱۳۹۴. ارزیابی کارایی مدل‌های برآورد بار رسوبی معلق در شمال و غرب ایران (مطالعه موردی: رودخانه‌های قره‌سو و تجن). مجله پژوهش آب ایران. ۱۷: ۷۳-۷۸.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.

* نویسنده مسئول: a.khaledi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۱۳

مقدمه

ارتباط بین رسوب و جریان دبی به عواملی مانند تغییرپذیری رسوب، شرایط فیزیکی و خصوصیات خاک منطقه مورد بررسی بستگی دارد (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸). منحنی سنج رسوب یکی از معمول‌ترین روش‌های برآورد بار رسوب معلق رودخانه‌هاست اما برآوردهای آن همیشه با مقداری خطا همراه است (اسلمن، ۲۰۰۰؛ عرب‌خداری و همکاران، ۱۳۸۳ و میرباقری و رجایی، ۱۳۸۵). روش اندازه‌گیری بار معلق رودخانه‌ها، بر پایه اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق و دبی جریان، به علت محدودیت هزینه و زمان به طور معمول فقط برای رودخانه‌های مهم و دائمی استفاده می‌شود (تلوری، ۱۳۸۱ و پاونلی و بیگی، ۲۰۰۴). جمع‌بندی سوابق پژوهش نشان داد که پژوهشگران تلاش در افزایش دقت روش‌های تخمین رسوب داشته‌اند و این موضوع به

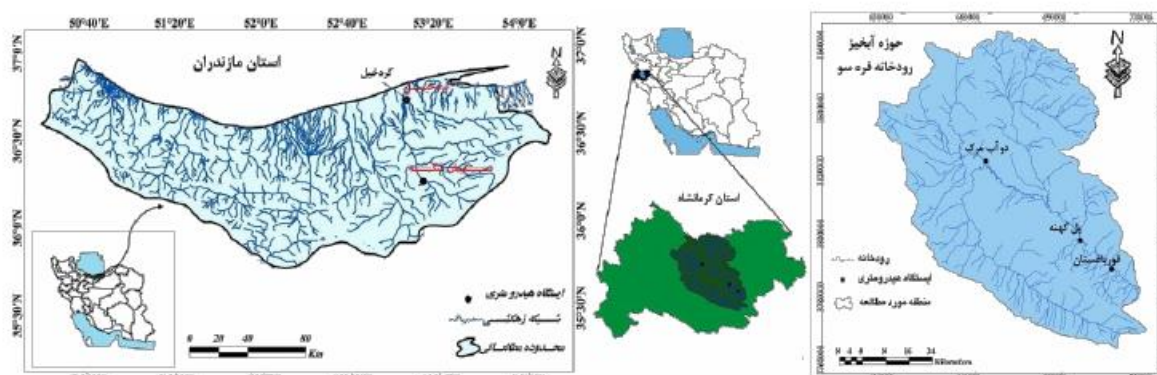
ویژه در کشورهایی با شرایط ایران مهم است. بنابراین این پژوهش برای مقایسه کارایی روش‌های مختلف برآورد رسوب معلق در دو ایستگاه هیدرومتری قورباغستان (در رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه) و کردخیل (واقع بر رودخانه تجن در استان مازندران) که به طور واضح در دو منطقه اقلیمی کاملاً متفاوت در کشور قرار دارند، انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد بررسی ایستگاه هیدرومتری قورباغستان در رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه و ایستگاه هیدرومتری کردخیل در رودخانه تجن در استان مازندران هستند. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری و شکل ۱ موقعیت آن‌ها را در نقشه ایران و استان‌های کرمانشاه و مازندران نشان می‌دهند.

جدول ۱ موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری قورباغستان و کردخیل

| نام ایستگاه هیدرومتری | نام رودخانه | طول جغرافیایی عرض جغرافیایی | مساحت بالادست (کیلومتر مربع) | دوره آماری مشترک | تعداد سال‌های آماری مشترک |
|-----------------------|-------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|---------------------------|
| قورباغستان | قره‌سو | ۳۴°۱۴' | ۵۳۷۰ | ۱۳۴۶-۱۳۸۴ | ۳۸ |
| کردخیل | تجن | ۳۶°۱۶' | ۴۰۲۸ | ۱۳۴۶-۱۳۸۴ | ۳۸ |



شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری قورباغستان و کردخیل در کشور

که در ادامه تشریح می‌شوند جدا شدند. بدین منظور از چند روش مختلف تفکیک و ترکیبات مختلف آن‌ها استفاده شد. در نهایت براساس روش‌های منحنی سنج رسوب، روش ایالات متحده (USBR)، ضریب اصلاحی فائو، ضریب اصلاحی پارامتری (CF_1 و QMLE) و غیرپارامتری (CF_1 و Smearing) با همدیگر مورد آزمون قرار گرفتند. روش‌های تفکیک داده‌ها در این پژوهش شامل موارد زیر بودند:

- روش کلی برآورد دبی رسوب براساس تمامی داده‌های اندازه‌گیری شده بدون تقسیم‌بندی آن‌ها
- تفکیک داده‌ها براساس سال‌های پرجریان (میانگین دبی

معادله اصلی مورد استفاده برای تهیه منحنی سنج رسوب، برای کل داده‌ها به صورت معادله ۱ است.

$$Q_s = a Q_w^b \quad (1)$$

در این معادله Q_s دبی رسوب بر حسب تن در روز، Q_w دبی جریان بر حسب متر مکعب بر ثانیه و a و b ضریب‌های منطقه‌ای برای معادله انتقال رسوب هستند (والینگ و وب، ۱۹۸۱). سپس داده‌ها با دخالت دادن عوامل مؤثر در انتقال رسوب از قبیل زمان نمونه‌برداری یا اندازه‌گیری دبی تفکیک شدند. ابتدا داده‌ها براساس شرایط خاص هیدرواقليمی منطقه

هیدرواقليمی، مدل Smearing ۳/۱۱ درصد مقدار رسوب تخمینی را از مقدار واقعی کمتر برآورد کرده و نسبت به دیگر روش‌ها به مقدار واقعی نزدیک‌تر بوده است.

مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و تخمینی در ایستگاه هیدرومتری کردخیل در استان مازندران در درجه اول نشان داد که اختلاف برآوردهای روش‌های مختلف با یکدیگر کمتر است. در این ایستگاه تفکیک داده‌ها به فصول هیدرواقليمی سبب افزایش دقت برآوردها به ویژه در مدل‌های CF_1 و CF_2 شده است تا حدی که مدل CF_2 اصلاح شده با تفکیک داده‌ها به فصول هیدرواقليمی نزدیک‌ترین برآوردها را به مقادیر مشاهده‌ای داشته است.

نتایج همچنین نشان داد که به‌عنوان یک اصل کلی و پذیرفته شده در مدل‌های تخمین رسوب، در دبی‌های کم، رسوب بیشتر از مقدار مشاهده‌ای و برعکس در دبی‌های بالا کمتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد می‌شود که در این پژوهش نیز این حالت در هر دو ایستگاه مورد بررسی رخ داده است (شکل‌های ۲ و ۳).

نتایج نشان داد که در روش FAO میزان رسوب معلق تخمینی بیشتر از مقدار مشاهده‌ای بود که با نتایج زنگانه و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. در روش منحنی سنجه معمولی (USBR) و Smearing، فصول هیدرواقليمی نتایجی بهتر نسبت به فصول تقویمی نشان داد که با نتایج قورقی و همکاران (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) همسوست. همچنین جذر میانگین مربعات خطا در تمام حالت‌های دسته‌بندی داده‌ها، در روش FAO بیشتر از روش منحنی سنجه معمولی بود که با نتایج مساعدی و همکاران (۱۳۸۵)، عرب‌خدری و همکاران (۱۳۸۳) و حیدرنژاد و همکاران (۱۳۸۵) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن ضریب اصلاحی در روش‌های CF_1 ، CF_2 ، FAO میزان رسوب معلق برآورده شده به طور چشم‌گیری بیشتر از مقدار مشاهده‌ای محاسبه می‌شود. نتایج به دست آمده در ایستگاه قورباغهستان نشان داد که مقدار a در معادله ۱ کمتر از یک بوده و مقادیر ضریب CF_1 ، CF_2 ، FAO بیشتر از یک به دست آمده و وقتی این ضرایب در معادله سنجه معمولی قرار داده می‌شود به طور چشم‌گیری رسوب تخمینی را افزایش می‌دهد. برای رفع این مشکل می‌توان به جای قرار دادن مقادیر ضریب‌های CF_1 ، CF_2 ، FAO ضریب a را همانند روش‌های Smearing و $LQMLE$ در معادله سنجه

آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی با دبی میانگین سالانه) و کم‌جریان (میانگین دبی آن‌ها کوچک‌تر دبی میانگین سالانه)

- تفکیک داده‌ها براساس فصول تقویمی سال
- تفکیک داده‌ها براساس فصول هیدرواقليمی سال با در نظر گرفتن آخرین ماه هر فصل با فصل بعدی
- تفکیک داده‌ها براساس ترکیبی از حالت‌های بالا و روش‌های روش اداره عمران اراضی ایالت متحد آمریکا (USBR)، ضریب اصلاحی فانو، ضریب اصلاحی پارامتری، روش تخمین‌گر شبه‌بیشینه درست نمایی QMLE، ضریب اصلاحی ناپارامتری و روش اصلاح‌گر Smearing.
برای انتخاب مدل بهینه در هر ایستگاه از برآیند شاخص‌های مختلف شامل ضریب تبیین (R^2)، ضریب کارایی (E)، شاخص توافق d (کراس و همکاران، ۲۰۰۵)، میانگین مربعات خطا RMSE و متوسط خطای مطلق MAE استفاده شد. بر این اساس روش‌هایی که دارای ضریب‌های تبیین و کارایی و شاخص توافق بیشتر و میانگین مربعات خطا، متوسط خطای مطلق و خطای نسبی تخمین کمتری هستند به‌عنوان روش بهینه معرفی می‌شوند.

نتایج و بحث

پس از تفکیک داده‌ها براساس روش‌های پیشنهادی با برازش معادلات منحنی سنجه رسوب برای داده‌های متناظر دبی-رسوب معلق و محاسبه ضریب‌های مربوطه، شاخص‌های آماری برای هر یک از مدل‌ها محاسبه شد. جدول و شکل ۲ به ترتیب مقایسه مقدار رسوب تخمینی و مشاهده‌ای با استفاده از مدل‌های مختلف و مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و تخمینی در مدل بهینه را در ایستگاه هیدرومتری قورباغهستان نشان می‌دهند. همچنین جدول و شکل ۳ نیز به ترتیب مقایسه مقدار رسوب تخمینی و مشاهده‌ای با استفاده از مدل‌های مختلف و مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و تخمینی در مدل کلی را در ایستگاه هیدرومتری کردخیل نشان می‌دهند.

براساس شاخص‌های مورد بررسی در ایستگاه هیدرومتری قورباغهستان در استان کرمانشاه، در روش دسته‌بندی داده‌ها براساس فصول هیدرواقليمی مدل منحنی سنجه معمولی دارای کمترین مقدار RMSE و MAE بوده و دارای شاخص d مناسب است. به این ترتیب این روش با توجه به ۳ شاخص آماری به‌عنوان مدل بهینه در ایستگاه قورباغهستان معرفی می‌شود. اما مدل‌های CF_1 نامناسب‌ترین مدل برای برآورد بار معلق در این ایستگاه هستند. همچنین در حالت فصول

جمع‌بندی نتایج نشان داد که تغییر منطقه اقلیمی بین دو ایستگاه مورد بررسی (ایستگاه قورباغستان در رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه و ایستگاه کردخیل در رودخانه تجن در استان مازندران) سبب تغییر مدل‌های بهینه برآورد رسوب معلق انتخابی شد اما روش تفکیک داده به صورت فصول هیدرواقلیمی با تأخیر یک ماهه در فصول تقویمی و همچنین تفکیک سال‌های کم‌آب و پرآب، در هر دو منطقه سبب افزایش دقت مدل‌های مورد بررسی شد.

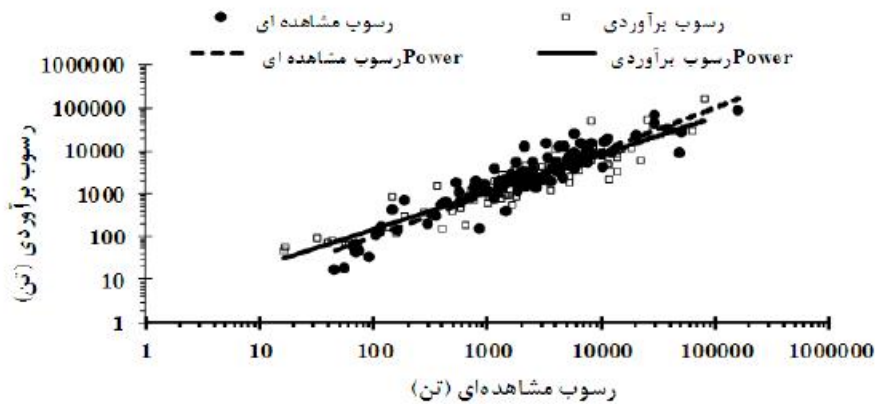
رسوب معمولی ضرب کرد. با این روش تا حد زیادی رسوب تخمینی اصلاح خواهد شد. به‌عنوان مثال در ایستگاه قورباغستان در حالت فصول هیدرواقلیمی مقدار رسوب تخمینی در روش CF_1 ، CF_2 ۱۱۵۴/۶۳ درصد و در روش CF_2 ، CF_1 ۴۲۶ درصد بیشتر از رسوب مشاهده‌ای بوده که پس از اصلاح به روش پیشنهادی به ترتیب به مقادیر ۲۰۵/۵۶ درصد و ۲۹/۶۱ درصد کاهش یافت. در جدول ۳ مقادیر CF_1 ، CF_2 و مقادیر اصلاحی نشان داده شده است.

جدول ۲ مقایسه مقدار رسوب تخمینی و مشاهده‌ای در ایستگاه هیدرومتری قورباغستان (واحد: تن در کل دوره آماری)

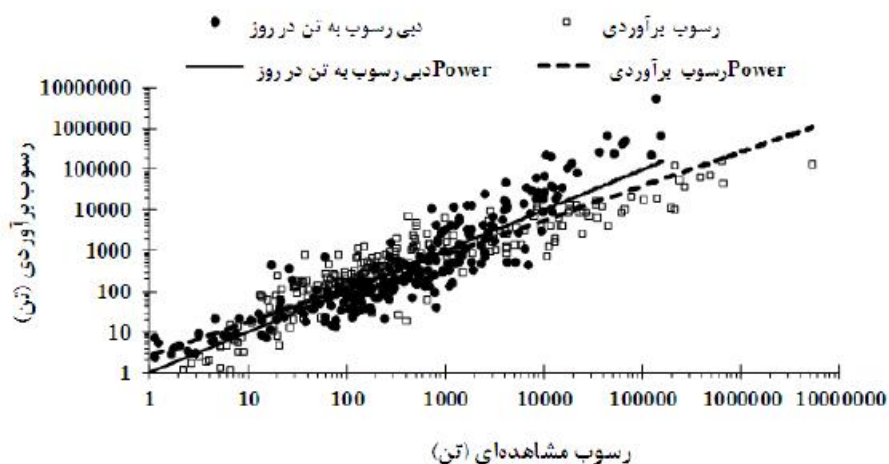
| تجزیه داده‌ها | مقدار رسوب مشاهده‌ای | \hat{LQMLE} | Smearing | CF_1 | CF_2 | معمولی | FAO | اصلاحی CF_2 | اصلاحی CF_1 | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|---------------|------------|
| | | مقدار رسوب تخمینی مدل | | | | | | | | |
| کلی | ۱۳۴۱۱۳۲/۴۳ | ۱۲۴۳۰۳۸/۹۵ | ۱۰۹۲۶۹/۹۶ | ۳۶۸۷۴۲/۵۲ | ۱۸۸۳۳۲/۱۷ | ۹۹۹۳۹۲/۹۱ | ۳۰۷۴۸۱/۵۲ | ۳۱۷۶۰۳۰/۴۰ | ۱۶۳۰۳۹۰/۲۷ | |
| | (اختلاف برآورد (درصد) | -۷/۳۱ | -۱۸/۵۲ | ۱۷۳/۵۶ | ۴۰/۴۳ | -۲۵/۴۸ | ۱۲۹/۲۷ | ۱۳۶/۸۲ | ۲۱/۵۷ | |
| سال پرآب و کم‌آب | ۱۳۴۱۱۳۲/۴۳ | ۱۲۳۶۲۰۲/۶۶ | ۱۰۸۰۷۷/۰۴ | ۳۲۱۸۹۶/۰۴ | ۱۶۲۷۷۱۳/۹۲ | ۹۹۷۵۲۰/۵۶ | ۳۲۲۷۸۲۱/۴۱ | ۳۱۳۰۰۴۸/۳۴ | ۱۵۸۸۴۳۴/۶۴ | |
| | (اختلاف برآورد (درصد) | -۷/۸۲ | -۱۹/۴۱ | ۱۴۰/۰۲ | ۲۱/۳۷ | -۲۵/۶۲ | ۱۴۰/۶۸ | ۱۳۳/۳۹ | ۱۸/۴۴ | |
| فصول هیدرواقلیمی | ۱۳۴۱۱۳۲/۴۳ | ۱۵۲۹۵۹۶/۹۳ | ۱۲۹۹۴۸۵/۹۱ | ۱۶۸۲۶۲۳/۸۸ | ۷۰۵۴۳۹/۷۳ | ۱۲۱۶۳۸۷/۶۸ | ۲۵۲۶۰۷۶/۲۵ | ۴۰۹۸۰۲۰/۲۲ | ۱۷۳۸۲۹۶/۶۰ | |
| | (اختلاف برآورد (درصد) | ۱۴/۰۵ | -۳/۱۱ | ۱۱۵/۶۳ | ۴۲/۰۰ | -۹/۳۰ | ۸۸/۳۵ | ۲۰۵/۵۶ | ۲۹/۶۱ | |
| فصول تقویمی | ۱۳۴۱۱۳۲/۴۳ | ۱۴۴۲۷۹/۳۸ | ۱۲۳۶۴۲۲/۱۳ | ۸۵۴۴۹۱۷/۷۴ | ۳۶۷۱۹۴/۴۱ | ۱۱۶۱۶۲۰/۴۷ | ۲۰۳۳۳۱/۰۰ | ۳۴۸۲۳۱۷/۹ | ۱۶۴۰۶۰۳/۴۷ | |
| | (اختلاف برآورد (درصد) | ۷/۶۶ | -۷/۸۱ | ۵۳/۶۰ | ۱۷۳/۷۹ | -۱۳/۳۹ | ۵۲/۰۶ | ۱۷۴/۵۷ | ۲۲/۳۳ | |
| فصول هیدرواقلیمی | سال پرآب | ۱۳۴۱۱۳۲/۴۳ | ۱۴۵۰۴۳۴/۸۲ | ۱۲۷۰۲۲۱/۴۲ | ۱۵۹۰۴۷۸/۵۴ | ۶۹۶۹۱۳۵/۱۴ | ۱۲۰۰۸۶۹/۷ | ۲۵۴۴۵۱۶/۵۳ | ۲۸۱۷۳۰۰/۵۹ | ۲۲۴۹۹۳۲/۴۵ |
| | سال کم‌آب | (اختلاف برآورد (درصد) | ۸/۱۵ | -۵/۳۹ | ۱۰۸۵/۹۲ | ۴۱۹/۶۵ | -۱۰/۴۶ | ۸۹/۷۳ | ۱۱۰/۰۷ | ۶۷/۷۶ |
| فصول تقویمی | سال پرآب | ۱۳۴۱۱۳۲/۴۳ | ۱۴۳۴۱۱۲/۵۴ | ۱۲۶۶۱۴۱/۸۸ | ۸۸۳۱۱۲۹/۸۲ | ۴۴۴۹۷۷/۵۸ | ۱۱۹۵۵۲۷/۷۹ | ۲۸۴۴۹۳۸/۹۰ | ۳۲۲۵۰۰۰/۴۶ | ۱۶۳۷۰۳۱/۳۰ |
| | سال کم‌آب | (اختلاف برآورد (درصد) | ۶/۹۳ | -۵/۵۹ | ۵۵/۴۸ | ۲۳۰/۶۹ | -۱۰/۸۶ | ۱۱۲/۱۳ | ۱۴۰/۴۷ | ۲۲/۰۶ |

جدول ۳ مقایسه مقدار رسوب تخمینی و مشاهده‌ای در ایستگاه هیدرومتری کردخیل (واحد: تن در کل دوره آماری)

| تجزیه داده‌ها | مقدار رسوب مشاهده‌ای | \hat{LQMLE} | Smearing | CF_1 | CF_2 | معمولی | FAO | اصلاحی CF_2 | اصلاحی CF_1 | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|--------------|---------------|---------------|------------|
| | | مقدار رسوب تخمینی مدل | | | | | | | | |
| کلی | ۹۷۳۲۵۱۲/۵۶ | ۱۴۷۵۸۵۶/۸۶ | ۱۳۰۷۶۳۲/۸۳ | ۲۱۹۹۰۲۰/۶۸ | ۱۲۰۴۹۴۰/۳۴ | ۱۱۳۸۱۲۱/۱۹ | ۱۳۴۳۷۰۷۴/۶۰ | ۴۵۱۱۵۳۰/۲۰ | ۲۴۷۲۰۶۶/۲۳ | |
| | (اختلاف برآورد (درصد) | -۸۴/۸۴ | -۸۶/۵۶ | -۷۷/۴۱ | -۸۷/۶۲ | -۸۸/۳۱ | ۱۲۷۹/۶۱ | -۵۳/۶۴ | -۷۴/۶۰ | |
| سال پرآب و کم‌آب | ۹۷۳۲۵۱۲/۵۶ | ۱۵۸۲۷۲۲/۵۴ | ۱۷۱۵۰۵۸/۰۹ | ۳۳۵۵۲۴۱/۳۵ | ۲۲۴۲۹۶۸/۳۸ | ۱۱۳۸۱۲۱/۱۹ | ۲۶۸۰۹۹۴/۷۸ | ۶۵۷۴۷۹۶/۵۱ | ۴۴۹۷۹۱۴/۸۸ | |
| | (اختلاف برآورد (درصد) | -۸۳/۲۴ | -۸۲/۳۸ | -۶۶/۵۵ | -۷۶/۹۴ | -۸۸/۳۱ | ۱۷۵/۴۷ | -۳۲/۴۵ | -۵۳/۸۸ | |
| فصول هیدرواقلیمی | ۹۷۳۲۵۱۲/۵۶ | ۱۴۸۴۵۸۴/۱۹ | ۱۳۴۰۶۶۸/۶۲ | ۲۲۸۱۵۶۷/۰ | ۱۳۰۰۳۱۸/۴۴ | ۱۱۳۸۱۲۱/۱۹ | ۲۱۹۲۶۳۲۲۸/۷۹ | ۴۶۲۶۸۵/۷۲ | ۲۶۲۰۲۲۴/۶۹ | |
| | (اختلاف برآورد (درصد) | -۸۴/۷۵ | -۸۶/۲۲ | -۷۶/۵۶ | -۸۶/۶۴ | -۸۸/۳۱ | ۲۱۵۲/۸۹ | -۵۲/۰۸ | -۷۳/۰۸ | |
| فصول تقویمی | ۹۷۳۲۵۱۲/۵۶ | ۱۴۸۵۰۳۰/۰۹ | ۱۳۱۲۹۱۸/۳۵ | ۲۳۰۳۶۰/۵۶ | ۱۲۴۸۶۶۷/۹۳ | ۱۱۳۸۱۲۱/۱۹ | ۱۶۱۶۷۹۰۱۵/۸۷ | ۴۶۸۹۰۳۶/۷۸ | ۲۵۳۱۱۸۱/۹۹ | |
| | (اختلاف برآورد (درصد) | -۸۴/۲۴ | -۸۶/۵۱ | -۷۶/۳۳ | -۸۷/۱۷ | -۸۸/۳۱ | ۱۵۶۱/۳۳ | -۵۱/۸۲ | -۷۳/۹۹ | |
| فصول هیدرواقلیمی | سال پرآب | ۹۷۳۲۵۱۲/۵۶ | ۱۶۶۱۸۸۳/۱۴ | ۱۹۰۷۷۲۴/۳۰ | ۴۴۴۰۲۱۱/۷۲ | ۲۹۰۶۲۳۳/۵۵ | ۱۱۳۸۱۲۱/۱۹ | ۷۶۹۲۱۶۰/۷۸ | ۹۰۶۷۴۶۵/۴۱ | ۵۶۳۳۰۷۰/۵۹ |
| | سال کم‌آب | (اختلاف برآورد (درصد) | -۸۲/۹۲ | -۸۰/۰۴ | -۵۳/۳۲ | -۷۰/۱۴ | -۸۸/۳۱ | -۲۰/۹۶ | -۶/۸۳ | -۴۲/۲۲ |
| فصول تقویمی | سال پرآب | ۹۷۳۲۶۹۹/۱۶ | ۱۶۳۴۲۴۵/۵۹ | ۱۸۲۵۶۵۵/۴۴ | ۴۲۷۷۳۴۱/۰۳ | ۲۶۵۹۹۶۹/۰ | ۱۱۳۸۴۵۷/۳۸ | ۱۶۴۹۲۵۲۶۳/۳۵ | ۸۴۴۲۲۷۸/۹۲ | ۵۱۹۰۷۳۰/۳۰ |
| | سال کم‌آب | (اختلاف برآورد (درصد) | -۸۳/۳۱ | -۸۱/۳۴ | -۵۶/۰۵ | -۷۲/۶۷ | -۸۸/۳۰ | ۱۵۹۴/۵۵ | -۱۳/۲۶ | -۴۶/۶۳ |



شکل ۲ مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و تخمینی در مدل پهبینه در ایستگاه قورباغستان



شکل ۳ مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و تخمینی در مدل کلی در ایستگاه کردخیل

منابع

۱. تلوری ع. ۱۳۸۱. رابطه رسوبدهی معلق با برخی ویژگی‌های آبخیز در سرشاخه‌های کرخه و دز در استان لرستان. مجله پژوهش و سازندگی. ۱۵(۱): ۴۷-۵۶.
۲. حیدر نژاد م. گلمایی ح. مساعدی ا. و ضیاء تبار احمدی م. ۱۳۸۵. اصلاح منحنی سنجهرسوب و برآورد بار معلق در ایستگاه تله‌زنگ. هفتمین کنفرانس بین‌المللی عمران، ۱۸ تا ۲۰ اردیبهشت ۱۳۸۵. تهران. ۲۴۳-۲۵۲.
۳. زنگانه م ا. مساعدی ا. مفتاح هلقی م. و دهقانی ا. ا. ۱۳۹۰. تعیین مناسب‌ترین روش برآورد دبی انتقال رسوبات معلق در ایستگاه آرازکوسه حوضه گرگان‌رود. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۸(۲): ۸۵-۱۰۴.
۴. عرب‌خداری م. حکیم‌خانی ش. و وروانی ج. ۱۳۸۳. اعتبار روش‌های برون‌یابی در برآورد میانگین رسوبدهی معلق سالانه. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱(۳): ۱۲۳-۱۳۱.
۵. مساعدی ا. محمدی استادکلایه ا. نجفی‌نژاد ع. و یغمایی ف. ۱۳۸۵. بهینه‌سازی روابط دبی آب و دبی رسوب معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه گرگان‌رود. مجله منابع طبیعی ایران. ۵۹(۲): ۳۳۱-۳۴۲.
۶. میرباقری س. ا. و رجایی ص. ۱۳۸۵. بهبود پیش‌بینی و تخمین بار معلق رودخانه‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. هفتمین کنفرانس بین‌المللی عمران، ۱۸ تا ۲۰ اردیبهشت ۱۳۸۵. تهران. ۴۳۵-۴۴۳.
۷. هادی قورقی ج. حبیب‌نژاد م. سلیمانی ک. و خالدی درویشان ع. ۱۳۹۰. بررسی راه‌کارهای افزایش دقت و صحت منحنی سنجهرسوب در رودخانه‌های تلوار و چم شور در استان کردستان. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، ۷ و ۸ اردیبهشت ۱۳۹۰. اصفهان. ص.
۸. هادی قورقی ج. وهاب‌زاده ق. حبیب‌نژاد م. و خالدی درویشان ع. ۱۳۹۱. تقویت ارتباط دبی آب و دبی رسوب

- در فصول هیدرواقليمی نسب به فصول تقویمی سال. سومین همایش بین‌المللی تغییر اقلیم و گاه‌شناسی درختی. ۲۷ الی ۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۱، ساری. ۷ ص.
9. Asselman N. E. M. 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*. 234 (3-4): 234-248.
 10. Kothiyari U. C. Jain M. and Ranga Raju K. 2002. Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS. *Hydrological Sciences Journal*. 47(5):693-706.
 11. Krause P. Boyle D. P. and Base F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*. 5:89-97.
 12. Pavanelli D. and Bigi A. 2004. Suspended sediment concentration for three apennine monitored basins particle size distribution and physical parameters. In: *The Agro Environment Congress, Venice, Italy*. 537-544.
 13. 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(1-2):198-211.
 14. Walling D. E. and Webb B. W. 1981. The Reliability of suspended sediment load data, in: *erosion and sediment transport (Proc. of Florence Symp. June 1981)*, IAHS. Public. 133:177-194.