دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

# تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق بر اساس آماره‌های خطاسنجی (مطالعه موردی-تعدادی از زیرحوزه‌های کشف‌رود)

الیاس رمضانی‌پور[۱]، ابوالفضل مساعدی[۲] و منصور مصداقی[۳]

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد مدعو، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، (نویسنده مسوول: mosaedi@um.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۴

**چکیده**

**پدیده‌ی فرسایش، انتقال رسوب و رسوبگذاری، خسارات زیان‌بار اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی به وجود می‌آورد. به طور کلی مقدار رسوب در حال انتقال تابعی از مقدار دبی رودخانه می‌باشد، ولی معادلات ارائه شده در این ارتباط دارای خطای زیادی می‌باشند. این تحقیق به منظور ارائه مدل بهینه برآورد بار رسوب معلق در تعدادی از زیر حوزه‌های حوزه آبخیز کشف‌رود (شامل ایستگاه‌های هیدرومتری موشنگ، گلمکان، دولت‌آباد خرم‌دره، سراسیاب شاندیز، گلستان جاغرق و حصار دهبار) انجام گرفته است. در این راستا جهت کاهش مقدار خطا در معادله مدل برآورد رسوب معلق (منحنی سنجه رسوب)، اقدام به ارزیابی و مقایسه روش‌های تلفیقی در قالب تحلیل توابع رگرسیونی مختلف براساس کلاسه‌بندی زمانی داده‌های دبی و رسوب متناظر آن در یک دوره طولانی‌مدت ۳۰ ساله گردید. مدل‌های زمانی مختلف با استفاده از ۱۲معیار خطاسنجی مورد آزمون قرار گرفتند تا مدل بهینه برآورد بار رسوب معلق انتخاب گردد. نتایج نشان‌دهنده برتری مدل هیدرولوژیکی در درجه اول و مدل پوشش گیاهی و مدل اقلیمی در درجه‌های بعدی می‌باشد. بنابراین مدل هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی و اقلیمی به ترتیب با داشتن کمترین میزان خطای برآورد، به عنوان مدل‌های بهینه برآورد بار رسوب معلق در حوزه‌های ذکر شده انتخاب گردید. در مقابل مدل سالانه که در آن هیچ‌گونه کلاسه‌بندی برای داده‌های دبی جریان و دبی رسوب متناظر آن صورت نگرفته است به عنوان ناکارآمدترین مدل شناخته شد. به طور کلی میزان خطا در برآورد رسوب در ماه‌های کم‌آب و یا ماه‌های خشک کمتر از ماه‌های پرآب و یا ماه‌های مرطوب است. در این ماه‌ها تاثیر پذیری رسوب معلق از دبی نسبت به سایر عوامل موثر بر انتقال رسوب مشهودتر است. پیشنهاد می‌شود مشابه این تحقیق در رابطه با تعداد بیشتری حوزه و در شرایط مختلف جغرافیایی انجام شده تا در نهایت بتوان روش‌های دقیق‌تری در رابطه با برآورد رسوب معلق با استفاده از منحنی سنجه رسوب ارائه نمود.**

**واژه‌های کلیدی: رسوب معلق، دبی جریان، منحنی سنجه رسوب، آماره‌های خطاسنجی، مدل زمانی برآورد رسوب**

## مقدمه

فرسایش، انتقال رسوب، رسوب‌گذاری و وضعیت کیفیت آب از مسایل بسیار مهم در مدیریت حوزه‌های آبخیز می‌باشند. فرسایش‌خاک و انتقال رسوبات حاصل از فرسایش ضمن محدودسازی منابع آب و خاک، مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی زیادی را پدید می‌آورد (۳۳). این مسایل و مشکلات را می‌توان با برقراری و توسعه برنامه‌های اندازه‌گیری مقدار رسوب انتقالی در رودخانه‌ها مورد بررسی قرار داد (۱۰). از طرف دیگر مقدار رسوب معلق رودخانه تا حد زیادی پیام‌آور وضعیت بالادست حوزه و رودخانه است (۷).

در مناطقی که رودخانه‌ها دارای آمار رسوب می‌باشند، می‌توان وضعیت رسوبدهی‌حوزه بالادست آن را بررسی‌نمود. از طرفی تجهیز کلیه حوزه‌ها به وسایل اندازه‌گیری و برداشت نمونه‌های مکرر و مرتب نه‌تنها از نظر عملی ممکن نیست، بلکه مستلزم صرف هزینه و زمان بسیار زیاد می‌باشد. بدین منظور یافتن روش‌ها و مدل‌های مناسب برای برآورد واقعی‌تر میزان رسوبدهی حوزه‌های فاقد ایستگاه اندازه‌گیری با هدف کنترل فرسایش و برنامه‌ریزی در استفاده از منابع آب و خاک امری ضروری است (۲۹).

صادقی و همکاران (۲۶) در تحقیقی بیان داشتند که به دلیل محدودیت‌های مختلف نظیر کافی‌نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری، مشکل جمع‌آوری داده‌های رسوب‌معلق آبراهه‌ها و هزینه‌بربودن آن، اطلاعات مشاهده‌ای در این زمینه در سطح جهان هنوز در حد وسیع و فراگیری وجود ندارد.

ملسه و همکاران (۱۳) در سیستم رودخانه‌ای چند رودخانه بزرگ در آمریکا اقدام به پیش‌بینی غلظت رسوب معلق توسط چند مدل از جمله مدل سری زمانی نمودند و توسط معیارهای میانگین جذر مربعات خطا و درصد میانگین مطلق خطا به اعتبارسنجی مدل‌ها پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مدل سری زمانی دارای عملکرد خوب و دقت بالایی در پیش‌بینی غلظت رسوب معلق می‌باشد.

ژانگ و همکاران (۳۴) در تحقیقی به بررسی چگونگی تولید رسوب تحت شرایط مختلف بارندگی و ویژگی‌های ژئومورفولوژیک نظیر مشخصات ارتفاعی، وضعیت شکل و شبکه آبراهه‌های حوزه آبخیز لائوس پلاتای چین پرداختند. ایشان از ترکیب روش تجزیه به مولفه‌های اصلی، رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون چندمتغیره برای پیش‌بینی رسوب معلق استفاده نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که به ترتیب پارامترهای شکل حوزه، ضریب پیچان‌رودی رودخانه، طول آبراهه اصلی حوزه، مشخصات ارتفاعی، وضعیت بارندگی و شیب تأثیرات زیادی برروی رسوب انتقالی دارند.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

میرزایی و همکاران (۱۴) شبیه‌سازی رسوب معلق روزانه و بررسی تغییر کاربری اراضی بر آن در حوزه آبخیز گل گل ایلام را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی WetSpa مورد بررسی قرار دادند، برای این منظور از داده‌های اقلیمی یک دوره آماری هفت ساله شامل بارش، دما، تبخیر، دبی و رسوب معلق و سه نقشه؛ مدل رقومی ارتفاعی، بافت خاک و کاربری اراضی استفاده نمودند، نتایج تحقیق ایشان نشان داد که تغییر کاربری در سطح معنی‌داری یک درصد بر غلظت رسوب معلق در منطقه مورد مطالعه تاثیر دارد.

شی و همکاران (۲۸) به بررسی اثرات کاربری زمین و پارامترهای فیزیوگرافی موثر بر رسوب، در بالادست حوزه آبخیز دیو چین پرداختند. ایشان از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای تعیین ارتباط بین رسوب و معیارهای متشکل از ۱۹ ویژگی حوزه آبخیز استفاده نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که درصد مساحت اراضی کشاورزی بیشترین تاثیر را در تولید رسوب داشته است.

رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و محدوده‌های سازه‌های هیدرولیکی یکی از مسایل مهم زیست‌محیطی بوده که در تمام جهان مورد بحث قرار گرفته است و به عنوان یک مساله مهم تلقی می‌گردد. به طور کلی موادی که همراه با آب در آبراهه و یا رودخانه حرکت می‌کنند، به سه دسته بار بستر، بار معلق و مواد محلول تقسیم می‌شوند (۱). برآورد صحیح بار رسوب معلق که یک جریان مشخص قادر به حمل آن است یکی از موضوعات اصلی تحقیقات رسوب می‌باشد که در بسیاری از پروژه‌های مدیریت منابع آب و آبخیزداری حایز اهمیت است. از این پروژه‌ها می‌توان به مواردی از قبیل برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های ذخیره، انحراف، انتقال و توزیع آب، پروژه‌های حفاظت سواحل و لایروبی کانال‌ها و رودخانه‌ها، پروژه‌های طراحی و نگهداری کانال‌های آبیاری و امثال این‌ها اشاره نمود.

به‌منظور برآورد بار رسوب معلق روش‌های متعددهیدرولیکی و هیدرولوژیکی وجود دارد. به طور کلی در روش‌های هیدرولوژیکی دبی رسوب تابع دبی جریان در نظر گرفته می‌شود. در بیشتر موارد در این روش‌ها از رابطه توانی بین دبی جریان و دبی رسوب معلق که به منحنی سنجه‌رسوب معروف است، استفاده می‌شود. پیری (۲۳) در پژوهشی دریافت، که استفاده از منحنی سنجه رسوب همراه با تفکیک داده‌ها براساس ماه‌های خشک و مرطوب و کلاسه‌بندی مقادیر دبی جریان برای حوزه معرف امامه، کمترین میزان خطا را در بر دارد. رستمی و اردشیر (۲۵) بار معلق هشت ایستگاه هیدرومتری در رودخانه‌های قزل اوزن و شاهرود را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که روش تلفیق منحنی سنجه‌رسوب حد وسط دسته‌ها با دبی متوسط روزانه، روش مناسب برآورد بار معلق می‌باشد. پوراغنیائی و همکاران (۲۴) هم با استفاده از روش‌های منحنی‌سنجه تک خطی، دوخطی، فصلی و روش تعدیل بار رسوبی (FAO) مقادیر رسوب رودخانه صیدون در استان خوزستان را برآورد کرده و نتایج بدست آمده را با روش پسیاک مورد مقایسه قرار دادند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که روش تعدیل بار رسوبی، روش مناسبی می‌باشد.

مساعدی و همکاران (۱۸) با تعیین مناسب‌ترین معادلات منحنی سنجه رسوب در ایستگاه‌های ورودی به سدهای دز و کرج، به این نتیجه رسیدند که این معادلات، مقدار رسوب‌گذاری را برای سد دز در حدود ۷۰ درصد و برای سد کرج در حدود ۹۷ درصد مقدار واقعی برآورد می‌کنند. تحقیق پدرام و بارانی (۲۱) در مخزن سد زاینده رود نشان داد که برآورد رسوب با استفاده از روش متوسط دسته‌ها و همچنین تفکیک آمار به صورت ماه‌های خشک و تر بالاترین میزان همبستگی را دارد.

میرزایی (۱۵) در مقایسه روش‌های آماری برآورد بار معلق رودخانه گرگان‌رود به این نتیجه رسید که روش‌های مختلف برآورد بار رسوبی گاهی تا ۱۳ برابر نسبت به یکدیگر اختلاف دارند، وی دریافت که در رودخانه گرگان‌رود حدود ۵۵ درصد از بار رسوبی در کمتر از ۰/۰۴ درصد زمانی حمل شده است که نشان دهنده اهمیت رویدادهای سیل و نمونه‌برداری از غلظت آن‌ها می‌باشد.

عشقی و همکاران (۴) به منظور برررسی کارایی مدل‌های هوشمند در برآورد رسوبات معلق روخانه‌ای در حوزه آبخیز بابا امان خراسان شمالی، از داده‌های دبی جریان، دبی رسوب معلق، بارش و تبخیر استفاده نمودند، نتایج تحقیق ایشان نشان داد که از بین مدل‌های مورد بررسی از قبیل مدل منحنی سنجه رسوب، مدل شبکه عصبی، مدل درخت تصمیم و مدل ماشین بردار پشتیبان، مدل ماشین بردار تطابق بیشتری با مقادیر اندازه‌گیری شده داشته است.

هورورویتز (۸) دریافت که به منظور بهترین ارزیابی بار رسوب معلق سالانه در یک دوره بیست ساله در رودخانه می‌سی‌سی‌پی می‌توان از منحنی‌های سنجه‌رسوب استفاده کرد. اسلمن (۲) به ارزیابی منحنی‌های سنجه‌رسوب در رودخانه‌ها و انشعابات آن‌ها پرداخت و با ارزیابی خطاها و اشتباهات بارهای رسوبی دریافت که تفاوت‌های منحصر به فرد در اشکال منحنی‌های سنجه‌رسوب به خصوصیات بار آبرفتی آن‌ها وابسته است. وی به منظور انتخاب بهترین مدل از شاخص حداقل میانگین مربعات خطا بهره جست. در تحقیق فیلیپس و همکاران (۲۲) روش متوسط زمانی بیشترین دقت را داشته است. دقت این روش با افزایش فواصل نمونه‌برداری به طور معنی‌داری کاهش یافت. بالامورگان (۳) سه نوع منحنی سنجه را مورد مطالعه قرار داد. نتایج وی نشان داد که این روش‌ها منجر به برآورد کمتر رسوبات معلق سالانه با مقدار بیش از ۵۰ درصد مقدار واقعی خواهد شد. برای این منظور یک فاکتور تصحیح را برای تعدیل و استفاده از داده‌های دبی ناپیوسته ارائه نمود.

بر اساس بررسی‌های انجام شده مشاهده می‌شود که در مورد برآورد رسوب انتقالی در حوزه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (از جمله حوزه‌های شمال شرق کشور و به‌خصوص حوزه کشف‌رود) نسبت به مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب تحقیقات کمتری انجام شده است. با توجه به

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

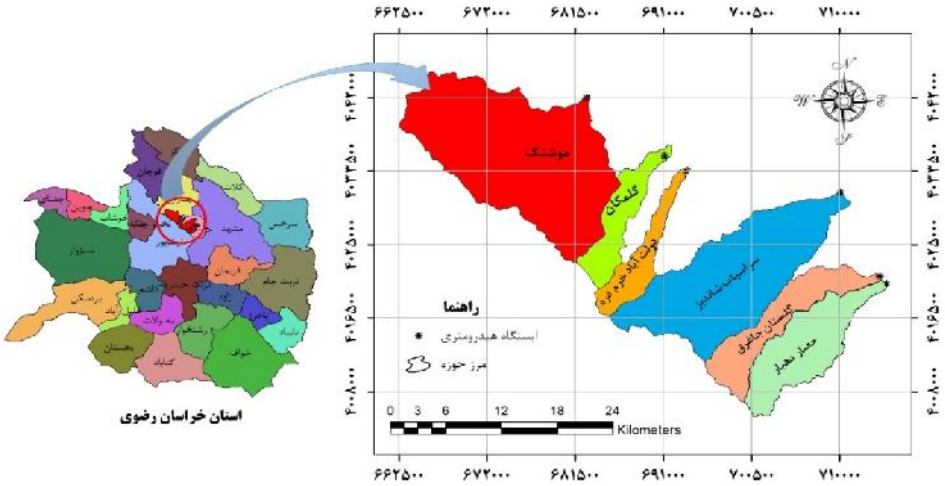
موارد یاد شده مشاهده می‌شود که برآورد رسوب معلق بر اساس منحنی سنجه رسوب یک روش پذیرفته شده است، ولی نحوه تفکیک داده‌های رسوب بر نتایج برآورد رسوب تاثیر زیادی دارد. بر این اساس، هدف از انجام این پژوهش، بررسی و ارزیابی معادلات مختلف منحنی‌های سنجه رسوب با تفکیک داده‌ها بر اساس عوامل مختلف اقلیمی، هیدرولوژیکی و پوشش گیاهی، در محدوده ۶ ایستگاه هیدرومتری واقع در دشت مشهد است. ضمن آن‌که به منظور انتخاب بهترین معادله‌ی سنجه رسوب از معیارهای خطاسنجی متعددی استفاده خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی مناطق مورد مطالعه

این تحقیق بر اساس آمار غلظت رسوب اندازه‌گیری شده در محدوده ایستگاه‌های هیدرومتری موشنگ، گلمکان، دولت‌آباد خرم‌دره، سراسیاب شاندیز، گلستان جاغرق و حصار دهبار واقع در ارتفاعات جنوبی بینالود و محدوده‌ی غربی دشت مشهد صورت گرفته‌است. این حوزه‌ها بخشی ازحوزه آبخیز کشف‌رود محسوب می‌شوند. حوزه کشف‌رود در شمال شرق کشور و در استان خراسان رضوی واقع است که یکی از مناطق خشک و نیمه خشک کشور را شامل می‌شود. در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز و کفایت داده‌ها از جمله ملاک‌های اصلی انتخاب این ایستگاه‌ها در حوزه کشف‌رود بوده است.

حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، در حد فاصل مختصات جغرافیایی، ۵۸ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۳ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۶ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه و ۸ ثانیه عرض شمالی واقع شده‌اند. شکل ۱ موقعیت حوزه‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و برخی از خصوصیات فیزیوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.




شکل ۱- موقعیت حوزه‌های آبخیز و ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی
Figure 1. Locations of studied Watersheds and theirs Hydrometric stations in Khorasan Razavi province (Iran)

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی حوزه‌های مورد مطالعه (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۴)
Table 1. Physiographics, climatic and hydrological characterestics of studied watersheds (Khorasan Razavi Regional Water Authority, 2015)

| نام ایستگاه هیدرومتری | مختصات UTM (WGS 1984 UTM Zone 40N) Y | مختصات UTM (WGS 1984 UTM Zone 40N) X | ارتفاع متوسط از سطح دریا (متر) | شیب متوسط حوزه (درصد) | مساحت حوزه (کیلومتر مربع) | محیط حوزه (کیلومتر) | طول آبراهه اصلی (کیلومتر) | میانگین بارش سالانه (میلی‌متر) | میانگین دبی سالانه (متر مکعب در ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| موشنگ | ۴۰۴۱۹۵۵ | ۶۸۲۷۶۳ | ۲۱۶۸ | ۳۶/۷ | ۲۸۳/۵ | ۸۲/۸ | ۲۹/۵ | ۲۶۱ | ۱/۶ |
| گلمکان | ۴۰۳۵۲۲۹ | ۶۹۱۱۷۲ | ۲۲۴۸ | ۳۷/۷ | ۴۸/۴ | ۴۷/۱ | ۲۱/۴ | ۲۴۳ | ۰/۳ |
| دولت‌آباد خرم‌دره | ۴۰۳۳۴۸۵ | ۶۹۳۴۰۹ | ۲۴۳۱ | ۴۵/۵ | ۴۰/۹ | ۴۶/۱ | ۲۱/۱ | ۲۴۹ | ۰/۴ |
| سراسیاب شاندیز | ۴۰۳۰۷۹۸ | ۷۱۰۱۷۲ | ۲۰۳۰ | ۳۲/۹ | ۲۰۳/۶ | ۷۷/۲ | ۳۴/۱ | ۲۳۴ | ۰/۵ |
| گلستان جاغرق | ۴۰۲۱۵۲۷ | ۷۱۵۵۷۱ | ۱۹۵۷ | ۳۱/۲ | ۷۳/۳ | ۶۰/۱ | ۲۷/۷ | ۳۱۲ | ۰/۲ |
| حصار دهبار | ۴۰۲۰۷۳۹ | ۷۱۵۴۹۲ | ۱۸۶۸ | ۲۹/۴ | ۸۸/۸ | ۵۴/۳ | ۲۵ | ۲۲۶ | ۰/۴ |

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

**روش تحقیق**

در این پژوهش، ابتدا تمامی داده‌های اندازه‌گیری شده دبی جریان و غلظت رسوب معلق (که در بعضی از روزهای سال اندازه‌گیری شده‌اند) و همچنین مقادیر دبی روزانه شش ایستگاه هیدرومتری موشنگ، گلمکان، دولت‌آباد خرم‌دره، سراسیاب شاندیز، گلستان جاغرق و حصار دهبار از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی اخذ گردید. علاوه بر این، آمار ماهانه بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه اخذ شد. پس از بررسی اولیه داده‌ها، طول دوره مشترک آماری ۳۰ ساله، از سال آبی ۱۳۶۳-۱۳۶۲ لغایت ۱۳۹۲-۱۳۹۱ مناسب تشخیص داده شد.

**آماده‌سازی داده‌ها**

ابتدا مقادیر غلظت رسوب اندازه‌گیری شده با توجه به مقادیر دبی متناظر آن‌ها به دبی رسوب معلق اندازه‌گیری شده تبدیل شدند (۱۲).

به منظور اطمینان از کیفیت و صحت داده‌ها، آزمون داده‌ی پرت با استفاده از رابطه گروبز- بک در مورد داده‌های دبی روزانه وهمچنین داده‌های دبی رسوب معلق انجام شد و داده‌های پرت بعد از شناسایی مورد بررسی بیشتر قرار گرفت. در نتیجه برخی از داده‌های پرت بر اساس شواهد آمار و ارقام موجود از قبیل آمار سیلاب و هیدروگراف روزانه حفظ و برخی دیگر از داده‌های پرت که اشتباه و غیرواقعی به نظر می‌رسیدند (با مقایسه مقادیر دبی یک ایستگاه با ایستگاه‌های مجاور، بارندگی، شواهد تاریخی حوزه و تجربه کارشناسان یا ساکنین حوزه‌ها) حذف شدند.

**روش‌های مورد آزمون**

به منظور برآورد مقدار رسوب معلق، از معادله منحنی سنجه رسوب، که در آن دبی رسوب معلق به عنوان تابعی از دبی جریان عبوری در هر ایستگاه در نظر گرفته می‌شود، استفاده شد (معادله ۱)

$$Q_s=aQ_w^{\ b} \qquad (۱)$$

که در آن $Q_w$ دبی بار رسوب معلق (تن در روز)، $Q_w$ دبی جریان (مترمکعب در ثانیه) و a و b ضرایب معادله می‌باشند.

به طور کلی به منظور برآورد رسوب معلق با استفاده از داده‌های دبی جریان، ۴ مدل به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفتند:

**۱- مدل سالانه (مدل A)**

در این مدل تمامی داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب معلق بدون در نظر گرفتن زمان وقوع آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. بنابر این، این مدل فاقد هرگونه دسته‌بندی (مدل جزئییا زیر مدل) می‌باشد و تنها از یک معادله (یک منحنی سنجه رسوب) برای برآورد مقدار رسوب معلق در مورد تمامی داده‌ها استفاده می‌شود (۱۸).

**۲- مدل اقلیمی (مدل B)**

در این مدل ابتدا بر اساس داده‌های مربوط به آمار بلند مدت بارش و دمای هر ایستگاه هیدرومتری، منحنی آمبروترمیک رسم شده و ماه‌های خشک و مرطوب برای هر ایستگاه هیدرومتری تعیین می‌گردد. در نهایت برای داده‌های متناظر با هر دسته (ماه‌های خشک و یا ماه‌های مرطوب) به صورت مستقل روابط رگرسیون برقرار می‌گردد. بنا بر این، این مدل دارای دو زیر مدل (معادله برای دسته ماه‌های مرطوب و معادله برای دسته ماه‌های خشک) خواهد بود (۱۸).

**۳- مدل وضعیت پوشش گیاهی (مدل C)**

در این مدل ابتدا داده‌های متناظر با دبی جریان و رسوب معلق بر اساس ماه‌های دارای پوشش گیاهی سبز و ماه‌های فاقد پوشش گیاهی سبز، به ۲ دسته تقسیم شده، سپس داده‌های متناظر هر دسته مستقل از دسته دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرند. در نتیجه، در این مدل نیز از دو معادله (یک معادله برای هر دسته) به منظور برآورد رسوب استفاده خواهد شد.

**٤- مدل هیدرولوژیکی (مدل D)**

در این مدل ابتدا داده‌های مربوط به دبی جریان هر ایستگاه هیدرومتری مورد بررسی قرار گرفته و میانگین سالیانه آن محاسبه می‌گردد. سپس میانگین سالیانه دبی هر ایستگاه با مقادیر دبی متوسط ماهانه آن مقایسه می‌شود. در صورتی‌که متوسط دبی ماهانه از متوسط دبی سالیانه کمتر باشد آن ماه به عنوان ماه کم‌آب و در صورتی‌که متوسط دبی ماهانه برابر یا بیشتر از متوسط دبی سالانه باشد، آن ماه به عنوان ماه پر آب تلقی می‌گردد. در نهایت برای داده‌های متناظر با هر دسته به صورت مستقل روابط رگرسیون برقرار می‌گردد. این مدل دارای دو معادله (منحنی سنجه رسوب) خواهد بود که یکی از آن‌ها برای ماه‌های پر آب و دیگری برای ماه‌های کم آب قابل استفاده می‌باشد (۱۹).

متاسفانه به دلیل کم‌بودن تعداد داده‌های رسوب اندازه‌گیری شده در طول دوره آماری در هر ایستگاه، امکان تقسیم‌بندی داده‌ها به مدل‌های دیگر وجود نخواهد داشت. به عنوان مثال اگر از مدل ماهانه استفاده شود (و داده‌ها به ۱۲ دسته تقسیم شوند)، ممکن است تعداد داده‌های اندازه‌گیری در بعضی از ماه‌ها برای ایجاد یک مدل رگرسیونی ناکافی باشد.

با توجه به موارد ذکر شده به منظور برآورد مقدار رسوب معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه، از معادله سنجه رسوب (رابطه ۱) استفاده شد. برای این منظور در ایستگاه‌های هیدرومتری موشنگ، گلمکان، دولت‌آباد خرم‌دره، سرآسیاب شاندیز، گلستان جاغرق و حصار دهبار به ترتیب از ۲۳۳، ۷۹، ۹۹، ۲۰۰، ۱۴۶ و ۱۲۳ جفت داده دبی جریان- دبی رسوب اندازه‌گیری شده، استفاده شد.

برای به دست آوردن ضریب a و b در معادله سنجه رسوب (رابطه ۱)، ابتدا داده‌های موجود براساس مدل‌های بیان شده (مدل‌های A تا D) دسته‌بندی شدند. سپس مناسب‌ترین خط در مقیاس لگاریتمی از بین نقاط زوج مرتب دبی جریان- دبی رسوب معلق، برای هر یک از مدل‌ها تعیین گردید. به این منظور از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

**شاخص‌های آماری انتخاب مدل بهینه**

همانگونه که بیان شد، به منظور برآورد بار رسوبی در رودخانه با توجه به آزمایشات و تجربیات سایر نقاط جهان توسط صاحب‌نظران معادلات و مدل‌های مختلفی ارائه گردیده است. اما بین نتایج حاصله از معادلات مختلف اختلافات چشم‌گیری وجود دارد. همین امر ضرورت تجزیه و تحلیل

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

مقادیر برآورد شده با روش‌های مختلف و ارزیابی آن‌ها در هریک از رودخانه‌ها را آشکار می‌سازد. به این منظور باید از شاخص‌های خطاسنجی استفاده نمود. شاخص‌های خطاسنجی فراوانی امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعدادی از این شاخص‌ها دقت مدل و تعدادی دیگر صحت مدل را مورد ارزیابی قرار می دهند. هیچ‌یک از این شاخص‌ها به طور مطلق بر دیگری برتری ندارد. اما انتخاب مدل تنها بر مبنای یک شاخص امروزه قابل قبول نمی‌باشد. به همین دلیل قضاوت در مورد کارآیی یک مدل، بر اساس استفاده از چند شاخص خطاسنجی صورت می‌گیرد.

معادلات به کار گرفته شده در مورد هر یک از شاخص‌های آماری خطاسنجی در این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

۱- ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)[1]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - O_i\right)^2}{n}} \qquad (۲)$$

که در این معادله و معادلاتی که در ادامه ذکر شده است، $P_i$ مقادیر رسوب برآورد شده، $O_i$ مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده، $i$ اندیس شماره داده‌ی رسوب و $n$ تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده (یا برآوردشده) است. هرچه مقدار شاخص $RMSE$ به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود.

۲- میانگین انحراف خطا (MBE)[2]:

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - P_i\right)$$

میانگین انحراف خطا می‌تواند هر عددی را به خود اختصاص دهد. مقدار صفر نشانگر تطبیق کامل مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری می‌باشد. این شاخص نشان‌دهنده میزان انحراف مدل به سمت بیش‌برآورد و یا کم‌برآورد نمودن می‌باشد.

۳- میانگین قدرمطلق خطای نسبی (MARE)[3]:

$$MARE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{O_i - P_i}{O_i}\right| \qquad (۴)$$

هرچه مقدار شاخص $MARE$ به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود.

۴- میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (NMSE)[4]:

$$NMSE = \frac{1}{n}\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \overline{O}_i\right)^2}{S^2}\right. \qquad (۵)$$

در این معادله و معادلاتی که در ادامه ذکر شده است ، $\overline{O}_i$ میانگین مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده و $S^2$ واریانس مقادیر رسوب اندازه‌گیری‌شده می‌باشد. مقدار این شاخص نیز هرچه کمتر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار است.

۵- انحراف معیار عمومی (GSD)[5]:

$$GSD = \frac{RMSE}{\overline{P}_i} \qquad (۶)$$

که در آن ریشه میانگین مربعات خطا و $\overline{P}_i$ میانگین مقادیر رسوب برآورد شده می‌باشد. هر چه مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود.

۶- ضریب تغییرات ($C_V$)[6]:

$$C_V = \frac{S_p}{\overline{P}_i} * 100 \qquad (۷)$$

که در آن انحراف معیار مقادیر رسوب برآورد شده و $\overline{P}_i$ میانگین مقادیر رسوب برآورد شده می‌باشد. هر چه مقدار این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود.

۷- نسبت اختلاف (r)[7]:

$$r = \frac{\overline{P}_i}{\overline{O}_i} \qquad (۸)$$

هرچه مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود.

۸-میانگین درصد خطای نسبی (RME)[8]:

$$RME = \frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|O_i - P_i\right|}{O_i} * 100}{n} \qquad (۹)$$

مقدار این شاخص نیز هرچه کمتر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار است.

۹- ضریب کارآیی اصلاح شده($E$)[9]:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|O_i - P_i\right|}{\sum_{i=1}^{n}\left|O_i - \overline{O}_i\right|} \qquad (۱۰)$$

محدوده‌ی این شاخص از یک تا منفی بی‌نهایت می‌باشد. در صورتی که $P_i$ برابر با یک باشد نشان‌دهنده برابر بودن تمامی مقادیر برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. بنا بر این، هرچه مقدار این شاخص از یک فاصله کمتر باشد، دقت مقادیر برآوردشده کمتر و کارآیی مدل کمتر می‌باشد.

۱۰- شاخص توافق (d)[10]:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|P_i - O_i\right|}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|P_i - \overline{O}_i\right| + \left|O_i - \overline{O}_i\right|\right)} \qquad (۱۱)$$

شاخص توافق در محدوده صفر تا یک می‌تواند تغییر نماید، هرچه مقدار عددی این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد، دقت مدل بیشتر خواهد بود.

1- Root of Mean Square Error
2- Mean of Bios Error
3- Mean of AbsoluteRelativeError
4- Normalized Mean Square Error
5- General Standard Deviation
6- VariationCoefficient
7- Difference Ratio
8- Relative Mean Error
9- EfficiencyRatioImproved
10- Index of Agreement

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

۱۱- ضریب تعیین ($R^2$)[1]:

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(O_i - \overline{O_i}\right)\left(P_i - \overline{P_i}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(O_i - \overline{O_i}\right)^2 \sum_{i=1}^{n} \left(P_i - \overline{P_i}\right)^2}} \right]^2 \qquad (۱۲)$$

مقدار بهینه این شاخص آماری یک می‌باشد، به عبارتی هرچه مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد مدل از صحت بیشتری برخوردار خواهد بود و نشان می‌دهد که رابطه بدست آمده صحیح‌تر است. بر عکس هرچه این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که رابطه استخراج شده از صحت کمتری برخوردار می‌باشد.

۱۲- معیار ناش-ساتکلیف ($C_{NS}$)[2]:

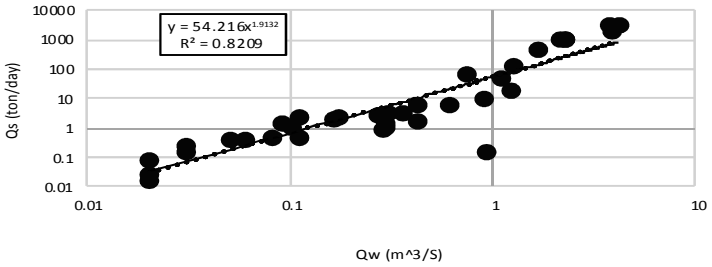
$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O_i})^2} \qquad (۱۳)$$

هرچه مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، مدل مورد نظر از کارآیی بیشتری برخوردار است.

پس از محاسبه هر یک از شاخص‌های آماری و در هر یک از مدل‌ها و یا زیر مدل‌ها، به هر یک از این مدل‌ها یا زیر مدل‌ها بر اساس مطلوبیت شاخص مورد نظر امتیاز تعلق گرفت. از آنجا که در مورد هر ایستگاه در مجموع ۷ معادله سنجه رسوب (شامل ۱ معادله برای مدل کلی (مدل ) و ۶ معادله برای هر یک از مدل‌های مربوط به هیدرولوژیکی، پوشش‌گیاهی و اقلیمی (هر مدل ۲ معادله)) مورد بررسی قرار گرفت، از این رو، هر یک از معادلات بر اساس شاخص خطاسنجی امتیازی بین ۱ تا ۷ را به خود اختصاص دادند. امتیاز ۷ به معادله‌ای داده شد که آن معادله بر اساس شاخص آماری مورد نظر بهترین نتیجه را در برآورد مقدار بار معلق رسوب داشته است و به همین ترتیب از امتیاز ۷ به امتیاز ۱ از کارآیی معادله مورد نظر (دقت و یا صحت) بر اساس شاخص خطاسنجی کاسته می‌شود. طبق امتیازبندی انجام شده مناسب‌ترین مدل از طرف تمامی معیارهای خطاسنجی، ظرفیت کسب ۸۴ امتیاز (۱۲ معیار خطاسنجی ضربدر بالاترین امتیاز که ۷ است) را خواهد داشت، از طرف دیگر در صورتی که معادله‌ای (معادله سنجه رسوب برای یک دسته) بر اساس تمامی معیارهای خطاسنجی نامناسب‌ترین معادله تشخیص داده شود، در این صورت امتیاز ۱۲ را کسب خواهد نمود. (۱۲ معیار خطاسنجی ضربدر پایین‌ترین امتیاز هر معیار که ۱ بوده است). بنا بر این امتیاز هر معادله سنجه رسوب بین ۱۲ تا ۸۴ می‌تواند تعیین شود.

## نتایج و بحث

همان‌گونه که بیان شد پس از دسته‌بندی داده‌های دبی و رسوب معلق اندازه‌گیری شده بر اساس مدل‌های A تا D، معادله سنجه رسوب با برازش مناسب‌ترین خط در مقیاس لگاریتمی از بین نقاط برای هر یک از دسته‌ها (مدل یا زیر مدل‌ها) تعیین گردید (جدول ۲). شکل ۲ منحنی سنجه‌رسوب زیرمدل (دسته) ماه‌های فاقد پوشش گیاهی از مدل پوشش گیاهی (مدل C) در ایستگاه هیدرومتری گلستان جاغرق را نشان می‌دهد.




شکل ۲- منحنی سنجه‌رسوب زیر مدل ماه‌های فاقد پوشش گیاهی از مدل پوشش گیاهی در ایستگاه هیدرومتری گلستان جاغرق
Figure 2. Sediment Rating Curve for "sub-model of months without of vegetation" from the vegetations model in hydrometric station of Golestan Jagharq

بیش‌ترین $R^2$ با مقدار ۰/۸۴ برای زیر مدل (دسته) مربوط به ماه‌های کم آب از مدل هیدرولوژیکی (مدل D) در ایستگاه هیدرومتری گلستان جاغرق و کم‌ترین ضریب $R^2$ با مقدار ۰/۰۲ برای زیر مدل مربوط به ماه‌های کم آب از مدل هیدرولوژیکی (مدل D) در ایستگاه هیدرومتری حصار دهبار بدست آمده‌است (جدول ۲).

همانگونه که بیان شد از معادلات ۲ تا ۱۳ به عنوان شاخص‌های خطاسنجی استفاده شد تا مدل‌های برتر انتخاب شوند. مقادیر مربوط به شاخص‌های آماری استفاده‌شده برای هریک از مدل‌های برآورد مقدار رسوب معلق به طور خلاصه و به تفکیک دسته‌بندی داده‌ها و بر اساس نام ایستگاه مورد بررسی در جدول‌های ۳ تا ۸ ارائه شده‌است. همانگونه که بیان شد با توجه به مقدار هر یک از شاخص‌های خطاسنجی در هر یک از زیر مدل‌ها (دسته‌ها) به آن‌ها امتیازی بین ۱ تا ۷ داده شد. به عنوان نمونه مقادیر امتیازات کسب شده هر مدل توسط معیارهای خطاسنجی برای دو ایستگاه گلستان و جاغرق در جدول ۹ ارائه شده است.

1- CorrelationCoefficien
2- Nash Satklyf Criterion

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

جدول ۲- مقادیر ضرایب معادلات سنجه رسوب (a و b) و ضریب تعیین ($R^2$) این معادلات در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی
Table 2. Coefficients of sediment rating equations (a and b) and coefficient of determination ($R^2$) of the equations for the studied hydrometric stations

| ایستگاه هیدرومتری | نام مدل | نام زیر مدل (دسته) | ضریب a | ضریب b | ضریب $R^2$ | ایستگاه هیدرومتری | نام مدل | نام زیر مدل (دسته) | ضریب a | ضریب b | ضریب $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| موشنگ | A | سالیانه | ۲۱/۶۰۱ | ۱/۰۹۸۴ | ۰/۶۶ | سراسیاب شاندیز | A | سالیانه | ۲۱/۰۵۷ | ۲/۱۳۷۳ | ۰/۷۶ |
| | B | ماه‌های مرطوب | ۲۸/۸۲ | ۱/۱۱۵۶ | ۰/۷۲ | | B | ماه‌های مرطوب | ۲۱/۶۰۸ | ۲/۱۴۱۶ | ۰/۷۷ |
| | | ماه‌های خشک | ۱/۴۳۳۲ | ۰/۶۰۵۶ | ۰/۳۱ | | | ماه‌های خشک | ۱۲/۹۴۴ | ۱/۹۲۰۹ | ۰/۶۱ |
| | C | ماه‌های دارای پوشش | ۳۰/۲۸۸ | ۱/۰۶۰۱ | ۰/۶۸ | | C | ماه‌های دارای پوشش | ۱۷/۳۷۵ | ۲/۳۱۹۸ | ۰/۷ |
| | | ماه‌های فاقد پوشش | ۳/۸۴۴۴ | ۰/۸۶۰۴ | ۰/۵۱ | | | ماه‌های فاقد پوشش | ۲۲/۵۱۲ | ۲/۰۱۸۲ | ۰/۷۸ |
| | D | ماه‌های پرآب | ۲۸/۷۹۵ | ۱/۰۹۵۵ | ۰/۶۹ | | D | ماه‌های پرآب | ۱۶/۱۵۷ | ۲/۴۳۱۹ | ۰/۷۳ |
| | | ماه‌های کم آب | ۰/۵۹۱۲ | ۰/۳۸۳۷ | ۰/۲۰ | | | ماه‌های کم آب | ۱۳/۱۲۶ | ۱/۵۷۷۹ | ۰/۶۲ |
| گلمکان | A | سالیانه | ۵/۷۵۱۷ | ۰/۸۰۰۱ | ۰/۳۲ | گلستان .غ.غرق | A | سالیانه | ۴۶/۹۳۸ | ۲/۰۱۴۹ | ۰/۶۸ |
| | B | ماه‌های مرطوب | ۸/۳۶۸۲ | ۰/۸۷۵۵ | ۰/۳۸ | | B | ماه‌های مرطوب | ۴۶/۹۹۳ | ۲/۰۴۵۶ | ۰/۶۷ |
| | | ماه‌های خشک | ۰/۴۰۶۲ | ۰/۲۶۰۱ | ۰/۰۵ | | | ماه‌های خشک | ۲/۳۴۰۷ | ۲/۶۰۴۲ | ۰/۵۳ |
| | C | ماه‌های دارای پوشش | ۱۱/۶۳۶ | ۰/۷۸۱۹ | ۰/۴۲ | | C | ماه‌های دارای پوشش | ۴۲/۹۰۸ | ۲/۲۳۰۴ | ۰/۵۸ |
| | | ماه‌های فاقد پوشش | ۰/۱۶۸۸ | ۰/۱۷۱۵ | ۰/۰۶ | | | ماه‌های فاقد پوشش | ۵۱/۲۱۶ | ۱/۹۱۳۲ | ۰/۸۲ |
| | D | ماه‌های پرآب | ۱۲/۵۵۸ | ۰/۸۷۷۲ | ۰/۴۴ | | D | ماه‌های پرآب | ۴۵/۵۶۵ | ۲/۱۹۲۴ | ۰/۶۲ |
| | | ماه‌های کم آب | ۰/۱۵۴۲ | ۰/۱۵۷۲ | ۰/۰۶ | | | ماه‌های کم آب | ۱۶/۳ | ۱/۴۱۶۵ | ۰/۸۴ |
| دولت آباد خرم دره | A | سالیانه | ۱۸/۰۸۴ | ۰/۹۷۴۵ | ۰/۴۶ | حصار دهبار | A | سالیانه | ۳۵/۰۶۱ | ۰/۹۴ | ۰/۵۳ |
| | B | ماه‌های مرطوب | ۲۱/۷۶۷ | ۰/۹۰۴۳ | ۰/۴۷ | | B | ماه‌های مرطوب | ۳۴/۵۴۴ | ۸/۹۲۰ | ۰/۵۳ |
| | | ماه‌های خشک | ۱/۵۳۷۲ | ۰/۹۴۸۳ | ۰/۴۷ | | | ماه‌های خشک | ۱/۹۰۵۳ | /۸۳۸۷ | ۰/۷۷ |
| | C | ماه‌های دارای پوشش | ۲۷/۶۰۶ | ۰/۹۷۴۴ | ۰/۵۴ | | C | ماه‌های دارای پوشش | ۳۸/۷۱۲ | ۰/۹۴۴۲ | ۰/۵۷ |
| | | ماه‌های فاقد پوشش | ۱/۶۷۳۲ | ۰/۷۲۱۵ | ۰/۱۹ | | | ماه‌های فاقد پوشش | ۳۹/۳۸۲ | ۰/۸۴۴۶ | ۰/۳۴ |
| | D | ماه‌های پرآب | ۲۷/۴۲۷ | ۰/۹۲۷۳ | ۰/۵۲ | | D | ماه‌های پرآب | ۳۹/۱۰۹ | ۰/۹۱۸۵ | ۰/۵۶ |
| | | ماه‌های کم آب | ۲/۰۵۶۹ | ۰/۸۷۰۲ | ۰/۳۱ | | | ماه‌های کم آب | ۰/۴۸۰۶ | ۰/۲۳۲۹ | ۰/۰۲ |

نتایج حاصل از معیارهای خطاسنجی پس از بررسی و امتیازدهی به مدل‌ها در جدول ۱۰ ارائه شده است. همانگونه که بیان شد میزان امتیاز هر معادله بین ۱۲ (نامناسب‌ترین معادله بر اساس تمامی شاخص‌های خطاسنجی) تا ۸۴ (مناسب‌ترین معادله بر اساس تمامی شاخص‌های خطاسنجی) می‌تواند محاسبه شود. این دو حالت برای هیچ‌یک از دسته‌ها رخ نداده است. در نهایت از حاصل‌جمع امتیازات کسب‌شده معیارهای خطاسنجی برای زیر مدل، مدل‌های بهینه برای هر یک از ایستگاه‌ها با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ تعیین گردید. همانگونه که در جدول ۱۰ و شکل ۳ ملاحظه می‌گردد، مدل‌هایی که با دسته‌بندی داده‌ها تهیه شده‌اند، از امتیازات بالاتری نسبت به مدل سالیانه (بدون دسته‌بندی داده) برخوردار هستند.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

نتایج حاصل از شاخص‌های آماری برای ایستگاه هیدرومتری دولت‌آباد خرم‌دره و موشنگ نشان می‌دهد که مدل اقلیمی دارای کمترین خطا می‌باشد. علت این امر می‌تواند در ارتباط با وضعیت اقلیمی این حوزه‌ها باشد. این دو حوزه در رده حوزه‌های مرتفع و کوهستانی منطقه می‌باشند که دارای شیب نسبتا زیاد و پوشش گیاهی نسبتا کم می‌باشند. در ایستگاه‌های هیدرومتری گلمکان، سراسیاب شاندیز، گلستان جاغرق و حصار دهبار نتایج نشان می‌دهد که مدل وضعیت هیدرولوژیکی دارای بیشترین اعتبار از نظر معیارهای خطاسنجی می‌باشد (جدول ۱۰). علت این امر، تاحدی به آبدهی پائین این حوزه‌ها و سیلابی بودن آن‌ها بر می‌گردد. در مدل مربوط به وضعیت پوشش گیاهی برای هر شش ایستگاه مورد مطالعه، نتایج نشان می‌دهد که مقادیر برآوردی رسوب معلق برای زیر مدل مربوط به ماه‌های فاقد پوشش گیاهی از خطای کمتری برخوردار است. بررسی نتایج حاصل از مدل اقلیمی نشان می‌دهد که تقریبا زیر مدل ماه‌های خشک در این مدل نیز از خطای کمتری در برآورد میزان رسوب معلق برخوردار است. نتایج حاصل از زیر مدل ماه‌های کم‌آب متعلق به مدل وضعیت هیدرولوژیکی نیز نشان می‌دهد که مقادیر برآوردی رسوب معلق دارای خطای کمتری بوده است. دلایل مربوط به برآورد دقیق‌تر سه زیر مدل ماه‌های خشک، ماه‌های کم آب و همچنین ماه‌های فاقد پوشش گیاهی این می‌باشد که دبی جریان در این ماه‌ها تغییرات زیادی را از خود نشان نمی‌دهد و رودخانه در این ماه‌ها عموماً غیر سیلابی و دارای دبی پایه کمی می‌باشند. به عبارتی نتایج مدل‌ها که در آن داده‌ها به دو دسته تقسیم شده‌اند، نشان می‌دهد که میزان خطای برآورد انتقال رسوب در ماه‌های مرطوب و یا پرآب که به طور کلی جریان‌های سیلابی بیشتری رخ می‌دهند و بارندگی بیشتر است، نسبت به ماه‌های غیرسیلابی بیشتر بوده است. به عبارت دیگر، در ماه‌های غیرسیلابی دبی جریان کم بوده و اغلب در حالت پایه می‌باشد و تاثیرپذیری رسوب انتقالی از دبی بیشتر است (خطای بر آورد رسوب بر اساس دبی کمتر می باشد). اما در مقابل در ماه‌های سیلابی و یا مرطوب، مقدار رسوب انتقالی علاوه بر دبی از عوامل دیگر، مانند مقدار و شدت بارندگی نیز تاثیرپذیری زیادی دارد و در نتیجه خطای مدل افزایش می‌یابد.

جدول ۳- مقادیر آماره‌های خطاسنجی در مدل‌های مختلف تعیین منحنی سنجه‌رسوب ایستگاه موشنگ

Table 3. The values of errors criteria for various models of sediment rating curves in Moushang station

| نام مدل | نام زیر مدل (دسته) | RMSE (ton/day) | MBE (ton/day) | MARE (-) | NMSE (-) | GSD (-) | cv (%) | r (-) | RE (%) | E (-) | d (-) | R (-) | CNS (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | سالیانه | ۱۲۸۴/۵۷ | ۳۱۹/۰۲ | ۳/۶۶ | ۱۹۳/۸۸ | ۲۵/۹۷ | ۱۸۰.۴۶ | ۰/۱۴ | ۶۴۱/۸۲ | ۰/۴۵ | ۰/۰۴ | ۰/۶۲ | -۰/۱۴ |
| B | ماه‌های مرطوب | ۱۳۶۹/۵۸ | ۳۸۶/۷۴ | ۳/۵۷ | ۱۱۶/۰۷ | ۱۷/۷۲ | ۱۷۰/۹۸ | ۰/۱۹ | ۳۸۰/۸۴ | ۰/۴ | ۰/۰۷ | ۰/۶۲ | -۰/۱۰ |
| | ماه‌های خشک | ۵/۷۴ | ۲/۱۲ | ۴/۴۲ | ۹۹۱۱۲/۸۳ | ۷/۹۹ | ۱۱۶/۲۶ | ۰/۲۹ | ۴۳۹/۶۵ | ۰/۹۹ | ۰/۹۸ | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ |
| C | ماه‌های دارای پوشش | ۱۴۲۶/۰۷ | ۳۹۰/۰۳ | ۳/۸۲ | ۱۵۰/۸۳ | ۱۸/۰۱ | ۱۵۷/۱۶ | ۰/۱۸ | ۴۲۱/۶۵ | ۰/۳۷ | ۰/۰۶ | ۰/۵۹ | -۰/۱۲ |
| | ماه‌های فاقد پوشش | ۶۷۳/۰۲ | ۱۰۵/۱۴ | ۶/۳۳ | ۱۷۸۱۱/۹۲ | ۲۸۶/۸۵ | ۲۱۹/۸۸ | ۰/۰۲ | ۳۷۱/۷۵ | ۰/۷ | ۰/۳۸ | ۰/۳۶ | ۰/۰۴ |
| D | ماه‌های پرآب | ۱۳۹۱/۳۷ | ۳۸۰/۴۵ | ۳/۷۲ | ۱۳۱/۸۸ | ۱۷/۹۲ | ۱۶۲/۷۹ | ۰/۱۹ | ۳۶۴/۷۰ | ۰/۳۹ | ۰/۰۶ | ۰/۶۱ | -۰/۱۱ |
| | ماه‌های کم آب | ۳/۳۲ | ۰/۸۳ | ۲/۵۱ | ۱۷۰۸۰۰۶/۳۲ | ۱۳/۵۹ | ۸۲/۸۵ | ۰/۲۶ | ۲۰۳/۴۳ | ۰/۹۷ | ۰/۹۶ | ۰/۹۸ | ۰/۹۷ |

جدول ۴- مقادیر آماره‌های خطاسنجی در مدل‌های مختلف تعیین منحنی سنجه‌رسوب ایستگاه گلمکان

Table 4. The values of errors criteria for various models of sediment rating curves in Golmakan station

| نام مدل | نام زیر مدل (دسته) | RMSE (ton/day) | MBE (ton/day) | MARE (-) | NMSE (-) | GSD (-) | cv (%) | r (-) | RE (%) | E (-) | d (-) | R (-) | CNS (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | سالیانه | ۹۸/۳۶ | ۲۵/۹۷ | ۹/۳۱ | ۱۱۵۷/۷۱ | ۳۹/۲۶ | ۱۱۳/۲۲ | ۰/۰۹ | ۵۵۷/۵۸ | ۰/۳۹ | ۰/۱۸ | ۰/۴۷ | -۰/۰۴ |
| B | ماه‌های مرطوب | ۱۰۳/۴۷ | ۲۸/۴۴ | ۷/۹ | ۵۲۵/۵۹ | ۲۸/۸۱ | ۱۲۴/۰۱ | ۰/۱۲ | ۵۳۸/۵۷ | ۰/۳۶ | ۰/۱۶ | ۰/۵ | -۰/۰۳ |
| | ماه‌های خشک | ۳/۲۶ | ۱/۵۴ | ۹/۲۹ | ۷۱۱/۲۱ | ۱۲/۵۷ | ۵۰/۰۲ | ۰/۱۶ | ۳۰۷/۸۳ | ۰/۵۴ | ۰/۷۶ | -۰/۳۴ | ۰/۱۱ |
| C | ماه‌های دارای پوشش | ۱۰۷/۰۵ | ۳۰/۸۸ | ۶/۴۵ | ۲۷۰/۴۴ | ۱۹/۹۲ | ۱۲۰/۴۰ | ۰/۱۶ | ۵۲۲/۳۴ | ۰/۳۳ | ۰/۱۴ | ۰/۴۸ | -۰/۰۱ |
| | ماه‌های فاقد پوشش | ۰/۱۲ | ۰/۰۹ | ۰/۷۴ | ۱۶۰۰۰/۴۴ | ۰/۹۷ | ۲۰/۳۵ | ۰/۷۵ | ۹۰/۴۸ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۸ | ۰/۹۷ |
| D | ماه‌های پرآب | ۱۰۸/۴۲ | ۳۱/۷۵ | ۶/۲۲ | ۲۳۳/۳۰ | ۱۸/۲۶ | ۱۱۹/۰۹ | ۰/۱۷ | ۴۷۶/۷۹ | ۰/۳۲ | ۰/۱۴ | ۰/۴۸ | -۰/۰۱ |
| | ماه‌های کم آب | ۰/۱۲ | ۰/۰۹ | ۰/۷۴ | ۲۰۰۰۱/۹۵ | ۱/۰۳ | ۱۹/۹۲ | ۰/۷۴ | ۸۵/۸۹ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۹ | ۰/۹۶ |

جدول ۵- مقادیر آماره‌های خطاسنجی در مدل‌های مختلف تعیین منحنی سنجه‌رسوب ایستگاه دولت آباد خرم دره

Table 5. The values of errors criteria for various models of sediment rating curves in Dolatabad Khoramdare station

| نام مدل | نام زیر مدل (دسته) | RMSE (ton/day) | MBE (ton/day) | MARE (-) | NMSE (-) | GSD (-) | cv (%) | r (-) | RE (%) | E (-) | d (-) | R (-) | CNS (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | سالیانه | ۲۶۲/۹ | ۶۸/۱۷ | ۶/۳۱ | ۴۶۱/۶۴ | ۲۱/۴۶ | ۱۱۲/۶۶ | ۰/۱۵ | ۸۸۱/۴۹ | ۰/۳۹ | ۰/۱۸ | ۰/۴۴ | -۰/۰۲ |
| B | ماه‌های مرطوب | ۲۷۷/۶۸ | ۷۶/۰۸ | ۵/۱۱ | ۳۷۲/۷۰ | ۱۹/۹۹ | ۱۰۲/۴۷ | ۰/۱۷ | ۶۵۶/۷۶ | ۰/۳۴ | ۰/۱۵ | ۰/۴۳ | -۰/۰۲ |
| | ماه‌های خشک | ۱/۰۵ | ۰/۵۵ | ۱/۹۱ | ۶۶۳/۴۲ | ۳/۲۹ | ۱۲۰/۲۶ | ۰/۴۲ | ۳۳۹/۴۵ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ |
| C | ماه‌های دارای پوشش | ۲۸۶/۵۳ | ۸۱/۰۸ | ۴/۹۴ | ۱۲۰/۷۵ | ۱۵/۴۴ | ۱۰۶/۰۶ | ۰/۲۱ | ۴۶۳/۶۷ | ۰/۳۲ | ۰/۱۴ | ۰/۴۳ | -۰/۰۱ |
| | ماه‌های فاقد پوشش | ۱/۹۸ | ۱/۳۰ | ۲/۰۱ | ۷۷۶/۴۳ | ۳/۵۶ | ۶۱.۰۸ | ۰/۳۶ | ۴۹۵/۱۴ | ۰/۸۶ | ۰/۹۳ | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ |
| D | ماه‌های پرآب | ۲۹۰/۵۵ | ۸۳/۴۲ | ۴/۶۵ | ۲۳۴/۱۰ | ۱۵/۵۱ | ۱۰۰/۸۶ | ۰/۲۰ | ۳۶۶/۱۶ | ۰/۳۱ | ۰/۱۳ | ۰/۴۲ | -۰/۰۱ |
| | ماه‌های کم آب | ۱/۸۳ | ۱/۱۶ | ۲/۱۲ | ۵۳۱/۲۸ | ۳/۵۴ | ۸۰/۶۶ | ۰/۳۷ | ۴۸۴/۵۴ | ۰/۸۸ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۶ |

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

جدول ۶- مقادیر آماره‌های خطاسنجی در مدل‌های مختلف تعیین منحنی سنجه‌رسوب ایستگاه سراسیاب شاندیز

Table 6. The values of errors criteria for various models of sediment rating curves in Sarasiyab Shandiz station

| نام مدل | نام زیر مدل (دسته) | RMSE (ton/day) | MBE (ton/day) | MARE (-) | NMSE (-) | GSD (-) | cv (%) | r (-) | RE (%) | E (-) | d (-) | R (-) | CNS (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | سالیانه | /۱۴۳۳۸/۷ | ۱۶۹۳/۳ | ۳/۴۸ | ۹۲.۳ | ۳۹/۲۸ | ۲۷۹/۵۶ | ۰/۲۳ | ۴۰۲/۶۴ | ۰/۴۸ | ۰/۰۷ | ۰/۲۱ | ۰/۰۲ |
| B | ماه‌های مرطوب | ۱۴۷۴۱/۹ | ۱۷۷۱/۶ | ۳/۵۰ | ۹۰.۱ | ۲۸/۱۱ | ۲۷۷/۹ | ۰/۲۴ | ۳۸۳/۹۲ | ۰/۴۷ | ۰/۰۷ | ۰/۲۱ | ۰/۰۲ |
| | ماه‌های خشک | ۶۱۰/۸ | ۲۴۰/۴ | ۷۲/۳۲ | ۱۶۳/۴ | ۱۵/۳۱ | ۲۷۴/۴ | ۰/۱۴ | ۳۳۵/۴۷ | ۰/۸۳ | ۰/۹۵ | ۰/۹۷ | ۰/۸۱ |
| C | ماه‌های دارای پوشش | ۱۷۲۳۹/۷ | ۲۱۹۰/۹ | ۴/۴۷ | ۶۶/۴ | ۲۵/۷۷ | ۳۱۸/۹ | ۰/۲۶ | ۳۵۵/۳۵ | ۰/۳۹ | ۰/۰۸ | ۰/۱۸ | ۰/۰۲ |
| | ماه‌های فاقد پوشش | ۲۰۷۱/۸ | ۶۶۹/۴ | ۱/۸۰ | ۱۲/۲ | ۶/۹۲ | ۲۶۶/۴۳ | ۰/۳۲ | ۴۴۶/۳۰ | ۰/۶۶ | ۰/۷۳ | ۰/۹۷ | ۰/۴۵ |
| D | ماه‌های پرآب | ۱۵۸۶۲/۱ | ۲۰۴۲/۵ | ۳/۷۹ | ۳۴/۷ | ۱۸/۳۶ | ۳۱۳/۴۲ | ۰/۳۴ | ۳۳۳/۲۵ | ۰/۴۲ | ۰/۱۱ | ۰/۱۹ | ۰/۰۲ |
| | ماه‌های کم آب | ۳۵۳/۴ | ۷۸/۴ | ۲/۰۳ | ۷۷۶/۶۴ | ۱۹/۶۹ | ۲۹۴/۷ | ۰/۲ | ۴۲۲/۸۳ | ۰/۹۵ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ |

جدول ۷- مقادیر آماره‌های خطاسنجی در مدل‌های مختلف تعیین منحنی سنجه‌رسوب ایستگاه گلستان جاغرق

Table 7. The values of errors criteria for various models of sediment rating curves in Golestan Jagharq station

| نام مدل | نام زیر مدل (دسته) | RMSE (ton/day) | MBE (ton/day) | MARE (-) | NMSE (-) | GSD (-) | cv (%) | r (-) | RE (%) | E (-) | d (-) | R (-) | CNS (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | سالیانه | ۹۹۹/۴۱ | ۳۲۳/۸ | ۲/۸۷ | ۲۲/۱۹ | ۶/۹۵ | ۱۷۱/۷ | ۰/۳۳ | ۱۱۱۰/۹ | ۰/۴۵ | ۰/۵۱ | ۰/۸۸ | ۰/۲۶ |
| B | ماه‌های مرطوب | ۹۹۸/۲۵ | ۳۲۶/۸ | ۲/۹۱ | ۲۰/۲۴ | ۶/۵۸ | ۱۷۲/۱ | ۰/۳۴ | ۱۱۳۲/۲ | ۰/۴۵ | ۰/۵۳ | ۰/۸۸ | ۰/۲۸ |
| | ماه‌های خشک | ۱۰۱۰/۹۶ | ۳۳۹/۲ | ۴۳/۹۸ | ۹۳۰/۶ | ۷/۵۹ | ۳۱۰/۰۱ | ۱/۱۵ | ۱۱۸۹/۳ | ۰/۴ | ۰/۵۲ | ۰/۷۹ | ۰/۲۲ |
| C | ماه‌های دارای پوشش | ۱۰۱۰/۴۸ | ۳۲۲/۱ | ۳/۹۱ | ۱۴/۳۰ | ۵/۵ | ۱۸۰/۲۵ | ۰/۴ | ۱۱۲۹/۲ | ۰/۴۲ | ۰/۵۸ | ۰/۸۸ | ۰/۳۵ |
| | ماه‌های فاقد پوشش | ۷۰۱/۵۵ | ۲۷۰/۱ | ۱/۳۰ | ۱۷/۳۲ | ۷/۲۲ | ۲۱۳/۴۸ | ۰/۲۷ | ۹۱۴/۹ | ۰/۴۱ | ۰/۵۵ | ۰/۹۷ | ۰/۳۴ |
| D | ماه‌های پرآب | ۹۷۶/۹۸ | ۳۳۱/۹۲. | ۳/۲۹ | ۱۳/۸۵ | ۵/۳۴ | ۱۷۷/۴۷ | ۰/۳۸ | ۱۱۷۱/۸ | ۰/۴۵ | ۰/۵۹ | ۰/۸۹ | ۰/۳۵ |
| | ماه‌های کم آب | ۱/۳۹ | ۰۱/۸۱ | ۰/۶۹ | ۱۰۷۹/۹ | ۰/۷۳ | ۲۱۰/۹۴ | ۱/۱۷ | ۷۸/۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ |

جدول ۸- مقادیر آماره‌های خطاسنجی در مدل‌های مختلف تعیین منحنی سنجه‌رسوب ایستگاه حصار دهبار

Table 8. The values of errors criteria for various models of sediment rating curves in Hesar Dehbar station

| نام مدل | نام زیر مدل (دسته) | RMSE (ton/day) | MBE (ton/day) | MARE (-) | NMSE (-) | GSD (-) | cv (%) | r (-) | RE (%) | E (-) | d (-) | R (-) | CNS (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | سالیانه | ۴۹۹/۰۲ | ۱۴۴/۷ | ۳/۰۹ | ۱۳۴/۶۰ | ۱۸/۹۰ | ۱۶۷/۵۶ | ۰/۱۶ | ۷۴۵/۵۱ | ۰/۴۵ | ۰/۲۵ | ۰/۷۶ | ۰/۰۵ |
| B | ماه‌های مرطوب | ۵۰۹/۰۱ | ۱۴۹/۹۴ | ۳/۰۷ | ۱۴۸/۰۹ | ۱۹/۲۵ | ۱۶۱/۸۷ | ۰/۱۶ | ۷۱۶/۵۷ | ۰/۴۳ | ۰/۲۴ | ۰/۷۵ | ۰/۰۵ |
| | ماه‌های خشک | ۵۱۵/۴۹ | ۱۵۳/۹۹ | ۵/۳۲ | ۵۱۲۵/۳ | ۴۵/۱۶ | ۲۳۲/۱۴ | ۰/۱ | ۸۱۰/۳۶ | ۰/۳۶ | ۰/۲۳ | ۰/۷۳ | ۰/۰۱ |
| C | ماه‌های دارای پوشش | ۵۲۶/۹۷ | ۱۵۴/۹۹ | ۲/۷۷ | ۱۱۶/۹۲ | ۱۶/۳۲ | ۱۵۵/۸۶ | ۰/۱۹ | ۶۶۳/۶۵ | ۰/۳۹ | ۰/۲۲ | ۰/۷۳ | ۰/۰۶ |
| | ماه‌های فاقد پوشش | ۳۸۱/۹۷ | ۱۱۰/۷۵ | ۴/۸۶ | ۴۱۲/۸۲ | ۴۴/۵۳ | ۲۲۱/۱۴ | ۰/۰۷ | ۷۹۹/۶۸ | ۰/۳۳ | ۰/۱۱ | ۰/۹۰ | ۰/۰۲ |
| D | ماه‌های پرآب | ۵۱۵/۲۹ | ۱۵۵/۰۴ | ۲/۷۷ | ۱۱۷/۱۹ | ۱۶/۶۵ | ۱۵۸/۵ | ۰/۱۸ | ۶۹۵/۸ | ۰/۴۲ | ۰/۲۴ | ۰/۷۵ | ۰/۰۶ |
| | ماه‌های کم آب | ۵/۵۵ | ۱/۹۹ | ۸/۸۲ | ۵۹۴۹۸۲/۵ | ۲۳/۹۴ | ۳۱/۳۱ | ۰/۱۱ | ۳۲۰/۷۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۹۹ |

جدول ۹- مقادیر امتیازات کسب شده هر مدل توسط آماره‌های خطاسنجی در ایستگاه‌های هیدرومتری گلستان جاغرق و گلمکان

Table 9. The amounts of points gained by each models according to errors criteria in hydrometric stations of Golestan Jagharq and Golmakan

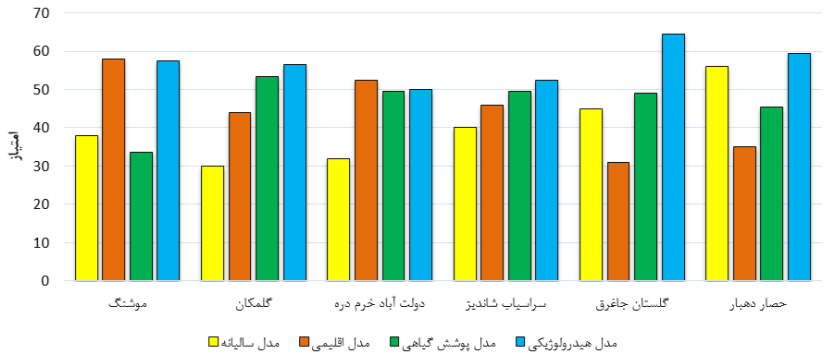
| نام ایستگاه | نام مدل | نام زیر مدل (دسته) | RMSE | MBE | MARE | NMSE | GSD | Cv | r | RE | E | d | R | CNS | مجموع امتیازات / متوسط |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گلستان جاغرق | A | سالیانه | ۳ | ۴ | ۵ | ۳ | ۳ | ۷ | ۲ | ۵ | ۶ | ۱ | ۴ | ۲ | ۴۵ |
| | B | ماه‌های مرطوب | ۴ | ۳ | ۴ | ۴ | ۴ | ۶ | ۱ | ۳ | ۵ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳۱ |
| | | ماه‌های خشک | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۷ | ۱ | ۱ | ۲ | ۱ | ۱ | |
| | C | ماه‌های دارای پوشش | ۲ | ۵ | ۲ | ۶ | ۵ | ۴ | ۵ | ۴ | ۳ | ۵ | ۲ | ۵ | ۴۹ |
| | | ماه‌های فاقد پوشش | ۶ | ۶ | ۶ | ۵ | ۲ | ۲ | ۱ | ۶ | ۲ | ۴ | ۶ | ۴ | |
| | D | ماه‌های کم آب | ۷ | ۷ | ۷ | ۲ | ۷ | ۳ | ۶ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۶۴.۵ |
| | | ماه‌های پرآب | ۵ | ۲ | ۴ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۲ | ۶ | ۴ | ۵ | ۶ | |
| گلمکان | A | سالیانه | ۴ | ۴ | ۱ | ۳ | ۴ | ۴ | ۱ | ۱ | ۴ | ۴ | ۲ | ۱ | ۳۰ |
| | B | ماه‌های مرطوب | ۳ | ۳ | ۳ | ۵ | ۲ | ۱ | ۲ | ۲ | ۳ | ۳ | ۵ | ۲ | ۴۴ |
| | | ماه‌های خشک | ۵ | ۵ | ۵ | ۴ | ۵ | ۵ | ۴ | ۵ | ۵ | ۵ | ۱ | ۵ | |
| | C | ماه‌های دارای پوشش | ۲ | ۲ | ۲ | ۶ | ۳ | ۲ | ۳ | ۳ | ۲ | ۲ | ۴ | ۳ | ۵۳.۵ |
| | | ماه‌های فاقد پوشش | ۶ | ۶ | ۶ | ۲ | ۷ | ۶ | ۷ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | |
| | D | ماه‌های کم آب | ۷ | ۷ | ۶ | ۱ | ۶ | ۷ | ۶ | ۷ | ۷ | ۷ | ۶ | ۷ | ۵۶.۵ |
| | | ماه‌های پرآب | ۱ | ۱ | ۵ | ۷ | ۴ | ۳ | ۵ | ۴ | ۱ | ۱ | ۳ | ۴ | |

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

جدول ۱۰- مقادیر امتیازات کسب شده هر مدل توسط آماره‌های خطاسنجی برای ایستگاه‌های هیدرومتری
Table 10. The amounts of points gained by each model according to errors criteria for hydrometric stations

| نام مدل | مجموع امتیازات حاصل از ۱۲ معیارهای خطاسنجی | | | | | | میانگین امتیازات هر مدل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | موشنگ | گلمکان | دولت آبادخرم‌دره | سراسیاب شاندیز | گلستان جاغرق | حصار دهبار | |
| مدل سالیانه (A) | ۳۸ | ۳۰ | ۳۲ | ۴۰ | ۴۵ | ۵۶ | ۴۰/۱۷ |
| مدل اقلیمی (B) | ۵۸ | ۴۴ | ۵۲/۵ | ۴۶ | ۳۱ | ۳۵ | ۴۴/۴۱ |
| مدل پوشش گیاهی (C) | ۳۳/۵ | ۵۳/۵ | ۴۹/۵ | ۴۹/۵ | ۴۹ | ۴۵/۵ | ۴۶/۷۵ |
| مدل هیدرولوژیکی (D) | ۵۷/۵ | ۵۶/۵ | ۵۰ | ۵۲/۵ | ۶۴/۵ | ۵۹/۵ | ۵۶/۷۵ |




شکل ۳- هیستوگرام مقادیر امتیازات کسب شده هر مدل توسط آماره‌های خطاسنجی در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه
Figure 3. Histogram of the amounts of points gained according to statistical criteria for each studied models in hydrometric stations

همانگونه که بیان شد در این تحقیق به منظور تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق بر اساس معادله سنجه رسوب، در محدوده ۶ ایستگاه هیدرومتری از حوزه‌های آبخیز دشت مشهد، چهار مدل شامل مدل سالانه، اقلیمی، پوشش گیاهی و هیدرولوژیکی مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل، از ۱۲ شاخص خطاسنجی استفاده شد.

نتایج حاصل نشان داد که تفاوت خطای برآورد در سه مدل وضعیت هیدرولوژیکی، اقلیمی و پوشش گیاهی با یکدیگر نسبتا اندک می‌باشد، اما به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل وضعیت هیدرولوژیکی، مدل پوشش گیاهی و مدل اقلیمی به ترتیب بهترین نتایج را در برآورد مقادیر بار معلق داشته‌اند. بر عکس، مدل سالانه که در آن تنها از یک منحنی سنجه رسوب استفاده می‌شود، بیشترین خطای برآورد را به خود اختصاص می‌دهد و به عنوان ناکارآمدترین مدل شناخته شد. بنابراین، با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته و برآوردها، می‌توان چنین نتیجه گرفت که کلاسه‌بندی مناسب زمانی داده‌های دبی جریان و دبی رسوب معلق متناظر آن باعث افزایش دقت و کارایی مدل‌های رگرسیونی برآورد رسوب می‌گردد.

با جمع‌بندی نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف رگرسیون آماری در هر یک از مدل‌های مورد بررسی، می‌توان دریافت که منحنی سنجه‌رسوب بدون تفکیک نمودن زمانی داده‌ها به طور معمول با بیشترین مقدار خطا همراه است که این امر با نتایج تحقیقات والینگ و وب (۳۱)، پیری (۲۳)، مساعدی و همکاران (۱۸)، محمدی و همکاران (۱۷)، توماس (۳۰)، اسچمیت و مورچ (۲۷)، یوسفوند و همکاران (۳۳) و قورقی و همکاران (۵) همخوانی دارد ولی با نتایج لطیفی و حسن‌زاده (۱۱)، که با مقایسه روش‌های مختلف بار رسوب معلق رودخانه گاماسیاب، روش منحنی سنجه یک خطی را در مقایسه با کلاسه‌بندی دبی (منحنی رسوب چند خطی) به عنوان مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق معرفی کرده‌اند، همخوانی ندارد. در این تحقیق (تحقیق حاضر) به دلیل ضعف منحنی سنجه رسوب چند خطی از این منحنی استفاده نشده است و دسته‌بندی داده‌ها بر اساس زمان اندازه‌گیری رسوب انجام شده‌است. محققین دیگری هم به تفکیک داده‌ها بر اساس زمان اندازه‌گیری جریان و رسوب تاکید می‌نمایند (۲۳، ۳۳،۸،۱۰،۶،۲۶،۱۶). هرچند که نحوه دسته‌بندی داده‌ها در تحقیقات این محققین متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال پیری و همکاران (۲۹) مدل تفکیک داده‌ها براساس ماه‌های خشک و مرطوب را به عنوان مدل بهینه در حوزه امامه معرفی نمودند. در حالی‌که حیدر نژاد و همکاران (۶) تفکیک ماهانه داده‌ها را در حوزه‌های کرج و دز مناسب‌تر می‌دانند. در تحقیق حاضر در دو حوزه مرتفع و کوهستانی (حوزه‌های دولت‌آباد خرم‌دره و موشنگ) مدل اقلیمی به عنوان مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد. در حالی که در چهار حوزه دیگر که تقریبا در دشت قرار دارند مدل هیدرولوژیکی به عنوان مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد.

بر اساس آماره‌های خطاسنجی میزان خطای برآورد رسوب معلق بر اساس منحنی سنجه رسوب در ماه‌های خشک (از مدل اقلیمی)، ماه‌های کم‌آب (از مدل هیدرولوژیکی) و همچنین ماه‌های فاقد پوشش گیاهی (از مدل پوشش گیاهی) کمتر می‌باشد. به عبارت‌دیگر تاثیرپذیری رسوب معلق در این ماه‌ها از دبی رودخانه بسیار بیشتر است.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

در حالی که در ماه‌های مرطوب و یا پرآب که به طور کلی بارندگی بیشتر است و جریان‌های سیلابی بیشتری رخ می‌دهند، مقدار رسوب انتقالی علاوه بر دبی از عوامل دیگر، مانند مقدار و شدت بارندگی و وضعیت پوشش گیاهی نیز تاثیرپذیری زیادی دارد و در نتیجه خطای مدل افزایش می‌یابد.

در پایان پیشنهاد می‌شود که مدل‌های زمانی بهینه برآورد رسوب معلق در مناطقی با تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری بیشتر و شرایط آب و هوایی متفاوت و نیز در ارتباط با خصوصیات فیزیوگرافی و زمین‌شناسی متفاوت حوزه‌ها جهت رسیدن به الگوی کارآمد، مطالعه و تعیین گردد. به طوری‌که استفاده از این معادلات در برآورد بار رسوبی مناطق گوناگون ثمربخش واقع شود. همچنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات مشابه، در صورت امکان تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری بیشتری مورد بررسی قرار گیرد و در هر یک از ایستگاه‌ها پارامترهای مهم و موثر در دبی رسوب سالانه حوزه‌ها شناسایی شده و مدل‌های منطقه‌ای با کاربرد در سطح حوزه‌های وسیع‌تر تهیه گردد.

## تشکر و قدردانی

از حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد که امکانات انجام این تحقیق را فراهم نمودند و همچنین شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، در همکاری، مساعدت و در اختیار قرار دادن اطلاعات و آمار مربوطه تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

1. Alizadeh, A. 2015. Principles of Applied Hydrology. University of Imam Reza (AS) press. 35ed, 946 pp (In Persian).
2. Asselman, N.E.M 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology, 234: 228-248.
3. Balamurugan G. 1989. The use of suspended sediment rating curves in Malaysia: some preliminary considerations. Pertanika, 12: 367-376
4. Eshghi, P., J. Farzadmehr, M. Dastorani and Z. Arabasadi. 2016. The Effectiveness of Intelligent Models in Estimating the RiverSuspended Sediments (Case Study: Babaaman Basin, Northern Khorasan). Journal of Watershed Management Research, 7: 88-95 (In Persian).
5. Ghorghi, J.H., M. Habibnejad, K. Soleymani and A. Khaledi Darvishan. 2011. Examination of Solutions for enhancement of accuracy and precision of sediment rating curve in Telvar and Chamsur rivers located in Kordestan Province, Iran. 7th National Seminar on Watershed Management, Sciences and Engineering, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran,15 pp (In Persian)
6. Heydarnejad M., S. Golmaei, A. Mosaedi and M.Z. Ahmadi. 2004. Optimized sediment load estimation model (Case study: inlet and outlet of Karaj Hydrometric stations) Bulletin of Khazar Agricultural Sciences and Natural Recources, 2: 54-67 (In Persian).
7. Hicks, D.M., B. Gomez and N.A. Trustrum, 2000. Erosion Thresholds and Suspended Sediment Yields, Waipaoa River Basin, New Zealand, Water Resources Research, 36: 1129-1142.
8. Horowitz, A.J. 2002. The use of rating (transport) curves to predict suspended sediment concentration: a matter of temporal resolution. Turbidity and other sediment surrogates Workshop. U.S .Geological Survay, 3 pp.
9. Horowitz, A.J. 2003. An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. Hydrological Processes, 17: 3387-3409.
10. Khanchoul, K., Z.E.A. Boukhrissa, A. Acidi and A. Altschul. 2010. Estimation of suspended sediment transport in the Kebir drainage basin, Algeria. Quaternary International, 3: 1-7.
11. Latifi, A. and Y. Hassanzadeh. 2007. The comparison of different methods of estimating the suspended sediment load in rivers and choosing the most appropriate method (case study: Gamasiab River). Proceedings of the 7th International River Engineering Conference. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, 9 pp (In Persian).
12. Mahdavi, M. 2013. Applied Hydrology, 6 editions, Tehran University Press, 442 pp (In Persian).
13. Melesse, A.M., S. Ahmad, M.E. Mcclina, X. Wang, and Y.H. Limd. 2011. Suspended sediment load prediction of river systems: An artificial neural network approach. Agriculture Water Management, 98: 855-866.
14. Mirzaee, S., H. Zienivand and A. Haghizade. 2016. Simulation of Daily Suspended Sediment and Investigation of the Impact of land Use Change in GolGol Watershed, Ilam. Journal of Watershed Management Research, 7: 48-59 (In Persian).
15. Mirzaei, M. 2002. Comparison of statistical method of suspended load estimation in rivers. (Case study: Gorganroud River). M.Sc. Thesis. University of Tehran, 130 pp (In Persian).
16. Mohamadrezapour, O.B. 2005. Comparison of estimated rates of sediment load using different models against rates of sedimentation volume in tow storage dam. M.Sc. Thesis Mazandaran University, 102 pp (In Persian).
17. Mohammadi, A., A. Mosaedi and A. Heshmatpour. 2007. Determination of the best model to estimate suspended sediment loads in Ghazaghly hydrometric station, Gorganroud River, Iran. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14: 232-240 (In Persian).
18. Mosaedi, A., F. Hashemin, M. Najafi Heydarnejad, M. Nabizade and M.A. Meshkati. 2009. Estimetion of settling loads in Karaj and Dez Dam reservoirs. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 16: 261-272 (In Persian).
19. Mosaedi, A., A. Mohammadi Ostadkelayeh, A. Najafi nejad and F. Yaghmaiee. 2006. Optimization of relations between flow discharge and suspended sediment load in selected Hydrometric stations of Gorganroud River. Iranian Natural Resources Journal, 59: 331-342 (In Persian).

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

20. Olive, L.J. and W.A. Reiger, 1992. Stream Suspended Sediment Transport Monitoring – Why, How and What IS Being Measured? IAHS Public, 210 pp.
21. Pedram, I. and G.A. Barani. 2007. Evaluation of suspended sediment in dam's reservoirs with separation of wet and dry periods. (Case study: Zayanderood dam).Iranian 6th Hydraulic Conference, Shahrekord University, 7 pp (In Persian).
22. Phillips, J., B. Webb, D.Walling and G. Leeks. 1999. Estimating the suspended sediment load of rivers in the LOIS study area using infrequent samples. Hydrological Processes, 13:1035-1050.
23. Piri, A. 2003. Optimization of flow and sediment discharge relation in Emame Basin. M.Sc. Thesis. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 120 pp (In Persian).
24. Pour Aghniaei, M.J., M. Domiri Ganji, A. Yousef Pour and B. Ghermezcheshmeh. 2008. A review on estimation methods for suspended load (Case Study: Seydon Basin). Iran-Water Resources Research 3: 73-75 (In Persian).
25. Rostami, M. and A. Ardeshir. 2001. A suggestion method to improve suspended sediment load estimation in river. 3rd Conference on Hydraulic of Sediment. University of Tehran, 8 pp (In Persian).
26. Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama, S. Miyata, T. Gomi, K. Kosugi, T. Fukushima, S. Mizugaki and Y. Onda. 2008. Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed. Geoderma, 144: 198-211.
27. Schmidt, K.H. and D. Morche. 2006. Sediment output and effective discharge in two small high mountain catchments in the Bavarian Alps Germany. Geomorphology, 80: 131-145.
28. Shi, Z.H., X.D. Huangb, L. Ai, N.F. Fang and G.L. Wu 2014. Quantitative analysis of factors controlling sediment yield in mountainous watersheds: Geomorphology, 226: 193-201.
29. Telvari, A.R. 2003. Relationship between suspended sediment yield and some catchment characteristics in sub-catchments of Dez and Karkheh rivers in Lorestan province. Pajohesh and Sazandegi Journal, 56&57: 56-61.
30. Thomas, R.B. 1988. Monitoring baseline suspended sediment in forested basins: the effects of sampling on suspended sediment rating curves. Hydrological Sciences Journal, 33: 499-514.
31. Walling, D.E. and B.W. Webb. 1982. Sediment availability and the prediction of storm-period sediment yields. Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield. IAHS Publication, 137: 327-337.
32. Yang, D., S. Kanae, T. Oki, T. Koike and K. Musiake. 2003. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. Hydrological Process, 17: 2913-2928.
33. Youssef Vand, F. 2004. Suggestion of a method for estimation of suspended load in rivers (case study: Gharesoo river). M.Sc. Thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University 138 pp (In Persian).
34. Zhang. H.Y., Z.H. Shi, N.F. Fang and M.H. Gua. 2015. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China. Geomorphology, 234: 19-27.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]

# Determination of the Best Model for Estimation of Suspended Sediment by using Statistical Error Criteria (Case study: Some Sub-Watersheds of Kashaf Roud)

**Elyas Ramezanipour[1], Abolfazl Mosaedi[2] and Mansour Mesdaghi[3]**

1 and 3- M.Sc. Student and Invited Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad
2- Professor, Ferdowsi University of Mashhad, (Corresponding Author: mosaedi@um.ac.ir)
Received: June 29, 2015 Accepted: September 4, 2016

**Abstract**

The phenomena of erosion, sediment transport and sedimentations have tremendously destructive effects on environment and hydraulics structures. In general, sediment transportation depends on river discharges, but the proposed equations inherited with large errors. To evaluate the suspended sediment loads and an optimized model on them, in this research, data were collected from some sub-watersheds of Kashaf Roud basin (including Moshang, Golmakan, Dowlat Abad-Khoram Dareh, Saraseeyab-Shandiz, Golestan-Jaghargh, and Hesar-Dehbar). To decrease the error terms of equation model of sediment, we have used the combined methods in regression analysis based on temporal classification of discharge data and their sediment in a period of 30 years. Different base time models were examined using 12 statistical criteria, to select an optimal estimation of suspended sediment loads. The results showed the best equations are hydrological, vegetation and climatological based models, respectively. So, these models had the lowest error, selected as the optimal models for estimation of suspended sediment loads. But annual-based model (without any classifications on discharge and sediments data), was among the most insufficient models. In general, the error rates in sediment estimation for dry months with water shortages were less significant than the wet months with high water supplies. In these months, the effectiveness of suspended sediment loads of discharges were more pronounced to compare to other sediments transferring agents. Based on the results of this paper, it is recommended to evaluate more watersheds to reach to a precise model for estimation of sediments rating curves.

**Keywords:** Suspended sediment, Flow Discharge, Sediment rating curveStatistical criteria, temporal models

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.15.112 ]