



## تعیین مناسب ترین روش برآورد رسوب معلق بر اساس آماره‌های خطاستنجی (مطالعه موردی-تعدادی از زیرحوزه‌های کشف‌رود)

الیاس رمضانی‌بور<sup>۱</sup>، ابوالفضل مساعدی<sup>۲</sup> و منصور مصداقی<sup>۳</sup>

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد مدعو، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، (تویسته مسووی: 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 زیرحوزه‌های حوزه آبخیز کشف‌رود (شامل ایستگاه‌های هیدرومتری موشنگ، گلمکان، دولت‌آباد خرم‌دره، سراسیاپ شاندیز، گلستان جاغرق و حصار دهبار) انجام گرفته است. در این راستا جهت کاهش مقدار خطأ در معادله مدل برآورد رسوب معلق (منحنی سنجه رسوب)، اقدام به ارزیابی و مقایسه روشهای تلفیقی در قالب تحلیل توابع رگرسیونی مختلف براساس کلاس‌بندی زمانی داده‌های دبی و رسوب متناظر آن در یک دوره طولانی مدت ۳۰ ساله گردید. مدل‌های زمانی مختلف با استفاده از ۱۲ میلیار خطاستنجی مورد آزمون قرار گرفتند تا مدل بهینه برآورد بار رسوب معلق انتخاب گردد. نتایج نشان‌دهنده برتیری 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 کلاس‌بندی برای داده‌های دبی جریان و دبی رسوب متناظر آن صورت نگرفته است به عنوان ناکارآمدترین مدل شناخته شد. به طور کلی میزان خطأ 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 مشایه 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 خطاستنجی، مدل زمانی برآورد رسوب

هیدرومتری، مشکل جمع‌آوری داده‌های رسوب معلق 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 خطأ و درصد میانگین مطلق خطأ به اعتبارسنجی مدل‌ها پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مدل سری زمانی دارای عملکرد خوب و دقیق 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 نظریه 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 بر روی رسوب انتقالی دارند.

### مقدمه

فرسایش، انتقال رسوب، رسوب‌گذاری و وضعیت کیفیت آب از مسایل بسیار مهم در مدیریت حوزه‌های آبخیز می‌باشند. فرسایش خاک 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 رسوب‌دهی حوزه بالادست آن را بررسی نمود. از طرفی تجهیز کلیه حوزه‌ها به سایل اندازه‌گیری و برداشت نمونه‌های مکرر و مرتبت نه تنها از نظر عملی ممکن نیست، بلکه مستلزم صرف هزینه و زمان بسیار زیاد می‌باشد. بدین منظور یافتن روش‌ها و مدل‌های مناسب برای برآورد واقعی تر 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 نظریه کافی نبودن ایستگاه‌های

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 وروودی به سدهای ذر و کرج، به این نتیجه رسیدند که این معادلات، مقدار رسوب‌گذاری را برای سد ذر 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 همیستگی را دارد.

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

عشقی و همکاران (۴) به منظور بررسی کارایی مدل‌های هوشمند در برآورد رسوبات معلم رودخانه‌ای در حوزه آبخیز بایان خراسان شمالی، از داده‌های دبی جریان، دبی رسوب معلم، 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.

هوروویتز (۸) دریافت که به منظور بهترین ارزیابی بار رسوب معلم سالانه در یک دوره بیست ساله در رودخانه می‌سی‌سی‌پی می‌توان از منحنی‌های سنجه رسوب استفاده کرد. اسلمان (۲) به ارزیابی منحنی‌های سنجه رسوب در رودخانه‌ها و انشعابات آن‌ها پرداخت و با ارزیابی خطاهای اشتباها برای رسوبی دریافت که تقاضاهای منحصر به فرد در اشکال منحنی‌های سنجه رسوب به خصوصیات بار ابرفتی آن‌ها وابسته است. وی به منظور انتخاب بهترین مدل از شاخص حداقل میانگین مربعات خطای پیش‌بینی در تحقیق فیلیپس و همکاران (۲۲) روش متوسط زمانی بیشترین دقت را داشته است. دقت این روش با افزایش فواصل نمونه برداری به طور معنی‌داری کاهش یافته. بالامورگان (۳) سه نوع منحنی سنجه را مورد مطالعه قرار داد. نتایج وی نشان داد که این روش‌ها منجر به برآورد کمتر رسوبات معلم 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 نایپوسته 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 مطروب و نیمه‌مطروب تحقیقات کمتری انجام شده است. با توجه به

میرزایی و همکاران (۱۶) شبیه‌سازی رسوب معلم روزانه و بررسی تغییر کاربری اراضی بر آن در حوزه آبخیز کل 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 معلم و سه نقشه؛ مدل رقومی ارتقا یافته خاک و کاربری اراضی استفاده نمودند، نتایج تحقیق ایشان نشان داد که تغییر کاربری در سطح معنی‌داری یک درصد بر غلظت رسوب معلم 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 مریعت جزئی برای تعیین ارتباط بین رسوب و معیارهای مشکل 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.

رسوب گذاری در آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و محدوده‌های سازه‌های هیدرولوژیکی یکی از مسائل 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 است، بار معلم و مواد محلول تقسیم می‌شوند (۱). برآورد صحیح بار رسوب معلم که یک جریان مشخص قادر به حمل آن است یکی از موضوعات اصلی تحقیقات رسوب می‌باشد که در بسیاری از پژوهش‌های مدیریت منابع آب و آبخیزداری حائز اهمیت است. از این پژوهش‌ها می‌توان به مواردی از قبیل برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های ذخیره، انحراف، انتقال و توزیع آب، پژوهش‌های حفاظت سواحل و لایروبی کانال‌ها و رودخانه‌ها، پژوهش‌های طراحی و نگهداری کانال‌های آبیاری و امثال این‌ها اشاره نمود.

بهمنظور برآورد بار رسوب معلم روش‌های متعدد هیدرولوژیکی 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 معلم که به منحنی سنجه رسوب معروف است، استفاده می‌شود. پیری (۲۳) در پژوهشی دریافت، که استفاده از منحنی سنجه رسوب همراه با تفکیک داده‌ها براساس ماههای خشک و مطروب و کلاس‌بندی مقادیر دبی جریان برای حوزه معرف امامه، کمترین میزان خطای را در بر دارد. رسمی و اردشیر (۲۵) بار معلم هشت ایستگاه هیدرومتری در رودخانه‌های قزل اوزن و شاهزاد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که روش تلفیق منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته‌ها با دبی متوسط روزانه، روش مناسب برآورد بار معلم می‌باشد. پوراغنیائی و همکاران (۲۶) هم با استفاده از روش‌های منحنی سنجه تک خطی، دوخطی، فصلی و روش تعدیل بار رسوبی (FAO) مقادیر رسوب رودخانه‌های قزل اوزن در استان خوزستان را برآورد کرده و نتایج بدست آمده را با روش

دبهار واقع در ارتفاعات جنوبی بینالود و محدوده‌ی غربی دشت مشهد صورت گرفته است. این حوزه‌ها بخشی از حوزه 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.

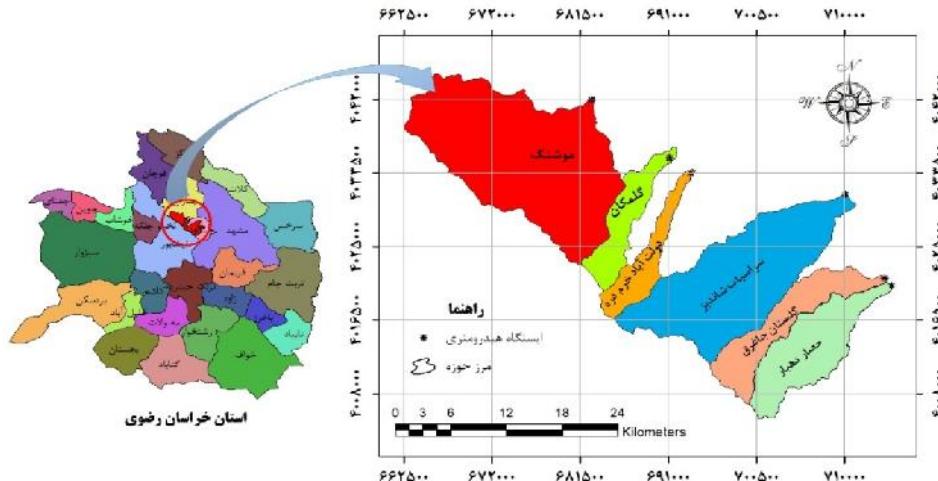
حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، در حد فاصل مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۳ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۶ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه و ۸ ثانیه عرض شمالی واقع شده‌اند. شکل ۱ موقعیت حوزه‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. جدول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

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 تأثیر 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 آن که به منظور انتخاب بهترین معادله‌ی سنجه رسوب از معیارهای خطاستجی 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، گلستان، دولت‌آباد خرمدره، سراسیاب شاندیز، گلستان جاغرق و حصار



شکل ۱- موقعیت حوزه‌های آبخیز و ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی  
Figure 1. Locations of studied Watersheds and their Hydrological 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 characteristics of studied watersheds (Khorasan Razavi Regional Water Authority, 2015)

نام ایستگاه هیدرومتری	مشخصات							
	WGS 1984 UTM Zone 40N				X Y			
مساحت حوزه (کیلومتر مربع)	شیب متوسط حوزه (درصد)	ارتفاع متوسط از سطح دریا (متر)	شیب متوسط حوزه دریا (درصد)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	محیط حوزه (کیلومتر)	میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)	میانگین سالانه مکعب‌در ثانیه (متر)	
موسک	۲۶/۷	۲۱۶۸	۶۸۲۷۶۳	۲۸۳/۵	۸۲/۸	۲۶۱	۲۹/۵	۱/۶
گلستان	۲۲۴۸	۶۹۱۱۷۲	۴۰۴۱۹۵۵	۳۷/۷	۴۷/۱	۲۴۳	۲۱/۴	۰/۳
دولت‌آباد خرمدره	۶۹۳۳۴۹	۴۰۳۳۴۸۵	۴۰۳۵۲۲۹	۲۴۳۱	۴۵/۵	۲۲۹	۲۱/۱	۰/۴
سراسیاب شاندیز	۷۱۰۱۷	۴۰۳۰۷۸	۴۰۲۱۵۲۷	۲۰۳۰	۲۰۳/۶	۲۴	۳۴/۱	۰/۵
گلستان جاغرق	۷۱۵۵۷۱	۴۰۲۱۵۲۷	۴۰۲۰۷۳۹	۱۹۵۷	۷۳/۳	۳۱۲	۲۷/۷	۰/۲
حصار دهار	۷۱۵۴۹۲	۴۰۲۰۷۳۹	۴۰۲۹۰۵۵	۱۸۶۸	۲۹/۴	۲۲۶	۲۵	۰/۴

صورت مستقل روابط رگرسیون برقرار می‌گردد. بنا بر این، این مدل دارای دو زیر مدل (معادله برای دسته ماههای مرتبط 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 سیز و ماههای فاقد پوشش گیاهی سیز، 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.

### ۴- مدل هیدرولوژیکی (مدل D)

در این مدل ابتدا داده‌های مربوط به دبی جریان هر ایستگاه هیدرومتری مورد بررسی قرار گرفته و میانگین سالانه آن محاسبه می‌گردد. سپس میانگین سالانه دبی هر ایستگاه با مقادیر دبی متوسط ماهانه آن مقایسه می‌شود. در صورتی که متوسط دبی ماهانه از متوسط دبی سالانه کمتر باشد آن ماه به عنوان ماه کم‌آب و در صورتی که 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، سراسیاب شاندیز، گلستان جاغرق و حصار دهبار به ترتیب از ۱۲۳، ۹۹، ۷۹، ۲۳۳ و ۱۴۶ جفت داده دبی جریان-دبی رسوب اندازه‌گیری شده، استفاده شد.

برای به دست آوردن ضریب و 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 زوچ 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 مختلف ارائه گردیده است. اما بین نتایج حاصله از معادلات مختلف اختلافات چشم‌گیری وجود دارد. همین امر ضرورت تجزیه و تحلیل

### 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 ۱۳۶۲-۱۳۶۳ تا ۱۳۹۱-۱۳۹۲ نگایت ۱۳۶۲ 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 گروزن-بک در مورد داده‌های دبی روزانه و همچنین 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 سیلان و هیدرورگراف 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)

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

که در آن 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 و قوع آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. بنابر این، این مدل فاقد هرگونه دسته‌بندی (مدل جزئی 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 آمبرووتومیک رسم شده و ماههای خشک و مرتبط برای هر ایستگاه هیدرومتری تعیین می‌گردد. در نهایت برای داده‌های متناظر با هر دسته (ماههای خشک و یا ماههای مرتبط) به

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{P}_i} \quad (6)$$

۵- انحراف معیار عمومی (GSD) :

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

۶- ضریب تغییرات ( $C_v$ ) :

$$C_v = \frac{S_p}{\bar{P}_i} * 100 \quad (7)$$

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

۷- نسبت اختلاف ( $r$ ) :

$$r = \frac{\bar{P}_i}{\bar{O}_i} \quad (8)$$

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

۸- میانگین درصد خطای نسبی (RME) :

$$RME = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{\bar{O}_i} * 100 \quad (9)$$

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

۹- ضریب کارآیی اصلاح شده ( $E$ ) :

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^n |O_i - \bar{O}_i|} \quad (10)$$

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

۱۰- شاخص توافق (d) :

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)} \quad (11)$$

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

مقادیر برآورده شده با روش‌های مختلف و ارزیابی آن‌ها در هریک از رودخانه‌ها را آشکار می‌سازد. به این منظور باید از شاخص‌های خطاستنجی استفاده نمود. شاخص‌های خطاستنجی فراوانی امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعدادی از این شاخص‌ها دقت مدل و تعدادی دیگر صحت مدل را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. 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 قضاووت در مورد کارآیی یک مدل، بر اساس استفاده از چند شاخص خطاستنجی صورت می‌گیرد.

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

۱- ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (2)$$

که در این معادله و معادلاتی که در ادامه ذکر شده است، مقادیر رسوب برآورده شده، مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده، اندیس شماره داده‌ی رسوب و تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده (یا برآورده شده) است. هرچه مقدار شاخص - به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود.

۲- میانگین انحراف خطا (MBE) :

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

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

۳- میانگین قدرمطلق خطای نسبی (MARE) :

$$MARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (4)$$

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

۴- میانگین مربعات خطای نرمال شده (NMSE) :

$$NMSE = \frac{1}{n} \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2}{S^2} \right) \quad (5)$$

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

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

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 موردنظر (دقت و یا صحت) بر اساس شاخص خطاسنجی کاسته می‌شود. طبق امتیازبندی انجام شده مناسب‌ترین مدل از طرف تمامی معیارهای خطاسنجی، ظرفیت کسب امتیاز ۸۴ (معیار خطاسنجی ضریب 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 ضریب 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 معلم اندازه‌گیری شده بر اساس مدل‌های A تا D، معادله سنجه رسوب با برآش مناسب‌ترین خط در مقیاس لگاریتمی از بین نقاط برای هر یک از دسته‌ها (مدل یا زیر مدل‌ها) تعیین گردید (جدول ۲). شکل ۲ منحنی سنجه رسوب زیرمدل (دسته) ماه‌های فاقد پوشش گیاهی از مدل پوشش گیاهی (مدل C) در ایستگاه هیدرومتری گلستان جاغرق را نشان می‌دهد.

### ۱۱- ضریب تعیین ( $R^2$ ):

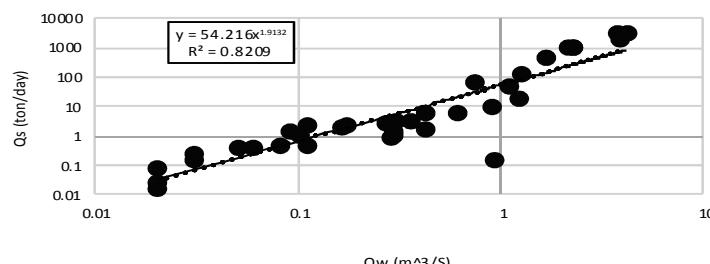
$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)(P_i - \bar{P}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)^2}} \right]^2 \quad (12)$$

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 ( $C_{NS}$ ):

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (13)$$

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 ۱) و ۶ معادله برای هر یک از مدل‌های مربوط به هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی و اقلیمی (هر مدل ۲ معادله)) مورد بررسی قرار



شکل ۲- منحنی سنجه رسوب زیر مدل ماه‌های فاقد 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 Jaghraq

هر یک از مدل‌های برآورد مقدار رسوب معلم به طور خلاصه و به تفکیک دسته‌بندی داده‌ها و بر اساس نام ایستگاه مورد بررسی در جدول‌های ۳ تا ۸ ارائه شده است. 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.

بیشترین  $R^2$  با مقدار ۸۴/۰ برای زیر مدل (دسته) 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 گلستان جاغرق بدست آمده است (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 استفاده شده برای

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	زیر مدل (دسته)	ضریب a	ضریب b	ایستگاه هیدرومتری	نام مدل	زیر مدل (دسته)	ایستگاه هیدرومتری	نام مدل	ضریب a	ضریب b	ایستگاه هیدرومتری	نام مدل
					A								
۰/۷۶	۲/۱۳۷۳	۲۱/۰۵۷	سالیانه		B								
۰/۷۷	۲/۱۴۱۶	۲۱/۰۶۰	ماهی مارطوب										
۰/۶۱	۱/۹۲۰۹	۱۲/۹۴۴	ماهی خشک										
۰/۷	۲/۲۱۹۸	۱۷/۳۷۵	ماهی دارای پوشش	C	اسپل. شاندن								
۰/۷۸	۲/۰۱۸۲	۲۲/۵۱۲	ماهی فاقد پوشش										
۰/۷۳	۲/۴۳۱۹	۱۶/۱۵۷	ماهی پرآب	D									
۰/۶۲	۱/۵۷۷۹	۱۳/۱۲۶	ماهی کم آب										
۰/۶۸	۲/۰۱۴۹	۴۶/۹۲۸	سالیانه	A									
۰/۶۷	۲/۰۴۵۶	۴۶/۹۹۳	ماهی مارطوب	B									
۰/۵۳	۲/۶۰۴۲	۲/۳۴۰۷	ماهی خشک										
۰/۵۸	۲/۲۳۰۴	۴۲/۹۰۸	ماهی دارای پوشش	C	گلسن								
۰/۸۲	۱/۹۱۳۲	۵۱/۲۱۶	ماهی فاقد پوشش										
۰/۶۲	۲/۱۹۲۴	۴۵/۵۶۵	ماهی پرآب	D									
۰/۸۴	۱/۴۱۶۵	۱۶/۳	ماهی کم آب										
۰/۵۳	۰/۹۴	۳۵/۰۶۱	سالیانه	A									
۰/۵۳	۸/۹۲۰	۳۴/۵۴۴	ماهی مارطوب	B									
۰/۷۷	/۸۳۸۷	۱/۹۰۵۳	ماهی خشک										
۰/۵۷	۰/۹۴۴۲	۳۸/۷۱۲	ماهی دارای پوشش	C	پرچم								
۰/۳۴	۰/۸۴۴۶	۳۹/۳۸۲	ماهی فاقد پوشش										
۰/۵۶	۰/۹۱۸۵	۳۹/۱۰۹	ماهی پرآب	D									
۰/۰۲	۰/۲۳۲۹	۰/۴۸۰۶	ماهی کم آب										

معیارهای خطاستنجی 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.

نتایج حاصل از معیارهای خطاستنجی 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 خطاستنجی) تا ۸۴ (مناسب‌ترین معادله بر اساس تمامی شاخص‌های خطاستنجی) می‌تواند محاسبه شود. این دو حالت برای هیچ‌یک از دسته‌ها رخ نداده است. در نهایت از حاصل جمع امتیازات کسب شده

به مدل وضعیت هیدرولوژیکی نیز نشان می‌دهد که مقادیر برآورده رسمی معلم 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 مربوط یا پرآب که به طور کلی جریان‌های سیلابی بیشتر بوده بازنگی 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 برآورد رسوب بر اساس دبی کمتر می‌باشد). 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.

نتایج حاصل از شاخص‌های آماری برای ایستگاه هیدرومتری دولت‌آباد خرمدره و مoshنگ نشان می‌دهد که مدل اقلیمی دارای کمترین خطای 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 شبیه نسبتاً زیاد و پوشش گیاهی نسبتاً کم می‌باشند. در ایستگاه‌های هیدرومتری گلمکان، سراسیاب شاندیز، گلستان جاغرق و حصار دهیار نتایج نشان می‌دهد که مدل وضعیت هیدرولوژیکی دارای بیشترین اعتبار از نظر معیارهای خطاسنجی می‌باشد (جدول ۱۰). علت این امر، تاحدی به آبدی‌های 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 برآورده رسوب معلم برای زیر مدل مربوط به ماههای فاقد پوشش گیاهی از خطای کمتری برخوردار است. بررسی نتایج حاصل از مدل اقلیمی نشان می‌دهد که تقریباً زیر مدل ماههای خشک در این مدل نیز از خطای کمتری برآورد می‌زن رسوب معلم برخوردار است. نتایج حاصل از زیر مدل ماههای کم آب متعلق به تراکم می‌باشد.

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

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

CNS (-)	R (-)	d (-)	E (-)	RE (%)	R <sub>r</sub> (-)	cv (%)	GSD (-)	NMSE (-)	MARE (-)	MBE (ton/day)	RMSE (ton/day)	نام زیر مدل (دسته)	نام مدل
-۰/۱۴	۰/۶۲	۰/۰۴	۰/۴۵	۶۴۱/۸۲	۰/۱۴	۱۸۰/۴۶	۲۵/۷۲	۱۹۳/۸	۳/۶۶	۳۱۹/۰۲	۱۲۴/۵۷	سالیانه	A
-۰/۱۰	۰/۶۲	۰/۰۷	۰/۴	۳۰۰/۱۴	۰/۱۹	۱۷۰/۹۸	۱۷/۲۲	۱۱۶/۰۷	۲/۵۷	۲۸۶/۷۴	۱۳۶۹/۰۸	ماههای مرطوب	B
۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۴۳۹/۶۵	۰/۲۹	۱۱۶/۲۶	۷/۹۹	۹۹۱۱۲/۸۳	۴/۴۲	۲/۱۲	۵/۷۴	ماههای خشک	
-۰/۱۲	۰/۵۹	۰/۰۶	۰/۳۷	۴۲۱/۶۵	۰/۱۸	۱۵۷/۱۶	۱۸/۰۱	۱۵۰/۰۸۳	۳/۸۲	۳۹۰/۰۳	۱۴۳۶/۰۷	ماههای دارای پوشش	C
۰/۴	۰/۲۶	۰/۰۲۸	۰/۷	۳۷۱/۷۵	۰/۰۲	۲۱۹/۰۸۸	۲۸۶/۸۵	۱۷۸۱۱/۹۲	۶/۳۳	۱۰/۵/۱۴	۶۷۳۰/۰۲	ماههای فاقد پوشش	
-۰/۱۱	۰/۶۱	۰/۰۶	۰/۰۹	۳۶۴/۷۰	۰/۱۹	۱۶۲۰/۷۹	۱۷/۹۲	۱۳۱/۸	۳/۷۲	۳۸۰/۰۵	۱۳۹۱/۰۷	ماههای پرآب	D
۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۲۰۳/۴۳	۰/۲۶	۸۲/۸۵	۱۳/۵۹	۱۷۰۸۰/۰۶۳۲	۲/۵۱	۰/۸۳	۳/۳۲	ماههای کم آب	

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

CNS (-)	R (-)	d (-)	E (-)	RE (%)	R <sub>r</sub> (-)	cv (%)	GSD (-)	NMSE (-)	MARE (-)	MBE (ton/day)	RMSE (ton/day)	نام زیر مدل (دسته)	نام مدل
-۰/۱۴	۰/۴۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۵۵۷/۸۱	۰/۰۹	۱۱۳/۲۲	۹۳/۲۶	۱۱۵۷/۷۱	۹/۲۱	۲۵/۷۱	۹۶/۷۴	سالیانه	A
-۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۶	۵۲۸/۵۷	۰/۱۲	۱۱۴/۰۱	۲۸/۸۱	۵۲۵/۵۹	۷/۹	۲۸/۴۴	۱۰/۲/۴۷	ماههای مرطوب	
۰/۱۱	-۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۳	۳۷۷/۱۸	۰/۱۶	۵/۰/۲	۱۲/۰/۷	۷۱/۱/۱	۰/۰/۹	۱/۰/۵	۳/۲۶	ماههای خشک	B
-۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۲۳	۵۲۲/۲۴	۰/۱۶	۱۲۰/۰۰	۱۹/۹۲	۲۷/۰/۲۴	۶/۰/۴۵	۳/۰/۸	۱۰/۷/۰۵	ماههای دارای پوشش	C
۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۷	۹۰/۰۲۸	۰/۱۵	۲۰/۰/۳	۰/۹۷	۱۶۰۰/۰۴۴	۰/۰/۴	۰/۰/۹	۰/۱/۰۲	ماههای فاقد پوشش	
-۰/۰۱	۰/۰۲۸	۰/۱۴	۰/۱۲	۳۷۵/۱۹	۰/۱۷	۱۱۹/۰۹	۱۸/۰/۲	۲۳۳/۰/۱۰	۵/۰/۲	۳/۱/۷۵	۱۰/۸/۴۲	ماههای پرآب	D
۰/۹۶	-۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۷	۸۰/۰/۸۱	۰/۰۷	۱۹/۰/۲	۱/۰/۰	۲۰۰۰/۰/۱۵	۰/۰/۴	۰/۰/۹	۰/۰/۱۲	ماههای کم آب	

جدول ۵- مقادیر آماره‌های خطاسنجی در مدل‌های مختلف تعیین منحنی سنجه‌رسوب ایستگاه دولت‌آباد خرمدره

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

CNS (-)	R (-)	d (-)	E (-)	RE (%)	R <sub>r</sub> (-)	cv (%)	GSD (-)	NMSE (-)	MARE (-)	MBE (ton/day)	RMSE (ton/day)	نام زیر مدل (دسته)	نام مدل
-۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۱۹	۸۸۱/۴۹	۰/۱۵	۱۱۷/۵۶	۲۱/۴۶	۴۶۱/۶۴	۶/۲۱	۵۸/۱۷	۲۴۶/۹	سالیانه	A
-۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۱۴	۶۵۶/۷۶	۰/۱۷	۱۰/۲/۴۷	۱۹/۹۹	۳۷۷/۷۰	۵/۱۱	۷۶/۰/۸	۲۷۷/۶۸	ماههای مرطوب	
۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۴	۳۳۹/۴۵	۰/۱۴	۱۲۰/۲۶	۳/۲۹	۶۶۳/۴۲	۱/۹۱	۰/۰/۵	۱/۰/۵	ماههای خشک	B
-۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۱۲	۴۶۳/۶۷	۰/۲۱	۱۰/۶/۰	۱۰/۰/۴	۱۲۰/۰/۵	۴/۹۴	۸۱/۰/۸	۲۸۶/۰/۵۳	ماههای دارای پوشش	C
۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۱۶	۴۹۵/۱۴	۰/۲۶	۵۰/۰/۸	۳/۰۶	۷۷۶/۴۳	۲/۰۱	۱/۰/۰	۱/۰/۹۶	ماههای فاقد پوشش	
-۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۲۱	۳۶۶/۱۶	۰/۲۰	۱۰۰/۰/۸	۱۵/۰/۱	۲۳۴/۱۰	۴/۶۵	۸۳/۴۲	۲۹۰/۰/۵۵	ماههای پرآب	D
۰/۹۶	-۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۸	۴۸۴/۵۴	۰/۳۷	۸۰/۰/۶۶	۳/۰/۴	۵۳۱/۲۸	۲/۱۲	۱/۱۶	۱/۰/۸۳	ماههای کم آب	

#### جدول ۶- مقادیر آماره‌های خطاطنجی 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

CNS	R	d	E	RE	r	CV	GSD	NMSE	MARE	MBE	RMSE	نام زیر مدل (دسته)	نام مدل
-./۲	-./۱	-./۷	-./۴۸	-./۴۲۶	-./۱۳	-/۷۹/۰۶	-/۲۸/۱۸	-۹۲.۳	-۳۷۸	-۱۶۹۳۲	-/۱۳۳۷/۷	سالیانه	A
-./۲	-./۲۱	-./۰۷	-./۴۷	-/۲۸۳/۲۲	-./۳۴	-/۷۷/۹	-/۲۸/۱۱	-۹۰.۱	-۳/۵۰	-۱۷۷۱/۶	-۱۴۷۴۱/۹	ماه‌های مرطوب	B
-./۸۱	-./۹۷	-./۹۵	-./۸۳	-/۳۳۵/۴۷	-./۱۴	-/۷۷۴/۴	-/۱۵/۲۱	-۱۶۴۳/۴	-۷۲/۲۲	-۳۴۰/۴	-۶۱./۸	ماه‌های خشک	
-./۰۲	-./۱۸	-./۰۸	-./۹۲	-/۳۳۵/۲۵	-./۲۶	-/۳۱۸/۹	-/۲۵/۷۷	-۶۶۴	-۴/۴۷	-۲۱۹۰/۹	-۱۷۷۴۹/۷	ماه‌های دارای پوشش	C
-./۴۵	-./۷۷	-./۷۳	-./۵۶	-/۴۴۶/۳۰	-./۱۲	-/۲۶۶/۴۳	-/۶/۲	-۱۲۲	-۱/۸	-۶۶۴/۴	-۲۰۷۱/۸	ماه‌های قاقد پوشش	
-./۰۲	-./۱۹	-./۱۱	-./۴۲	-/۳۳۳/۴۵	-./۱۴	-/۳۱۲/۴۲	-/۱۷/۲	-۳۴۷	-۳/۷۹	-۲۰۴۲/۵	-۱۵۸۶۲/۱	ماه‌های پرآب	D
-./۹۴	-./۹۹	-./۹۹	-./۹۵	-/۴۴۲/۸۳	-./۲	-/۲۹۴/۷	-/۱۹/۶۹	-۷۷۶/۶۴	-۲/۰۳	-۷۸/۴	-۳۵۳/۴	ماه‌های کم آب	

#### جدول ۷- مقادیر آماره‌های خطاطنجی 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

CNS	R	d	E	RE	r	CV	GSD	NMSE	MARE	MBE	RMSE	نام زیر مدل (دسته)	نام مدل
-./۲۶	-./۸	-./۵۱	-./۴۵	-/۱۱۰/۹	-./۳۳	-/۱۷/۷	-/۶/۹۵	-۲۲/۱۹	-۲/۸۷	-۳۲۲/۸	-۹۹۹/۴۱	سالیانه	A
-./۲۸	-./۸۸	-./۰۵۳	-./۴۵	-/۱۱۳۲/۲	-./۳۴	-/۱۷۲/۱	-/۶/۵۸	-۲۰/۲۴	-۷/۹۱	-۳۲۶/۸	-۹۹۸/۲۵	ماه‌های مرطوب	B
-./۲۲	-./۷۹	-./۰۵۲	-./۴	-/۱۱۸۹/۳	-/۱۵	-/۳۱/۱	-/۷/۵۹	-۹۰۰/۶	-۴۳/۹۸	-۳۳۹/۲	-۱۰۰/۹۶	ماه‌های خشک	
-./۳۵	-./۸۸	-./۰۵۸	-./۴۲	-/۱۱۹۲/۲	-./۴	-/۱۸/۲۵	-/۵/۵	-۱۴۳/۰	-۳/۹۱	-۳۲۲/۱	-۱۱۰۴/۸	ماه‌های دارای پوشش	C
-./۳۴	-./۹۷	-./۰۵۵	-./۴۱	-/۹۱۴/۹	-./۲۷	-/۲۱۳/۴۸	-/۷/۲	-۱۷/۳۲	-۱/۳۰	-۲۷۰/۱	-۷۰۱/۵۵	ماه‌های قاقد پوشش	
-./۲۵	-./۱۹	-./۰۵۹	-./۴۵	-/۱۱۷۱/۸	-./۳۸	-/۱۷/۴۷	-/۵/۳۴	-۱۳/۸۵	-۳/۷۹	-۳۳۱/۹۲	-۹۷۶/۹۸	ماه‌های پرآب	D
-./۹۸	-./۹۸	-./۹۴	-./۹۹	-/۷۸/۹	-/۱۷	-/۲۱/۹۶	-/۰/۷۳	-۱۰۷/۹	-۰/۶۹	-۰/۱۱	-۱/۳۹	ماه‌های کم آب	

#### جدول ۸- مقادیر آماره‌های خطاطنجی 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

CNS	R	d	E	RE	r	CV	GSD	NMSE	MARE	MBE	RMSE	نام زیر مدل (دسته)	نام مدل
-./۰۵	-./۱۶	-./۰۲۵	-./۴۵	-/۷۵/۵۱	-./۱۶	-/۱۶۷/۵۶	-/۱۸/۹۰	-۱۳۴/۶۰	-۳/۰۹	-۱۴۴/۷	-۴۹۹/۰۲	سالیانه	A
-./۰۵	-./۷۵	-./۰۲۴	-./۴۳	-/۷۱۶/۵۷	-./۱۶	-/۱۶۱/۸۷	-/۱۹/۲۵	-۱۴۸/۹	-۳/۰۷	-۱۴۹/۹۴	-۵۰۹/۰۱	ماه‌های مرطوب	B
-./۰۱	-./۷۳	-./۰۲۳	-./۰۳۶	-/۸۱/۲۶	-./۱	-/۲۲۲/۱۴	-/۴۵/۱۶	-۵۱۲۵/۳	-۵/۳۲	-۱۵۲/۹۹	-۵۱۵/۴۹	ماه‌های خشک	
-./۰۶	-./۰۳	-./۰۲۲	-./۰۳۹	-/۶۶۳/۶۵	-./۱۹	-/۱۵۵/۱۶	-/۱۶/۲۲	-۱۱۶/۹۲	-۲/۷۷	-۱۵۷/۹۹	-۵۱۶/۹۷	ماه‌های دارای پوشش	
-./۰۲	-./۹۰	-./۰۱	-./۰۲۳	-/۷۸۹/۶۸	-./۷	-/۲۲۱/۱۴	-/۴۴/۵۳	-۴۱۲/۸۲	-۴/۸۶	-۱۱۰/۰۵	-۳۴۱/۹۷	ماه‌های قاقد پوشش	C
-./۰۶	-./۷۵	-./۰۲۴	-./۰۴۲	-/۶۹۵/۸	-./۱۸	-/۱۵۸/۰	-/۱۶/۶۵	-۱۱۷/۱۹	-۲/۷۷	-۱۵۵/۰۴	-۵۱۵/۲۹	ماه‌های پرآب	
-./۹۹	-./۹۳	-./۰۹۵	-./۰۹۶	-/۳۲۰/۷۶	-./۱۱	-/۳۱/۳۱	-/۲۳/۹۴	-۵۹۴۹۸۲/۵	-۸/۸۲	-۱/۹۹	-۵/۵۵	ماه‌های کم آب	D

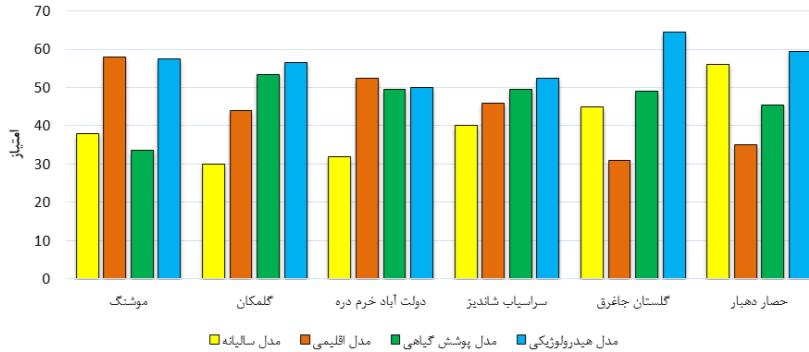
#### جدول ۹- مقادیر امتیازات کسب شده هر مدل توسط آماره‌های خطاطنجی در ایستگاه‌های هیدرومتری گلستان جاغرق و گلملکان

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

نام مدل	نام زیر مدل (دسته)	نام ایستگاه	مجموع امتیازات	نوسدا / مجموع امتیازات
A	سالیانه		۴۵	۲ ۴ ۱ ۶ ۵ ۲ ۷ ۳ ۳ ۵ ۴ ۳
B	ماه‌های مرطوب	گلستان جاغرق	۳۱	۳ ۳ ۵ ۳ ۱ ۶ ۴ ۴ ۴ ۳ ۴ ۴
C	ماه‌های خشک	گلستان جاغرق	۴۹	۱ ۱ ۲ ۱ ۱ ۷ ۱ ۱ ۱ ۱ ۱ ۱
D	ماه‌های پرآب	گلملکان	۶۴.۵	۷ ۷ ۷ ۷ ۶ ۳ ۷ ۲ ۷ ۷ ۷ ۷
A	سالیانه	گلملکان	۳۰	۱ ۲ ۴ ۴ ۱ ۱ ۴ ۱ ۳ ۱ ۴ ۴
B	ماه‌های مرطوب	گلملکان	۴۴	۲ ۵ ۳ ۲ ۲ ۱ ۱ ۲ ۵ ۳ ۳ ۳
C	ماه‌های خشک	گلملکان	۵۳.۵	۵ ۱ ۵ ۵ ۴ ۵ ۵ ۴ ۵ ۵ ۵ ۵
D	ماه‌های پرآب	گلملکان	۵۶.۵	۷ ۶ ۷ ۷ ۶ ۲ ۶ ۱ ۶ ۷ ۷ ۱

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	موشگ	کلمکان	دولت آباد خرم‌دره	گلستان جاغرق	سراسیاب شاندیز	حصار دهیار	میانگین امتیازات هر مدل
مدل سالانه (A)	۳۸	۳۰	۳۲	۴۰	۴۵	۵۶	۴۰/۱۷
مدل اقلیمی (B)	۵۸	۴۴	۵۲/۵	۴۶	۳۱	۳۵	۴۴/۱۱
مدل پوشش گیاهی (C)	۵۷/۵	۵۳/۵	۴۹/۵	۴۹	۴۵/۵	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

قرقری و همکاران (۵) همخوانی دارد ولی با نتایج لطیفی و حسن‌زاده (۱۱)، که با مقایسه روش‌های مختلف باررسوب 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 کردند، 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 (۱۶، ۲۶، ۱۰، ۸، ۳۳، ۲۳). 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 حالی که 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 دولت آباد خرم‌دره و موشگ) مدل اقلیمی به عنوان مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد. در حالی که در چهار حوزه دیگر که تقریباً 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 عبارت دیگر تاثیرپذیری رسوب معلق در این ماه‌ها از دبی رودخانه بسیار بیشتر است.

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 نسبتاً 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 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 متانظر 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 سنجه رسوب 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)، مساعدي و همکاران (۱۸)، محمدی و همکاران (۱۷)، توماس (۳۰)، اسچمیت و مورج (۲۷)، یوسفوند و همکاران (۳۳) و

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.

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.

### 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.

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 طوری که استفاده از این معادلات در برآورد بار رسوبی مناطق گوناگون ثمربخش واقع شود. همچنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات

### منابع

- Alizadeh, A. 2015. Principles of Applied Hydrology. University of Imam Reza (AS) press. 35ed, 946 pp (In Persian).
- Asselman, N.E.M 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology, 234: 228-248.
- Balamurugan G. 1989. The use of suspended sediment rating curves in Malaysia: some preliminary considerations. Pertanika, 12: 367-376
- 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).
- 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)
- 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 Recourses, 2: 54-67 (In Persian).
- 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.
- 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 Survey, 3 pp.
- Horowitz, A.J. 2003. An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. Hydrological Processes, 17: 3387-3409.
- 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.
- 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).
- Mahdavi, M. 2013. Applied Hydrology, 6 editions, Tehran University Press, 442 pp (In Persian).
- Melesse, A.M., S. Ahmad, M.E. McCrina, 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.
- 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).
- 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).
- 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).
- 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).
- Mosaedi, A., F. Hashemin, M. Najafi Heydarnejad, M. Nabizade and M.A. Meshkati. 2009. Estimation of settling loads in Karaj and Dez Dam reservoirs. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 16: 261-272 (In Persian).
- Mosaedi, A., A. Mohammadi Ostakelayeh, 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).

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: Zayanderoon dam).Iranian 6th Hydraulic Conference, Shahrekoord 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 Aghnai, 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. Ardestir. 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.

## 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<sup>1</sup>, Abolfazi Mosaedi<sup>2</sup> and Mansour Mesdaghi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> and <sup>3</sup>- M.Sc. Student and Invited Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad  
<sup>2</sup>- 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