



امکان‌سنجی تخمین پارامترهای منحنی سنج رسوب

با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار

عبدالواحد خالدی درویشان^۱ و سجاد میرزائی^۲

۱- استادیار (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

a.khaledi@modares.ac.ir

چکیده

به دلیل کمبود امکانات، نظارت و بازبینی پیوسته دبی رسوب در بیشتر رودخانه‌ها ممکن نیست و به طور معمول از معادله سنج رسوب برای برآورد رسوب‌دهی استفاده می‌شود. پژوهش حاضر به منظور بررسی ارتباط پارامترهای منحنی سنج رسوب با ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی حوزه آبخیز در ۱۴ ایستگاه هیدرومتری دارای آمار مناسب در استان مازندران، حداکثر یکنواختی در کاربری (جنگل) و فقدان بندهای اصلاحی رسوب‌گیر و سیل‌گیر در بالادست ایستگاه‌ها انجام شد. در ادامه ۱۶ ویژگی فیزیکی و ریخت‌سنجی از طریق کاربرد الحاقیه Arc Hydro در نرم افزار ArcGIS برای حوضه‌های بالادست تمامی ایستگاه‌ها تعیین شد. داده‌های متناظر دبی رسوب در هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری کنترل شد و داده‌های پرت حذف گردید. سپس منحنی سنج رسوب کلی برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسیم و معادلات سنج رسوب استخراج شد. در ادامه تمامی ۱۶ ویژگی فیزیکی و ریخت‌سنجی حوزه‌های آبخیز به همراه ضریب α و توان β وارد نرم‌افزار SPSS شد. نتایج همبستگی اسپرمن بین ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی با ضریب α و توان β نشان داد که در سطح اعتماد ۹۹ درصد بین فراوانی آبراهه و نسبت گردی حوضه با ضریب α و ضریب فشردگی و طول حوضه نیز با توان β دارای همبستگی می‌باشند. همچنین نتایج همبستگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد نشان داد که بین محیط حوضه با ضریب α و ویژگی‌های محیط، فراوانی آبراهه، نسبت کشیدگی و فاکتور فرم حوضه با توان β همبستگی معنی‌دار می‌باشد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر به طور کلی با افزایش نسبت گردی، فاکتور فرم، فراوانی آبراهه و متوسط شیب حوضه ضریب α که مرتبط با میزان فرسایش‌پذیری سطح حوزه آبخیز است افزایش و توان β که مرتبط با قدرت حمل جریان است کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مساحت، محیط و ضریب فشردگی میزان توان β افزایش می‌یابد. در نهایت نسبت به تخمین ضریب و توان α و β معادله سنج رسوب با استفاده از برخی ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی حوزه آبخیز و روش رگرسیون دو متغیره اقدام گردید.

کلمات کلیدی: تخمین رسوب، دبی رسوب، ضریب فشردگی، نسبت گردی، منحنی سنج رسوب.

مقدمه

رسوبات رودخانه‌ای یکی از مهم‌ترین تهدیدهای اکوسیستمی است که خسارات وارده از آن به طبیعت، کشاورزی و سازه‌های آبی گسترده و زیان آور است. فزونی رسوبات رودخانه‌های که نشان دهنده تشدید فرسایش، وضعیت نامناسب منابع طبیعی تجدید شونده، تخریب اراضی جنگلی و بهره‌برداری نامناسب از اراضی کشاورزی است (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۶)، باعث برهم زدن تعادل اکوسیستمی می‌شود. به طور کلی مواد رسوبی از نظر شیوه انتقال به دو دسته بار معلق و بار کف تقسیم می‌شود. برآورد بار کف به دلیل پیچیده بودن اندازه‌گیری رسوب بستر رودخانه و پرزحمت بودن نصب تجهیزات اندازه‌گیری بار کف با مسائل و مشکلات زیادی توأم است؛ چنان‌که قرار دادن هرگونه وسیله اندازه‌گیری در کف رودخانه سبب تغییر و مختل شدن شرایط طبیعی جریان و حمل رسوب می‌شود (عرب‌خدری، ۱۳۹۳). مطالعات هیدرولوژیکی نشان می‌دهد که در حدود ۹۰ درصد از رسوبات کل رودخانه‌ای به صورت مواد معلق انتقال می‌یابد و به طور قابل ملاحظه‌ای رسوبات معلق از مواد محلول منتقل شده بیش‌تر می‌باشد (ردوس و نادال‌رومر،



۲۰۱۳). به همین سبب معمولاً از روش‌های برون‌یابی برای برآورد بار معلق آبخیزها در ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی استفاده می‌شود. در این روش‌ها با توجه به کمبود امکانات و عدم ثبت پیوسته تغییرات دبی-رسوب، منحنی سنج رسوب با استفاده از تعداد محدودی از اندازه‌گیری‌های غلظت رسوب با برقراری رابطه‌ای بین دبی رسوب و دبی جریان متناظر با آن، معمول‌ترین روش برای برآورد رسوب‌دهی رودخانه‌ها است که به طور گسترده‌ای در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (عرب‌خداری و همکاران، ۱۳۹۲؛ مردیان و همکاران، ۱۳۹۳). در روش منحنی سنج رسوب، رابطه دبی و رسوب معلق به صورت یک معادله خطی لگاریتمی طبق رابطه ۱ نشان داده می‌شود و شکل کلی رابطه‌نمایی آن به صورت رابطه ۲ می‌باشد که این رابطه را، رابطه اداره احیای اراضی آمریکا (USBR) نیز می‌نامند (نجفی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

$$\log(Q_s) = \log(\alpha) + b \log(Q_w) \quad (1)$$

$$Q_s = \alpha Q_w^b \quad (2)$$

در این رابطه Q_s غلظت رسوب بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (mg l^{-1}) یا تن در روز، Q_w دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) و α و b ضرایب ثابت معادله رگرسیونی هستند.

به طور معمول برای تعیین ضرایب منحنی سنج رسوب (α و b) از مدل رگرسیون خطی و یا رگرسیون تبدیل لگاریتمی استفاده می‌شود. در این حالت از آنجایی که تعیین ضرایب مذکور با به کارگیری مدل رگرسیونی، مستلزم تبدیل لگاریتمی می‌باشد، اکبرزاده و همکاران (۲۰۱۴) با انجام تحقیقی بر روی شش ایستگاه رسوب‌سنجی در حوزه آبخیز اترک در شمال شرق ایران، جهت انتخاب بهترین روش برآورد رسوب معلق، پنج روش یک‌خطی، چندخطی، خطی اصلاح شده با روش FAO، متوسط رسوب در کلاس‌های دبی (حدوسط) و روش گرافیکی (حداکثر غلظت) را با مقادیر مشاهداتی مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در یک ایستگاه روش حد وسط، دو ایستگاه روش خطی، دو ایستگاه روش گرافیکی و یک ایستگاه روش چند خطی، پایین‌ترین میزان خطای مربع متوسط و صحیح‌ترین برآورد میزان رسوب معلق را نشان می‌دهد. دگیرولامو و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای در جنوب شرق ایتالیا، منحنی سنج رسوب را برای سه گروه از جریان‌ها شامل جریان‌های بالا، نرمال و کم ترسیم کردند و برای اصلاح اریب ناشی از تبدیل لگاریتمی منحنی سنج رسوب، روش غیر پارامتری CF1 را به کار بردند. نتایج آنان نشان داد که در حدود ۹۴ درصد از کل مواد معلق در زمان وقوع رژیم جریان‌های بالا انتقال می‌یابد؛ در حالی که کم‌تر از ۱ درصد در شرایط جریان‌های کم منتقل می‌شود. عرب‌خداری و همکاران (۱۳۸۳) در مطالعه‌ای به منظور ارزیابی چند روش برون‌یابی، ۱۷ ایستگاه هیدرومتری را انتخاب و بار معلق آنها با ۱۸ روش برآورد کردند و با روش مبنا مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. نتایج آنها حاکی از آن بود که چهار منحنی سنج رسوب شامل بر ضرایب اصلاحی FAO، غیر پارامتری (CF2)، پارامتری (CF1) و یک خطی ضعیف‌ترین برآورد را نشان می‌دهند. نجفی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای بر روی حوزه سد کمال‌صالح در جنوب غرب استان مرکزی و شمال شرق استان لرستان، با استفاده از منحنی سنج رسوب یک خطی و حدوسط و به کمک ۵ فاکتور اصلاحی پارامتری و غیرپارامتری (CF1 و CF2)، حداقل واریانس ناریب (MVUE)، FAO و β انواع معادله‌های سنج رسوب را تهیه کردند و با یکدیگر مقایسه کردند. یافته‌های این محققان حاکی از آن بود که فاکتور اصلاحی β در منحنی سنج رسوب حدوسط دسته‌ها به خوبی می‌تواند اختلاف بین مقادیر برآوردی و مشاهداتی را در دبی‌های بالا کم کند. عطالو (۱۳۹۴) طی پژوهشی در شمال غرب ایران بر روی رودخانه نازلوچای دریاچه ارومیه اقدام به ارزیابی و اعتبارسنجی روش‌های مختلف منحنی سنج رسوب و ضرایب اصلاحی پرداخت. ایشان با به کارگیری ۶ شاخص آماری نشان دادند که روش حد وسط دسته‌ها دقت بیشتری در برآورد دبی رسوب را دارند.

با توجه به زمان‌بر و هزینه‌بر بودن نمونه‌برداری و اندازه‌گیری رسوب و مهمتر از همه اندازه‌گیری مقدار دبی رسوب در رژیم جریان‌های کم و نرمال رودخانه باعث شده است پژوهش‌گران زیادی با استفاده از روش‌های مختلف سعی در افزایش دقت روش‌های تخمین رسوب روی آورند. در ایران نیز این موضوع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا از طرفی حجم رسوبات حمل شده توسط



رودخانه‌ها بالاست و از طرف دیگر به دلیل تعداد کم ایستگاه‌های هیدرومتری و عدم تداوم آماربرداری در بسیاری از ایستگاه‌های موجود، آمار دقیقی از میزان رسوب در دست نیست (نجفی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰) و از طرف دیگر اجرای برنامه‌های مدیریت و کنترل فرسایش جهت کاهش میزان رسوب ضرورت دارد که لازمه اجرای این برنامه‌ها هم کسب اطلاعات از میزان بار رسوبی یا تولید رسوب حوزه‌ها می‌باشد. علاوه بر موارد عنوان شده با توجه به اختلاف شرایط آب و هوایی، هیدروولوژیکی، توپوگرافی و خاک در مناطق مختلف کشور، تهیه و یا واسنجی منحنی سنج رسوب برای مناطق مختلف ضرورتی اجتناب ناپذیر است (هادی‌قورقی و همکاران، ۱۳۹۱). بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور فاقد ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی بوده و از طرفی دیگر به دلیل داشتن هزینه زیاد نصب و نگهداری و حتی عدم حضور متخصصین در این ایستگاه‌ها سبب شده است چالشی بزرگ در اجرای طرح‌های مدیریتی این مناطق بوجود آید لذا از آنجایی که تعیین میزان رسوب‌دهی حوضه‌های فاقد آمار از طریق اندازه‌گیری‌های کوتاه مدت جوابگوی این گپ اطلاعاتی نمی‌باشد ضرورت می‌یابد تحقیقی در جهت حل این مشکل با در نظر حداقل آسانترین و سریع‌ترین و حداقل هزینه برای تخمین میزان رسوب‌دهی حوزه‌های فاقد آمار صورت گیرد. لذا این تحقیق با هدف تخمین میزان رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز فاقد آمار از طریق برآورد ضریب α و توان β رابطه منحنی سنج رسوب در استان مازندران انجام شد. بنابراین در این تحقیق پس از تهیه منحنی‌های سنج رسوب ۱۴ حوزه آبخیز در استان مازندران و استخراج ضریب α و توان β هر یک از حوزه‌های آبخیز اقدام به بررسی ارتباط بین آن‌ها با خصوصیات فیزیکی و ریخت‌سنجی خطی و شکلی حوزه‌های آبخیز پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

استان مازندران با مساحت ۲۳۹۷۴۴۰ هکتار معادل ۱/۵ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. این استان بین مدارهای ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و مدارهای ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. حد شمالی آن دریای خزر، حد جنوبی آن استان‌های تهران، قزوین، سمنان، حد غربی آن استان گیلان و حد شرق آن استان گلستان می‌باشد. از نظر اقلیمی نیز استان مازندران دارای ۳ نوع اقلیم متمایز بصورت اقلیم ساحلی، جلگه ای و کوهستانی می‌باشد. میزان بارندگی و رطوبت هوا در قسمت غرب استان بیشتر از شرق آن است بطوری که میزان میانگین بارش سالیانه در غرب ۹۴۵/۹ و در شرق ۶۵۶/۳ میلی‌متر می‌باشد. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۷۳ و ۴۷۸۳ متر می‌باشد. در شکل ۱ موقعیت حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در ایران و استان مازندران نشان داده شده است.

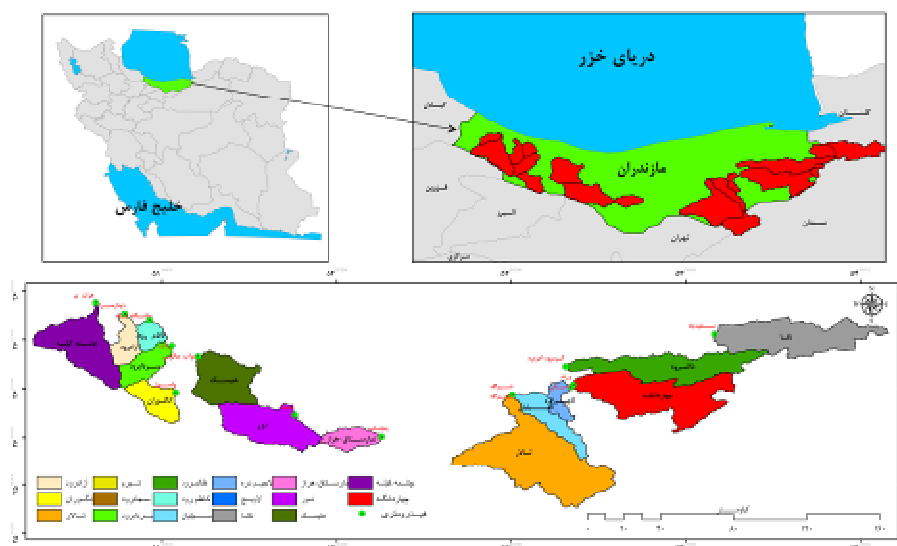
روش تحقیق

به طور خلاصه این تحقیق شامل دو مرحله است. در مرحله اول پس از کنترل کیفیت داده‌ها و حذف داده‌های مشکوک و پرت، منحنی سنج از داده‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسیم شد. در مرحله دوم ۱۶ خصوصیت فیزیکی و ریخت‌سنجی شکلی و خطی برای هر ۱۴ حوزه آبخیز با به‌کارگیری الحاقیه Arc Hyro و نرم‌افزار GIS تعیین شد. و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار SPSS اقدام به بررسی همبستگی (اسپرمن) بین ضریب α و توان β معادله منحنی سنج رسوب با خصوصیات فیزیکی و ریخت‌سنجی شکلی و خطی انجام شد.

انتخاب ایستگاه‌های مذکور به نحوی انجام شده است که ضمن داشتن دوره آماری با فراوانی نمونه‌برداری حداقل روزانه در بعضی از ماه‌های مختلف سال، شرایط کاربری اراضی به نسبت یکسان (جنگلی) و همچنین عدم وجود سد در منطقه به دلیل عدم تاثیر در روی ویژگی ضرایب α و توان β در معادله سنج رسوب جهت بررسی ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی شکلی و خطی هر یک از حوزه‌های آبخیز انتخاب شدند. ریخت‌سنجی شامل تعداد زیادی متغیر است که در پژوهش حاضر از متغیرهای متنوع



خطی^{۳۴} و شکلی^{۳۵} استفاده شد. پارامترهای خطی و شکلی که در پژوهش حاضر مورد محاسبه قرار گرفت، شامل فراوانی آبراهه^{۳۶}، تراکم زهکشی^{۳۷}، بافت زهکشی^{۳۸}، فاکتور فرم^{۳۹}، نسبت کشیدگی^{۴۰}، نسبت گردی^{۴۱}، ضریب فشردگی^{۴۲}، و ضریب شکل حوزه^{۴۳} بودند که به ترتیب از طریق روابط ۳ تا ۱۰ محاسبه گردید.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی و حوزه‌های آبخیز بالادست آن‌ها

$$F_s = \frac{N_u}{A} \quad (۳)$$

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (۴)$$

$$R_t = \frac{N_u}{P} \quad (۵)$$

$$F_f = \frac{A}{Lb^2} \quad (۶)$$

$$R_e = \frac{\sqrt{4A/\pi}}{Lb} \quad (۷)$$

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (۸)$$

³⁴ Linear Aspects

³⁵ Areal Aspects

³⁶ Stream Frequency

³⁷ Drainage Density

³⁸ Texture Ratio

³⁹ Form Factor

⁴⁰ Elongation Ratio

⁴¹ Circularity Ratio

⁴² Compactness Coefficient

⁴³ Shape Factor



$$C_c = \frac{0.2821p}{A^{0.5}} \quad (9)$$

$$B_s = \frac{Lb}{A} \quad (10)$$

که در آن R_b نسبت انشعاب، F_s فراوانی آبراهه، D_d تراکم زهکشی، R_t بافت زهکشی، F_f فراوانی آبراهه، R_e نسبت کشیدگی، R_c نسبت گردی، C_c ضریب فشردگی، B_s ضریب شکل حوزه، N_u تعداد کل انشعابات آبراهه و n شماره آخرین رده آبراهه، L_i طول آبراهه (Km) و A مساحت واحد (km^2)، Lb طول حوزه (km)، P محیط حوزه (km) می‌باشد.

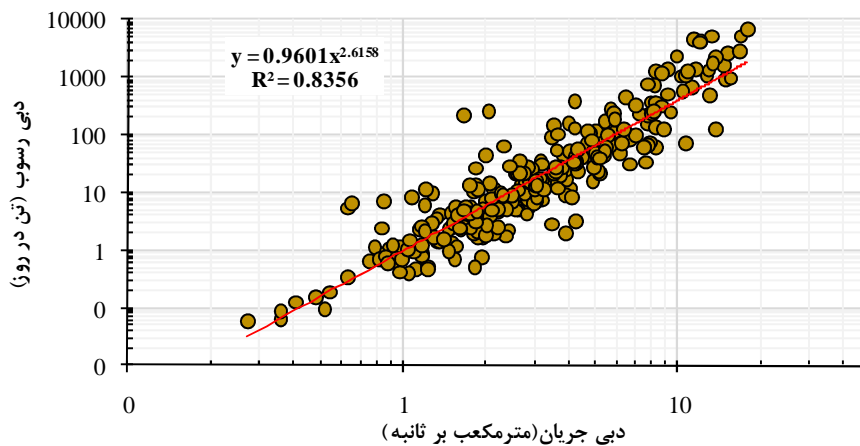
نتایج و بحث

با استفاده از الحاقیه Arc Hydro مرز ۱۴ حوزه آبخیز در استان مازندران مدل‌سازی شد. حداقل مساحت مربوط به حوزه آبخیز و استان (۱۴۰ کیلومتر مربع) و بیشترین مساحت را حوزه آبخیز شیرگاه تالار (۱۷۶۵ کیلومتر مربع) را دارد. جدول شماره ۱ مشخصات برخی از ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی حوزه‌های آبخیز را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و ریخت‌سنجی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در استان مازندران

ایستگاه هیدرومتری	رودخانه	مساحت (KM)	محیط (KM)	شیب (%)	فاکتور فرم	کشیدگی	گردی	فشردگی
هرات بر	چشمه	۷۷۵/۱۹۷	۲۰۱/۴۵	۵۶/۳۵۵	۰/۳۴۱	۰/۶۵۹	۰/۲۴۰	۲/۰۴۰
دینار سرا	آزاد رود	۲۲۹/۱۱۹	۱۰۲/۵۷	۴۵/۹۷۳	۰/۲۸۹	۰/۶۰۷	۰/۲۷۴	۱/۹۱۱
ماشالله آباد	کاظم رود	۱۵۲/۵۶۶	۷۱/۱۴	۳۵/۳۹۶	۰/۴۹۶	۰/۷۹۵	۰/۳۷۹	۱/۶۲۴
والت	سرداب رود	۲۹۶/۸۹۳	۱۱۲	۴۹/۶۲۷	۰/۲۹۷	۰/۶۱۵	۰/۲۹۷	۱/۸۳۳
واسپول	انگوران	۳۰۰/۵۸۸	۱۰۷/۵۱	۵۷/۹۵۲	۰/۵۷۶	۰/۸۵۷	۰/۳۲۷	۱/۷۴۹
دو آب	هنیسک	۶۲۳/۴۶۲	۱۵۰/۹۴	۴۰/۰۵۴	۰/۴۶۲	۰/۷۶۷	۰/۳۴۴	۱/۷۰۵
بلده	نور	۷۳۸/۴۱۹	۱۷۶/۲۶	۴۴/۰۰۴	۰/۶۲۵	۰/۸۹۳	۰/۲۹۹	۱/۸۲۹
پنجاب	نمارستاق	۲۳۶/۷۲۴	۹۳/۶۱	۴۷/۰۳۹	۰/۳۰۳	۰/۶۲۱	۰/۳۳۹	۱/۷۱۶
شیرگاه	تالار	۱۷۶۵/۴۰۷	۳۴۳/۸۱	۴۰/۲۱۳	۰/۳۷۳	۰/۶۹۰	۰/۱۸۸	۲/۳۰۸
شیرگاه	کسیلیان	۳۴۳/۰۶۹	۱۶۶/۹۵	۳۱/۱۹۷	۰/۱۵۲	۰/۴۴۰	۰/۱۵۵	۲/۴۵۲
واستان	لاجیم	۱۴۰/۶۴۶	۹۶/۳۸	۲۶/۳۲۷	۰/۴۱۵	۰/۷۲۷	۰/۱۹۰	۲/۲۹۲
ورند	چهارداز	۱۲۱۱/۴۷۶	۳۲۰/۸۹	۲۷/۹۵۵	۰/۲۴۰	۰/۵۵۳	۰/۱۴۸	۲/۶۰۰
سفیدچاه	نکا	۱۰۲۷/۸۸۰	۲۸۷/۹۱	۳۰/۴۹۴	۰/۱۷۴	۰/۴۷۱	۰/۱۵۶	۲/۵۳۲
گرم‌رود-امردره	ظالم‌رود	۸۹۱/۲۲۴	۳۰۸/۶	۳۰/۴۶۶	۰/۱۱۰	۰/۳۷۴	۰/۱۱۸	۲/۹۱۵

منحنی سنج رسوب برای ۱۴ حوزه آبخیز در محیط برنامه Excel 2013 با استفاده از داده‌های برداشت شده، ترسیم گردید. بیشترین ضریب تبیین (R^2) برای ایستگاه گرم‌رود (۰/۸۳) و کمترین ضریب تبیین مربوط به ایستگاه واستان به میزان ۰/۳۶ می‌باشد. در شکل ۲ منحنی سنج رسوب مربوط به ایستگاه گرم‌رود به عنوان نمونه نشان داده شده است.



شکل ۲- منحنی سنج رسوب ایستگاه هیدرومتری-رسوب‌سنجی گرمود

نتایج مربوط به ضریب تبیین ضریب α و توان β برای هر یک از منحنی‌های سنج رسوب حوزه‌های آبخیز در جدول ۲ نشان داده شده‌است. بر اساس نتایج به دست آمده، کم‌ترین مقدار ضریب α مربوط به حوزه شیرگاه کسلیان با مقدار ۰/۸۹۳۲ و بیشترین مقدار مربوط به حوزه واسپول با مقدار ۱۱/۷۲۴ می‌باشد.

جدول ۲- معادله سنج رسوب و ضرایب آن در هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

معادله سنج رسوب	ضریب β	ضریب α	ضریب تبیین (R^2)	رودخانه	ایستگاه هیدرومتری
$y = 4.0545x^{1.4105}$	۱/۴۱۰۵	۴/۰۵۴۵	۰/۴۲۴۸	چشمه کیله	هرات بر
$Q_s = 8.1982Q_w^{1.1775}$	۱/۱۷۷۵	۸/۱۹۸۲	۰/۳۲	آزاد رود	دینار سرا
$y = 8.3972x^{1.124}$	۱/۱۲۴	۸/۳۹۷۲	۰/۵۳۱۸	کاظم رود	ماشالله آباد
$y = 7.8052x^{1.1518}$	۱/۱۵۱۸	۷/۸۰۵۲	۰/۴۱۱۸	سرداب رود	والت
$y = 11.724x^{1.1712}$	۱/۱۷۱۲	۱۱/۷۲۴	۰/۴۹۵۸	انگوران	واسپول
$y = 10.039x^{1.4504}$	۱/۴۵۰۴	۱۰/۰۳۹	۰/۳۲۱۷	هنیسک	دوآب-چالوس
$y = 9.0498x^{1.1221}$	۱/۱۲۲۱	۹/۰۴۹۸	۰/۵۶۰۴	نور	بلده
$y = 6.7686x^{2.3462}$	۲/۳۴۶۲	۶/۷۶۸۶	۰/۵۳۸۳	نمارستاق	پنجاب
$y = 1.1572x^{2.5654}$	۲/۵۶۵۴	۱/۱۵۷۲	۰/۵۶۸۴	تالار	شیرگاه
$y = 0.8932x^{2.1584}$	۲/۱۵۸۴	۰/۸۹۳۲	۰/۷۸۲۸	کسلیان	شیرگاه
$y = 1.6474x^{1.3604}$	۱/۳۶۰۴	۱/۶۴۷۴	۰/۳۶۲۴	لاجیم دره	واستان
$y = 1.4624x^{2.1477}$	۲/۱۴۷۷	۱/۴۶۲۴	۰/۵۸۵۴	چهار دانگه	ورند
$y = 2.9174x^{2.3667}$	۲/۳۶۶۷	۲/۹۱۷۴	۰/۷۱۰۴	نکا	سفیدچاه
$y = 0.9601x^{2.6158}$	۲/۶۱۵۸	۰/۹۶۰۱	۰/۸۳۵۶	ظالم رود	گرمود-امردره

نتایج همبستگی اسپرمن بین ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی با ضریب α و توان β نشان داد که در سطح اعتماد ۹۹ درصد بین فراوانی آبراهه، نسبت گردی و ضریب فشردگی حوضه با ضریب α و نسبت گردی، ضریب فشردگی و طول حوضه نیز با توان β دارای همبستگی می‌باشد. همچنین نتایج همبستگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد نشان داد که بین محیط و طول حوضه با ضریب α و



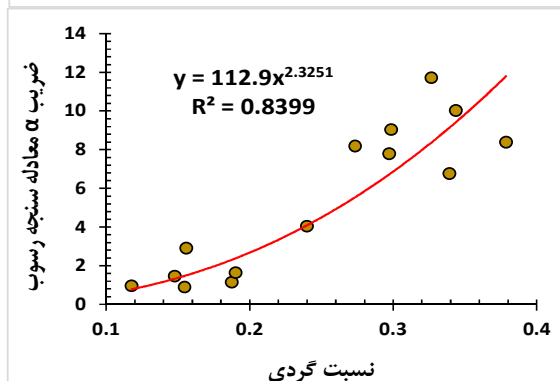
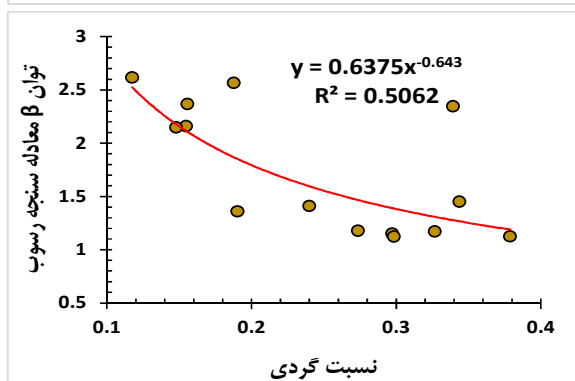
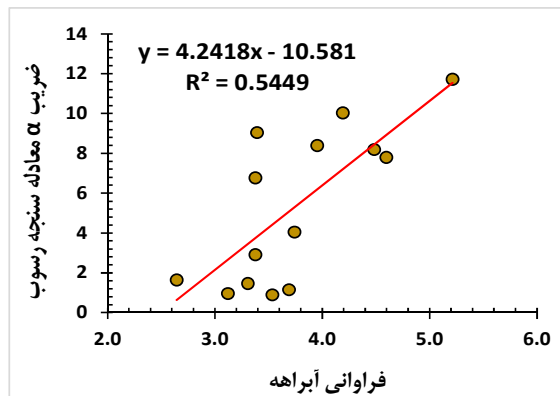
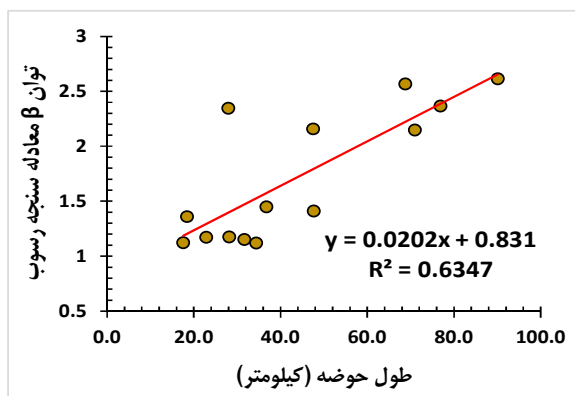
ویژگی‌های محیط، فراوانی آبراهه، نسبت کشیدگی و فاکتور فرم حوضه با توان β همبستگی معنی‌دار می‌باشد. نتایج همبستگی اسپیرمن بین ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی و ضریب α و توان β معادله سنج رسوب در مواردی که همبستگی در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بوده در جدول ۳ ارائه شده است.

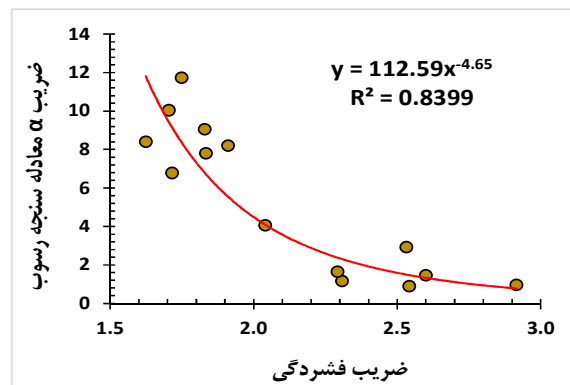
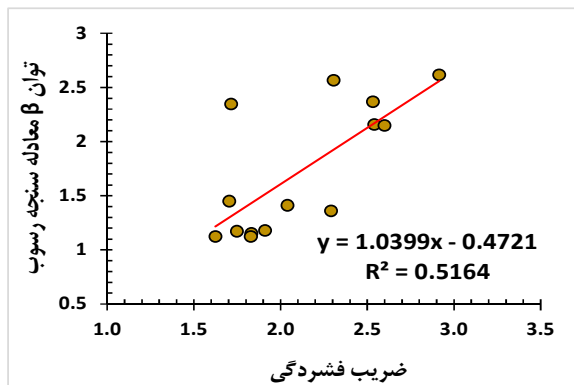
جدول ۳- نتایج همبستگی اسپیرمن بین ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی و ضریب α و توان β معادله سنج رسوب

طول حوضه	ضریب	نسبت	فاکتور فرم	فراوانی	محیط
* -۰/۵۷۶	** ۰/۶۷۶	** ۰/۶۷۶	۰/۴۲۴	** ۰/۶۹۷	* -۰/۵۷۴
** ۰/۶۴۱	** -۰/۶۴۴	** -۰/۶۴۴	* -۰/۶۱۵	* -۰/۵۰۶	* ۰/۵۰۰

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اعتماد در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد.

بنابر توضیحات داده شده در ادامه روابط رگرسیونی دو متغیره بین برخی ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی حوزه‌های آبخیز و ضریب α و توان β برقرار شده و در شکل ۳ ارائه شده است. موارد ارائه شده برای حالت‌هایی ارائه شده است که همبستگی در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. از نمودارهای ارائه شده می‌توان استنباط نمود که امکان تخمین ضریب α و توان β معادله سنج رسوب فقط با استفاده از برخی ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌سنجی حوضه‌های بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی وجود دارد. از این امکان می‌توان برای کاربرد در حوضه‌های مشابه بدون آمار متناظر دبی و رسوب و طبعاً بدون امکان تهیه معادلات سنج رسوب نیز بهره جست.





شکل ۳- نمودار رابطه ویژگی‌ها ریخت‌سنجی خطی و شکلی با ضریب α و توان β حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

دامنه تغییرات فراوانی آبراهه حوزه‌ها بین ۲/۶۴۵ تا ۵/۲۱۳ قرار گرفته است. به عبارتی با افزایش فراوانی آبراهه، تراکم زهکشی نیز افزایش پیدا می‌کند در ارتباط با ضریب α نیز با افزایش فراوانی آبراهه میزان آن افزایش و مقدار توان β کاهش می‌یابد. نسبت گردی حوزه‌ها بین ۰/۱۱۸ در ایستگاه ماشالله تا ۰/۳۷۹ در حوضه گرمود تغییر می‌کند. هر چه مقدار نسبت گردی افزایش می‌یابد بر میزان فرسایش‌پذیری حوزه افزوده می‌شود لذا میزان ضریب α نیز افزایش پیدا می‌کند. کم‌تر بودن فاکتور فرم حوزه، همچون حوزه گرمود نشان‌دهنده آن است که این زیرحوزه‌ها کشیده‌تر است و دبی پیک سیلاب آن پهن‌تر و زمان تا اوج آن بیش‌تر از زیرحوزه‌های گردتر همچون ماشالله می‌باشد بنابراین این حوزه‌ها به سبب دبی هیدروگراف سیلاب پهن‌تر و زمان تا اوج کم‌تر نسبت به زیرحوزه‌های گردتر، مدیریت راحتی را امکان‌پذیر می‌کند (ناوتیال، ۱۹۹۴؛ چیترا و همکاران، ۲۰۱۱؛ آهر و همکاران، ۲۰۱۴؛ ناوتیال، ۲۰۱۴). لذا در حوزه‌های کشیده که دارای فاکتور فرم کمتری دارند میزان توان β در آن افزایش و مقدار فرسایش کاهش می‌یابد. به طور کلی با افزایش مساحت، محیط و ضریب فشردگی میزان توان β افزایش به منظوری قدرت حمل جریان افزایش می‌یابد همچنین با افزایش نسبت گردی، فاکتور فرم، فراوانی آبراهه و متوسط شیب حوضه ضریب α افزایش و توان β کاهش می‌یابد در نتیجه میزان فرسایش‌پذیری حوضه افزایش می‌یابد. در جمع بندی نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان به این موضوع اشاره کرد که با توجه به اینکه در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی وجود ندارد می‌توان با استفاده از ویژگی‌ها فیزیکی و ریخت‌سنجی حوزه‌ها به ضریب α و توان β معادله سنج رسوب رسیده و از این طریق به تخمینی از مقدار رسوب‌دهی حوزه آبخیز فاقد آمار دست یافت.

منابع

- عطالو، ن.، (۱۳۹۴)، مقایسه مدل‌های ریاضی و منحنی سنج رسوب در برآورد بار معلق رودخانه نازلوچای ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ارومیه.
- عرب خدری، م.، میرزایی، م.ر.، نیک کامی، د.، شادفر، ص.، (۱۳۹۲)، اثر تفکیک دوره‌های برفی و بارانی در میزان صحت برآورد رسوب‌دهی معلق در حوزه گرگان‌رود، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۷ (۲۰): ۵۵-۶۴.
- عرب‌خدری، م.، (۱۳۹۳)، برآورد نسبت بار کف به بار معلق در رودهای دز و میناب، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶ (۴): ۳۹۰-۳۹۹.



- عرب‌خداری، م.، حکیم‌خانی، ش.، وروانی، ج.، (۱۳۸۳)، اعتبار روش‌های برون‌یابی در برآورد میانگین رسوب‌دهی معلق سالانه (۱۷) ایستگاه هیدرومتری کشور)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱ (۳): ۱۲۳-۱۳۱.
- عرفانیان، م. و بیاضی، م.، (۱۳۹۰)، گزارش نهایی بررسی روش‌های برون‌یابی برآورد بار معلق رودخانه در آذربایجان غربی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، صفحه ۵-۱۷.
- فیض‌نیا، س.، محمدی، ع.، محسنی‌ساروی، م. و قدیمی‌عروس محله، ف.، (۱۳۸۶)، بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی و حساسیت سازندهای به فرسایش در رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز (مطالعه موردی: دریاچه نمک)، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۰ (۳): ۸۱۱-۸۲۸.
- قورقی، ج.ه.، حبیب‌نژاد، م.، وهاب‌زاده، ق.، خالدی درویشان، ع.و.، (۱۳۹۱)، کارآیی روش‌های مختلف تفکیک داده در افزایش دقت و صحت منحنی سنج رسوب؛ مطالعه موردی بخشی از حوزه آبخیز سفیدرود، فصل‌نامه مهندسی آبیاری و آب، ۲ (۷): ۹۷-۱۱۱.
- مردیان، م.، وروانی، ج.، بردی شیخ، و.، نجفی‌نژاد، ع.، (۱۳۹۳)، بررسی کارایی معادله سنج رسوب چندمتغیره و ارتباط عملکرد آن با خصوصیات فیزیکی حوضه آبخیز، مجله پژوهش آب ایران، ۸ (۴): ۱۸۷-۱۹۴.
- نجفی‌نژاد، ع.، مردیان، م.، وروانی، ج.، شیخ، و.ب.، (۱۳۹۰)، ارزیابی کارایی ضرایب اصلاحی در بهینه‌سازی منحنی سنج رسوب (مطالعه موردی: حوزه سد کمال صالح استان مرکزی)، مجله حفاظت آب و خاک، ۱۸ (۲): ۱۰۵-۱۲۲.
- Aher, P.D., Adinarayana, j and Gorantiwar, S.D., (2014), Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*, 511 (1): 850-860.
- Akbarzadeh, M.R., Ghezelsfloo, A., Hajibigloo, M., Khodashenas, S.R., (2014), Selecting the Most Appropriate Method of Basin Sediment Estimation by Sediment Rating Curves at Hydrometric Stations (Case study: Atrak basin, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineerin*, 4(6): 661-671.
- Chitra C., Alaguraja P., Ganeshkumari K., Yuvaraj D., Manivel M., (2011), Watershed Characteristics of Kundah sub basin using Remote Sensing and GIS techniques, *International Journal of Geomatics & Geosciences*, 2(1): 311-335.
- De Girolamo, A.M., Pappagallo, G. and Lo Porto, A., (2015), Temporal variability of suspended sediment transport and rating curves in a Mediterranean river basin: The Celone (SE Italy). *CATENA*, 128: 135-143.
- Iadanza, C., Napolitano, F., (2006), Sediment transport time series in the Tiber River. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31(18): 1212-1227.
- Jansson, M.B., (1996), Estimating a sediment rating curves of the Reventzon river at Palomo using logged mean loads within discharge classes, *Journal of Hydrology*, 183(4):227-241.
- Kao, Sh., Lee, T., Milliman, J.D., (2005), Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan. *TAO*, 16(3): 653-675.
- Khanchoul, M., Benslama, M., Remini, B., (2010), Regressions on Monthly Stream Discharge to Predict Sediment Inflow to a Reservoir in Algeria. *Journal of Geography and Geology*, 2(1): 36-47.
- Nautiyal M.D, (1994), Morphometric Analysis of a Drainage Basin using Aerial photographs: A case study of Khairakulli Basin, District Dehradun, Uttar Pradesh. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 22(4):251-261.



- Ozdemir, H., and Bird, D., (2009), Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. *Environmental Geology* 56: 1405-1415.
- Regüés, D. and Nadal-Romero, E., (2013), Uncertainty in the evaluation of sediment yield from badland areas: Suspended sediment transport estimated in the Araguás catchment (central Spanish Pyrenees). *CATENA*, 106: 93-100.
- Ramaiah, S.N., Gopalakrishna, G.S., Srinivasa, Vittala, S., Najeeb, Md.K., (2012), Morphometric Analysis of Sub-basins in and around Malur Taluk, Kolar District, Karanataka Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal nature Environment and Pollution Technology*, 11(1):89-94.
- Smith, K.G., (1950), Standards for grading textures of erosional topography. *American Journal Science*, 248: 655-668