

برآورد بار معلق رسوب به روش منحنی سنج (مطالعه موردی حوزه آبخیز زرینه رود)

طیبه ایرانی^{۱*}، حبیب نظرنژاد^۲، میرحسین میریعقوب زاده^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه (Tayebeh.Irani@yahoo.com)

۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه (h.nazarnejad@urmia.ac.ir)

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه (m.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir)

چکیده

تخمین دقیق حجم رسوبات حمل شده به وسیله رودخانه‌ها و متعاقباً حجم رسوب ورودی به سدها در بسیاری از پروژه‌های کلان مدیریت منابع آب دارای اهمیت فراوان است. به منظور تخمین بار رسوبی ورودی روش‌های مختلفی از جمله روابط رگرسیونی در قالب معادلات سنجه به کار برده می‌شوند که نحوه استفاده و دقت آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین به دلیل هزینه بالای اندازه‌گیری مداوم رسوب حمل شده و پایش آن برآورد میزان رسوبات معلق در رودخانه‌ها معمولاً از طریق منحنی سنجه رسوب انجام می‌گیرد. در این تحقیق از داده‌های رسوب ۲۶ سال (دوره ۹۲-۱۳۶۶) ایستگاه هیدرومتری نظام آباد استفاد شد و برآورد بار معلق رسوب در مقاطع زمانی مورد مطالعه از طریق تجزیه و تحلیل روابط رگرسیونی و ترسیم منحنی‌سنجه‌های یک‌خطی، دوخطی و حد وسط نشان داد که در بین معیارهای ارزیابی RMSE و R2، روش حدوسط دسته‌ها ($R^2=0/94$) دقت بیشتری در برآورد دبی رسوب از خود نشان داد. نتایج نشان داد رسوبات معلق در سال‌های مورد مطالعه با توجه به آمار دمای ایستگاه سینوپتیک میاندوآب و سایر ایستگاه‌های مجاور حوزه، برای سال‌های مورد مطالعه یعنی سال ۲۰۰۳ و سال ۲۰۱۳ در تمامی ماه‌ها افزایش دما وجود داشته که این افزایش دما باعث افزایش تبخیر می‌شود در نتیجه دبی جریان کاهش می‌یابد و کاهش دبی جریان باعث کاهش دبی رسوب شده است. دلیل دیگر کاهش رسوب را می‌توان برداشت بی‌رویه از رودخانه بیان کرد.

واژه‌های کلیدی: بار معلق رسوب، معیارهای ارزیابی، منحنی سنجه‌های رسوب، زرینه رود

مقدمه

فرسایش، انتقال رسوب، رسوبگذاری و کیفیت آب از مسائل بسیار مهم در مدیریت حوزه‌های آبخیز می‌باشند. این مسائل را می‌توان با برقراری و توسعه برنامه‌های اندازه‌گیری مقدار رسوب انتقالی در رودخانه‌ها مورد بررسی قرار داد (الیو و ریگر، ۱۹۹۲). غلظت رسوب از متغیرهای مهم در ارزیابی کیفی منابع آب است (خانجو و همکاران، ۲۰۱۰). فرسایش و تولید رسوب، تابع عوامل مختلفی است که بر اساس شرایط خاص هر منطقه ممکن است یک یا چند عامل در تشدید آن مؤثر باشد. خصوصیات محیطی نظیر مقدار و شدت بارش، درجه شیب و تراکم شبکه آبراهه‌ها نیز در تولید و حمل رسوب مؤثرند (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۵). در قرون اخیر فرسایش و تأثیر آن بر روی خاک و آب سطحی در سطح محلی، ملی، قاره‌ای و سیاست‌گذاری بین‌المللی به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است و مطالعات فراوانی بر روی فرایند فرسایش خاک، دینامیک رسوب، ارزیابی رسوب، رسوب مخزن و جنبه‌های زیست محیطی انتقال رسوبات معلق و همچنین اقدامات ویژه به منظور کاهش فرسایش خاک متمرکز شده است. (Giroloamo و همکاران، ۲۰۱۵). پیامد شناخت متقابل از منابع آب و خاک، افزایش رفاه مردم و نبود وابستگی اقتصادی کشورها را به دنبال خواهد داشت (Pandey و همکاران، ۲۰۰۹) و در این میان تشدید فرایند فرسایش خاک و فزونی رسوبات، به عنوان دو محرک تنش‌زا، مهم ترین تهدید برای این منابع به حساب می‌آیند (نجفی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). به طور کلی مواد رسوبی از نظر شیوه انتقال به دو دسته ای بار معلق و بار کف تقسیم می‌شود. بر آورد بار کف به دلیل پیچیده بودن اندازه گیری رسوب بستر رودخانه و پر زحمت بودن نصب تجهیزات اندازه‌گیری بار کف با مسائل و مشکلات زیادی توأم است. چنان که قرار دادن هر گونه وسیله اندازه گیری 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 ملاحظه ای رسوبات معلق از مواد محلول منتقل شده بیشتر می‌باشد (Regues و Nadal-Romero، ۲۰۱۳). به همین سبب معمولاً از روش‌های برون‌یابی برای برآورد بار معلق آبخیزها در ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب سنجی 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 دبی جریان متناظر با آن، معمول‌ترین روش برای برآورد رسوب دهی رودخانه‌ها است که به طور گسترده‌ای در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۹۲). (مردیان و همکاران، ۱۳۹۳). برای برآورد بار رسوب معلق روش‌های متعددی وجود دارد که با توجه به وضعیت آمار منطقه مورد بررسی، یک یا چند روش بکار گرفته می‌شود و پس از مقایسه نتایج حاصله، یکی از آنها برای آن حوضه پیشنهاد می‌گردد. در اکثر موارد در این روش‌ها از رابطه توانی بین دبی جریان و دبی رسوب معلق که به منحنی سنج رسوب معروف است استفاده می‌شود.

$$Q_s = aQ_b^b \quad (1-1)$$

که a و b ضرایب معادله بوده و با رسم خط بهترین برازش بدست می‌آیند. (کیاء و عمادی، ۱۳۹۱). چنانچه سهم مشارکت انواع استفاده از زمین در میزان رسوب‌دهی مشخص و قابل توجه باشد، با ارائه روش‌های مدیریتی در بهره‌برداری از زمین‌ها، می‌توان از شدت فرسایش و رسوب‌دهی حوزه آبخیز کاست، نتیجه حاصل از این اقدام‌ها، قابل ارائه بودن دستورالعمل‌های اجرایی برای برنامه‌های آبخیزداری خواهد بود. در طی سالیان متمادی محققان مختلف، تحقیقات گسترده‌ای بر روی رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز در سراسر دنیا انجام داده‌اند. (Zarris و همکاران، ۲۰۱۱) در مطالعه‌ای در بلغارستان و یونان، به منظور برآورد رسوب این رودخانه مدیترانه‌ای پنج روش مختلف منحنی سنج رسوب را مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که منحنی سنج رسوب خطی شکسته برآورد بیش‌تری را در بین سایر روش‌ها از خود نشان می‌دهد. (Giroloamo و همکاران، ۲۰۱۵) در مطالعه‌ای در ایتالیا، منحنی سنج رسوب را برای سه گروه از جریان‌ها شامل جریان‌های بالا، نرمال و کم ترسیم و میزان برآورد جریان‌های مذکور را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج آنان نشان داد که در حدود ۹۴ درصد از کل مواد معلق در زمان وقوع رژیم جریان‌های بالا و کم‌تر از ۱ درصد در شرایط جریان‌های کم انتقال می‌یابد. (محمدی و همکاران، ۱۳۸۶) در تحقیقی که بر روی رودخانه گرگان‌رود انجام دادند به این نتیجه رسیدند

مدل حد واسط دسته‌ها در بین مدل‌های مورد آزمون بهترین قابلیت پیش‌بینی را در برآورد رسوب رودخانه مورد مطالعه دارد. همچنین آنها براساس نتایج به‌دست آمده پیشنهاد دادند که نمونه‌برداری از جریان سیلابی در فواصل زمانی کوتاه‌تر به تعداد بیشتر صورت پذیرد.

مواد و روش‌ها

۱-۲- مشخصات حوزه آبخیز مورد مطالعه

حوزه زرينه‌رود بزرگ‌ترین زیرحوضه درجه ۲ از حوزه دریاچه ارومیه است که در موقعیت $45^{\circ}78'$ تا $47^{\circ}37'$ طول جغرافیایی و $36^{\circ}18'$ تا $36^{\circ}44'$ عرض جغرافیایی قرار دارد. وسعت این حوزه بالغ بر ۱۱۷۲۵ کیلومتر مربع می‌باشد. سد زرينه‌رود، سد اصلی مورد بهره‌برداری در این حوزه بوده و از آن برای مصارف کشاورزی و شرب استفاده می‌گردد. رودخانه زرينه‌رود قبل از سد زرينه رود در بالادست از چهار شاخه اصلی به نام‌های سقزچای، جیغاتوچای، خرخره چای و ساروق چای تشکیل می‌گردد. این رودخانه پس از خروج از سد مزبور در جهت شمال به جریان خود ادامه داده و وارد سد انحرافی نوروزلو می‌گردد و با رودخانه آجرلو که یکی دیگر از شعب مهم خود می‌باشد در همین محل تلاقی می‌نماید. آب‌های خروجی از سد نوروزلو در بستر رودخانه وارد میاندوآب می‌گردد. پس از عبور از این شهر به موازات سیمینه‌رود بسوی دریاچه پیش رفته و در روستای قره‌گزلو وارد دریاچه ارومیه می‌شود. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز زرينه و ایستگاه هیدرومتری نظام آباد در خروجی حوزه آبخیز زرينه نشان داده شده است.

داده‌ها

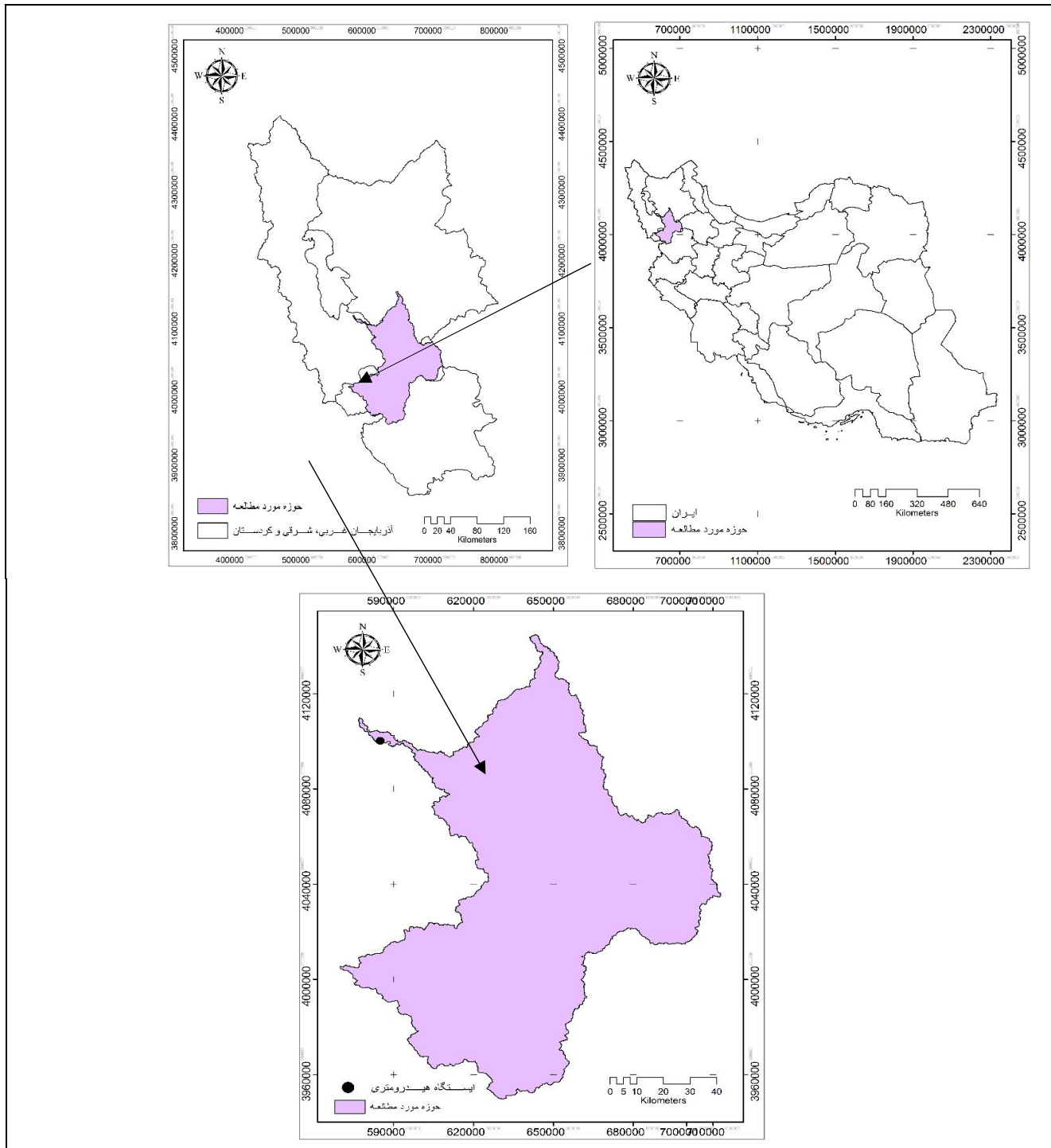
برای برآورد رسوب معلق سالیانه با استفاده از آمار رسوب ایستگاه هیدرومتری نظام آباد در سه دوره‌ای مورد مطالعه (۱۳۶۶، ۱۳۸۳، ۱۳۹۲) استفاده گردید. ابتدا حذف ۲۰ درصد داده‌های پرت و تکراری با استفاده از نرم افزار SPSS 22 انجام گرفت و سپس با استفاده از ۸۰ درصد داده‌های رسوب منحنی سنج‌های یک خطی، دو خطی و حد وسط دسته‌ها ترسیم گردید. و سپس با استفاده از معیارهای ارزیابی ریشه دوم میانگین مربع خطا^۱ (RMSE)، و ضریب همبستگی (R) جهت مقایسه و اعتبار سنجی هریک از منحنی سنج‌های رسوب پرداخته شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{SO} - Q_{SE})^2}{N}} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{SE} - \bar{Q}_{S_o})(Q_w - \bar{Q}_{S_o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{SE} - \bar{Q}_{S_o})^2 \sum_{i=1}^n (Q_w - \bar{Q}_{S_o})^2}} \quad (3)$$

N: تعداد داده‌ها (تعداد بارهای معلق مشاهده‌ای یا اندازه‌گیری شده)، Q_{SE} : مقدار برآوردی بار معلق برای داده Q_{S_o} ، مقدار مشاهده‌ای بار معلق برای داده Q_{S_o} ، \bar{Q}_{S_o} : متوسط مقدار مشاهداتی، Q_w : دبی جریان، \bar{Q}_w : متوسط دبی جریان.

¹. Root Mean Squared Error



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز زربینه رود

برای انتخاب معادله بهینه از روش مجموع رتبه بندی مقادیر شاخص های ارزیابی استفاده گردید. به این صورت که نزدیک ترین مقدار شاخص R^2 به عدد ۱ و نزدیک ترین مقدار شاخص RMSE به عدد صفر در ایستگاه مورد نظر، که بیانگر کمترین اختلاف بین مقادیر رسوب برآوردی و مشاهداتی است، هر روشی که مقدار آن به معیارهای ارزیابی نزدیک تر باشد به عنوان روش بهینه معرفی گردید. در صورتی که مجموع معیارهای ارزیابی گفته شده برابر باشد، اولویت با معادله روشی است که بیشترین ضریب تبیین (R^2) بر اساس درجه همبستگی بین مقادیری مشاهداتی و برآوردی رسوب را به خود اختصاص داده باشد (نجفی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

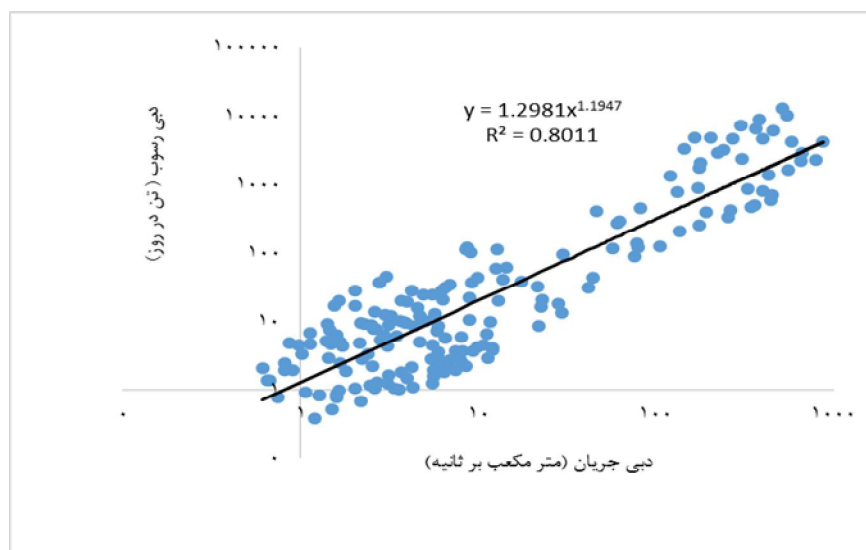
نتایج

در جدول ۱ آمار توصیفی دبی جریان و دبی رسوب ایستگاه نظام آباد مشاهده می شود. طبق این جدول میانگین های دبی رسوب و دبی جریان به ترتیب ۶۳۵/۸۷ تن در روز و ۷۹/۹۷ متر مکعب در ثانیه، حداقل و حداکثر دبی رسوب به ترتیب برابر با ۰/۳۸ و ۱۳۱۷۹/۱۴ تن در روز و حداقل و حداکثر دبی جریان به ترتیب برابر با ۰/۶۱ و ۸۷۰/۹ متر مکعب در ثانیه می باشند.

جدول ۱- آمارهای توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوزه زرينه رود (ایستگاه نظام آباد)

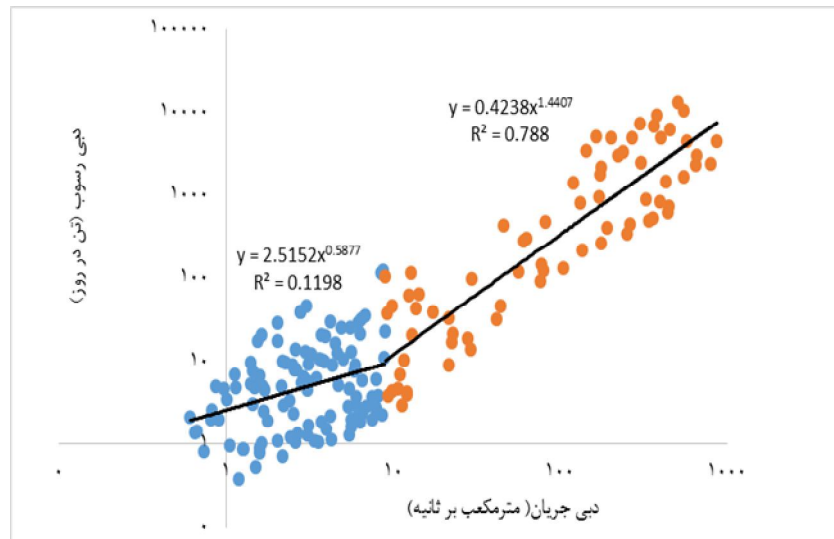
محاسبات آماری	دبی رسوب (تن در روز)	دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)
میانگین	۶۳۵/۸۷	۷۹/۹۷
میانه	۱۰/۶۲	۶/۳۷
انحراف معیار	۱۸۳۰/۸۳	۱۶۱/۳
حداقل	۰/۳۸	۰/۶۱
حداکثر	۱۳۱۷۹/۱۴	۸۷۰/۹

ترسیم منحنی های سنجه یک خطی، دو خطی و حد وسط دسته ها اشکال (۲، ۳ و ۴) نشان داده شده اند. شکل (۲) منحنی سنجه رسوب یک خطی برای ۸۰ درصد داده های رسوب را در ایستگاه نظام آباد نشان می دهد.



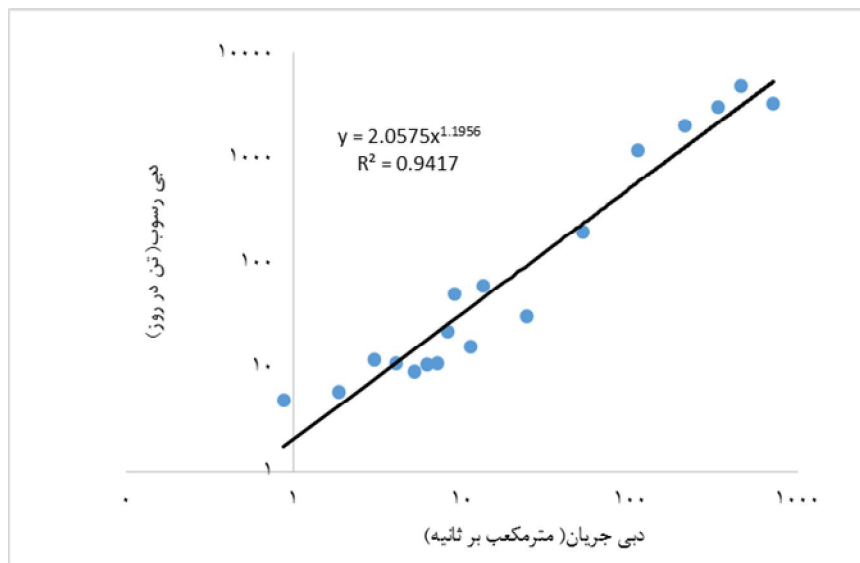
شکل ۲- منحنی سنجه رسوب یک خطی حوزه زرينه رود - ایستگاه نظام آباد

منحنی سنجه دو خطی با توجه به وضعیت پراکنش نقاط در منحنی سنجه رسوب ایستگاه نظام آباد شکل (۳) می توان دو خط از بین نقاط برازش داد. بدین منظور برای دبی های جریان کوچکتر از ۹ مترمکعب در ثانیه یک خط و برای دبی های بزرگتر از ۹ مترمکعب در ثانیه یک خط دیگر عبور داده شده است.



شکل ۳- منحنی سنجه دو خطی حوزه زرينه رود (ايستگاه نظام آباد)

به منظور بدست آوردن معادله منحنی سنجه حدوسط دسته‌ها برای ایستگاه نظام‌آباد، فاصله دسته‌ها ۱ متر مکعب در ثانیه انتخاب شد و بدین ترتیب ۱۸ نقطه بدست آمد. منحنی‌سنجه ذکر شده در شکل (۴) مشاهده می‌شود.



شکل ۴- منحنی سنجه حدوسط دسته‌ها حوزه زرينه رود (ايستگاه نظام آباد)

و با توجه به معیارهای ارزیابی در جدول ۲، بهترین منحنی سنجه، منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها به عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب گردید.

جدول ۲- نتایج حاصل از روش‌های ارزیابی در حوزه زرينه رود

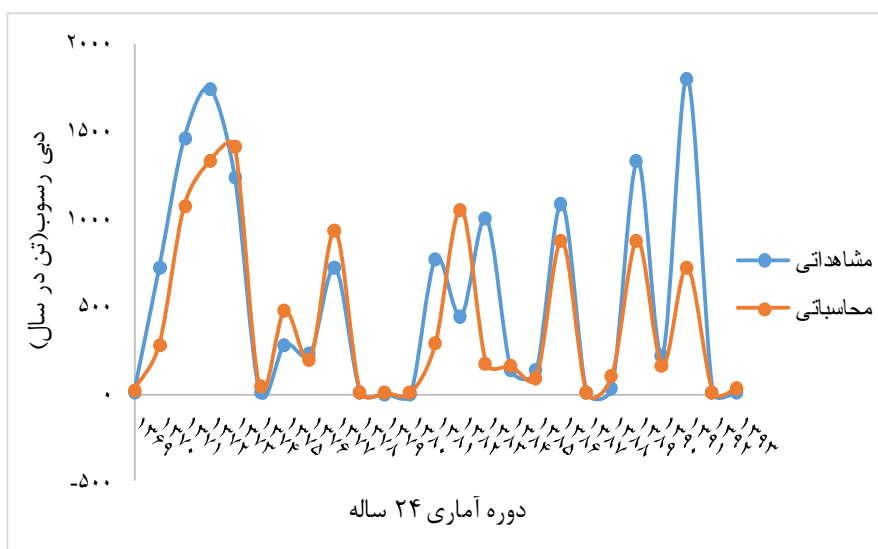
روش ارزیابی منحنی سنجه	منحنی سنجه یک خطی	منحنی سنجه دوخطی	منحنی حدوسط دسته‌ها
RMSE	۴۱۵/۰۷	۳۱۵/۹	۲۲۹/۰۷
R ²	۰/۸۳	۰/۷۴	۰/۹۲

بنابراین برای برآورد رسوب ۳ دوره مورد مطالعه (۱۳۶۶، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۲) از معادله منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها استفاده شد. رسوب در سال‌های مورد مطالعه کاهش یافته است، به طوری که براساس جدول ۳ مقادیر متوسط رسوب ۱۳۶۶-۱۳۶۶، برابر ۲۰۵/۲۲ تن در هکتار در سال، در سال ۱۳۸۳-۱۳۸۴، برابر ۱۰۴/۶۹ تن در هکتار در سال و در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳، برابر ۸/۵۲ تن در هکتار در سال برآورد شد.

جدول ۳- مقادیر بار معلق اندازه‌گیری شده و معادله سنجه رسوب نظام آباد در دوره مورد مطالعه

سال	معادله	R^2	بارمعلق کل (تن در هکتار در سال)
۱۳۶۶-۱۳۶۷	$Q_s = 2/0.575 Q_w^{1/9456}$	۰/۹۴	۲۰۵/۲۲
۱۳۸۳-۱۳۸۴	$Q_s = 2/0.575 Q_w^{1/9456}$	۰/۹۴	۱۰۴/۶۹
۱۳۹۲-۱۳۹۳	$Q_s = 2/0.575 Q_w^{1/9456}$	۰/۹۴	۸/۵۲

برای رسم شکل (۵) دبی محاسباتی و مشاهداتی با توجه به نتایج منحنی سنجه یک خطی، منحنی سنجه دو خطی و منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها، چون منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها ضریب همبستگی بالاتری نسبت به منحنی سنجه یک خطی و دو خطی دارد بنابراین برای رسم نمودار از فرمول منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها استفاده شد.



شکل ۵- نمودار دبی محاسباتی و مشاهداتی در بازه زمانی مورد مطالعه در ایستگاه نظام آباد

بحث و نتیجه گیری

در بررسی نتایج بار معلق رسوب، رسوب تولید شده در سال ۱۳۶۶، ۲۰۵/۲۲ تن در هکتار در سال برآورد شده است. و همچنین در سال ۱۳۸۳ رسوب تولید شده در سال مورد مطالعه ۱۰۴/۶۹ تن در سال برآورد شده است. و در سال ۱۳۹۲ رسوب تولید شده در سال مورد مطالعه ۸/۵۲ تن در سال برآورد شده است که علت اصلی کاهش رسوب در سال‌های مورد مطالعه را می‌توان بدلیل کاهش دبی (برداشت بی‌رویه از رودخانه)، افزایش دما و همچنین افزایش کاربری کشاورزی و مرتع و کاهش اراضی بدون پوشش بیان کرد. بررسی نتایج حاصل شده بخش رسوب و تفسیر و تحلیل آن‌ها نشان داد که، نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های محققان دیگر نیز مورد مقایسه قرار گرفت. به‌طور کلی سهولت کاربرد معادلات رگرسیونی منحنی‌های سنجه باعث شده است که استفاده زیادی در برآوردهای بار رسوبی داشته باشند؛ اما از آنجایی که در معادلات تنها یک متغیر مستقل وارد می‌شود و در واقع منحنی سنجه رسوب به‌عنوان مدل جعبه سیاه در نظر گرفته می‌شود (Asselman, 2000). از این رو این منحنی‌ها قادر به پیش‌بینی دقیق و صحیح مقدار بار رسوبی

واقعی رودخانه‌ها نیستند؛ بنابراین در تحقیقات سعی می‌شود که با اعمال شرایط و تغییرات از جمله به‌کارگیری روش چندخطی، حدوسط یا ضرایب اصلاحی خطای برآورد را کاهش دهند (زنگانه و همکاران، ۱۳۹۰). به‌همین سبب در تحقیق حاضر با ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از روش‌های منحنی‌های سنجه یک‌خطی، دوخطی، حدوسط نشان داد که روش حد وسط با بیش‌ترین مقدار R^2 (۰/۹۴) در مقایسه با روش‌های یک‌خطی و دو خطی دقت بیشتری را جهت پیش‌بینی مقادیر دبی جریان و رسوب به خود اختصاص داده است. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های (عرب خدری و همکاران، ۱۳۷۷)، مبنی بر توانایی بالای روش حدوسط دسته‌ها در تهیه منحنی‌های سنجه رسوب هم خوانی دارد. یکی از مزیت‌های مهم استفاده از منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته‌ها را می‌توان خنثی کردن اثر وجود نمونه‌های بیش‌تر در دبی‌های کم در روش آمارگیری تقویمی ذکر کرد؛ زیرا با متوسط‌گیری از داده‌ها در دسته‌های جریان، تعداد زیاد مشاهدات در دبی‌های پایه، دیگر اثری بر روی منحنی سنجه نخواهد داشت (عرب خدری و همکاران، ۱۳۹۲) در واقع در این روش، پراکنش نقاط کاهش یافته و خطای ناشی از تبدیل لگاریتمی به حداقل می‌رسد (زنگانه و همکاران، ۱۳۹۰). (عرب خدری و همکاران، ۱۳۹۲)، بنابراین روش حد وسط برآورد دقیق‌تری را از دبی رسوب در دبی‌های بالاتر نسبت به روش‌های یک‌خطی و دو خطی نشان می‌دهد. این نتایج با یافته‌های برخی تحقیقات دیگر تطابق دارد؛ به طوری که یافته‌های محققان دیگری نیز از جمله (jansson, ۱۹۹۶). (Zarris و همکاران، ۲۰۱۱). (کالوندی و همکاران، ۱۳۸۹). (زنگانه و همکاران، ۱۳۹۰). (عرب خدری و همکاران، Zarris, ۱۳۹۲) حاکی از خطای بالای روش خطی و خطای کم‌تر روش حد وسط می‌باشد.

منابع

- زنگانه، م، ا، مساعدی، ا، مفتاح‌هلقی، م، دهقانی، ا، ا، ۱۳۹۰، تعیین مناسب‌ترین روش برآورد دبی انتقال رسوبات معلق در ایستگاه آراز کوسه حوزه گرگان‌رود، *حفاظت آب و خاک*، شماره ۲(۱۸)، صفحات ۱۰۴-۸۵.
- شعبانی، م، فیض نیا، س، احمدی، ح، قدوسی، ج، سر رشته‌داری، ا، ۱۳۸۵، بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی در رسوبدهی حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، منابع طبیعی ایران، شماره ۱(۵۹)، صفحه ۵۶-۴۱.
- عرب خدری، م، میرزایی، م، نیک کامی، د، شادفر، ص، ۱۳۹۲، اثر تفکیک دوره‌های برفی و بارانی در میزان صحت برآورد رسوبدهی معلق در حوزه گرگان‌رود، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۷(۲۰)، صفحات ۶۴-۵۵.
- عرب‌خدری، م، ۱۳۹۳، مروری بر نرخ فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، دوره ۲، شماره ۴، صفحات ۳۰-۲۳.
- عرب‌خدری، م، حکیم‌خانی، ش، ولی خوجینی، ع، ۱۳۷۷، ضرورت تجدید نظر در روش متداول برآورد رسوبدهی معلق رودخانه‌ها. مجموعه مقالات پنجمین سمینار مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ص. ۴۳۸-۴۲۹.
- کالوندی، س، م، خدانشناس، س، ر، قهرمان، ب، طهماسبی، ر، بوستانی، آ، ۱۳۸۹، آنالیز روش‌های مختلف منحنی‌سنجی در برآورد رسوب ورودی به سدها (مطالعه موردی: سد دوستی)، مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره ۱(۱)، صفحات ۲۰-۱۰.
- کیاء، ع، عمادی، ع، ر، ۱۳۹۱، مقایسه روش‌های مختلف رگرسیون آماری در برآورد بار رسوب معلق درازمدت سالانه (مطالعه موردی: بابلرود)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۴(۸)، صفحه ۲۵-۱۵.
- محمدی، ا، مساعدی، ا، حشمت‌پور، ع، ۱۳۸۶، تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی رودخانه گرگانرود، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴(۱۴)، صفحه ۲۴۰-۲۳۲.
- مردیان، م، وروانی، ج، شیخ، ب، نجفی‌نژاد، ع، ۱۳۹۳، بررسی کارایی معادله سنجی رسوب چندمتغیره و ارتباط عملکرد آن با خصوصیات فیزیکی حوضه آبخیز. پژوهش آب ایران، شماره ۸(۴)، صفحات ۱۹۴-۱۸۷.
- نجفی نژاد، ع، مردیان، م، وروانی، ج، شیخ، ب، ۱۳۹۰، ارزیابی کارایی ضرایب اصلاحی در بهینه سازی منحنی‌سنجی رسوب (مطالعه موردی: حوزه سد کمال صالح استان مرکزی). *حفاظت آب و خاک*، دوره ۱۸، شماره ۲، صفحات ۱۲۲-۱۰۵.
- Asselman, N.E.M., 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*, 234: 228-248.
- De Girolamo, A.M., Pappagallo, G. & 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.

- Jansson, M.B., 1996. Estimating a sediment rating curves of the Reventazon river at Palomo using logged mean loads within discharge classes, *Journal of Hydrology*, 183(4): 227-241
- Pandey, A., Chowdary, V.M., & Mal, B.C., 2009. Sediment yield modeling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS. *Paddy Water Environ.* 7 (2): 105-113.
- Regüés, D. & 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.
- Zarris, D., Vlastara, M. & Panagoulia, D., 2011. Sediment Delivery Assessment for a Transboundary Mediterranean Catchment: The Example of Nestos River Catchment. *Water Resources Management*, 25(14): 3785-3803.