مناسب‌ترين روش برآورد رسوب معلق در ايستگاه‌هاي بالادست حوضه سد لتيان و طالقان

سادات فيض‌نيا*[۱]، گلاله غفاري[۲]، كيوان كريمي‌زاده[۲] و منيرالسادات طباطبايي زاده[۳]
[۱] استاد دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران
[۲] كارشناس ارشد آبخيزداري و عضو گروه پژوهشي مركز خدمات تخصصي آب و خاك و GIS معاونت پژوهش جهاد دانشگاهي واحد كردستان، ايران
[۳] دانشجوي كارشناسي ارشد مديريت مناطق بياباني، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران
(تاريخ دريافت: ۱۳۸۹/۱/۲۱ ، تاريخ تصويب: ۱۳۹۰/۷/۶)

چكيده
اطلاعات دقيق و صحيح از فرسايش در كشور ما بسيار كم است و بين اندازه‌گيري‌ها و برآوردهاي انجام شده نيز اختلافات زيادي مشاهده مي‌شود. جوان بودن تحقيقات اين رشته و فقدان اندازه‌گيري‌هاي دراز مدت فرسايش، مانع از دستيابي به اعداد قابل اعتماد در اين زمينه شده است. همچنين تخمين مقدار رسوب‌دهي حوزه‌هاي آبخيز براي مقابله با خطرات ناشي از تجمع رسوب در سازه‌هاي آبي و مخازن سدها از هدف‌هاي اساسي در مديريت منابع آب است. مطالعات نشان مي‌دهد كه ايجاد مخازن سدها اثرات ژرفي بر محيط زيست بالا دست و پايين دست رودخانه‌ها و كيفيت آب دارد. در اين تحقيق سعي شده است تا با بهينه‌سازي معادله سنجه رسوب در ايستگاه‌هاي باغ‌تنگه، نارون و گلينک، از ايستگاه‌هاي واقع بر روي حوزه‌هاي آبخيز سد لتيان و طالقان، مدلي بهينه براي برآورد بار رسوب معلق معرفي شود. به‌همين منظور بر اساس ٦ مدل يک خطي، دو خطي، حد وسط دسته‌ها، ضريب اصلاحي فائو، ضريب اصلاحي پارامتري و ضريب اصلاحي غير پارامتري و با استفاده از دبي روزانه جريان، بار معلق برآورد شد و به‌منظور انتخاب بهترين مدل از شاخص ميانگين درصد خطاي نسبي، ضريب كارايي و ضريب تعيين استفاده شد. نتايج حاصل از مطالعات نشان داد كه منحني سنجه حد وسط دسته‌ها در هر سه ايستگاه، داراي كم‌ترين ميزان ميانگين درصد خطاي نسبي و بيشترين ميزان ضريب كارايي و ضريب تعيين و بهترين قابليت پيش‌بيني را دارا است، در نتيجه اين مدل به‌عنوان مناسب‌ترين مدل برآورد رسوب معلق از ميان مدل‌هاي مورد بررسي تعيين شد. همچنين مطالعات نشان داد كه بيش از ۷۰ درصد از رسوب معلق سالانه طي ماه‌هاي سيلابي (اسفند، فروردين و ارديبهشت) و در كمتر از ۲۵ درصد زماني از حوضه منتقل مي‌شود، كه اهميت نمونه‌برداري بيشتر و زمان‌بندي شده را در طي اين ماه‌ها نشان مي‌دهد.

واژه‌هاي كليدي: سنجه رسوب، طالقان، فرسايش

* نويسنده مسئول: تلفن: ۰۲۶۱-۲۲۲۳۰۴۴ فاكس: ۰۲۶۱-۲۲۴۹۳۱۳ E-mail: sfeiz@ut.ac.ir

مقدمه

سدها از ديرباز يكي از مهم‌ترين منابع تأمين آب شرب بوده‌اند. ايجاد مخازن سدها اثرات ژرفي بر محيط زيست بالا دست و پايين دست رودخانه‌ها و كيفيت آب دارد. برخي از اين اثرات ناشي از فرآيندها و پديده‌هاي خاص داخل مخزن است. تغييرات كيفيت آب در درياچه‌ها و مخازن در نتيجه فرآيندهاي زيستي و شيميايي مواد مختلف از قبيل مواد مغذي، رسوبات و مواد سمي در محيطي كاملاً لايه‌بندي شده اتفاق مي‌افتد (Arhami *et al.*, 2002). رسوب‌گذاري در مخزن علاوه بر كاهش ميزان ذخيره آب باعث افزايش تبخير براي يک ظرفيت مشخص، آب گرفتگي و تشكيل باتلاق در اراضي بالا دست سد، افزايش قدرت فرسايش رودخانه و در برخي موارد حاد، باعث ايجاد پديده روگذري در خلال سيل مي‌شود كه هر كدام از اين پديده‌ها اثرات زيست محيطي نامطلوبي را به بار مي‌آورد (Mousavi *et al.*, 2002). همچنين رسوبات در محيط‌هاي طبيعي اثرات مخربي از خود بر جاي مي‌گذارد كه براي نمونه مي‌توان به مشكلات تنفسي و آلودگي منابع زيست آبزيان، پوشاندن مواد غذايي در بستر رودخانه‌ها و مخازن و عدم دسترسي آبزيان به اين مواد، افزايش ميزان مواد آلي و معدني در درياچه‌ها و خفگي جانداران، ايجاد مسموميت براي آبزيان، اخلال در زيستگاه پرندگان و جانوران و افزايش پديده مهاجرت آنها اشاره نمود. رسوب‌زدايي از مخازن سدها يكي از روش‌هاي مقابله با رسوبات در اين مخازن است كه اين روش نيز مشكلات و اثرات زيست محيطي مخربي به بار مي‌آورد.

Vaghefi و Talebbidokhti در تحقيقي در سال ۲۰۰۴ با توجه به فرسايش بالا در حوزه آبريز سد سفيد رود و با توجه به شستشوي رسوب از سال ۱۳۵۹ اقدام به بررسي آثار زيست محيطي ناشي از عمليات تخليه رسوبات در مخزن اين سد نمودند. نتايج تحقيق آنها نشان داد كه در طول يازده دوره رسوب‌زدايي (۱۳۶۹-۱۳۵۹) جمعاً ۵۳۷ ميليون تن رسوب از مخزن سد سفيدرود تخليه شد كه جريان غليظ رسوبات تخليه شده باعث از بين رفتن ميليون‌ها قطعه ماهي شد. مواد جامد حل شده توسط آب در گستره‌هاي ساحلي، دلتا رودخانه، بستر رودخانه و يا دريا ته نشين مي‌شود. اين در حالي است كه رودخانه سفيد رود در اكثر ايام سال همراه با گل و لاي با كدورت بالا است كه اين به از بين رفتن اكوسيستم رودخانه مي‌انجامد و باعث تحميل خسارات زيادي به محيط زيست مي‌شود (Vaghefi & Talebbidokhti, 2004). Khodabakhshi و Shabihkhani نيز در تحقيقي در سال ۲۰۰۸ اثرات محيط زيستي تخليه رسوبات سد دز را بررسي نمودند (Khodabakhshi & Shabihkhani, 2008).

تخمين بار رسوبي در محدوده وسيعي از جمله طراحي مخازن و سدها، انتقال رسوب و آلودگي رودخانه‌ها، حفاظت زيستگاه ماهي‌ها، تعيين تأثيرات مديريت آبخيزها، مقابله با خطرات ناشي از تجمع رسوب در سازه‌هاي آبي و مخزن سدها كاربرد دارد. مسأله رسوب‌گذاري در مخزن سدها در سال‌هاي اخير جدي‌تر شده است و با احداث سدهاي مخزني ديگر و مهار آب‌هاي سطحي نمود بيشتري پيدا كرده است (Lu *et al.*, 2001, Varvani, 2001). از سويي برآورد رسوب معلق كه قسمت عمده رسوب ورودي به مخازن را تشكيل مي‌دهد ذهن اكثر متخصصان بخش رسوب را به خود مشغول داشته است. جوان بودن تحقيقات در اين رشته و فقدان اندازه‌گيري‌هاي دراز مدت فرسايش، مانع از دستيابي به اعداد قابل اعتماد شده است. در چنين شرايطي مي‌توان رسوب‌دهي خروجي حوضه‌ها را براي به‌دست آوردن چشم‌اندازي از وضع فرسايش و تلفات خاک آبخيز بالا دست به كار برد (Arabkhedri, 2001).

نزديک به ۶۰ سال يا بيشتر، به علت عدم وجود داده‌هاي غلظت رسوب پيوسته و تقريباً مداوم، آبشناسان از منحني‌هاي سنجه براي تخمين و يا پيش‌بيني غلظت رسوب معلق با استفاده از محاسبه داده‌هاي دبي جريان استفاده مي‌كنند. بيشتر از ۲۰ روش براي گسترش منحني‌هاي سنجه وجود دارد. از بين اين روش‌ها توانايي و قدرت توابع رگرسيون كه رابطه بين غلظت رسوب معلق

و دبي جريان را بيان مي‌كند، با اندازه‌گيري دبي جريان كه تشكيل متغير مستقل مي‌دهد، بيشتر مورد توجه قرار گرفته است (Phillips *et al.*, 1999). Yusofvand (۲۰۰۴)، به‌منظور ارزيابي دقت هر يک از روش‌هاي برآورد رسوب معلق، ۵ ايستگاه هيدرومتري و رسوب‌سنجي را در رودخانه قره‌سو و سرشاخه‌هاي اصلي آن در حوضه قره‌سو بررسي نمود و به اين نتيجه رسيد كه روش تلفيق دبي متوسط روزانه جريان و منحني سنجه حد وسط دسته به عنوان مناسب‌ترين روش براي برآورد رسوب‌دهي است (Yusofvand, 2004).

Mirzaei و همكاران (۲۰۰۵)، با استفاده از شيوه‌هاي مختلف با دوره‌هاي زماني متفاوت و با در نظر گرفتن طبقه‌بندي جريان، بار معلق رودخانه گرگانرود را با ۲۱ روش متفاوت از نظر نوع منحني سنجه و يا دبي جريان براي هر كدام از نمونه‌ها تعيين كردند و در نهايت پس از دسته‌بندي روش‌ها، با استفاده از دو پارامتر آماري انحراف معيار خطاها و مقدار خطاي برآوردي نسبت به آمار فشرده مشاهده‌اي نشان دادند كه روش برآورد تلفيق دبي متوسط روزانه با منحني سنجه حد وسط دسته‌ها، دقيق‌تر و صحيح‌تر از ساير روش‌ها است و به عنوان بهترين روش انتخاب شد (Mirzaei *et al.*, 2005). همچنين نتايج تحقيقات عرب خدري و همكاران نشان داد كه روش حد وسط دسته‌ها مشروط به آنكه براي داده‌هاي با كيفيت مناسب مورد استفاده قرار گيرد، نتايج خوبي به‌دست مي‌دهد (Arabkhedri *et al.*, 2004).

Heidarnejad و همكاران (۲۰۰۴)، اقدام به بهينه‌سازي معادله سنجه رسوب در دو ايستگاه هيدرومتري سيرا و بيلقان واقع در حوزه آبخيز رودخانه كرج نمودند و مدلي بهينه را براي برآورد بار رسوب معلق معرفي كردند. به همين منظور ۵ مدل مورد مطالعه قرار گرفت و به‌منظور انتخاب بهترين مدل از شاخص ميانگين حداقل مربعات خطا استفاده شد. در نهايت مدلي كه بر اساس تفكيک داده‌ها به‌صورت ماهانه بود در نظر گرفته شد. در هر دو ايستگاه هيدرومتري ورودي و خروجي سد كرج داراي حداقل مربعات خطا بود و به عنوان بهترين مدل معرفي شد (Heidarnejad *et al.*, 2004).

Varvani و همكاران (۲۰۰۸)، به‌منظور اصلاح روش‌هاي برآورد بار رسوبي رودخانه‌ها مقادير برآوردي ۱۰ نوع منحني سنجه رسوب با مقادير واقعي دوره‌هاي مختلف آماري در ۵ ايستگاه هيدرومتري منتخب از مناطق اقليمي كشور را با شاخص‌هاي مختلف دقت و صحت مورد بررسي قرار دادند. نتايج مطالعات آنها نشان داد كه كاربرد ضريب حداقل واريانس نااريب باعث افزايش صحت و دقت منحني‌هاي سنجه شده به‌طوري كه نسبت بار رسوبي برآوردي به بار واقعي به‌طور متوسط در ايستگاه‌هاي مورد مطالعه در حدود ۱/۲۳ بود كه در مقايسه با ساير روش‌ها مقدار قابل قبولي به حساب مي‌آمد (Varvani *et al.*, 2008).

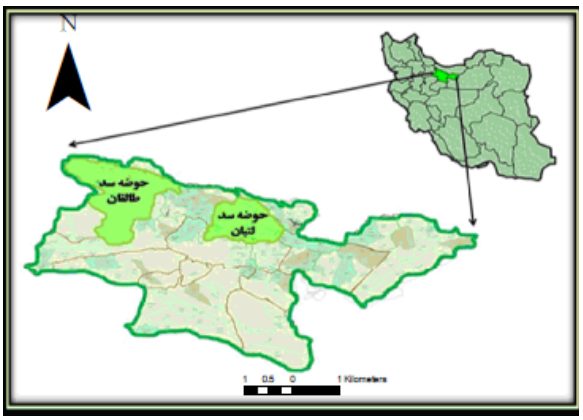
با دقت در مطالب فوق و عدم وجود روش‌هاي اندازه‌گيري دراز مدت فرسايش در سطح حوضه‌ها براي تخمين ميزان رسوب ورودي به مخزن سدها، مي‌توان رسوب‌دهي خروجي حوضه‌ها را براي ترسيم چشم‌اندازي از وضع فرسايش و تلفات خاک آبخيز بالا دست سدها به دست آورد و با استفاده از راهكارهاي مديريتي مناسب از كاهش عمر مفيد سدها و اثرات مخرب زيست محيطي آن جلوگيري نمود. در اين مطالعه سعي شد با تعيين مناسب‌ترين روش برآورد رسوب معلق در ايستگاه‌هاي بالا دست سد لتيان و طالقان و تخميني از ميزان رسوب معلق حمل شده به داخل مخزن و توزيع ماهانه و سالانه آنها، ديد بهتري براي انجام اقدامات پيشگيري كننده و كاهش دهنده فرسايش در حوضه بالا دست اين سدها به دست آورد. چنين مطالعه اي تاكنون در ارتباط با ميزان رسوبات معلق ورودي به اين سدها انجام نشده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل چند ايستگاه واقع بر رودخانه‌هاي حوضه‌هاي بالادست سد لتيان و طالقان است.

اين ايستگاه‌ها شامل باغ‌تنگه و نارون در رودخانه‌هاي امامه (يكي از شاخه‌هاي رودخانه جاجرود) و افجه از رودخانه‌هاي منتهي به سد لتيان و ايستگاه گلينک در طالقان رود از رودخانه‌هاي منتهي به سد طالقان است. حوزه آبخيز طالقان از زيرحوضه‌هاي حوزه آبخيز سفيدرود با مساحتي بالغ بر ۱۳۲۵۰۰ هكتار، ۲/۳ درصد حوزه آبخيز سفيد رود و ۰/۰۸ درصد مساحت كل كشور را شامل مي‌شود و پراكندگي نزولات آسماني در نقاط مختلف آن بين ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ ميلي‌متر در سال متغير است. حوزه آبخيز سد لتيان، منطقه‌اي كوهستاني است كه از ويژگي‌هاي آن ارتفاع و شيب زياد است. گستره كل حوضه برابر ۶۹۶۸۱ هكتار، ارتفاع ميانگين حوزه ۲۵۵۵ متر و اقليم غالب منطقه در ارتفاعات بيش از ۲۰۰۰ متر مرطوب فراسرد و در مناطق با ارتفاع كمتر از ۲۰۰۰ متر نيمه مرطوب فرا سرد است. در شكل ۱ موقعيت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شكل ۱- موقعيت منطقه مورد مطالعه

روش بررسي

قبل از آنكه هر گونه اقدامي جهت تجزيه و تحليل داده‌ها صورت گيرد، لازم است از كيفيت و همگني داده‌ها در طول دوره آماري اطمينان حاصل شود. جهت انجام اين مطالعه، ابتدا آمار مورد نظر از مركز تحقيقات منابع آب، جمع‌آوري و پس از انتخاب ايستگاه‌هاي باغ تنگه، نارون و گلينک، اقدام به بررسي درستي و همگني داده‌هاي ايستگاه‌هاي مورد مطالعه و بازسازي آمار دبي روزانه با استفاده از روش نسبت نرمال شد و مجموعه داده‌هاي متناظر دبي جريان و دبي رسوب مورد تجزيه و تحليل قرار گرفت. سپس از ٦ نوع منحني سنجه رسوب همراه با به‌كارگيري دبي روزانه جريان براي برآورد رسوب‌دهي استفاده شد و رسوبدهي سالانه هر كدام از ايستگاه‌ها براي هر كدام از روش‌ها به دست آمد و از پارامترهاي خاصي جهت مقايسه كارايي و ميزان خطاي هر روش استفاده شده است. پس از انتخاب روش مبنا و مناسب با كمک شاخص‌ها، نسبت برآورد هر روش نسبت به روش مبنا محاسبه و در پايان ميزان رسوب و درصد حمل رسوب در هر كدام از ماه‌ها براي هر كدام از ايستگاه‌ها محاسبه شد. در اين مطالعه از ٦ نوع منحني سنجه رسوب به شرح زير استفاده شده است:

۱- منحني سنجه رسوب يك خطي: در اين روش معمولاً داده‌هاي غلظت يا دبي رسوب و دبي جريان متناظر آنها به يك محور مختصات تمام لگاريتمي منتقل شد و بهترين خط برازش با استفاده از روش حداقل مربعات از ميان نقاط عبور داده شد. گاهي پراكنش نقاط روي نمودار به نحوي است كه امكان برازش يک خط مستقيم به آن وجود ندارد. در اين حالت اگر وضعيت پراكنش نقاط اجازه داد، مي‌توان مجموعه نقاط را به چند دسته تقسيم كرد و به هر يک خط مستقيم جداگانه‌اي برازش داد.

همچنين از روش حد وسط دسته‌ها استفاده شد. در اين روش كه توسط Jansson (1996) پيشنهاد شده است، دبي‌هاي جريان با يك نمو معين به تعدادي دسته تقسيم مي شود و براي دبي متوسط هر دسته، دبي رسوب متوسط اندازه‌گيري شده همان دسته تعيين مي‌شود و در آخر منحني سنجه رسوب با استفاده از آنها به روش حداقل مربعات به دست مي‌آيد.

ضريب اصلاحي فائو از ديگر روشي است كه به اين منظور به كار گرفته شد. در اين روش كه توسط Jones و همكاران (1981) معرفي شد، ابتدا بهترين خط با معادله $Q_s = aQ_w^b$ به روش حداقل مربعات به مقادير لگاريتمي (نه مقادير واقعي) غلظت Q_s و دبي Q_w برازش داده

مي‌شود. ولي از معادله فوق كه از نقاط ميانگين $\log Q_s$ و ميانگين $\log Q_w$ عبور مي‌كند، استفاده نمي‌شود و به جاي آن معادله خطي موازي كه از ميانگين Q_s و ميانگين Q_w متناظر با آن مي‌گذرد به كار مي‌رود، بنابراين معادله جديد به شكل رابطه ۱ زير خواهد بود.

$$Q_s = \acute{a} Q_w^{\,b} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در اين رابطه مقدار á از تقسيم ميانگين Q_s ها بر ميانگين Q_w هاي متناظر اندازه‌گيري شده به دست مي‌آيد.

ضريب اصلاحي پارامتري، ديگر روش مورد استفاده است. اين روش توسط Miller براي اصلاح اثر تبديل لگاريتمي Thomas (۱۹۸۵) مطابق رابطه ۲ پيشنهاد شده است.

$$CF_1 = EXP\left[2.65S^2\right] \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در اين رابطه، S اشتباه استاندارد برآورد منحني سنجه رسوب در لگاريتم پايه ۱۰ است كه از رابطه ۳ محاسبه مي‌شود.

$$S^2 = \sum \left(\log_{ci} - \hat{\log}_{ci}\right)/(n-2)^2 \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

در اين رابطه n تعداد نمونه‌هاي غلظت، $\hat{\log}_{Ci}$ لگاريتم مقدار برآوردي غلظت و $\log_{Ci}$ لگاريتم مقدار مشاهده‌اي غلظت است.

ضريب اصلاحي غير پارامتري از ديگر روش هاي به كار گرفته شده است. Koch و Smillie (1986) با رد توزيع نرمال خطاهاي باقيمانده، ضريب اصلاحي غير پارامتري CF_2 را براي حذف اريبي داده‌ها توصيه كرده‌اند كه از روابط ٤ و ٤ محاسبه مي شود.

$$CF_2 = \frac{1}{n}\sum 10^{\varepsilon I} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$\varepsilon_I = \log_{c_i} - \hat{\log}_{c_i} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

در اين روابط ε_I خطاي برآورد و بقيه علائم مشابه قبل است (Barzegar, 2005 ،Mirzaei *et al.*, 2005 ،Hakimkhani *et al.*, 2000).

همچنين به‌منظور انتخاب بهترين مدل و تعيين دقت آن و جهت بررسي نتايج و صحت و دقت هر روش از شاخص‌هاي زير استفاده شد و روش داراي صحت و دقت بالا به‌عنوان بهترين روش برآورد رسوب معلق در ايستگاه مورد نظر معرفي شد.

ضريب تعيين $\mathbf{R^2}$

اين ضريب مطابق رابه ۶ نسبت واريانس متغير وابسته پيرامون ميانگين است كه با متغيرهاي پيش‌بيني كننده مستقل بيان مي‌شود.

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(o_i - \bar{o})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^2}} \right)^2 \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

در اين رابطه o_i دبي رسوب مشاهده‌اي، $\bar{o}$ متوسط دبي رسوب مشاهده‌اي، p_i دبي رسوب محاسبه‌اي، $\bar{p}$ متوسط دبي رسوب محاسبه‌اي و r^2 ضريب تعيين است (Krause *et al.*, 2005 ،Bray and Xie, 1993).

ضريب كارايي

اين ضريب از روش Nash و Sutcliffe (1970) مطابق رابطه ۷ محاسبه مي‌شود.

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2} \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

در اين رابطه ME ضريب كارايي مدل، $\bar{y}_i$ ميانگين مقادير مشاهده‌اي، y_i i امين مقدار مشاهده‌اي و $\hat{y}_i$ ، i امين مقدار برآوردي توسط مدل است. هرچه ضريب ME به يك نزديك‌تر باشد كارايي مدل بهتر مي‌شود.

عدد صفر براي ضريب ياد شده به اين معني است كه مدل به دست آمده، برآوردي بهتر از ميانگين مشاهدات ندارد (Gurpal *et al.*, 2008).

ميانگين درصد خطاي نسبي (**RME**)

هر چه مقدار اين معيار آماري كه مطابق روابط ۸ و ۹ تعيين مي شود كمتر باشد، نشان‌دهنده آن است كه معادله‌هاي مربوطه از دقت بالاتري برخوردار مي‌باشند.

$$RE_i = \left|\frac{So - Sc}{So}\right| \times 100 \qquad \text{رابطه ۸)}$$

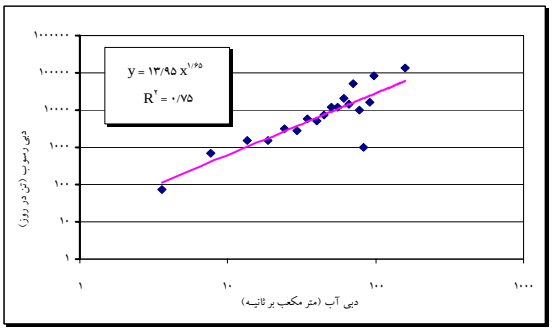
$$RME = \sum_{n}^{n} REi / n \qquad \text{رابطه ۹)}$$

در اين رابطه RME ميانگين درصد خطاي نسبي، RE_i درصد خطاي نسبي هر برآورد، S_o ميزان رسوب معلق مشاهده شده، S_c ميزان رسوب معلق برآورد شده و n تعداد دفعات مقادير برآورد شده رسوب معلق است (ICOLD, 1994)(Arabkhedri et al., 2004).

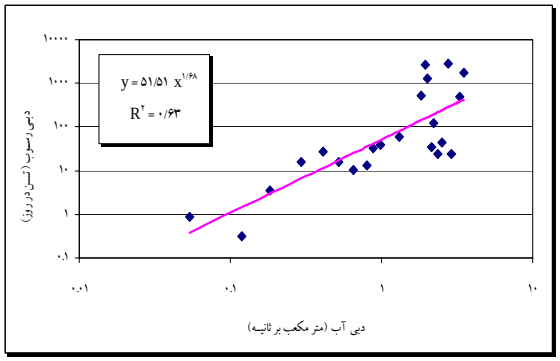
نتايج

پس از انتخاب ايستگاه‌هاي باغ تنگه، نارون و گلينک، آمار موجود از نظر پيوستگي و داده‌هاي دورافتاده مورد بررسي قرارگرفت و اشكالي در آن مشاهده نشد. پس از بازسازي آمار موجود از روش نسبت نرمال با برازش معادلات منحني سنجه رسوب، بر اساس مدل‌هاي مورد مطالعه بين داده متناظر دبي جريان و دبي رسوب، نتايج حاصل از رسم منحني‌هاي سنجه رسوب به روش‌هاي مختلف تعيين شد (جدول ۱).

پس از به دست آوردن معادله منحني‌هاي سنجه رسوب به روش‌هاي مختلف، با جايگزاري دبي روزانه جريان در هركدام از معادله‌ها، ميزان رسوب در هر سال بر حسب تن به دست آمد كه نتايج آن در جدول ۲ مشاهده مي شود. سرانجام به منظور بررسي صحت و دقت هر روش و انتخاب بهترين روش از شاخص‌هاي فوق الذكر استفاده شد كه نتايج حاصل از آن در جدول ۳ ارائه شده است. در شكل‌هاي ۲ تا ٤ منحني سنجه حد وسط دسته‌ها براي هر يک از ايستگاه‌ها مشاهده مي شود. پس از انتخاب روش حد وسط دسته‌ها به‌عنوان مناسب‌ترين روش رسم منحني سنجه و انتخاب آن به‌عنوان روش مبنا، ميزان رسوب برآوردي هر روش، نسبت به روش مبنا براي هر كدام از ايستگاه‌ها، تعيين شد كه نتايج آن در جدول ۴ مشاهده مي‌شود.



شكل ۲- منحني سنجه رسوب حد وسط دسته‌ها در گلينک

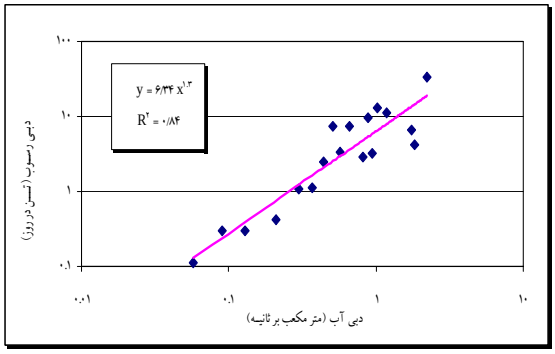


شكل ۳- منحني سنجه رسوب حد وسط دسته‌ها در نارون

براي تعيين سهم هر يک از ماه‌هاي سال در ميزان رسوب سالانه اقدام به برآورد ميزان رسوب ماهانه هر كدام از ايستگاه‌ها با روش حد وسط دسته‌ها و به‌كارگيري دبي روزانه جريان شد كه نتايج حاصل از آن در جدول ۵ مشاهد مي‌شود.

جدول۱- نتايج حاصل از رسم منحني‌هاي سنجه رسوب

ايستگاه	روش رسم منحني سنجه رسوب		a	b	R^2
گلينک	يک خطي		۲/۱۳	۲/۰۲	۰/۷۳
	دو خطي	Q_w <۱۰m^3/s	۱/۷۱	۲/۱۶	۰/۴۳
		Q_w >۱۰m^3/s	۴/۷۴	۱/۷۸	۰/۳۵
	حد وسط دسته‌ها		۱۳/۹۵	۱/۶۵	۰/۷۵
	ضريب اصلاحي فائو		۱۷/۳۲	۲/۰۳	۰/۷۳
	ضريب اصلاحي پارامتري		۲/۳۸	۲/۰۳	۰/۷۳
	ضريب اصلاحي غير پارامتري		۵/۴۷	۲/۰۳	۰/۷۳
بارون	يک خطي		۵/۶۶	۱/۴۹	۰/۷۲
	دو خطي	Q_w <۱m^3/s	۶/۰۷	۱/۵۳	۰/۷۰
		Q_w >۱ m^3/s	۶/۵۳	۰/۴۶	۰/۵۳
	حد وسط دسته‌ها		۶/۳۴	۱/۳۶	۰/۸۴
	ضريب اصلاحي فائو		۶۵/۷۷	۱/۴۹	۰/۷۲
	ضريب اصلاحي پارامتري		۶/۲۳	۱/۴۹	۰/۷۲
	ضريب اصلاحي غير پارامتري		۸/۵۶	۱/۴۹	۰/۷۲
باغ تنگه	يک خطي		۲۰/۴۹	۱/۴۵	۰/۶۰
	دو خطي	Q_w <۱ m^3/s	۱۶/۱۸	۱/۳۲	۰/۵۲
		Q_w >۱ m^3/s	۱۳/۱۴	۲/۸۸	۰/۳۵
	حد وسط دسته‌ها		۵۱/۵۱	۱/۶۸	۰/۶۳
	ضريب اصلاحي فائو		۱۵۰/۵۳	۱/۴۵	۰/۶۰
	ضريب اصلاحي پارامتري		۲۲/۹۵	۱/۴۵	۰/۶۰
	ضريب اصلاحي غير پارامتري		۷۲/۴۶	۱/۴۵	۰/۶۰



شكل ۴- منحني سنجه رسوب حد وسط دسته‌ها باغ تنگه

جدول ۲- متوسط رسوب در سال براي هر ايستگاه

نام ايستگاه	روش رسم منحني سنجه رسوب	متوسط رسوب (تن در سال)
گلينک	يک خطي	۳۸۱۸۶۲
	دو خطي	۳٤۰۷۱۱
	حد وسط دسته‌ها	٦۱۳٥٥٥
	ضريب اصلاحي فائو	۳۱۰۱۳٥٦
	ضريب اصلاحي پارامتري	٤۲٦٥۰۲
	ضريب اصلاحي غير پارامتري	۹۸۱۰۹۷
نارون	يک خطي	۲۰۷۲
	دو خطي	۱۱۷۲۸
	حد وسط دسته‌ها	٦۰۷۱
	ضريب اصلاحي فائو	۱٥۷۱۷
	ضريب اصلاحي پارامتري	۲۳۲۱
	ضريب اصلاحي غير پارامتري	۷۳۲٦
باغ تنگه	يک خطي	۳۲٥
	دو خطي	۲۸٦
	حد وسط دسته‌ها	۳۸۲
	ضريب اصلاحي فائو	٦٦٦
	ضريب اصلاحي پارامتري	۳٥۷
	ضريب اصلاحي غير پارامتري	٤۹۱

بحث و نتيجه‌گيري

نتايج حاصل از ميزان ضريب همبستگي در ايستگاه‌هاي گلينک، نارون و باغ تنگه در جدول ۱ نشان مي‌دهد که مقدار اين ضريب در روش حد وسط دسته‌ها به ترتيب معادل با ۰/۷٥، ۰/۸۴ و ۰/٦۳ است که در ميان ساير روش‌ها بيشترين مقدار را به خود اختصاص مي دهد. همچنين با توجه به نتايج حاصل از جدول ۳، منحني سنجه حد وسط دسته‌ها در هر سه ايستگاه، داراي کم‌ترين ميزان ميانگين درصد خطاي نسبي براي ايستگاه‌هاي گلينک، نارون و باغ تنگه به ترتيب به ميزان ٤۳۳/٥٤، ۲۱۱/۸۷ و ۲۱۱/۰۳ و بيشترين ميزان ضريب کارايي براي ايستگاه‌هاي گلينک، نارون و باغ تنگه به ترتيب به ميزان ۰/۳۷، ۰/۰۸ و ۰/۳۴ است و بهترين قابليت پيش‌بيني را دارد. در نتيجه اين مدل به‌عنوان مناسب‌ترين مدل برآورد رسوب معلق از ميان مدل‌هاي مورد بررسي تعيين شد که اين نتيجه با نتايج تحقيقات (Arabkhedri *et al.*, 2004، Mirzaei *et al.*, 2005، Yusofvand, 2004) مطابقت دارد. پس از منحني سنجه حد وسط دسته‌ها ضريب اصلاحي غير پارامتري نسبت به ساير روش‌ها، برآوردي نزديک‌تر به واقعيت دارد. روش يک خطي و ضريب اصلاحي پارامتري ميزان رسوب را بسيار کمتر از واقعيت نشان مي‌دهند و گاهي اين تخمين تا کمتر از ٥۰ درصد ميزان مبنا است. بر عکس ضريب اصلاحي فائو ميزان رسوب را گاهي تا چندين برابر ميزان واقعي نشان مي‌دهد. در روش حد وسط دسته‌ها به دليل کاهش اثر نقاط پايين، برآورد رسوب‌دهي در دبي‌هاي بالا بهبود مي‌يابد. همچنين در اين روش، پراکنش نقاط کاهش يافته و خطاي ناشي از تبديل لگاريتمي به حداقل

مي‌رسد در حالي كه در مدل يک خطي هيچگونه دسته‌بندي در داده‌ها صورت نمي‌گيرد و با توجه به فراواني داده‌هاي دبي پايه تأثير اين داده‌ها بر مقادير ضرايب منحني سنجه رسوب بيشتر شده و تأثير جريانات سيلابي كمتر نمايان مي‌شود. همچنين بيشتر از ۷۰ درصد از رسوب معلق سالانه طي ماه‌هاي سيلابي (اسفند، فروردين و ارديبهشت) و در كمتر از ۲۵ درصد زماني از حوضه منتقل مي‌شود، كه اين اهميت نمونه‌برداري بيشتر و زمان‌بندي شده را در ماه‌هاي سيلابي نشان مي‌دهد و به‌طور كلي مي‌توان گفت ميزان حمل رسوب در ماه‌هاي پرآب و ماه‌هاي مرطوب به ترتيب بيشتر از ماه‌هاي كم آب و ماه‌هاي خشک است.

جدول۳- نتايج حاصل از ارزيابي هر يک از روش‌ها

ايستگاه	روش رسم منحني سنجه رسوب	ميانگين درصد خطاي نسبي	ضريب كارايي	ضريب تعيين
گلينک	يک خطي	۴۲۰/۸۲	۰/۳۲	۰/۷۳
	دو خطي	٤۲۳/۵۱	۰/۳۰	۰/٤۳
	حد وسط دسته‌ها	٤۳۳/۵٤	۰/۳۷	۰/۷۵
	ضريب اصلاحي فائو	۲۰٤۲/۰۱	-٤/۷	۰/۷۳
	ضريب اصلاحي پارامتري	۲٤٦/۵۹	۰/۳۵	۰/۷۳
	ضريب اصلاحي غير پارامتري	۲۹۸/۵۱	۰/۳٦	۰/۷۳
نارون	يک خطي	۱۸۱/٤۹	۰/۰۰۹	۰/۷۲
	دو خطي	۱۷۷/۹۱	۰/۰٦	۰/۷۰
	حد وسط دسته‌ها	۲۱۱/۸۷	۰/۰۸	۰/۸٤
	ضريب اصلاحي فائو	۱٦۷۵/٤٤	۰/۰٦	۰/۷۲
	ضريب اصلاحي پارامتري	۲۰٤/۹۳	۰/۰۱	۰/۷۲
	ضريب اصلاحي غير پارامتري	۷۹۵/۹۳	۰/۰۷	۰/۷۲
باغ تنگه	يک خطي	۵۹۸/۹۹	-۱۵۵	۰/٦۰
	دو خطي	۲٤۱/۳۸	۰/۲۷۱	۰/۵۲
	حد وسط دسته‌ها	۲۱۱/۰۳	۰/۳٤	۰/٦۳
	ضريب اصلاحي فائو	۳۱٤/۸۳	۰/۱۹	۰/٦۰
	ضريب اصلاحي پارامتري	۲۵۷/۵۱	۰/۳۱	۰/٦۰
	ضريب اصلاحي غير پارامتري	۲۲۱/۵٦	۰/۳۱	۰/٦۰

جدول۴- نسبت برآورد هر روش نسبت به روش مبنا

روش رسم منحني سنجه / ايستگاه	يک خطي	دو خطي	ضريب اصلاحي فائو	ضريب اصلاحي پارامتري	ضريب اصلاحي غير پارامتري
گلينک	۰/٦۲	۰/۵٦	۵/۰۵	۰/۷۰	۱/٦۰
نارون	۰/۳٤	۱/۹۳	۲/۵۹	۰/۳۸	۱/۲۱
باغ تنگه	۰/۸۵	۰/۷۵	۱/۷٤	۰/۹۳	۱/۲۹

جدول۵- برآورد ميزان رسوب هر ماه با استفاده از منحني سنجه حد وسط دسته‌ها و دبي متوسط روزانه جريان براي هر ايستگاه‌ها

ايستگاه	ماه‌هاي سال	فروردين	ارديبهشت	خرداد	تير	مرداد	شهريور	مهر	آبان	آذر	دي	بهمن	اسفند
گلينک	ميزان رسوب (تن در ماه)	۱۰۸۵۶۴	۲۳۷۱۵۴	۱۶۱۶۰۷	۴۳۰۰۹	۱۰۱۶۸	۴۳۸۶	۴۹۸۷	۹۱۳۱	۷۳۲۲	۵۱۸۱	۵۳۳۸	۱۶۷۰۴
	درصد حمل رسوب	۱۷/۶۹	۳۸/۶۵	۲۶/۳۴	۷/۰۱	۱/۶۶	۰/۷۱	۰/۸۱	۱/۴۹	۱/۱۹	۰/۸۴	۰/۸۷	۲/۷۲
نارون	ميزان رسوب (تن در ماه)	۳۰۱۹	۲۹۹۴	۶۲۲	۳۱/۴	۲۶/۶	۴/۴۹	۴۲۷	۵۳۹	۲۶۸	۱۱۵	۱۸۰	۸۳۹
	درصد حمل رسوب	۳۳/۳	۳۳	۶/۸۶	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۰۶	۴/۷۱	۵/۹۵	۲/۹۶	۱/۲۷	۱/۹۹	۹/۲۶
باغ تنگه	ميزان رسوب (تن در ماه)	۱۰۷	۹۷	۲۳۸	۵۳/۶	۱۸/۵	۱۰/۲	۲/۸۱	۴/۰۵	۵/۶۹	۶/۷۱	۹/۱۸	۲۷/۶
	درصد حمل رسوب	۱۸/۵۱	۱۶/۷۸	۱۸/۴۱	۹/۱۷	۳/۱۱	۱/۷۳	۰/۵۲	۰/۶۹	۰/۸۷	۱/۰۴	۱/۵۶	۴/۸۴

References

- Arabkhedri, M. 2001. Methods of increasing accuracy for estimatation of suspended sediment transport (workshop). Proceeding of National Conference on Land Management, Soil Erosion and Sustainable Development, Arak, Iran, February 2-4, 711-727, (in Persian).
- Arabkhedri, M., Hakimkhani, Sh. And Varvani, J. 2004. The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 Hydrometric Stations), Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 3(2): 123-131, (in Persian).
- Arhami M., Tajrishi, M. and Abrishamchi, A. 2002. Simulation studies of water quality changes in dam reservoirs, Water and Sewage, 44(1), p. 222-231.
- Barzegar, F. 2005. A comparison of statistical methods for estimation of suspended sediment yield (Case Study: Ghezel Ozan Subbasin), M.Sc. Thesis in Watershed Management, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, 122p., (in Persian).
- Bray, D.I. and Xie, H. 1993. A regression method for estimating suspended sediment yield for ungauged watersheds in Atlantic Canada. Canadian Journal of Civi Engineering, 20(1): 82-87.
- Gurpal, S., Darenharmel ,R., Haggard Brian, E. and Schmidt G., 2008. Evaluation of regression methodology with low-frequency water quality sampling to estimate constituent loads for ephemeral watersheds in Texas, Jour. Environ. Qual., 37(5): 1847-1854.
- Hakimkhani, Sh., Arabkhedri, M. Mahdavi, M. and Valykhani, A., 2000. Regional analysis of suspended sediment in the Orumia Lake Basin, The Second National Congress on Erosion and Sedimentation, Lorestan University, Lorestan, September 6-7, 1-10, (in Persian).
- Heidarnejad, M., Golmaee, S.H. Mosaedi, A. and Ahmadi, M..Z., 2004. Providing optimum estimates of sediment in two hydrometric stations (case study: hydrometric station entrance and Karaj Dam), Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of the Caspian, 2(1): 54-67, (in Persian).

- ICOLD. 1994. Dams and environment. Water Quality and Climate, Bulletin, 96: 40-75.
- Jansson, M.B., 1996. Estimating a sediment rating curve of the Reventzon River at Palomo using logged mean loads within discharge classes, Journal of Hydrology, 183(4): 227-241.
- Jones, K.R., Berney, O., Carr, D.P., Barret, E.C, 1981. Arid zone hydrology for agricultural development, FAO Irrigation and Drainage Paper, 37: 271.
- Khodabakhshi, B. and Shabihkhani, R., 2008. Sediment discharge from the reservoirs and environmental impacts, case study: Dez Dam, Water Resources Management Conference, Iran, P. 44-48.
- Koch, R.W. and Smillie, G.M., 1986. Bias in hydrologic prediction using log-transformed regression models. Water Resources Bulletin, 22(5): 723–727.
- Krause, P., Boyle, D. P. and Base,F., 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences, 5: 89–97.
- Lu, H., Gallant, J., Prosser, I., Priestley, G., 2001. Prediction of sheet and rill erosion over the Australian continent: Incorporating monthly soil loss distribution. National Land & Water Resource, Technical Report, 31, Australia, 41p.
- Mirzaei, M.R., Arabkhedri, M. Feiznia, S. and Ahmadi, H, 2005. A comparison of methods for estimation of suspended sediment in rivers, The Journal of Natural Resources, 58(2): 313 – 301, (in Persian).
- Mousavi, F., Haidarpour, M. and Shabanlou, S., 2002. Investigation of sediments in the Zayandehrud Reservoir through area increment and area-reduction empirical models, Water and Sewage, 57(2): 76-84, (in Persian).
- Nash, J.E.and Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3): 282–290.
- Phillips, J. M., Webb, B. W., Walling, D.E. and Leeks, G.J.L., 1999. Estimating the suspended sediment loads of rivers in the LOIS study area using infrequent, Hydrological Processes, 13(7): 1035-1050.
- Vaghefi, M. and Talebbidokhti, N. 2004. The environmental effects of sediment discharge from the Sefid Rood Dam, The First Conference on Developing Culture for Environmental Guidelines, Tehran, 155-161, (in Persian).
- Varvani, J., 2001. Regional Analysis of suspended sediment in Gorganroud Drainage Basin and sediment yield in main branches of Voshmgir Dam outlet, M.Sc. Thesis in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 203p., (in Persian).
- Varvani, J., Najafi Nejad, A. And Mirmoini Karahroudi, A., 2008. Improving sediment rating curve using minimum variance unbiased estimator, Journal of Agricutural Sciences and Natural Resources 15(3): 150-163, (in Persian).
- Yusofvand, F. 2004. Comparison of methods for estimation of suspended sediment in rivers (case study: Gharesu River, Kermanshah), Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 8(1): 52-65, (in Persian).

Determination of the Most Suitable Method for Estimation of Suspended Sediment in Hydrometric Stations Upland of Latian and Taleghan Dams

S. Feiznia*[1], G. Ghafari[2], K. Karimizadeh[2] and M. Tabatabaezadeh[3]
[1]Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran.
[2]Expert in Watershed Management, Jahade Daneshgahi, Kordestan Province, I.R. Iran.
[3] M.Sc. Student in Desert Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran.
(Received: 11/05/2010 , Accepted: 28/09/2011)

Abstract
There is a lack of accurate and correct information about erosion in Iran. Moreover, there is a big difference between measurements and estimations. Sediment is also an important environmental problem which pollutes water physically and chemically and therefore, sediment problem is usually studied as environmental problems. Estimation of sediment yield of drainage basins is important for prevention of sedimentation. In this research, by optimization of sediment rating curves in Bagh-Tangeh, Narvan and Afgeh Hydrometric stations in Latian Drainage Basin and Gelinak Hydrometric station in Taleghan Drainage Basin, an optimized method for estimations of suspended sediment yield is proposed. Six methods of linear, multi-linear, median of classes, FAO correction coefficient, parametric and non-parametric correction coefficients were used. By using daily flow discharges, suspended sediment yield was estimated. To select best model, mean percentage of relative error, efficiency coefficient and determination coefficient were employed. The results showed that sediment rating curve using the median of classes has the lowest mean percentage of relative error and the highest efficiency coefficient and determination coefficient. It has also the highest potential prediction. The result also shows that more than 70% of yearly sediment yield has been transported during flood-period months of March, April and May, which comprise less than 25% of the period, indicating the importance of condense sampling during these times.

Keywords: Sediment rating, Taleghan, Erosion

*Corresponding author: Tel: +982612223033 Fax: +982612249313 E-mail: sfeiz@ut.ac.ir