مقايسه روش‌هاي آماري برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها[۱]

محمد رضا ميرزايي[۲] محمود عرب‌خدري[۳] سادات فيض‌نيا[٤] حسن احمدي[۵]

چكيده

امروزه گرايش زيادي در مورد فهم نحوه و مقدار حمل مواد توسط رودخانه‌ها وجود دارد. چرا كه اين اطلاعات در بررسي نرخ و الگوي فرسايش، هوازدگي فيزيكي و شيميايي، ارزيابي جريان مواد از سطح اراضي به سمت پايين‌دست حوزه، بررسي آلودگي‌هاي منابع آب به خصوص آلودگي‌هاي غير نقطه‌اي، ييلان رسوب و مديريت حوزه‌هاي آبخيز به‌كار مي‌روند. گاهي مقدار رسوب خروجي معيار نسبتاً مناسبي براي سنجش فرسايش سالانه حوزه است. تاكنون روش‌هاي متعددي براي برآورد مقدار رسوب معلق ارايه شده است كه نتايج حاصل از اين روش‌ها در اغلب موارد اختلافات فاحشي باهم دارند. مهم‌ترين مشكل ارزيابي اين روش‌ها را مي‌توان فقدان آمار مشاهده‌اي قابل اعتماد در اين حوزه‌ها دانست. وجود آمار نسبتاً فشرده در ايستگاه رسوب‌سنجي قزاقلي واقع در بالادست سد وشمگير در حوزه آبخيز گرگانرود فرصت تعيين دقت و صحت روش‌هاي برآورد بار معلق را فراهم كرد. به اين منظور ابتدا با استفاده از شيوه‌هاي مختلف (سيستماتيك، تصادفي- سيستماتيك، تصادفي ساده) با فركانس‌هاي متفاوت (۱۲، ۲٦، ۵۲، ۱۰٤ در سال) و با در نظر گرفتن طبقه‌بندي جريان، از جمعيت داده‌هاي مشاهده‌اي نمونه‌گيري به عمل آمد و سپس مقدار بار معلق با ۲۱ روش متفاوت از نظر نوع منحني‌سنجه و يا دبي جريان براي هر يك از نمونه‌ها تعيين گرديد. نهايتا پس از دسته‌بندي روشها، با استفاده از دو پارامتر آماري انحراف معيار خطاها و مقدار خطاي برآوردي نسبت به آمار فشرده مشاهده‌اي، روش‌هاي برآورد رسوب مورد مقايسه قرار گرفتند. نتايج نشان داد كه روش برآورد تلفيق دبي متوسط روزانه با منحني‌سنجه حد وسط دسته‌ها، دقيق‌تر و صحيح‌تر از ساير روش‌ها بود و به عنوان بهترين روش انتخاب شد. همچنين در اين روش برآورد رسوب، نمونه‌گيري تصادفي- سيستماتيك جواب مناسبتري را نسبت به بقيه روش‌ها ارايه داد. روي هم رفته روش نمونه‌گيري از جريان طبقه‌بندي شده با نمونه‌هاي اضافي از جريان‌هاي بالا و مياني مقدار خطا را در مقايسه با روش نمونه‌گيري بدون طبقه بندي حدود ۵۰ درصد كاهش داد.

واژه‌هاي كليدي: *رسوب معلق، رودخانه، منحني سنجه رسوب، دبي، ضرايب اصلاحي، نمونه‌گيري .*

[۱]-تاريخ دريافت: ۸۲/۱/۲۳، تاريخ پذيرش: ۸۲/۱۱/۲۷

[۲]- كارشناس ارشد آبخيزداري **(E-mail: mrmgh_mirzaei@yahoo.com)**

[۳]- مربي پژوهشي مركز تحقيقات حفاظت خاك و آبخيزداري

[٤]- استاد دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران

[۵]- استاد دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران

مقدمه

فرسايش، انتقال رسوب، رسوب‌گذاري و كيفيت آب از مسائل بسيار مهم در مديريت حوزه‌هاي آبخيز مي‌باشند. اين مسائل را مي‌توان با برقراري و توسعه برنامه‌هاي اندازه‌گيري مقدار رسوب انتقالي در رودخانه‌ها مورد بررسي قرارداد (۱۸)، از طرف ديگر رسوب معلق رودخانه تا حد زيادي پيام‌آور وضعيت بالادست است. گروه‌هاي زيادي نياز به اين داده‌ها دارند. از اين اطلاعات مي‌توان رابطه بين فرايندهاي فرسايش حوزه و رسوب معلق را مطالعه كرد (١٤). بنابراين بخش رسوب معلق در ارتباط نزديك با تحقيقات فرسايش خاك قرار دارد (۲۷) و از اطلاعات آن مي‌توان براي ارزيابي، اصلاح و بهبود مدل‌هاي برآورد رسوب و كمك به تصميم‌گيري‌هاي مديريتي در مورد تاثير كاربري اراضي و استراتژي‌هاي كنترل آلودگي استفاده كرد. همچنين محاسبات حجم مرده مخازن ناشي از پرشدن مواد رسوبي و طراحي حوضچه‌هاي رسوب، عمليات رسوب‌زدايي و غيره همگي بر پايه اطلاعات رسوب شناسي حوزه استوارند (٦). چون در بسياري از رودخانه‌ها بخش رسوب معلق قسمت اعظم بار كل رسوب را تشكيل مي‌دهد و بار بستر بيشتر از فرسايش رودخانه‌اي ناشي مي‌شود و به علت مشكلات عملي در اندازه‌گيري بار بستر تقريبا در تمام موارد، اندازه‌گيري رسوب مربوط به بار معلق مي‌باشد. در تخمين صحيح و مقدار رسوب معلق مواردي همچون طرح نمونه‌برداري از غلظت (تكرار و الگوي نمونه‌گيري(۳)، وسعت حوزه، زمين شناسي منطقه، نوع روش استفاده شده براي برآورد بار حوزه (۲۰) شدت بارش، اقليم، پوشش گياهي، توپوگرافي و فعاليت‌هاي انسان (۲۲) مؤثر مي‌باشند. اگر يك برنامه نمونه‌برداري فشرده، اطلاعات مفصلي فراهم كند كه نشان دهنده مناسبي از تغييرات رسوب باشد، خطاها و عدم قطعيت‌هاي كمتري وجود خواهد داشت (۱۳). مطالعات متعددي در ارتباط با تاثير استراتژي‌هاي مختلف نمونه‌گيري صورت گرفته است كه نشان از اهميت موضوع دارد (۷، ۲۰، ۱۹، ۲۵، ۱۰، ۲٦، ۲۵ و ۲۱). در رودخانه‌ها مقدار رسوب معلق تغييرات زماني دارد و در اغلب موارد قسمت اعظم رسوبات فقط در چند روز از سال در خلال شرايط اوج سيلاب حمل مي‌شوند. براي مثال رودخانه ايل در كاليفرنيا عرض يك سيل سه روزه به اندازه ۸ سال قبل رسوب حمل كرده است (۲۲). از آنجا كه عمده رسوبات در دوره‌هاي سيلابي انتقال مي‌يابد ضرورت دارد كه به اين مساله توجه دقيق‌تري مبذول شود (٦). بنابراين نمونه‌برداري از سيلابها اهميت ويژه‌اي دارد. توماس[۱] (۱۹۸۵) بيان مي‌كند كه طرح نمونه‌گيري انتخابي در ليست زمان (SALT)[۲]، كه تاكيد بيشتري بر نمونه‌گيري از جريان‌هاي بالا دارد، مطلوب‌تر است. اندازه‌گيري و تخمين مقدار رسوب معلق رودخانه‌ها از ساليان گذشته مورد توجه بوده و روش‌هاي متفاوتي نيز براي برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها ابداع شده است كه اغلب آنها بر اساس يك رابطه تجربي بين دبي جريان (Q_w) و دبي رسوب (Q_s) مي‌باشد (۲۹). براي برقراري چنين رابطه‌اي نياز به نمونه‌برداري جريان و رسوب در ايستگاه‌هاي هيدرومتري است كه اين كار اغلب به صورت دوره‌اي انجام مي‌شود. اين رابطه معمولا به‌صورت يك رابطه نمايي ($Q_s = a\ Q_w^b$) تعريف مي‌شود كه منتج از منحني‌سنجه رسوب است. پارامترهاي منحني‌سنجه (a و b) را از چندين روش شامل مدل‌هاي خطي و غيرخطي حداقل مربعات (نمايي) مي‌توان به دست آورد. تخمين حاصل از مدل غير خطي با استفاده از روش تكرار (بر اساس آزمون و خطا) به دست مي‌آيد، كه هميشه به جواب نمي‌رسد(٤)، همچنين مقدار خطاي باقيمانده نيز قابل محاسبه نمي‌باشد كه همين امر باعث كاهش صحت مي‌شود. به همين دليل در محاسبه پارامترهاي منحني سنجه از روش خطي استفاده مي‌شود. از مدل‌هاي خطي مي‌توان به مدل لگاريتميو مدل ميانگين دسته‌ها اشاره كرد (۱۵). در روش خطي بايستي داده‌ها به حالت لگاريتمي‌تبديل شوند. اين تبديل لگاريتمي‌باعث ايجاد اريبي در خط ترسيمي‌بر اساس حداقل مربعات مي‌شود كه

[۱]-Thomas

[۲]-Selecting at list time

به تخمين كمتر از مقدار واقعي منجر مي‌شود (۸، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۹) كه براي رفع آن افراد و سازمان‌هاي مختلف ضرايب تصحيحي مختلفي را ارايه كرده‌اند كه به‌طور مثال مي‌توان به فرگوسن[۱] (۱۹۸٦) و جونز و همكاران[۲] (۱۹۸۱) اشاره كردند كه در مورد كارايي اين ضرايب نتايج متفاوتي ارايه شده است (۱، ۸، ۹، ۱۲ و ۲۸) بنابراين در حال حاضر هيچ‌كدام از آنها قطعي نبوده و براي استفاده از آنها به مطالعات بيشتري نياز است. در اين مطالعه دو مورد اساسي در برآورد رسوب معلق توسط روش‌هاي برون‌يابي (منحني سنجه رسوب) پرداخته شده است كه عبارتند از ۱- نوع روش استفاده شده براي برآورد بار معلق حوزه ۲- طرح نمونه‌برداري از غلظت (تكرار و الگوي نمونه‌گيري). يكي از مهم‌ترين منابع خطا در برآورد بار معلق، از برنامه‌هاي نامناسب نمونه‌برداري ناشي مي‌شود.

منطقه مورد مطالعه

اين مطالعه با توجه به آمار مفصل غلظت موجود در ايستگاه رسوب‌سنجي قزاقلي در حوزه آبخيز گرگانرود صورت گرفت. اين ايستگاه با كد ۱۲-۰۲۳ براساس تقسيم‌بندي مركز تحقيقات منابع آب (تماب) شناخته مي‌شود. موقعيت ايستگاه در طول شرقي ′۰۰ °۵۵ عرض شمالي و ′ ۱۳ °۳۷، در ارتفاع ۳۰ متري از سطح دريا بر روي رودخانه گرگانرود در ورودي درياچه سد وشمگير، در نزديكي دهكده قزاقلي واقع در ۱۳ كيلومتري گنبد قابوس مي‌باشد. اين ايستگاه در سال ۱۳۵۰ تأسيس شده و از همان سال داراي آمار جريان آب و رسوب مي‌باشد. ايستگاه قزاقلي در خروجي حوزه آبخيزي به وسعت ۷۰٦۲ كيلومتر مربع واقع است مجهز به پل تلفريك، ليمنوگراف و دستگاه‌هاي اندازه‌گيري و نمونه‌برداري (به صورت نمونه برداري ۳ مقطعي، نمونه‌برداري از يك قائم ثابت، نمونه‌برداري از يك نقطه ثابت سطحي، نمونه برداري چند مقطعي) مي‌باشد (مركز تحقيقات و كاربرد مواد راديواكتيو، ۱۳۵٤).

آمار موجود در ايستگاه

در حدود ۲۰۰۰ نمونه غلظت رسوب از تاريخ ٦۱/۷/۱ تا ٦۷/۱/۳۰ در ايستگاه قزاقلي توسط تماب اندازه‌گيري شده است. لازم به ذكر است بعد از اين تاريخ تعداد نمونه برداري در سال به شدت كاهش يافته است. اندازه‌گيري‌ها با فواصل زماني نسبتاً كم به‌طوري كه در روزهاي داراي جريان حداقل يك نمونه و در مواقع سيلابي هر دو ساعت يكبار نمونه‌برداري انجام شده است. ابتدا داده‌ها به همراه دبي لحظه‌اي و تاريخ و ساعت نمونه‌برداري، وارد كامپيوتر شد. سپس كليه داده‌ها چندين بار مورد بررسي قرار گرفتند تا از اشتباهات تايپي نيز جلوگيري شود. بعضي از داده‌هاي ناهمگون و غلط حذف شدند. نمودار تغييرات رسوب معلق و دبي رودخانه گرگانرود در محل ايستگاه قزاقلي در شكل (۱) آمده است، كه نشان دهنده رژيم برفي- باراني مي‌باشد.

مواد و روش‌ها

در اين تحقيق با ۲٦ روش نمونه‌گيري، نمونه‌هايي از جمعيت داده‌هاي فشرده غلظت گرفته شد و سپس توسط ۱۸ روش آماري مقدار بار معلق برآورد گرديد و نتايج با مقدار بار معلق واقعي كه از روش درون‌يابي به دست آمد، مقايسه شد. ذيلاً ويژگي‌هاي داده‌هاي پايه و روش‌هاي تجزيه و تحليل ارايه شده است.

برنامه نمونه گيري از داده‌ها

۲٦ روش نمونه‌گيري در ستون‌هاي اول و دوم جدول (۱) ملاحظه مي‌شود. اين روش‌ها در سه دسته كلي قرار مي‌گيرند.

الف) نمونه‌گيري بدون طبقه‌بندي جريان

به اين منظور ٤ نمونه با تكرار ۱۰٤، ۵۲، ۲٦، و ۱۲ تايي در سال برداشت شد و مورد استفاده قرار گرفت كه به ترتيب نشان دهنده نمونه‌گيري به صورت هفته‌اي دو نمونه، هفتگي، هر دو هفته يكبار و ماهيانه مي‌باشند. هر يك از نمونه‌ها به سه روش سيستماتيك، تصادفي- سيستماتيك و تصادفي ساده تهيه شدند.

[۱]- Ferguson

[۲]- Jones *et al*.

ب) نمونه‌گيري با طبقه بندي جريان

به اين منظور با توجه به مطالعات گذشته و استفاده از نرم‌افزار SPSS توزيع داده‌ها، نرمال لگاريتمي به دست آمد. سپس دبي‌هاي بيش از (انحراف معيار + Q) جريان‌هاي بالا و دبي‌هاي كمتر از (انحراف معيار – Q) جريان‌هاي پايين و جريان‌هاي حد واسط اين دو به نام جريان‌هاي مياني ناميده شدند. شكل (۲) نحوه طبقه‌بندي جريان را نشان مي‌دهد. سپس ۳۰۰ نمونه اضافي از جريان‌هاي بالا و مياني به سه شيوه متفاوت زير به داده‌هاي روش سيستماتيك افزوده شد.

-روش سيستماتيك به علاوه ۳۰۰ نمونه بالاتر از ميانگين لگاريتم داده‌ها،

-روش سيستماتيك به علاوه ۵۰ نمونه از جريان‌هاي بالا به علاوه ۲۵۰ نمونه از جريان‌هاي مياني ،

-روش سيستماتيك به‌علاوه ۱۵۰ نمونه از جريان‌هاي بالا و ۱۵۰ نمونه از دبي‌هاي مياني.

ج) ساير نمونه‌ها

دو نمونه ديگر نيز به نمونه‌هاي فوق اضافه شد. نمونه اول كل جامعه آماري و نمونه دوم مركب از داده‌هاي همزمان با نزديكترين ايستگاه در نظر گرفته شدند. در ارتباط با نمونه دوم، بر اساس اندازه‌گيري‌هاي انجام شده در ايستگاه ارازكوسه به عنوان نزديكترين ايستگاه، آمار مشترك زماني با ايستگاه قزاقلي انتخاب شد. اين نمونه‌گيري به اين علت انجام گرفت كه نشان دهد در شرايط معمولي نمونه‌گيري، چه تغييري در مقدار برآورد رسوب معلق به وجود مي‌آيد.

روش‌هاي برآورد بار معلق

در اين مطالعه از روش‌هاي برون‌يابي يا منحني‌سنجه رسوب استفاده شد كه در اين روش‌ها تعداد محدودي از اندازه‌گيري‌هاي غلظت رسوب با برقراري رابطه بين غلظت يا دبي رسوب و دبي جريان آب و استفاده از آمار دبي جريان براي دوره زماني مورد نظر برون‌يابي مي‌شود. سازمان‌ها و محققين مختلف بر اساس منحني سنجه رسوب، روش‌هاي متفاوتي را ارايه و به كار برده‌اند كه فرق آنها يا از نظر اصلاحاتي است كه بر روي منحني سنجه رسوب انجام گرفته و يا در نحوه استفاده از آمار دبي جريان است.

الف) انواع منحني سنجه رسوب:

۱- منحني سنجه رسوب يك خطي: در اين روش معمولا داده‌هاي غلظت يا دبي رسوب و دبي جريان متناظر آنها به يك محور مختصات تمام لگاريتمي منتقل شده و بهترين خط برازش با استفاده از روش حداقل مربعات از ميان نقاط عبور داده مي‌شود. بنابراين در اين روش بدون توجه به نحوه پراكنش نقاط فقط يك خط از بين نقاط عبور داده مي‌شود.

۲ - عبور دادن بيش از يك خط از بين نقاط: اگر وضعيت پراكنش نقاط اجازه دهد مي‌توان به جاي يك خط، دو يا سه خط از بين نقاط برازش داد. بنابراين در اين حالت بيش از يك معادله براي منحني سنجه رسوب وجود خواهد داشت، كه در اين مطالعه دو خطي و سه خطي برازش داده شدند. اما به علت برازش نامناسب در سه خطي اين روش حذف شد.

۳ - روش حدوسط دسته‌ها: در اين روش كه آنرا براي اولين بار جانسون (۱۹۸۵) پيشنهاد كرده است دبي‌هاي جريان با يك نمو معين به تعدادي دسته تقسيم شده 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 دست مي‌آيد.

٤- ضريب اصلاحي فائو: در اين روش كه توسط جونز و همكاران[۱] (فائو، ۱۹۸۱) تشريح شده است، ابتدا بهترين خط را با معادله (۱) به روش حداقل مربعات به مقادير لگاريتمي(نه مقادير واقعي) برازش مي‌دهند.

$$Qs= aQ_w^b \qquad (۱)$$

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

۱-Jones *et al.*

$$a' = \overline{Q}_s / \overline{Q}_w^b \quad (۲)$$

مقدار a' از تقسيم ميانگين‌هاي Q_s و Q_w متناظر اندازه‌گيري شده به دست مي‌آيد.

۵- ضريب اصلاحي پارامتري: براي اصلاح اثر تبديل لگاريتمي، توماس (۱۹۸۵) به نقل از ميلر[۱] (۱۷) ضريب اصلاحي زير را پيشنهاد كرده است:

$$CF_۱=EXP\ [۲,٦٥S^۲] \quad (۳)$$

كه در آن S اشتباه استاندارد برآورد منحني سنجه رسوب در لگاريتم پايه ۱۰ بوده و از رابطه (٤) محاسبه مي‌شود:

$$S^۲=\sum (\log_{Ci}- \hat{\log}_{Ci}) /(n-۲)^{۲} \quad (٤)$$

n: تعداد نمونه‌هاي غلظت،

$\log_{Ci}$: لگاريتم مقدار مشاهده‌اي غلظت،

$\hat{\log}_{Ci}$: لگاريتم مقدار برآوردي غلظت .

٦ - ضريب اصلاحي غير پارامتري: كخ و اسميليه[۲] (۱۹۸٦) با رد توزيع نرمال خطاهاي باقيمانده، ضريب اصلاحي غيرپارامتري را براي حذف اريبي داده‌ها توصيه كرده‌اند كه از رابطه‌هاي (۵) و (٦) قابل محاسبه است:

$$CF_۲ = ۱/n\ \Sigma ۱۰^{\ \varepsilon I} \quad (۵)$$

$$\varepsilon I= \log_{Ci} - \hat{\log}_{Ci} \quad (٦)$$

ضرايب اصلاحي پارامتري و غير پارامتري نيز همانند ضريب اصلاحي فائو به‌صورت ضريبي براي معادله (۱) به كار مي‌روند.

ب) روش‌هاي استفاده از دبي جريان:

۱-منحني تداوم جريان: در اين روش با استفاده از آمار روزانه دبي جريان، منحني تداوم جريان تهيه شده و سپس محور احتمال (درصد زمان برابر يا بيشتر) به تعدادي دسته تقسيم شده و دبي متناظر حد وسط هر يك از اين دسته‌ها و درصد احتمال آنها براي برآورد بار معلق به كار مي‌روند.

۲- دبي متوسط روزانه: در اين روش دبي متوسط جريان به‌طور مستقيم مورد استفاده قرار مي‌گيرد.

۳- دبي ماهانه: در بسياري از موارد آمار جريان روزانه ناقص مي‌باشد. در چنين حالاتي مي‌توان دبي ماهانه را به سهولت بر اساس آمار ايستگاه‌هاي مجاور برآورد كرد. براي تخمين رسوب معلق ماهانه لازم است منحني سنجه بين دبي و رسوب ماهانه تهيه شود (جاماب ۱۳٦۸). جاماب روشي براي اين منظور معرفي كرده است كه در اين مطالعه براي هريك از روش‌هاي ٦ گانه تهيه منحني سنجه رسوب به‌طور جداگانه استفاده شده است.

به اين ترتيب از تلفيق ٦ نوع منحني سنجه رسوب و ۳ روش استفاده از دبي جريان جمعا ۱۸ روش، با در نظر گرفتن ۲٦ نمونه‌گيري متفاوت جمعاً ٤٦۸ تخمين از رسوب معلق به دست آمد. طرح كامل روش‌هاي نمونه‌گيري و روش‌هاي برآورد رسوب معلق در جدول (۱) آمده است. به عنوان مثال تلاقي روش "يك خطي- تداوم" با "نمونه‌گيري بدون نمونه‌هاي اضافي ـ سيستماتيك" مبين برآورد بار معلق ايستگاه از طريق تلفيق منحني سنجه رسوب يك خطي و منحني تداوم جريان با استفاده از داده‌هاي مربوط به روش نمونه‌گيري سيستماتيك بدون نمونه‌هاي اضافي است.

محاسبه رسوب معلق واقعي

با توجه به آمار مناسب موجود، رسوب معلق اندازه‌گيري شده در هر لحظه نماينده رسوب عبوري در يك بازه زماني در نظر گرفته شده است (به علت فاصله زماني كم اندازه‌گيري‌ها به ويژه در سيلاب‌ها).

براي محاسبه مقدار رسوب معلق در هر بازه زماني اگر $t_۱$ ابتداي بازه زماني و $t_۲$ انتهاي آن باشد، از رابطه (۷) استفاده شد:

$$Qs_{t۲-t۱} = (Qs_۱ + Qs_۲)/۲ * (t_۲ - t_۱) \quad (۷)$$

$Q_{s۱}$ = مقدار رسوب معلق در لحظه $t_۱$ (تن در ثانيه)،

$Q_{s۲}$= مقدار رسوب معلق در لحظه $t_۲$ (تن در ثانيه)،

$(t_۲ - t_۱)$: اختلاف زماني دو اندازه‌گيري باهم (ثانيه).

مجموع كل رسوب بازه‌هاي زماني در طول دوره آماري مقدار رسوب كل را مي‌دهد.

[۱]- Miller

[۲]- Kock & Smillie

نحوه محاسبه مقدار خطاي هر روش

محاسبه مقدار خطا (e_i) از روش انحراف نسبي استاندارد شده مطابق معادله (۸) انجام گرفت.

$$e_i = (Qs_{act} - Qs_{est}) / Qs_{act} \qquad (۸)$$

Qs_{act}: مقدار واقعي رسوب معلق

Qs_{est}: مقدار برآوردي رسوب معلق

علاوه بر محاسبه مقدار خطاي هر روش، نتايج بر اساس روش نمونه‌گيري گروه‌بندي شدند. بر اين اساس نمونه‌ها به ٦ دسته با ٤ تكرار تقسيم شدند.

روش ارزيابي نتايج

مجموع قدر مطلق خطاها و انحراف معيار هر گروه محاسبه شد. هر چه مقدار خطاي روش‌ها به صفر نزديكتر باشد، صحت بالاتر مي‌رود يعني برآورد حاصله به واقعيت نزديكتر است، در صورتي كه انحراف معيار نشان دهنده دقت است كه هر چه كمتر باشد، در نتيجه مشاهدات تكرار شده تقريباً با هم برابر مي‌شوند و پراكندگي كمتري خواهند داشت. بهترين روش، روشي است كه قدر مطلق خطا و انحراف معيار كمتري داشته و يا به عبارت ديگر صحت و دقت بالاتري داشته باشد.

نتايج

برآورد رسوب معلق واقعي از رابطه (۷) ۱۸،۹۰۸،۹۰۸ تن در طول دوره آماري به دست آمد كه بقيه روش‌ها با اين مقدار مقايسه شدند.

مقدار خطا و انحراف معيار ۱۸ روش برآورد بار معلق به طور خلاصه و به تفكيك طرح نمونه‌گيري و دسته‌بندي داده‌ها در جدول (۱) آمده است. تمام روش‌هايي كه خطاي آنها كمتر از ۵ درصد مي‌باشد با رنگ خاكستري مشخص شده‌اند. همان طور كه مشاهده مي‌شود، در نمونه‌هاي با طبقه‌بندي جريان اين موارد بيشتر بوده كه مربوط به روش‌هاي حد وسط دسته‌ها- ماهانه و حد وسط دسته‌ها- روزانه مي‌باشد. اين گونه موارد در گروه بدون طبقه‌بندي جريان بسيار كمتر است كه نشان دهنده اهميت نمونه‌هاي اضافي مي‌باشد. پراكندگي روش‌هاي با خطاي كمتر از ۵ درصد در بدون طبقه‌بندي نيز قابليت اعتماد به اين روش‌ها را كاهش مي‌دهد و ممكن است اين موارد در اثر شانس و تصادف بوده باشند. از طرفي از ۱۰۸ گروه طبقه‌بندي شده، ۲۸ گروه داراي مجموع خطاي كمتر از ۸۰ درصد (به‌طور متوسط ۲۰ درصد براي هر برآورد) مي‌باشد كه ۱۸ مورد با طبقه‌بندي جريان و ۱۰ مورد بدون طبقه‌بندي جريان هستند. ۱۰ مورد نيز داراي مجموع خطاي گروهي كمتر از ٤٠ درصد (به‌طور متوسط ۱۰ درصد خطا در هر مورد) بودند كه همگي جزء روش با طبقه‌بندي جريان مي‌باشند. همچنين مقايسه انحراف معيار گروه‌هاي بدون طبقه‌بندي با گروه‌هاي با طبقه‌بندي جريان نشان مي‌دهد كه با اضافه كردن نمونه‌هايي از جريانات بالا انحراف معيار كاهش يافته است. از سوي ديگر مقايسه نمونه‌گيري بدون طبقه‌بندي جريان ـ سيستماتيك با نمونه‌گيري با طبقه‌بندي جريان ـ سيستماتيك حتي با تعداد نمونه برابر، تاثير گرفتن نمونه‌هاي اضافي از جريانات بالا را بر مقدار انحراف معيار نشان مي‌دهد. شكل‌هاي (۳) و (٤) تاثير روش‌هاي مختلف نمونه‌گيري بر خطاي برآورد رسوب را به ترتيب در دو روش بدون طبقه‌بندي و با طبقه‌بندي جريان نشان مي‌دهند. همان طور كه ملاحظه مي‌شود طبقه‌بندي جريان حتي تا چند برابر خطاي برآورد رسوب روش‌هاي متناظر را كاهش داده است.

در شكل (۳) تمام روش‌هاي برآورد رسوب بدون طبقه‌بندي جريان به تفكيك سه شيوه نمونه‌گيري حتي‌الامكان بر حسب مقدار خطا از كم به زياد مرتب شده‌اند. ملاحظه مي‌شود كه كمترين خطاها مربوط به روشCF_1 و پس از آن حد وسط دسته‌ها با استفاده از روش‌هاي مختلف استفاده از دبي مي‌باشند كه مجموع خطاهاي آنها تقريباً با هم برابر و در دامنه ۰/٦ تا ۱/۲ قرار مي‌گيرد. برآورد رسوب توسط منحني سنجه يك خطي داراي خطاي قابل ملاحظه‌اي است كه به‌طور متوسط ٦٥ درصد كمتر از مقدار واقعي مي‌باشد. در صورتي كه اين روش، كمترين انحراف معيار را در بين روش‌هاي برآورد رسوب به خود اختصاص مي‌دهد. بنابراين داراي صحت پايين ولي دقت بالايي است. منحني سنجه دو خطي (عبور

بيش از يك خط) باعث بهبود برآوردها (در حدود $\frac{2}{3}$ بار واقعي) نسبت به روش منحني سنجه يك خطي شده است و با توجه به انحراف معيار آن، دقت قابل قبول است. روش‌هاي فائو و CF_2 داراي بيشترين خطا و انحراف معيار هستند بنابراين كمترين صحت و دقت را دارند.

در شكل (٤) كه مربوط به روش‌هاي با طبقه‌بندي جريان است نيز خطاي برآورد رسوب توسط منحني سنجه يك خطي و دوخطي با شيوه‌هاي مختلف استفاده از دبي، تقريباً همانند نمونه‌گيري بدون طبقه‌بندي جريان مي‌باشد. همانند روش بدون طبقه‌بندي جريان استفاده از منحني سنجه با ضرايب اصلاحي فائو و CF_2 داراي بيشترين خطا و انحراف معيار در بين ١٨ روش هستند. با اينكه طبقه‌بندي جريان باعث كاهش قابل ملاحظه انحراف معيار و كاهش مقدار خطا شده است، ولي باز هم اين دو روش داراي كمترين صحت و دقت در بين روش‌هاي ديگر مي‌باشند. كمترين خطاها مربوط به روش حد وسط ـ روزانه و حد وسط ـ ماهانه با مجموع خطاي كمتر از ٢٠ درصد و پس از آن حد وسط ـ تداوم و تركيبات سه‌گانه CF_1 با شيوه‌هاي مختلف جريان مي‌باشد كه مجموع خطايي معادل ٠/٤ تا ٠/٧ را نشان مي‌دهند. به اين ترتيب مي‌توان گفت كه روش استفاده از منحني سنجه حد وسط دسته‌ها در تمامي موارد برآوردهاي بسيار مناسبي را با خطا و انحراف معيار بسيار پايين ارايه داده است كه نشان دهنده صحت و دقت بالاي اين روش است و پس از آن روشCF_1 قرار دارد.

بررسي اثر شيوه استفاده از داده جريان در مقايسه با نوع منحني سنجه بر مقدار خطاي ايجاد شده از هر روش، نشان مي‌دهد كه اثر نوع منحني سنجه بيشتر مي‌باشد. زيرا در اغلب موارد سه نحوه استفاده از جريان در تركيب با نوع خاصي از منحني سنجه، مجموع خطاي مشابهي را نشان داده‌اند كه در شكل‌هاي (٣) و (٤) مشخص است. به طور كلي در اكثر موارد دبي روزانه و ماهانه نتايج نزديكتري داشته‌اند. روش تداوم جريان در تلفيق با حد وسط دسته‌ها ضعيف‌ترين نتيجه را نسبت به ماهانه و روزانه و در تلفيق باCF_1 بهترين نتيجه را نشان مي‌دهد.

بحث و نتيجه‌گيري

بهترين روش برآورد بار معلق، برآورد مستقيم است كه نياز به وجود آمار مفصلي از غلظت و دبي جريان دارد، اما اغلب موارد اين آمار موجود نمي‌باشد. در اين حالت از روش‌هاي برآورد غير مستقيم استفاده مي‌شود. در حال حاضر از روش منحني سنجه رسوب به علت سادگي و نياز به تعداد نمونه كمتر، به طور گسترده‌اي استفاده مي‌شود. روش معمول برآورد رسوب معلق منحني تداوم جريان ـ منحني‌سنجه مي‌باشد، اما طبق تحقيقات مشخص شده كه اين روش مقدار بار معلق را كمتر از مقدار واقعي برآورد مي‌كند، به همين علت محققين و سازمان‌هاي مختلف، روش‌ها و ضرايب اصلاحي متفاوتي را پيشنهاد كرده‌اند. بعضي از آنها مانند جونز و همكاران (١٩٨١)، فرگوسن (١٩٨٦) وكخ و اسميليه (١٩٨٦) عامل اصلي برآورد كمتر روش مذكور را تبديل لگاريتمي ذكر كرده و براي اصلاح آن ضرايبي پيشنهاد كرده‌اند كه اين سه ضريب در اين مطالعه مورد مقايسه قرار گرفتند. جانسون (١٩٩٦) عامل اصلي برآورد كمتر را تعداد زياد نمونه‌هاي رسوبي در دبي‌هاي پايه ذكر كرده و روش همبستگي حد وسط دسته‌ها را پيشنهاد كرده است كه در اين روش ارزش بيشتري به دبي‌هاي بالا داده مي‌شود و در ضمن چون در اين روش تعداد نمونه‌ها به حداقل رسيده است، خطاي ناشي از تبديل لگاريتمي‌كه به پراكنش و تعداد نقاط بستگي دارد نيز تا حدود زيادي كاهش مي‌يابد. به‌طور كلي منابع خطا در برآورد رسوب معلق متفاوت مي‌باشد كه دو مورد بسيار مهم آن نوع روش برآورد بار معلق و برنامه نمونه‌برداري در اين مطالعه مورد ملاحظه قرار گرفتند كه نتايج آن به‌طور خلاصه به شرح زير مي‌باشد.

١- استفاده از منحني سنجه يك‌خطي و دوخطي به علت خطاي قابل توجه در برآورد كمتر از مقدار واقعي و ضرايب اصلاحي CF_2 و فائو به علت خطاي قابل توجه در برآورد

بيش از مقدار واقعي و همچنين انحراف معيار بسيار بالا، روش‌هاي مناسبي براي برآورد بار معلق نمي‌باشند.

۲- روش معمول برآورد بار معلق يعني استفاده از منحني تداوم جريان ـ منحني سنجه، برآوردي كمتر از مقدار

واقعي ارايه مي‌دهد و روش ماهانه ـ منحني سنجه و حد وسط دسته‌ها ـ منحني سنجه، جواب‌هاي نزديك به هم مي‌دهند كه تقريباً در اغلب موارد روش حد وسط دسته‌ها ـ منحني سنجه جواب مناسب‌تري داده است.

۳- در نمونه‌گيري بدون طبقه‌بندي جريان، ضريب حد وسط دسته‌ها و CF_1 و در جائي كه نمونه‌گيري‌ها فشرده‌تر هستند (يعني يك و يا دو نمونه در هفته) روش حد وسط دسته‌ها ـ روزانه جواب مناسب‌تري را نسبت به بقيه موارد نشان دادند. همچنين در نمونه‌گيري‌هاي هر دو هفته يك بار و يا ماهيانه، بخصوص با نمونه‌برداري تصادفي ـ سيستماتيك، روش منحني سنجه با ضرايب اصلاحيCF_1 ـ روزانه بهترين جواب را مي‌دهد.

٤- در نمونه‌گيري با طبقه‌بندي جريان، روش حد وسط دسته‌ها ـ روزانه بهترين جواب را ارايه مي‌دهد.

۵- حدود ۵۵ درصد از بار رسوبي در كمتر از ۳ درصد زماني حمل شده است كه نشان دهنده اهميت رويدادهاي سيل و نمونه‌برداري از غلظت آنها مي‌باشد. بيشترين مقدار رسوب در ماه فروردين انتقال مي‌يابد.

٦- پيشنهاد مي‌شود برنامه‌هاي خاصي براي نمونه‌گيري از سيلاب‌ها در وزارت نيرو تنظيم شود. در اين ارتباط استفاده از دستگاه‌هاي نمونه‌برداري اتوماتيك و يا گل‌آلودگي‌سنج‌ها را مي‌توان پيشنهاد نمود.

تقدير و تشكر

اعتبار لازم براي اجراي اين تحقيق از طريق پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري در قالب طرح تحقيقاتي با عنوان "مقايسه چند روش آماري برآورد بارمعلق در يك حوزه با رژيم برفي- باراني" با كد ۱۵-۰۵۰۰۰۳۵۰۰۰-۷۹ تامين شده است كه به اين وسيله از فرصت ايجاد شده سپاسگزاري مي‌شود.

منابع

۱- مركز تحقيقات و كاربرد مواد راديواكتيو، ۱۳۵٤. گزارش يكساله از فعاليت‌هاي تحقيقاتي در مورد رسوبات سد وشمگير(سال ۵۳-۱۳۵۲)، سازمان انرژي اتمي‌ايران، ٦۷ ص.

۲- جاماب (شركت مهندسي مشاور)، ۱۳٦۸. طرح جامع آب كشور، گزارش حوزه آبريز درياچه اروميه، وزارت نيرو، ص ۳۲۸.

۳- سرايي، ح.، ۱۳۷۲. مقدمه‌اي بر نمونه‌گيري در تحقيق، انتشارات سازمان مطالعه و تدوين كتب علوم انساني دانشگاه‌ها، ۲۵٦ ص.

٤- عرب خدري، م. ش. حكيم خاني و ع. ولي خوجيني ،۱۳۷۷. ضرورت تجديد نظر در روش متداول برآورد بار معلق رودخانه‌ها. مجموعه مقالات پنجمين سمينار مهندسي رودخانه، انتشارات دانشگاه شهيد چمران، اهواز، ص ٤۳۸-٤۲۹.

۵-عرب خدري ،م. و ح. عبداللهي، ۱۳۸۰. اثر به كارگيري آبنمود سيلاب‌ها در برآورد بار معلق، مجموعه مقالات همايش مديريت اراضي ـ فرسايش خاك و توسعه پايدار، اراك، ص۲۱۸-۲۰۵.

٦-عليزاده، ا.، ۱۳۷٦. اصول هيدرولوژي كاربردي. انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، چاپ دوم، ص٦۲۰.

۷-Asselman, N.E.M., ۲۰۰۰. Fitting and Interpretation of Sediment Rating Curves, Journal of Hydrology, ۲۳٤: ۲۲۸ –۲٤۸.

۸-Chon, T.A, L.L. Delong, E.J. Gilroy, R.M. Hirsch, and D.K. Wells, ۱۹۸۹, Estimating Constituent Loads, Water Resources Research, ۲۵(۵), ۹۳۷ -۹٤۲.

۹-Crawford, C.G, ۱۹۹۱. Estimation of Suspended Sediment Rating Curves and Mean Suspended Sediment Loads, Journal of Hydrology, ۱۲۹: ۳۳۱-۳٤۸.

۱۰-Dickinson.W.T., ۱۹۸۱. Accuracy and Precision of Suspended Sediment Loads, in: Erosion and Sediment Transport Measurement (Proc of Florence Symposium. June ۱۹۸۱) ۱۹۵ -۲۰۲, IAHS Public. No ۱۳۳.

۱۱-Jones, et al., ۱۹۸۱. Arid zone Hydrology For Agricultural Development. FAO, ۱۵۳ -۱۵٦

۱۲-Ferguson, R.I., ۱۹۸٦. River Loads Underestimated by Rating Curves, Water Resources Research, ۲۲(۱) ۷٤ -۷٦.

۱۳-Hadley, R.F., LAL, R. Onstad, C.A, D.E. Walling, & A. Yair, ۱۹۸۵. Recent Developments in Erosion And Sediment Yield Studies, UNESCO, Paris, ۱۲۷p.

۱٤-Hicks, D.M, B. Gomez & N.A. Trustrum, ۲۰۰۰. Erosion Thresholds and Suspended Sediment Yields, Waipaoa River Basin, New Zealand, Water Resources Research, ۳٦(٤) ۱۱۲۹ -۱۱٤۲.

۱۵-Jansson, M.B., ۱۹۹٦. Estimating Sediment Rating Curves of the Reventazon River at Palomo Using Logged Mean Loads Within Discharge Classes, Journal of Hydrology, ۱۸۳(٤) ۲۲۷ -۲٤۱.

۱٦-Koch, R.W., and G.M. Smillie, ۱۹۸٦. Comment on "River Loads Underestimated by Rating Curves" by R.I. Ferguson, Water Resources Research, ۲۲(۱۳) ۲۱۲۱ -۲۱۲۲.

۱۷-Miller, C.R., ۱۹۵۱. Analysis of Flow Duration Sediment Rating Curve, Method of Computing Sediment Yield, Report, ۵۵ pp., U.S. Bur. Of Reclam, Washington, D.C.

۱۸-Olive, L.J. and W.A. Reiger, ۱۹۹۲. Stream Suspended Sediment Transport Monitoring – Why, How and What IS Being Measured? IAHS Public, No: ۲۱۰.

۱۹-Picouet. C., B. Hingray, J.C. Olivery, ۲۰۰۱. Empirical and Conceptual Modeling of the Suspended Sediment Dynamics in a Large Tropical African River: the Upper Niger River Basin, Journal of Hydrology, ۲۵۰: ۱۹ -۳۹.

۲۰-Richards, R.P., and J. Holloway, ۱۹۸۷. Monte Carlo Studies of Sampling Strategies for Estimating Tributary Loads. Water Resources Research, ۲۳(۱۰) ۱۹۳۹ - ۱٤۸۳.

۲۱-Robertson. D.M. & E.D. Roerish, ۱۹۹۹,Influence of Various Water Quality Sampling Strategies on Load Estimates for Small Streams, Water Resources Research, ۳۵(۱۲) ۳۷٤۷-۳۷۵۹.

۲۲-Syvitski, J.P., M.D. Morehead, D.B. Bahr & T. Mulder, ۲۰۰۰, Estimating Fluvial Sediment Transport: the Rating Curve Parameters, ۳٦(۹) ۲۷٤۷ – ۲۷٦۰.

۲۳-Thomas, R.B., ۱۹۹۱. Systematic Sampling for Suspended Sediment, Fifth Federal Interagency Sedimentation Conference Advisory Committee on Water Data, Las Vegas, Federal Energy Regulatory Commission, ۲-۱۷ to ۲ -۲٤.

۲٤-Thomas, R.B. ۱۹۸۵. Estimating Total Suspended Sediment Yield With Probability Sampling, Water Resources Research.۲۱: ۱۳۸۱ -۱۳۸۸.

۲۵-Thomas, R.B. and J. Lewis, ۱۹۹۳. A Comparison of Selection at List Time and Stratified Sampling for Estimating Suspended Sediment Loads. Water Resource Research, ۱۹: ۱۲٤۷-۱۲۵٦.

٢٦-Thomas, R.B. & J. Lewis, ١٩٩٥. An Evaluation of Flow - Stratified Sampling for Estimating Suspended Sediment Loads, Journal of Hydrology, ١٧٠: ٢٧ -٤٥.

٢٧-Walling, D.E., ١٩٩٤. Measuring Sediment Yield From River Basins, in: R. Lal (Edd.), Soil Erosion Research Methods, Soil and Water Conservation Society. Pub ١،٢nd edition, ٣٩ -٨٣.

٢٨-Walling, D. E. and B. W. Webb, ١٩٨٨. The Reliability of Rating Curve, Estimates of Suspended Sediment Yield: Some Further Comments, IAHS, Public, ١٧٤: ٣٣٧ -٣٥٠.

٢٩-Walling, D.E., and B.W. Webb, ١٩٨١. The Reliability Of Suspended Sediment Load Data, In: Erosion and Sediment Transport (Proc. of Florence Symp. June ١٩٨١), IAHS. Public, ١٣٣: ١٧٧ - ١٩٤.

A Comparison of Methods of Estimation of Suspended Sediment in Rivers

M. R. Mirzaei[۱] M. Arab-Khedri[۲] S. Feiznia[۳] H. Ahmadi[٤]

Abstract

There presently exists a great need for information in regard to an understanding of why and the extent by which sediments are carried in water through rivers. This information is indispensable in an evaluation of: rate and pattern of erosion; physical and chemical weathering; sediment transport from the higher to lower slopes in a watershed; water pollution (particularly non local pollutions); sediment balance determination, and finaly proper management of catchment basins. Sediment discharge is many times a good criterion for evaluation of basin's yearly erosion.

Numerous methods have been presented for evaluation of suspended sediments but the results widely differ from each other. The most important impediment, however in all these methods of evaluation is a lack of dependable observational data. Availability of rather consolidated and consistent data in the hydrometric station of Gazogly located on the upper elevations of voshmgir Dam, Gorganrud catchment basin provided the means to determine the accuracy and precision of the evaluation methods in suspended sediment surveys. By use of different ways of "systematic, random-systematic and plain systematic" along with varied yearly frequencies (۱۲, ۲٦, ۲۵, ۱۰٤), and by taking into account flow classification, sampling was made from a population of observational data.

Suspended sediment was then determined for any one of the samples by ۲۱ different methods (different with regard to rating curve and /or discharge). Finally, after calssification of the methods and by use of the two parameters of standard deviation of errors and evaluated error relative to consolidated observational data, the diffeent methods were compared. Results indicated that the method of "a combination of average daily discharge with the rated curve of calssess, (group's) median" was of more accuracy and precision, and therefore selected as the most proper method. Also in this method of sediment evaluation, randomized systematic sampling responded in a more appropriate way than the others. Altogether, the method of sampling from classified flow together with additional readings of high and medium flows reduces the error to and extent of ۵۰٪ as compared to sampling method devoid of grouping (classification).

Keywords: Sediment Rating Curve, Mean load within discharge classes, Parametric correction factor, Sampling, Daily discharge .

[۱] *-Senior Expert, Watershed management. (E_mail: mrmgh-Mirzaei@yahoo.com)*
[۲] *-Research Instractor, soil conservation and Watershed Management Research Institute*
[۳] *-Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran*
[٤] *-Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran*