

مقایسه روشهای رگرسیون آماری و فازی جهت برآورد رسوب معلق رودخانه تلوار*

بهارک معتمدوزیری

دانشجوی دکتری رشته آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

bmvaziri@yahoo.com

حسن احمدی

استاد گروه احیاء مناطق خشک و نیمه خشک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

محمد مهدوی

استاد گروه احیاء مناطق خشک و نیمه خشک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

فرود شریفی

استادیار سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور

چکیده:

یکی از مهمترین مسائل در طراحی سازه های آبی، بررسی کیفیت آب، تعیین تأثیرات مدیریت آبخیز و حفاظت زیستگاه ماهیان، تعیین مقدار رسوبات معلق رودخانه ها می باشد. جهت برآورد بار معلق رودخانه ها از دو روش تجربی و رگرسیون آماری استفاده می شود؛ اما به دلیل تعدد روابط تجربی ارائه شده و ضرورت اصلاح آنها و ارائه ضرایب واسنجی جدید، در بیشتر موارد روش های رگرسیون آماری مورد استفاده قرار می گیرند. در روشهای رگرسیون آماری، با برازش یک تابع مناسب توانی از میان داده ها، رابطه بین دبی جریان و دبی رسوب محاسبه و بر این اساس مقادیر رسوبات حمل شده توسط جریان محاسبه می گردد. این روش ها توان تفکیک ویژگی های خاص داده های جمع آوری شده را نداشته و از این جهت، نه تنها برآورد چندان دقیقی از میزان رسوبات حمل شده توسط جریان ارائه نمی دهند، بلکه امکان بررسی تغییرات زمانی رسوبات حمل شده توسط جریان نیز در آنها وجود ندارد. با توجه به این مشکلات، امروزه بسیاری از محققین به روش های نوین پردازشی نظیر منطق فازی روی آورده اند. در تحقیق حاضر، ضمن برآورد رسوب معلق ایستگاه های هیدرومتری واقع بر روی رودخانه تلوار با دو روش معمول رگرسیون آماری USBR و FAO، با استفاده از مدل طراحی شده بر اساس اصول منطق فازی نیز مقدار رسوب معلق ایستگاه ها برآورد شده است. نتایج حاکی از این می باشد که با استفاده از منطق فازی، امکان بررسی تغییرات زمانی میزان رسوبات حمل شده توسط جریان وجود داشته و این روش نسبت به روش های FAO و USBR برآورد نسبتاً دقیق تری از میزان رسوبات حمل شده ارائه می نماید.

واژگان کلیدی: بار معلق، منطق فازی، USBR، FAO، رودخانه تلوار

* این مقاله برگرفته از رساله دکترائی است که با راهنمایی دکتر حسن احمدی و دکتر محمد مهدوی تهیه شده است.

مقدمه

هر ساله بالغ بر ۲۰ میلیارد تن رسوب توسط رودخانه های جهان حمل می شود که بخش عمده آن را رسوبات معلق تشکیل می دهد. رسوبات معلق به رسوباتی اطلاق می شود که درون آب و بالاتر از لایه بستر در حرکت هستند و به دلیل وزن کم شان و مؤلفه های رو به بالای جریانهای متلاطم، برای مدت زمان قابل ملاحظه ای به حالت معلق باقی می مانند. رسوبات معلق، مشکلات زیادی از جمله رسوبگذاری در مخازن سدها، تغییر مسیر رودخانه ها به دلیل رسوبگذاری در بستر آنها، کاهش ظرفیت آبگذری کانالها و تأسیسات انتقال آب و تغییر کیفیت آب به لحاظ مصارف شرب و کشاورزی را به وجود می آورند. بنابراین برآورد دقیق بار رسوب معلق، در مسائل متعددی از جمله طراحی مخازن سدها و تعیین عمر مفید آنها، طراحی کانالها، حفاظت زیستگاه ماهیان، برآورد میزان فرسایش حوزه های آبخیز و تعیین تأثیرات مدیریت آبخیز مورد نیاز می باشد.

علی رغم اهمیت رسوب معلق، اطلاعات دقیق و صحیح از این پدیده در کشور ما بسیار کم است و بین اندازه گیری ها و برآوردهای انجام شده نیز اختلافات زیادی مشاهده می شود. به عنوان مثال می توان به گزارش جاماب (۱۳۶۷) و شفیع علیویجه و همکاران (۱۳۷۵) اشاره کرد که در آنها تولید رسوب معلق رودخانه آجی چای در ایستگاه ونیار به ترتیب نهصد هزار و نه میلیون تن در سال برآورد شده که ده برابر اختلاف نشان می دهد. از جمله علل وجود این اختلافات، می توان به فقدان اندازه گیری های دراز مدت در زمینه رسوب معلق در ایران و همچنین به کاربرد روش های متفاوت جهت برآورد بار معلق اشاره نمود.

جهت برآورد بار معلق رودخانه ها اصولاً از دو روش تجربی و رگرسیون آماری استفاده می شود. در روش های تجربی، برای برآورد بار معلق از یک سری روابط تجربی استفاده می گردد که این روابط مبتنی بر مفاهیم فیزیکی می باشند و معمولاً به داده های متنوعی نیاز دارند. تعدد روابط تجربی ارائه شده، لزوم اصلاح این روابط و ارائه ضرایب واسنجی جدید، لزوم دستیابی به اطلاعات گسترده و عدم وجود روش تحلیلی یا تجربی مناسبی که بر اساس آن بتوان به تخمین درستی از میزان رسوبات حمل شده توسط جریان دست یافت، از مهمترین محدودیتهای روشهای تجربی برآورد بار رسوبی به شمار می آیند؛ به همین دلیل عموماً بین نتایج اخذ شده در روش های مختلف تجربی اختلافات قابل توجهی وجود دارد. با عطف به این مشکلات، بسیاری از محققان به روشهای دوم یعنی روشهای رگرسیون آماری روی می آورند. در روشهای رگرسیون آماری مقادیر اندازه گیری شده دبی جریان و دبی رسوب در مقابل یکدیگر رسم شده و سپس تابع مناسبی بر داده ها برازش داده می شود. تجربیات محققین مختلف نشان می دهد که رابطه همبستگی $Q_s = aQ_w^b$ مناسب ترین رابطه برای بیان تغییرات دبی و رسوب در ایستگاه های اندازه گیری است که در این رابطه Q_s دبی رسوب و Q_w دبی آب می باشد. a و b ضرایب ثابت رابطه هستند که از طریق ایجاد همبستگی بین داده ها محاسبه می شوند و عواملی نظیر شرایط محیطی، شرایط هیدرولیکی رودخانه و نوع رسوبات بر میزان آنها تأثیر می گذارد. با توجه به این قضیه، استفاده از این روابط منوط به ثابت ماندن شرایط کلی حوضه است که خود از مهمترین محدودیت های استفاده از آنها در تخمین و برآورد رسوب می باشد. علاوه بر این، در این روش ها امکان بررسی تغییرات زمانی رسوبات حمل شده توسط جریان نیز

وجود ندارد. بنابراین با توجه به مشکلات موجود، امروزه بسیاری از محققین به روشهای نوین پردازشی روی آورده اند.

یکی از روش های نوظهور در حل مسائل مهندسی، منطق فازی (Fuzzy Logic) می باشد. منطق فازی راه ساده ای را برای رسیدن به یک نتیجه قطعی و معین بر پایه اطلاعات ورودی ناقص و مبهم و دوپهلوی فراهم می نماید. اگرچه منطق فازی پدیده های غیر قطعی و نامشخص را توصیف می کند، با این حال تئوری فازی یک تئوری دقیق می باشد.

سابقه تحقیق

منطق فازی، اولین بار در سال ۱۹۶۵ میلادی در مقاله ای تحت عنوان "مجموعه های فازی" توسط پرفسور لطفی زاده استاد دانشگاه برکلی کالیفرنیا به جامعه علمی معرفی شد که انگیزه اصلی ارائه آن، ابراز عدم رضایت از ناتوانی و ضعف منطق سنتی دوگانه و ریاضیات بسیار دقیق در برخورد با دنیای واقعی و نادقیق بود. در سال ۱۹۷۴ ابراهیم ممدانی برای نخستین بار منطق فازی را در زمینه کنترل یک موتور بخار ساده به کار برد. در سال ۱۹۸۰ منطق فازی برای کنترل کوره سیمان استفاده شد و سپس توسط مؤسسه هیتاچی برای کنترل اتوماتیک قطار در ژاپن مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۸۹ انجمن سیستم ها و نظریه فازی (SOFT) پایه گذاری شد و آزمایشگاه بین المللی فازی (LIFE) در ژاپن تاسیس شد. سیستم های فازی از اوایل دهه ۱۹۹۰ در ساخت محصولات الکتریکی مورد استفاده قرار گرفت و کم کم دامنه کاربرد آن در جامعه توسعه یافت. بردوسی و همکاران (Bardossy et al., 1990) روش فازی را برای محاسبات رگرسیون در هیدرولوژی بکار گرفتند. کیندلر (Kindler, 1992) از منطق فازی در برنامه ریزی منابع آب استفاده نمود. کاپرا (Capra, 1994) از منطق فازی برای طبقه بندی نوع خشکسالی ها استفاده نمود. راسل (Russel, 1996) منطق فازی را برای بهره برداری بهینه سدهای مخزنی تولید کننده انرژی بکار گرفت و نتایج را با روشهای بهینه سازی خطی مقایسه نمود. این بررسی تفاوت قابل توجهی را بین دو روش نشان داد. شریستا و همکاران (Shrestha et al., 1996) نیز از منطق فازی برای مدلسازی بهره برداری از مخزن استفاده نمود. روش خاص استفاده شده در این مدل شرایط بهره برداری آسانتر و مناسبتری از مخزن را نشان داد. برایان و لینگیردی (Brion & Lingireddy, 1999)، هوریکاوا و همکاران (Horikawa et al., 1992)، کلر و همکاران (Keller et al., 1992)، کاسکو (Kosko, 1992) و جانگ (Jang, 1993)، از روش فازی برای شناسایی الگوها و طبقه بندی استفاده نمودند. بزداک (Bezdak) به منظور وارد نمودن مسائل عدم قطعیت در تعلق داده ها به گروه ها، تئوری فازی یا تعلق نسبی را با الگوریتم خوشه سازی K-میانگین ترکیب و الگوریتمی تحت عنوان الگوریتم فازی C-میانگین ارائه نمود که به دو صورت هدایت شده و هدایت نشده قابل کاربرد است.

عرصه تحقیق

حوزه آبخیز رودخانه تلوار یکی از زیرحوضه های حوزه آبخیز قزل اوزن می باشد که در منتهی الیه جنوبی این حوضه و در شمال شرق سنندج واقع شده است. این حوضه به طور عمده توسط رودخانه تلوار که خود آن از به

هم پیوستن رودخانه های چم تلوار، قوری چای، چم آسیاب، چشمه ختن و شور، قرافلو، نشور و اوزن دره غربی به وجود می آید، زهکشی می شود.

طول رودخانه اصلی تا نقطه خروجی حوضه تلوار برابر با ۸۲ کیلومتر بوده و شیب تندی دارد. این حوضه تقریباً گرد بوده و ضریب گراولپوس آن ۱/۱۳ می باشد. نزدیک به ۵۰ درصد از جریان آب سالانه این رودخانه در بهار و ۳۲ درصد نیز در زمستان جریان دارد. حداکثر ارتفاع ۳۲۵۰ متر و حداقل آن ۱۶۵۰ متر است و ارتفاع متوسط برابر ۲۰۰۰ متر می باشد. ۵۱٪ از مساحت حوضه دارای ارتفاعی کمتر از ۲۰۰۰ متر است. دبی متوسط سالانه این رودخانه ۸/۶۵ متر مکعب بر ثانیه طی یک دوره شاخص ۲۰ ساله بدست آمده و وزن مواد رسوبی سالانه بطور متوسط حدود ۹۴۲۰۰۰ تن برآورد گردیده است. رودخانه تلوار دارای چهار ایستگاه هیدرومتری دهگلان، سنگ سیاه، فرح آباد و سلامت آباد است که آخرین ایستگاه آن، نقطه خروجی زیرحوضه تلوار محسوب می شود و مساحت تحت کنترل آن ۶۵۲۵ کیلومتر مربع است. (جدول ۱)

جدول ۱- ایستگاههای هیدرومتری واقع بر روی رودخانه تلوار

نام رودخانه	کد ایستگاه	نام ایستگاه هیدرومتری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت تحت تاثیر (کیلومتر مربع)	آمار رسوب	آمار دبی روزانه
تلوار	۱۷-۰۰۳	سنگ سیاه	۴۷°-۲۷'	۳۵°-۱۱'	۱۸۵۰	۲۶۵	۱۳۴۵-۷۹	۱۳۵۵-۵۶ تا ۸۱-۸۰
	۱۷-۰۰۵	فرح آباد *	۴۷°-۳۷'	۳۵°-۲۵'	۱۷۳۰	۱۸۲۲	---	۱۳۵۴-۵۵ تا ۶۴-۶۵
	۱۷-۰۰۷	سلامت آباد	۴۷°-۵۱'	۳۵°-۴۰'	۱۶۵۰	۶۵۲۵	۱۳۴۵-۸۱	۱۳۴۰-۴۱ تا ۸۱-۸۰
	۱۷-۰۸۳	دهگلان	۴۷°-۲۳'	۳۵°-۱۵'	۱۸۵۵	۲۴۵	۱۳۶۳-۸۱	۱۳۵۳-۵۴ تا ۸۱-۸۰

* با توجه به این مسئله که ایستگاه فرح آباد دارای آمار رسوب نمی باشد، بنابراین جهت برآورد بار معلق رودخانه قابل استفاده نبوده و بررسی ها با توجه به داده های ایستگاه های هیدرومتری سنگ سیاه، سلامت آباد و دهگلان صورت گرفته است.

روش تحقیق

۱- روش های رگرسیون آماری

۱-۱- روش USBR

به منظور محاسبه دبی رسوبات در محل ایستگاههای هیدرومتری، از منحنی سنج رسوب (Sediment Rating Curve) استفاده می شود؛ منحنی سنج رسوب، منحنی است که با ایجاد همبستگی بین دبی جریان روزانه و دبی رسوب محاسبه می گردد. برای کاربرد این روش، ابتدا با استفاده از نرم افزار Excel بین دبی رسوب اندازه گیری شده و دبی جریان متناظر با آن رابطه برقرار شده و داده ها در محیط نمایشی لگاریتمی پلات شده است. سپس بهترین خط با ارزش توانی از بین آنها عبور داده شده و منحنی سنج ترسیم گردیده است. با تعیین معادله منحنی سنج رسوب و ضرایب آن و با استفاده از داده های موجود دبی روزانه اندازه گیری شده Q ، مقادیر رسوب حمل شده توسط جریان به صورت روزانه Qs^z محاسبه شده و با جمع مقادیر رسوبات روزانه محاسبه شده در یک سال با استفاده از رابطه زیر، رسوبات انتقال یافته سالانه برآورد گردیده است.

$$Q_{S-annual} = \sum_{j=1}^{365} Q_s^j \quad (1)$$

۱-۲- روش FAO

در این روش، پس از برازش منحنی سنجه رسوب، معادله سنجه رسوب تعیین می شود ولی از معادله این خط که از نقطه میانگین عبور می کند، استفاده نمی شود و به جای آن از معادله خطی موازی که از میانگین دبی آب و دبی رسوب عبور می کند، استفاده می شود. بنابراین معادله جدید به صورت زیر خواهد بود:

$$Q_s = a' Q_w^b \quad (2)$$

از تقسیم میانگین دبی های رسوب بر دبی های آب متناظر اندازه گیری شده، ضریب فائو (a') به دست می آید:

$$a' = \frac{\bar{Q}_s}{Q_w} \quad (3)$$

پس از تعیین ضریب فائو و قرار گیری آن در معادله سنجه رسوب، داده های مربوط به دبی روزانه ایستگاهها در معادله سنجه رسوب قرار گرفته و بار معلق همان روز برآورد شده است. بر این اساس برای هر سال ۳۶۵ رقم بار معلق روزانه برآورد شده است که مجموع آنها بار معلق حمل شده در طول سال می باشد.

۲- روش فازی

در بررسی انتقال رسوب رودخانه ها، شناخت الگوی واقعی انتقال رسوب و تغییرات زمانی آن در ماهها، فصول و یا سالهای مختلف با توجه به دبی جریان دارای اهمیت ویژه ای است. این موضوع زمانی اهمیت می یابد که تعداد نقاط مشاهداتی به خصوص در نقاط دارای اهمیت زیاد (سیلابها) به مراتب کمتر از سایر نقاط است. الگوریتم خوشه سازی فازی با دسته بندی داده های اندازه گیری شده بر اساس دبی، امکان تفکیک نقاط مربوط به دبی پایه یا سیلابی و دوره های پر آبی یا کم آبی رودخانه را فراهم می آورد. در شرایطی که عامل زمان نیز در محاسبات فازی وارد شود، تغییرات زمانی غلظت رسوبات و دبی نظیر ماهانه، فصلی و سالانه نیز فراهم می گردد. تفسیر این نتایج میتواند تاثیر سیاست های مختلف بهره برداری را ارزیابی نماید.

به منظور محاسبه میزان رسوبات حمل شده با استفاده از روش فازی، از فرایند خوشه سازی فازی C- میانگین هدایت شده (Supervised Fuzzy C- mean Clustering Method) که در حقیقت فرایندی برای شناخت الگوی واقعی مربوط به پارامترهای مختلف است استفاده گردیده است. نتایج کاربرد این روش در برآورد محاسبات رسوب و الگوریتم نحوه محاسبات برای رسوبات انتقال یافته توسط جریان با استفاده از الگوریتم کاربرد این روش در سایر زمینه ها به خصوص در زمینه کنترل و هدایت سیستم های الکترومکانیکی اخذ شده است.

در این روش ابتدا تعداد خوشه ها مشخص می شود. تعداد خوشه ها با توجه به دامنه پراکنش داده های مشاهداتی تعیین می گردد که معمولاً تعداد آنها (C) بین ۱۵ تا ۳۰ خوشه در نظر گرفته می شود. فاصله خوشه ها نیز معمولاً طوری انتخاب می شود که امکان بررسی تغییر الگوی انتقال رسوب با استفاده از داده های جریان وجود داشته باشد.

تابع تعیین درجه تعلق در این روش یک تابعه ۲ بعدی است که یک بعد آن دبی جریان و بعد دیگر آن زمان اندازه‌گیری است. چنانچه تاریخ ثبت دبی - دبی رسوب i ام به ترتیب سال - ماه - روز به صورت $(y - m - d)$ نشان دادن داده شود، پارامتر کمی زمان به این صورت تعیین می‌شود:

$$t_i = y_i + \frac{(m_i - 1 + di/30)}{12} \quad (۴)$$

براین اساس تابع درجه تعلق فازی مربوط به دبی Q_j در زمان t_j به مرکز خوشه Q_i به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$w_{ij} = e^{-\alpha_1(Q_j - Q_i)^2 - \alpha_2(t_j - t_i)^2} \quad (۵)$$

ضرایب α_1 و α_2 ، ضرایبی هستند که دامنه فازی بودن سیستم را نشان می‌دهند و به شرح زیر تعیین می‌شوند.

$$w_{ij} = 1 \text{ اگر } Q_j = Q_i \text{ و } t_j = t_i \text{ باشد آنگاه}$$

اگر $Q_j = Q_i \pm \Delta Q$ یا $t_j = t_i \pm \Delta t$ باشد آنگاه $w_{ij} \cong 0$ ، اما از آنجا که رسیدن به عدد صفر در تابع نمائی مذکور امکان پذیر نیست، عددی نزدیک به صفر مثلاً 10^{-5} برای تعیین ضریب α مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به کوچکی نسبی این عدد در مقابل ضریب تعلق یک، این عدد تاثیری بر تغییر خوشه های فازی و نتایج محاسبات نخواهد داشت زیرا به این ترتیب درجه تعلق در مرکز هر خوشه فازی 10^5 برابر بیشتر از درجه تعلق در فاصله ΔQ یا Δt است. به این ترتیب:

$$e^{-\alpha_1(Q_j - Q_i)^2} = 10^{-5} \quad (۶)$$

$$e^{-\alpha_2(t_j - t_i)^2} = 10^{-5} \quad (۷)$$

بنابراین مقادیر α_1 و α_2 به شرح زیر محاسبه می‌شوند.

$$\alpha_1 = \frac{5}{\Delta Q} \quad , \quad \alpha_2 = \frac{5}{\Delta t} \quad (۸)$$

مقادیر ΔQ و Δt براساس تعداد خوشه‌های انتخابی در جهت ها Q و t تعیین می‌شوند. کاربرد این روش موجب می‌شود تا جستجو برای یافتن نقاطی که Q_s^{\wedge} بر اساس آنها تخمین زده می‌شود در محدوده $Q_j \pm \Delta Q$ و $t_j \pm \Delta t$ محدود می‌گردد. در واقع الگوهای تغییرات رسوب ناشی از تغییر دبی و با گذشت زمان تعیین خواهد شد. با تعیین مقادیر α ، مقادیر w_{ij} برای هر Q_j در کلیه نقاط مشاهداتی ($i=1, \dots, n$) تعیین و مقادیر آن نرمال می‌شود.

$$\text{Sum } w_j = \sum_{l=1}^C w_{jl} \quad (۹)$$

$$w_{jl}^N = w_{jl} / \text{Sum } w_j \quad (۱۰)$$

به این ترتیب مقدار رسوب تخمینی برای دبی Q_j در زمان t_j از رابطه ذیل تعیین می‌گردد.

$$Q_s^{\wedge} j = \sum_{i=1}^n W_{ij}^N Q_{si} \quad (۱۱)$$

سپس میزان رسوبات انتقال یافته در هر سال با جمع مقادیر رسوبات هر روز در یک سال آماری محاسبه می‌گردد.

نتایج تحقیق

جدول (۲) نتایج روش های USBR و FAO را در ایستگاه های تحت بررسی نشان می دهد. همان گونه که از جدول (۲) مشاهده می شود، ضریب a بین ۱/۶۹۵ تا ۷/۰۹۳، ضریب a' بین ۳/۵۶۰ تا ۱۵/۲۳۰ و ضریب b بین ۱/۷۷۵ تا ۲/۱۰۶ متغیر است. ضریب همبستگی تابع رگرسیون (R^2) نیز از ۰/۸۹۸ تا ۰/۹۶۱ متغیر است که با توجه به مقادیر ضریب تبیین (CI) محاسبه شده برای آنها، همگی معنی دار بوده و در نتیجه نشان دهنده همبستگی مناسب تا بسیار خوب بین داده ها دبی و رسوب اندازه گیری شده می باشند.

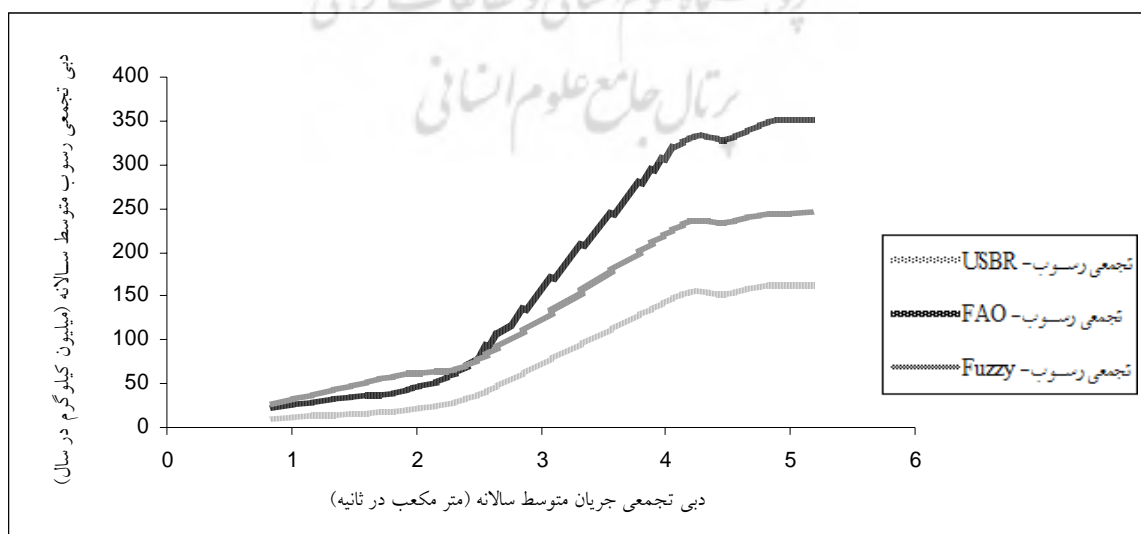
جدول ۲- نتایج روشهای USBR و FAO در ایستگاههای حوضه

ایستگاه	a	a'	b	R ²	CI
سنگ سیاه	۷/۰۹۳	۱۵/۲۳۰	۲/۱۰۶	۰/۹۳۸	۰/۲۱۹
سلامت آباد	۵/۰۵۹	۸/۷۶۶۵	۱/۷۷۵	۰/۹۶۱	۰/۱۹۸
دهگلان	۱/۶۹۵	۳/۵۶۰	۱/۹۶۶	۰/۸۹۸	۰/۲۲۹

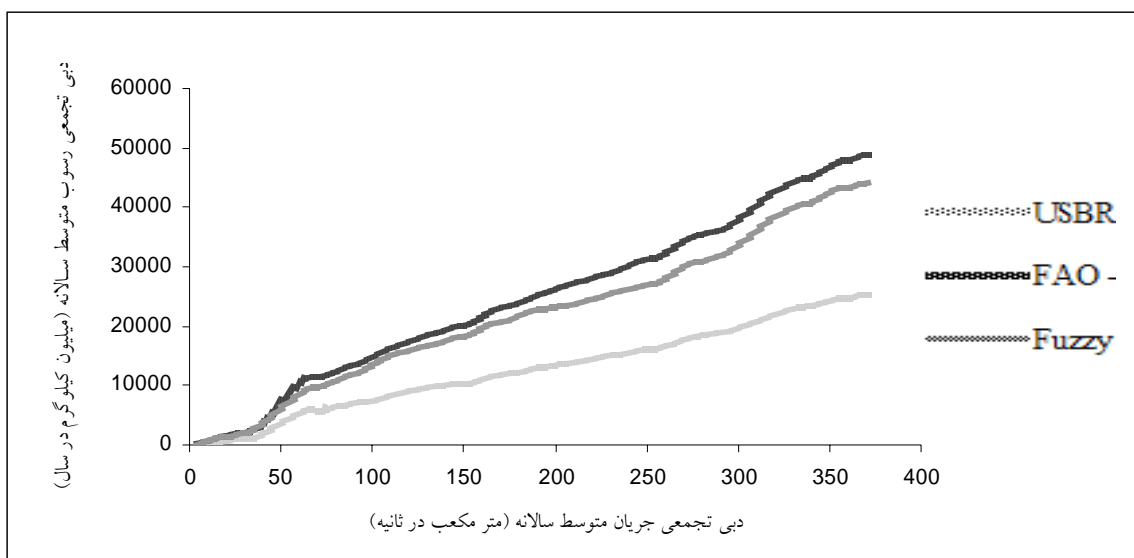
پس از محاسبه ضرایب مذکور، مقادیر رسوب سالانه حمل شده توسط جریان با روشهای ذکر شده محاسبه گردید.

برای محاسبه مقادیر رسوب حمل شده توسط جریان با روش خوشه سازی هدایت شده فازی، یک برنامه کامپیوتری (مدل Sediment) در محیط نرم افزار Visual Basic 6.0 تهیه و محاسبات مربوط به مقادیر رسوب سالانه حمل شده توسط جریان توسط این برنامه انجام گردید.

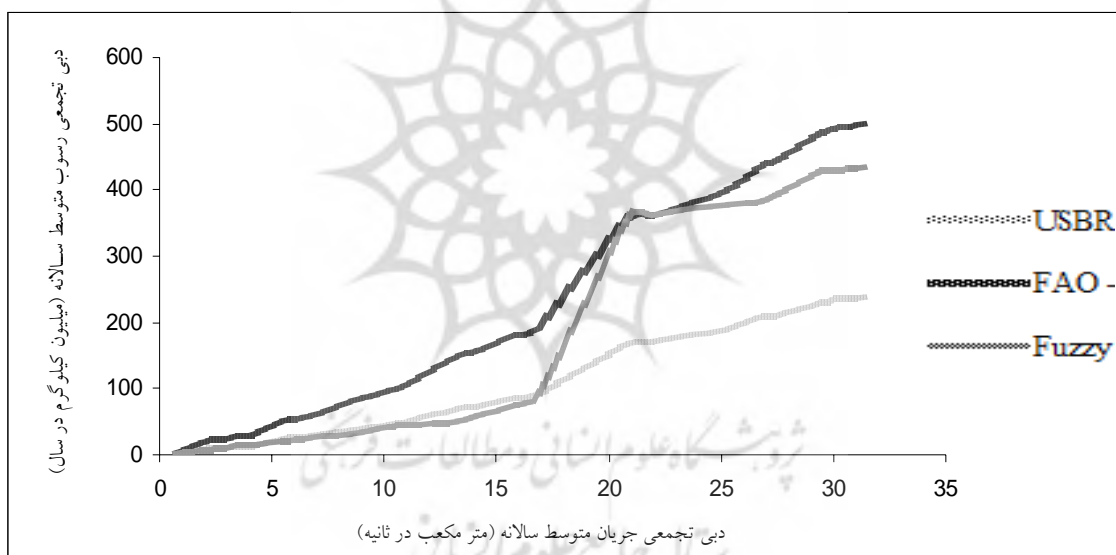
با توجه به آنکه میزان انتقال رسوبات سالانه تابع میزان جریان عبوری بوده که خود عاملی متغیر است، برای بررسی بیان رسوب و تغییرات زمانی آن و تفسیر نتایج محاسبات از منحنی جرم مضاعف استفاده شده و مقادیر دبی تجمعی در مقابل مقادیر رسوب تجمعی محاسبه شده با روش های USBR، FAO و فازی ترسیم شده است. (اشکال ۱ تا ۳)



شکل ۱- منحنی جرم مضاعف مقادیر تجمعی دبی رسوب در مقابل مقادیر تجمعی دبی جریان ایستگاه سنگ سیاه



شکل ۲- منحنی جرم مضاعف مقادیر تجمعی دبی رسوب در مقابل مقادیر تجمعی دبی جریان ایستگاه سلامت آباد



شکل ۳- منحنی جرم مضاعف مقادیر تجمعی دبی رسوب در مقابل مقادیر تجمعی دبی جریان ایستگاه دهگلان

جهت مقایسه آماری روشهای مورد استفاده و تعیین بهترین روش جهت برآورد بار معلق رودخانه تلوار نیز از روشهای آماری نظیر ضریب تبیین، درصد خطا و مجموع مربعات خطا استفاده شده است.

جدول ۳- نتایج آزمون آماری مقادیر رسوب معلق برآورد شده در ایستگاه سنگ سیاه

زمان	دبی	دبی رسوب مشاهده ای	دبی رسوب - FUZZY	درصد خطا	مجموع مربعات خطا	دبی رسوب - USBR	درصد خطا	مجموع مربعات خطا	دبی رسوب FAO -	درصد خطا	مجموع مربعات خطا
۱۳۵۱،۵۷۹	۱،۸۱۰	۳۰۴،۴۶۰	۳۲۴،۴۸۵	۶،۱۷۱		۱۸،۸۷۴	۱۵۱۳،۰۷۸		۴۴،۴۶۲	۵۸۴،۷۶۳	
۱۳۵۲،۶۳۵	۱،۷۰۰	۳۰۸،۶۸۰	۳۰۴،۷۶۵	۱،۲۸۵		۱۶،۷۴۹	۱۷۴۲،۹۹۹		۳۹،۷۰۳	۶۷۷،۴۷۶	
۱۳۵۲،۷۹۱	۱،۷۱۰	۲۴۵،۶۵۰	۳۰۶،۵۵۸	۱۹،۸۶۸		۱۶،۹۳۷	۱۳۵۰،۳۷۱		۴۰،۱۲۶	۵۱۲،۲۰۳	
۱۳۵۲،۸۳۲	۱،۵۱۰	۳۹،۰۱۰	۲۷۰،۷۰۲	۸۵،۵۸۹		۱۳،۳۶۳	۱۹۱،۹۳۳		۳۲،۰۵۴	۲۱،۷۰۲	
۱۳۵۳،۰۷۹	۳۶،۰۰۰	۷۳۴۸،۸۴۰	۶۴۵۶،۸۸۵	۱۳،۸۱۴		۵۶۳۱،۹۹۹	۳۰،۴۸۴		۹۸۳۸،۱۹۳	۲۵،۳۰۳	
۱۳۶۰،۵۵۵	۱،۷۷۰	۲۹۰،۸۲۰	۳۱۷،۳۱۴	۸،۳۵۰		۱۸،۰۸۸	۱۵۰۷،۸۴۷		۴۲،۷۰۴	۵۸۱،۰۱۹	
۱۳۶۱،۱۰۵	۱۴،۱۰۰	۲۴۱۲،۱۲۰	۲۵۲۸،۱۸۵	۴،۵۹۱		۹۴۳،۸۰۸	۱۵۵،۵۷۳		۱۸۱۰،۶۹۳	۳۳،۲۱۵	
۱۳۶۱،۹۵۵	۳،۷۸۰	۲۶۱،۲۷۰	۶۷۷،۶۷۳	۶۱،۴۴۶		۷۶،۷۹۷	۲۴۰،۲۱۰		۱۶۸،۰۶۵	۵۵،۴۵۸	
۱۳۶۳،۰۴۱	۲،۲۶۰	۳۵۰،۰۵۰	۴۰۵،۱۶۱	۱۳،۶۰۲		۲۸،۸۱۷	۱۱۱۴،۷۵۵		۶۶،۳۹۲	۴۲۷،۲۵۰	
۱۳۶۳،۶۱۶	۱،۹۹۰	۳۱۰،۳۸۰	۳۵۶،۷۵۶	۱۲،۹۹۹		۲۲،۶۱۲	۱۲۷۲،۶۲۷		۵۲،۷۶۴	۴۸۸،۲۴۰	
۱۳۶۴،۰۲۵	۴،۹۲۰	۳۰۵،۰۷۰	۸۸۲،۰۶۵	۶۵،۴۱۴		۱۲۶،۹۱۰	۱۴۰،۳۸۴		۲۷۰،۵۰۹	۱۲،۷۷۶	
۱۳۶۴،۰۶۸	۳۲،۹۵۰	۵۴۸۳،۷۰۰	۵۹۰۹،۵۸۱	۷،۲۰۷		۴۷۵۷،۶۶۶	۱۵،۲۶۰		۸۳۸۴،۷۷۵	۳۴،۵۹۹	
۱۳۶۴،۱۰۳	۲۱،۴۰۰	۳۰۲۷،۶۱۰	۳۸۳۷،۴۸۴	۲۱،۱۰۴		۲۰۹۰،۱۹۳	۴۴،۸۴۸		۳۸۴۶،۱۶۶	۲۱،۲۸۲	
۱۳۶۴،۵۹۷	۱،۶۸۰	۲۰۰،۹۵۰	۳۰۱،۱۷۹	۳۳،۲۷۹		۱۶،۳۷۵	۱۱۲۷،۱۵۴		۳۸،۸۶۳	۴۱۷،۰۶۷	
۱۳۶۵،۱۰۸	۹،۶۴۰	۱۵۶۹،۳۰۰	۱۷۲۸،۳۸۴	۹،۲۰۴		۴۵۷،۲۷۰	۲۴۳،۱۸۹		۹۱۱،۲۷۲	۷۲،۲۱۰	
مجموع		۲۲۴۸۴،۷۸۰	۲۵۰۴۲،۸۱۶	۱۰،۲۱۵	۳۸۸،۸۱۱	۱۴۲۶۹،۵۴۶	۵۷،۵۷۲	۷۲۱،۳۶۹	۲۵۶۶۲،۴۲۱	۱۲،۳۸۲	۱۰۱۵،۷۲۱

جدول ۴- نتایج آزمون آماری مقادیر رسوب معلق برآورد شده در ایستگاه سلامت آباد

زمان	دبی	دبی رسوب مشاهده ای	دبی رسوب FUZZY-	درصد خطا	مجموع مربعات خطا	دبی رسوب USBR-	درصد خطا	مجموع مربعات خطا	دبی رسوب FAO -	درصد خطا	مجموع مربعات خطا
۱۳۵۱،۱۸۳	۶،۸۳۰	۲۹۸،۷۹۰	۳۹۲،۴۶۰	۲۳،۸۶۷		۱۵۳،۰۱۰	۹۵،۲۷۵		۲۶۵،۱۵۹	۱۲،۶۸۴	
۱۳۵۱،۹۵۲	۷۳،۵۰۰	۶۱۷۰،۴۷۰	۷۴۴۹،۵۷۹	۱۷،۱۷۰		۱۰۳۶۹،۶۹۱	۴۰،۴۹۵		۱۷۹۷۰،۲۰۹	۶۵،۶۶۳	
۱۳۵۲،۴۹۳	۱،۲۷۰	۶۱،۹۶۰	۷۱،۴۴۴	۱۳،۲۷۵		۷،۷۳۱	۷۰۱،۴۴۳		۱۳،۳۹۸	۳۶۲،۴۷۲	
۱۳۵۳،۵۰۲	۳،۶۸۰	۱۵۷،۶۰۰	۲۰۷،۰۴۳	۲۳،۸۸۰		۵۱،۰۶۶	۲۰۸،۶۱۷		۸۸،۴۹۶	۷۸،۰۸۷۳	
۱۳۵۳،۵۹۷	۶،۵۳۰	۲۹۳،۵۷۰	۳۷۵،۲۱۷	۲۱،۷۶۰		۱۴۱،۲۸۷	۱۰۷،۷۸۳		۲۴۴،۸۴۴	۱۹،۹۰۱	
۱۳۶۰،۵۳۳	۳،۱۹۰	۱۵۶،۹۱۰	۱۷۹،۴۷۲	۱۲،۵۷۱		۳۹،۶۲۹	۲۹۵،۹۴۵		۶۸،۶۷۶	۱۲۸،۴۷۹	
۱۳۶۰،۷۳۲	۸،۴۷۰	۱۱۵،۶۶۰	۴۸۶،۷۳۸	۷۶،۳۲۰		۲۲۴،۱۶۵	۴۸،۵۸۳		۳۸۸،۴۶۸	۷۰،۳۲۹	
۱۳۶۲،۹۵۵	۷،۳۸۰	۱۹۰،۸۶۰	۴۲۴،۰۷۸	۵۴،۹۹۴		۱۷۵،۵۵۲	۸،۷۲۰		۳۰۴،۲۲۳	۳۷،۲۶۳	
۱۳۶۳،۸۹۱	۱۱،۰۵۰	۲۹۸،۳۵۰	۶۳۵،۰۸۰	۵۳،۰۲۲		۳۵۹،۳۲۳۲	۱۶،۹۶۹		۶۲۲،۶۹۱	۵۲،۰۸۷	
۱۳۶۴،۱۴۹	۳،۱۳۰	۱۱۹،۸۳۰	۱۷۶،۰۹۶	۳۱،۹۵۲		۳۸،۳۱۶	۲۱۲،۷۴۰		۶۶،۴۰۰	۸۰،۴۶۶	
۱۳۶۵،۱۰۵	۱۷،۱۷۰	۲۱۷۵،۷۸۰	۱۹۸۷،۱۰۷	۹،۴۹۵		۷۸۵،۴۸۷	۱۷۶،۹۹۸		۱۳۶۱،۲۱۳	۵۹،۸۴۱۳	
۱۳۶۶،۸۵۰	۸،۲۸۰	۴۸۵،۳۰۰	۴۷۵،۸۲۰	۱،۹۹۲		۲۱۵،۳۲۰	۱۲۵،۳۸۶		۳۷۳،۱۳۹	۳۰،۰۵۸۶	
۱۳۶۷،۹۹۳	۱۹۷،۰۰۰	۱۳۱۷۰۰،۱۴۰	۱۳۳۵۱۸،۳۶۸	۱،۳۶۲		۵۹۶۴۴،۳۴	۱۲۰،۸۰۹		۱۰۳۳۶،۰۹۶۵	۲۷،۴۱۸	
۱۳۷۷،۵۹۷	۵،۱۴۰	۱۴۲،۰۱۰	۲۹۵،۳۳۲	۵۱،۹۱۵		۹۲،۳۹۴	۵۳،۷۰۱		۱۶۰،۱۱۴	۱۱،۳۰۷	
۱۳۸۰،۹۰۷	۷،۵۴۰	۱۰۴۰،۱۶۰	۱۴۳۳،۲۸۱	۲۷،۴۲۸		۱۸۲،۳۶۲	۴۷۰،۳۸۲		۳۱۶،۰۲۵	۲۲۹،۱۳۸	
۱۳۸۱،۱۲۴	۴،۹۴۰	۲۵۱،۸۲۰	۲۸۳،۸۳۹	۱۱،۲۸۱		۸۶،۱۱۰۷۵	۱۹۲،۴۳۷		۱۴۹،۲۲۶	۶۸،۷۵۱	
مجموع		۱۴۷۴۹۹،۹۹۰	۱۵۳۷۷۷،۶۷۹	۴،۰۸۲	۵۰۹،۳۵۵	۷۵۸۱۳،۵۲	۹۴،۵۵۶	۱۴۴۴۰،۵۳۶	۱۳۱۳۸۱،۴۲	۱۲،۲۶۹	۶۱۴۶،۹۴۴

جدول ۵- نتایج آزمون آماری مقادیر رسوب معلق برآورد شده در ایستگاه دهگلان

زمان	دبی	دبی رسوب مشاهده ای	دبی رسوب - FUZZY	درصد خطا	مجموع مربعات خطا	دبی رسوب USBR-	درصد خطا	مجموع مربعات خطا	دبی رسوب FAO -	درصد خطا	مجموع مربعات خطا
۱۳۶۶,۹۰۷	۱,۱۹	۱۰,۰۱	۱۱,۰۸۵	۹,۷۰۱		۲,۳۸۶	۳۱۹,۵۹۶		۵,۰۱۱	۹۹,۷۴۴	
۱۳۶۷,۹۵۵	۱,۱۳	۱۰,۸۸	۱۰,۵۲۶	۳,۳۵۹		۲,۱۵۵	۴۰۴,۸۸۷		۴,۵۲۷	۱۴۰,۳۴۶	
۱۳۶۸,۹۶۰	۱,۶	۱۲,۱۲	۱۴,۹۰۵	۱۸,۶۸۴		۴,۲۶۹	۱۸۳,۸۹۰		۸,۹۶۸	۳۵,۱۴۳	
۱۳۶۹,۹۳۹	۱,۶۸	۳۳,۹۷	۳۴,۱۸۴	۰,۶۲۷		۴,۶۹۹	۶۲۲,۹۱۹		۹,۸۷۱	۲۴۴,۱۳۸	
۱۳۷۰,۰۲۷	۲,۵	۲۸,۲۳	۲۳,۲۸۹	۲۱,۲۱۷		۱۰,۲۶۵	۱۷۵,۰۰۹		۲۱,۵۶۴	۳۰,۹۱۵	
۱۳۷۲,۱۹۱	۱,۰۵	۷,۵۱	۷,۹۹۸	۶,۱۰۰		۱,۸۶۵	۳۰۲,۶۱۸		۳,۹۱۸	۹۱,۶۶۲	
۱۳۷۲,۶۹۷	۱,۳۲	۱۲,۸۵	۱۲,۲۹۶	۴,۵۰۲		۲,۹۲۵	۳۳۹,۳۲۵		۶,۱۴۴	۱۰۹,۱۳۶	
۱۳۷۲,۹۷۴	۶,۶	۵۹	۶۱,۴۸۴	۴,۰۴۰		۶۹,۲۰۷	۱۴,۷۴۹		۱۴۵,۳۸۲	۵۹,۴۱۷	
۱۳۷۳,۱۰۵	۳,۲۲	۵۲,۶۷	۵۴,۵۲۷	۳,۴۰۶		۱۶,۸۸۲	۲۱۱,۹۸۰		۳۵,۴۶۴	۴۸,۵۱۵	
۱۳۷۳,۹۴۴	۲,۰۹	۱۲,۹۴	۱۵,۹۲۰	۱۸,۷۱۷		۷,۲۱۸	۷۹,۲۶۶		۱۵,۱۶۳	۱۴,۶۶۲	
۱۳۷۴,۱۱۳	۲,۵۷	۱۷,۸۴	۲۳,۹۴۱	۲۵,۴۸۳		۱۰,۸۳۸	۶۴,۶۱۰		۲۲,۷۶۷	۲۱,۶۳۹	
۱۳۷۵,۱۶۳	۱,۱۲	۱۰,۵۱	۱۰,۴۳۳	۰,۷۳۵		۲,۱۱۸	۳۹۶,۳۱۵		۴,۴۴۸	۱۳۶,۲۶۵	
۱۳۷۷,۰۲۲	۵,۳۶	۳۴,۵۶	۴۰,۸۲۹	۱۵,۳۵۴		۴۵,۹۷۱	۲۴,۸۲۲		۹۶,۵۷۰	۶۴,۲۱۲	
۱۳۸۱,۰۸۶	۲,۶۶	۱۶	۲۴,۷۷۹	۳۵,۴۳۰		۱۱,۵۹۶	۳۷,۹۷۳		۲۴,۳۶۰	۳۴,۳۱۹	
مجموع		۳۱۹,۰۹	۳۴۶,۱۹۷	۷,۸۳۰	۳,۷۰۷	۱۹۲,۳۹۵	۶۵,۸۵۱	۱۴,۵۸۹	۴۰۴,۱۵۸	۲۱,۰۴۸	۲۸,۸۶۴

درصد خطای روش فازی در ایستگاه های مورد بررسی $4/0.82$ تا $10/215$ درصد بوده که این اعداد در مورد روشهای USBR و FAO به ترتیب $572/572$ تا $94/556$ و $12/269$ تا $21/0.48$ بوده است. مجموع مربعات خطای بدست آمده برای روشهای USBR ، FAO و فازی نیز از الگوی مشابهی پیروی نموده است. ذکر این نکته لازم است که در تمامی موارد ، روش های FAO و فازی مقادیری بیشتر از واقعیت را برآورد نموده اند که در مورد روش FAO اختلاف فاحش بوده اما در روش فازی مقادیر بدست آمده اندکی بیشتر از واقعیت بوده است. روش USBR عکس این دو روش بوده است یعنی در تمام موارد مقادیر کمتر از واقعیت برای ایستگاهها بدست آمد. (جداول ۳ تا ۵)

بحث و نتیجه گیری

کمبود آمار نمونه برداری در مواقع پرابی باعث می شود که عموماً ارقام برآورد شده از روش USBR به حداقل مشاهده شده در رودخانه نزدیکتر باشند ؛ زیرا در محاسبه ضرایب منحنی سنج رسوب ، با کلیه نقاط مشاهداتی یکسان برخورد می شود. از آنجا که بیشتر نقاط اندازه گیری دبی جریان- دبی رسوب رودخانه ها در زمان اندازه گیری دبی پایه صورت گرفته و تعداد داده ها در زمان سیل به مراتب کمتر است؛ لذا نهایتاً روش USBR به سمت مقادیر پائین تمایل پیدا می کند. از طرفی با توجه به این نکته که بیشترین مقدار رسوب هنگام وقوع سیل از رودخانه عبور می کند، کاربرد این روش در محاسبه میزان رسوب حمل شده در شرایط سیلابی با خطا همراه خواهد بود. در روش FAO نیز محدود بودن تغییرات دبی آب نسبت به تغییرات بار معلق رودخانه، باعث بزرگ شدن ضریب a

و در نتیجه برآورد بیشتر بار معلق نسبت به روش USBR می‌گردد. از سوی دیگر روشهای USBR و FAO، شرایط زمانی و فیزیکی خاص اندازه‌گیری داده‌ها را در نظر نمی‌گیرد. به عنوان مثال مشخص نیست که هر کدام از نقاط روی منحنی مربوط به دبی پایه یا سیلابی است و یا مشخص نیست داده‌ها مربوط به دوره‌های پر آبی یا کم آبی رودخانه است. این محدودیت زمانی بیشتر می‌شود که رودخانه از حالت رژیم طبیعی خارج و برداشت آب، احداث سد و یا سایر سازه‌های هیدرولیکی موجب تغییر در رژیم هیدرولوژیکی و هیدرولیکی جریان رودخانه گردد.

این در حالی است که در بررسی انتقال رسوب رودخانه‌ها، شناخت الگوی واقعی انتقال رسوب و تغییرات زمانی آن در ماه‌ها، فصول و یا سالهای مختلف با توجه به دبی جریان دارای اهمیت ویژه‌ای است. این موضوع زمانی اهمیت می‌یابد که تعداد نقاط مشاهداتی به خصوص در نقاط دارای اهمیت زیاد (سیلابها) به مراتب کمتر است. الگوریتم خوشه‌سازی فازی با دسته‌بندی داده‌های اندازه‌گیری شده بر اساس دبی، امکان تفکیک نقاط مربوط به دبی پایه یا سیلابی و دوره‌های پر آبی یا کم آبی رودخانه را فراهم می‌آورد. در شرایطی که عامل زمان نیز در محاسبات فازی وارد شود، تغییرات زمانی غلظت رسوبات و دبی نظیر ماهانه، فصلی و سالانه نیز فراهم می‌گردد.

بنابراین، روش فازی، به علت برآورد نزدیک به واقعیت مقادیر رسوب حوضه و توان تشخیص محدوده زمانی وقوع تغییرات رژیم رسوبی در رودخانه، مناسب‌ترین روش برای برآورد بار معلق رودخانه تلوار می‌باشد که می‌تواند در اتخاذ روش‌های صحیح مدیریت حوزه آبخیز، به خصوص در مورد مسایل رسوبگذاری و فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

۱. تاناکا، کازو (۱۳۸۱): مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن. ترجمه علی وحیدیان کامیاد و حامد رضا طارقیان، مترجمین، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. فرمنش مونس، علی (۱۳۸۰): روش‌های طراحی و تجزیه و تحلیل الگوریتم‌ها. انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیر کبیر.
۳. وانگ، لی (۱۳۷۸): سیستم‌های فازی و کنترل فازی. ترجمه محمد تشنه لب، نیما صفار پور و داریوش افیونی، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

4. Bardossy, A., Bogardi, I. and Duckstein, L. (1990): Fuzzy Regression in Hydrology, Journal of Water Resource Research, 26(7): 1497-1508.

5. Brion, G. M. and Lingireddy, S., (1999): A Neural network approach to identifying non-point sources of microbial contamination, Water Resource 33(14), 3099-3106.

6. Capra, A., (1994): Application of Fuzzy sets to Drought Classification, Advances in Water resource technology and management, Balkema Publication, ISBN: 9054103892, P 479- 483.

7. Horikawa, S., Furuhashi, T. and Uchikawa, Y., (1992): On fuzzy modeling using fuzzy networks with back-propagation algorithm, IEEE Trans. Neural Networks 3(5): 801- 806.
8. Jang, J. S. R., (1993): ANFIS; Adaptive a network based fuzzy inferencesystem, IEEE Trans.Sys., Man and Cybernetics, 23(3): 665-685.
9. Keller, J. M., Krishnapuram, R. and Rhee, F. C. H., (1992): Evidence aggregation networks for fuzzy logic interface, IEEE Trans. Neural Network, 3(5): 761-769.
10. Kindler, J., (1992): Rationalizing Water Requirements with Aid of Fuzzy Allocation Model, Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE, 118 (3): 308-323.
11. Kosko, B., (1992): Fuzzy systems as universal approximators, Proc., IEEE Int. Conf. Fuzzy Sys., 1153-1162.
12. Mamdani, E. H., (1977):“Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning using Linguistic Synthesis”, IEEE Trans. on Computers, 26C (12): 1182-1191.
13. Russel, S.O., (1996): Reservoir Operating Rules with Fuzzy Programming, Journal of Water resource planning and management, ASCE, 122(3): 165-170.
14. Sherstha, B., Duckstein, L. and Stakhiv, E. Z., (1996): Fuzzy Rule based Modeling of Reservoir Operation, Journal of Water resource planning and management, ASCE, 122(4): 262-269.





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی