

مقایسه روشهای رگرسیون آماری و فازی جهت برآورد بار رسوبی رودخانه های کارون و دز

نصرالله جواهری^۱، مهدی قمشی^۲ و سید محمود کاشفی پور^۳

چکیده

تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها یکی از مهمترین مسائلی است که در طراحی سازه های آبی مورد توجه قرار می گیرد. مطالعات امکان پذیری احداث سد ها، نیروگاه ها، آبگیرها، پل ها و سایر ابنیه هیدرولیکی بدون بررسی دقیق و همه جانبه بار رسوبی رودخانه امکان پذیر نخواهد بود. تعدد روابط تجربی ارائه شده، اصلاح آنها و ارائه ضرایب جدید واسنجی معادلات نشان می دهد، هنوز روش تحلیلی یا تجربی مناسبی که بر اساس آن به تخمین درستی از میزان رسوبات حمل شده توسط جریان دست یافت ارائه نشده است. به همین دلیل به منظور دستیابی به تخمینی نزدیک به واقعیت از میزان رسوبات حمل شده توسط رودخانه ها، از داده های همزمان اندازه گیری شده دبی - دبی رسوب در ایستگاه های هیدرومتری استفاده و نتایج اخذ شده با روشهای آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. در روشهای معمول 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 روشها 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. در این مقاله ضمن مقایسه نتایج برآورد بار رسوب معلق با روشهای معمول آماری و روشهای فازی، بیان رسوبات معلق ۱۰ ایستگاه هیدرومتری واقع بر روی سیستم رودخانه های کارون و دز، که مهمترین رودخانه های استان خوزستان هستند، مورد بررسی قرار گرفته و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه شده اند. این بررسی نشان داد، با استفاده از روشهای فازی امکان بررسی تغییرات زمانی میزان رسوبات حمل شده توسط جریان وجود دارد. این بررسی همچنین نشان داد، روش فازی نسبت به روش های معمول آماری برآورد نسبتاً دقیقتری از میزان رسوبات حمل شده ارائه نموده و با مقادیر مشاهداتی تطابق بهتری داشته است. همچنین روش فازی در کلیه موارد رسوب حمل شده را بیش از روش های آماری برآورد نموده است.

واژه های کلیدی: بار رسوب، رگرسیون آماری، روش فازی، رودخانه کارون، رودخانه دز

مقدمه

روشهای متعددی جهت برآورد بار رسوبی و در نتیجه دیگر امکان حمل آنها توسط جریان وجود ندارد در بستر رودخانه برجای مانده و موجب تغییر مورفولوژی رودخانه می شوند. (با تغییر در شیب، شکل مقطع عرضی و یا پلان) لذا در پیش بینی تغییر مورفولوژی رودخانه، تعیین بیان رسوبی از اهمیت خاصی برخوردار است.

فرسایش سطح حوضه، حمل ذرات رس و لای (Silt & Clay) و فرسایش بستر و کناره ها مهمترین عوامل تشکیل دهنده بار رسوبی رودخانه ها به شمار می آیند.

چنانچه به هر دلیلی در مسیر، سرعت جریان و یا پتانسیل حمل رسوب کاهش یابد، ذرات رسوبی که

۱- تاریخ دریافت: ۸۳/۷/۸

تاریخ پذیرش: ۸۴/۴/۶

۱- دانشجوی دوره کتری - دانشکده علوم مهندسی آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- دانشیار دانشکده علوم مهندسی آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استادیار دانشکده علوم مهندسی آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

حفاظت بیولوژیک تضعیف یا تقویت شود، امکان بررسی تغییراتی که در رسوب خیزی حوضه اتفاق می‌افتد با این رابطه خاص وجود نخواهد داشت. همچنین برای مواردی که احداث هرگونه سازه هیدرولیکی موجب تغییر در موقعیت یا شرایط هیدرولیکی مقطع کنترل رودخانه شود، کاربرد رابطه فوق با محدودیت مواجه خواهد بود. در ادامه ضمن بررسی تحلیلی روشهای آماری و الگوریتم‌های فازی به ذکر محدودیت‌ها و ویژگی‌های هر کدام از روشهای فوق پرداخته خواهد شد.

مواد و روشها

۱- حوضه مورد مطالعه

رودخانه کارون از دیدگاه ژئومورفولوژی رودخانه ای آبرفتی با بستری از مصالح ریزدانه شامل سیلت و رس است. تحت تاثیر شرایط خاص هیدرولیکی، توپوگرافی، مورفولوژی، مواد سازند بستر و کناره‌ها و بسیاری از دلایل ناشناخته دیگر این رودخانه دارای ساختاری متاندری است. در فاصله ای حدود ۷۴ کیلومتر از شمال شهر اهواز، رودهای کارون و دز به یکدیگر پیوسته و رودخانه کارون بزرگ را تشکیل می‌دهند. موقعیت رودخانه‌های کارون، دز و کارون بزرگ در شکل (۱) نشان داده شده است. فرم خاص مورفولوژیکی رودخانه کارون، احداث سدهای دز و کارون و برنامه‌های توسعه منابع آب در دشت خوزستان موجبات مهاجرت سالانه حلقه‌های متاندری رودخانه را فراهم آورده و در بعضی از بازه‌ها، فرسایش کناری رودخانه تشدید شده است. بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که در بخش‌هایی از رودخانه ضریب انتقال کانال اصلی کاهش یافته و به همین دلیل دبی مقطع پر رودخانه نیز کاهش یافته است (۹).

بررسی عکس‌های هوایی و اطلاعات ماهواره ای

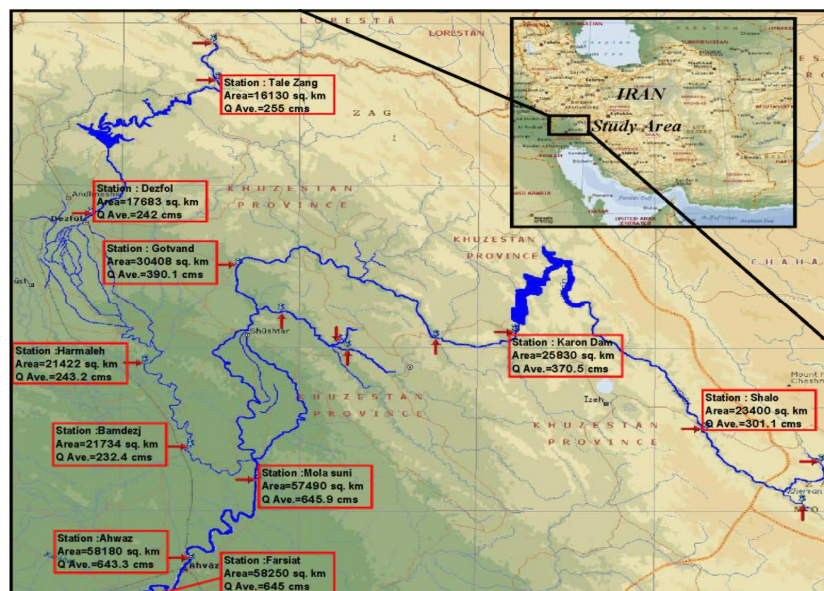
بیان رسوب رودخانه‌ها وجود دارد. روابط تجربی و رگرسیون آماری از معمولترین روشهای رأورد میزان رسوبات حمل شده توسط رودخانه‌ها هستند. تعدد روابط تجربی ارائه شده، اصلاح این روابط و ارائه ضرایب واسنجی جدید، نیاز به اطلاعات گسترده از مشخصات ذرات رسوب و شرایط هیدرولیکی جریان، عدم وابستگی بار شسته شده از سطح حوضه به شرایط هیدرولیکی جریان 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 می‌آیند. به همین دلیل عموماً بین نتایج اخذ شده در روش‌های مختلف تجربی اختلافات قابل توجهی وجود دارد (۲۰).

در روشهای رگرسیون آماری مقادیر اندازه‌گیری شده دبی جریان و دبی رسوب در مقابل یکدیگر رسم شده و سپس تابع مناسبی بر داده‌ها برازش داده می‌شود. تجربیات محققین مختلف نشان می‌دهد که رابطه همبستگی $Q_s = aQ_w^b$ مناسبترین رابطه برای بیان تغییرات دبی و رسوب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری است که در این رابطه مقادیر a و b اعدادی حقیقی هستند که از طریق ایجاد همبستگی بین داده‌ها محاسبه می‌شوند (۲۰).

عوامل موثر بر مقدار این ضرایب شامل شرایط محیطی از جمله طبیعت منطقه و حوضه، شرایط هیدرولیکی رودخانه و نوع رسوبات می‌باشند. بنابر این استفاده از این روابط منوط به ثابت ماندن شرایط کلی حوضه است که خود از مهمترین محدودیت‌های استفاده از آنها در تخمین و برآورد رسوب می‌باشد. به عنوان مثال چنانچه پوشش مراتع و جنگل‌ها در یک حوضه تحت تاثیر تخریب محیط یا ایجاد عملیات

و رسوبات بر جای مانده در نزدیکی دهانه ورودی آبگیرها، مشکلات خاصی را ایجاد نموده است که نمونه هائی از رسوبگذاری و ایجاد جزایر در قوس خارجی رودخانه در خلال سالهای ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ در شکل (۳) نشان داده شده است. به منظور بررسی نحوه ارتباط این عوامل با بیلان رسوبی رودخانه از روش‌های آماری و فازی به منظور انجام محاسبات استفاده شده است.

نشان می دهد که جزایر متعددی در مسیر رودخانه کارون و بخصوص در محدوده شمال تا جنوب اهواز در حال شکل گیری است که این جزایر علاوه بر کاهش بیشتر توان انتقال جریان و رسوب رودخانه خطر سیل گیری شهر اهواز را افزایش داده اند. هم چنین در بسیاری از بازه های رودخانه کارون که در آنها آبگیرهائی جهت برداشت آب از رودخانه تعبیه شده، عملکرد این آبگیرها به شدت دچار مشکل شده



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه های هیدرومتری مورد استفاده و شبکه رودخانه ها



شکل ۲- چگونگی توسعه جزایر رسوبی در بخشی از رودخانه کارون با مقایسه تصاویر ماهواره ای سالهای ۱۹۹۰ و ۲۰۰۳

۲- آمار و اطلاعات

آمار و اطلاعات مورد استفاده در این بررسی عبارتند از داده های اندازه گیری شده دبی جریان روزانه در کلیه روزها و دبی وزنی رسوب اندازه گیری شده در زمانهای مشخص. در این بررسی اطلاعات هیدرومتری و رسوب سنجی ایستگاه هایی که بیش از ۱۰ سال آمار اندازه گیری شده داشتند مورد استفاده قرار گرفته است.

موقعیت مکانی ایستگاه های هیدرومتری و شبکه آبراهه های اصلی رودخانه کارون که در این بررسی مورد استفاده قرار گرفتند در شکل (۱) نشان داده شده است. همان طور که از شکل (۱) نیز قابل مشاهده است، ایستگاه های پل شالو و تله زنگ به ترتیب در فواصل ۱۳۴ و ۷۸ کیلومتری بالادست محور سدهای کارون ۱ و دز قرار گرفته اند و میزان رسوبات ته نشین شده در سدهای مخزنی را میتوان به عنوان کنترل صحت نتایج این ایستگاه ها به کار برد. ایستگاه سد کارون و گتوند در فاصله ۴/۵ و ۱۳۸ کیلومتری پائین دست محور سد کارون و ایستگاه های دزفول، حرمه و بامدژ نیز به ترتیب در فاصله ۳۸، ۱۱۶ و ۱۷۳ کیلومتری پائین دست سد دز قرار دارند. پس از طی مسافتی حدود ۲۵۸ کیلومتر از محور سد کارون ۱، و ۲۱۱ کیلومتر از محور سد دز، دو رودخانه دز و کارون در محلی بنام بند قیر به هم پیوسته و رودخانه کارون بزرگ را شکل میدهند. ایستگاه ملاثانی (رامین) در فاصله ۷/۵ کیلومتری جنوب محل تلاقی دو رودخانه قرار دارد. ایستگاه اهواز در ۷۴ کیلومتری پائین دست بند قیر و در نزدیکی شمال شهر اهواز و ایستگاه فارسیات در فاصله ۴۵ کیلومتری جنوب اهواز قرار دارد. برخی از مهمترین مشخصه های ایستگاه های هیدرومتری در جدول (۱) آمده است.

۳- روشهای تحلیل

۳-۱- روش رگرسیون آماری

به منظور محاسبه دبی رسوبات در محل ایستگاه های هیدرومتری، از منحنی سنج رسوب (Sediment Rating Curve) استفاده می شود. در ایستگاه های اندازه گیری مجهز به نمونه بردارهای بار معلق، همزمان با برداشت بار معلق توسط نمونه بردار، دبی جریان، غلظت، درجه حرارت و تاریخ نیز در برگه آماری ثبت شده است. در خصوص منطقه مورد مطالعه کلیه ایستگاه ها مجهز به نمونه برداری های بار معلق بوده و دارای آمار رسوب می باشند.

غلظت رسوبات عبوری از محل ایستگاه ها هر روز یا در فواصل زمانی مشخص برداشت نمی شود بنابراین این به منظور برآورد دبی رسوب عبوری از ایستگاه های تحت بررسی از منحنی سنج رسوب استفاده می شود. منحنی سنج رسوب، منحنی است که با ایجاد همبستگی بین دبی جریان روزانه و دبی رسوب محاسبه می گردد. به منظور تعیین مناسبترین رابطه برازش شده بر داده ها، از تابع هدف مجموع حداقل توانهای دوم خطای برآورد (Sum of Square Error-SSE) استفاده می شود. (۳، ۶ و ۲۰)

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Q_{si} - \hat{Q}_{si})^2 \quad (1)$$

$$\text{Objective function} = \text{Min. SSE} \quad (2)$$

در این رابطه Q_{si} عبارتست از مقدار دبی رسوب اندازه گیری شده به ازای Q_{wi} و \hat{Q}_{si} عبارتست از مقدار دبی رسوب محاسبه شده با استفاده از رابطه سنج رسوب $\hat{Q}_{si} = aQ_{wi}^b$.

با مشتق گیری از تابع هدف و جایگزینی رابطه $\hat{Q}_{si} = aQ_{wi}^b$ به جای \hat{Q}_{si} ، ضرایب a و b تعیین می شوند.

جدول ۱- برخی از مهمترین مشخصه های ایستگاه های هیدرومتری مورد استفاده

ردیف	ایستگاه	رودخانه	ارتفاع	مختصات جغرافیائی	
				عرض	طول
۱	پل شالو	کارون	۷۰۰.۰	۳۱ - ۴۵	۵۰ - ۸
۲	سد کارون	کارون	۳۶۸.۰	۳۲ - ۴	۴۹ - ۳۶
۳	گتوند	کارون	۱۰۰.۰	۳۲ - ۱۵	۴۸ - ۴۹
۴	تله زنگ	دز	۴۴۰.۰	۳۲ - ۴۹	۴۸ - ۴۶
۵	دز فول	دز	۱۵۰.۰	۳۲ - ۲۴	۴۸ - ۲۴
۶	حرمله	دز	۳۸.۰	۳۱ - ۵۷	۴۸ - ۳۳
۷	بامدژ	دز	۲۰.۰	۳۱ - ۴۱	۴۸ - ۴۱
۸	ملائانی (رامین)	کارون	۱۸.۰	۳۱ - ۳۵	۴۸ - ۵۳
۹	اهواز	کارون	۱۰.۰	۳۱ - ۲۰	۴۸ - ۴۱
۱۰	فارسیات	کارون	۸.۵	۳۰ - ۵۹	۴۸ - ۲۲

که بیشتر نقاط اندازه گیری دبی - دبی رسوب رودخانه ها در زمان اندازه گیری دبی پایه صورت گرفته و تعداد داده های همزمان اندازه گیری دبی - دبی رسوب در زمان سیل به مراتب کمتر است لذا منحنی سنج رسوب 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.

ب- منحنی سنج رسوب شرایط زمانی و فیزیکی خاص اندازه گیری داده ها را در نظر نمی گیرد به عنوان مثال مشخص نیست که هر کدام از نقاط روی منحنی مربوط به دبی پایه یا سیلابی است و یا مشخص نیست داده ها مربوط به دوره های پر آبی یا کم آبی رودخانه است. این محدودیت زمانی بیشتر می شود که رودخانه از حالت رژیم طبیعی خارج و برداشت آب، احداث سد و یا سایر سازه های هیدرولیکی موجب تغییر در رژیم هیدرولوژیکی و هیدرولیکی جریان رودخانه گردد.

ج- این روش تغییرات زمانی غلظت رسوبات و دبی نظیر ماهانه، فصلی و سالانه را در نظر نمی گیرد.

$$X_i = \log(Q_{wi}) \quad (۳)$$

$$Y_i = \log(Q_{si}) \quad (۴)$$

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n} \quad (۵)$$

$$\bar{Y} = \sum \frac{Y_i}{n} \quad (۶)$$

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum X_i^2 - n \bar{X}^2} \quad (۷)$$

$$a = \bar{Y} - b \bar{X} \quad (۸)$$

با محاسبه می شود. رسوبات انتقال یافته سالانه با جمع مقادیر رسوبات روزانه محاسبه شده در یک سال با استفاده از رابطه زیر برآورد می گردد.

$$Q_{s-annual} = \sum_{j=1}^{365} Q_s^j \quad (۹)$$

در این روش اشکالات متعددی وجود دارد که مهمترین آنها را می توان به شرح زیر ذکر کرد.

الف- در محاسبه ضرایب منحنی سنج رسوب با کلیه نقاط مشاهداتی یکسان برخورد می شود. از آنجا

زاده منطق فازی را بر اساس اصل ناسازگاری^۴ به شرح زیر بنیان گذاری کرد:

"هنگامی که پیچیدگی یک سیستم از حد تعیین شده‌ای فراتر می‌رود تعریف صریح، دقیق و با معنای عملکرد آن سیستم غیر ممکن می‌شود." (نقل از منابع ۱ و ۴).

در سال ۱۹۷۴ ابراهیم ممدانی برای نخستین بار منطق فازی را در زمینه کنترل یک موتور بخار ساده بکار برد. در سال ۱۹۸۰ منطق فازی برای کنترل کوره سیمان استفاده شد و سپس توسط موسسه هیتاچی برای کنترل اتوماتیک قطار در ژاپن مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۸۹ انجمن سیستمها و نظریه فازی (SOFT) پایه گذاری شد و آزمایشگاه بین‌المللی فازی (LIFE) در ژاپن تاسیس شد. سیستم‌های فازی از اوایل دهه ۱۹۹۰ در ساخت محصولات الکتریکی مورد استفاده قرار گرفت و کم کم دامنه کاربرد آن در جامعه توسعه یافت (نقل از منابع ۱، ۴ و ۱۷).

بردوسی و همکاران (۱۹۹۰)^۵ روش فازی را برای محاسبات رگرسیونی در هیدرولوژی بکار گرفتند. کیندلر (۱۹۹۲)^۶ از منطق فازی در برنامه ریزی منابع آب استفاده نمود. کاپرا (۱۹۹۴)^۷ از منطق فازی برای طبقه بندی نوع خشکسالی‌ها استفاده نمود. راسل (۱۹۹۶)^۸ 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 نداد. شمرستا و همکاران^۹ نیز از منطق فازی برای مدل سازی بهره برداری از مخزن استفاده نمود. روش

همچنین منحنی سنجه دوره های خشک و مرطوب را از یکدیگر تفکیک نمی‌کند. هر چند در این دوره ها فرسایش سطح حوضه و بعضا کناره های رودخانه تحت تاثیر افزایش یا کاهش پوشش گیاهی تغییر می‌کند.

د- در بسیاری از موارد تعیین مناسبترین منحنی عبوری از نقاط با روش های آماری امکان پذیر نیست و بر اساس تجربه فردی، منحنی سنجه به دو یا سه ناحیه تقسیم می‌شود.

ه- در بعضی از موارد تغییر در مدیریت و سیاست‌های بهره برداری حوضه نیز که خود به طور مستقیم در پوشش گیاهی سطح حوضه تاثیر می‌گذارند موجب تغییر در رژیم رسوبی رودخانه می‌شود که اینگونه تغییرات با استفاده از منحنی سنجه رسوب قابل تفسیر نمی‌باشد.

۲-۳- روش فازی

۲-۳- روش فازی

در سالهای اخیر به دلیل پیشرفت گسترده سیستمهای سخت افزار و نرم افزار کامپیوتری امکان استفاده از روشهای جدید محاسباتی همراه با عملیات تکراری فراوان که انجام آنها به شکل غیر کامپیوتری عملا غیر ممکن بود، فراهم شده است. از بین این روشها می‌توان به مدل‌های الگوریتم ژنتیک^۱ مدل‌های شبکه های عصبی مصنوعی^۲ و روشهای فازی^۳ اشاره نمود.

منطق فازی برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ میلادی در مقاله ای تحت عنوان مجموعه های فازی توسط دکتر لطفی زاده استاد دانشگاه کالیفرنیا ارایه گردید. در آن دوره از زمان، قبول ابهام و عدم صراحت در زمینه مسائل مهندسی دور از ذهن به نظر می‌رسید. لطفی

4- Principle of Incompatibility

5- Bardossy et al.

6- Kindler

7- Capra

8- Russel

9 - Shrestha et al., 1996

1- Genetic Algorithm

2- Artificial Neural Network Algorithm

3- Fuzzy Logic Algorithm

استفاده از روش فازی، از فرایند خوشه سازی فازی^۷ که در حقیقت فرایندی برای شناخت الگوی واقعی مربوط به پارامترهای مختلف است استفاده گردید. نتایج کاربرد این روش در برآورد محاسبات رسوب و الگوریتم نحوه محاسبات برای رسوبات انتقال یافته توسط جریان با استفاده از الگوپذیری کاربرد این روش در سایر زمینه‌ها به خصوص در زمینه کنترل و هدایت سیستم‌های الکترومکانیکی اخذ شده است. به طور کلی این روش‌ها به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند که تعاریف و الگوریتم‌های محاسباتی هر کدام از این روش‌ها در ادامه آمده است.

۳-۲-۱- الگوریتم خوشه‌سازی فازی C- میانگین هدایت نشده^۸

در این روش ابتدا تعداد خوشه‌ها مشخص می‌شود. تعداد خوشه‌ها با توجه به دامنه پراکنش داده‌های مشاهداتی تعیین می‌گردد. فاصله خوشه‌ها معمولاً طوری انتخاب می‌شود که امکان بررسی تغییر الگوی انتقال رسوب با استفاده از داده‌های جریان وجود داشته باشد. تعداد خوشه‌ها (C) معمولاً بین ۲۰ تا ۳۰ خوشه در نظر گرفته می‌شود فاصله خوشه‌ها یکسان و مرکز هر خوشه با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$Q_l^C = Q_{\min} + (Q_{\max} - Q_{\min})(l - 0.5)/C \quad (10)$$

که در آن $l = 1, \dots, C$ تغییر می‌کند.

مراکز خوشه‌ها را می‌توان به صورت تصادفی در حد فاصل بین (Q_{\min}) و (Q_{\max}) نیز انتخاب نمود. این نقطه به عنوان نماینده کلیه دبی‌های رسوبی است که در محدوده $Q_{l-0.5}^C \leq Q_i < Q_{l+0.5}^C$ قرار دارند.

خاص استفاده شده در این مدل شرایط بهره برداری آسانتر و مناسبتری از مخزن را نشان داد.

برایان و لینگیردی^۱، هوریکوا و همکاران^۲، کلس و همکاران^۳، کاسکو^۴ و جانگ^۵، از روش فازی برای شناسایی الگوها و طبقه بندی استفاده نمودند. بزداک^۶ به منظور وارد نمودن مسائل عدم قطعیت در تعلق داده‌ها به گروه‌ها، 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 نشده قابل کاربرد است. (به نقل از منبع ۱).

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 از سایر نقاط است. الگوریتم خوشه سازی فازی با دسته بندی داده‌های اندازه گیری 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. تفسیر این نتایج می‌تواند تاثیر سیاست‌های مختلف بهره برداری را ارزیابی نماید.

به منظور محاسبه میزان رسوبات حمل شده با

1 - Brion & Lingireddy, 1999

2 - Horikawa et al., 1992

3- Keller et al., 1992

4- Kosko, 1992

5- Jang, 1993

6 - Bezdak

7- Unsupervised Fuzzy C- mean Clustering Method

تأثیری 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 است. توضیح اینکه به دلیل کوچکی عدد مذکور اگر مقدار آن 10^{-4} یا 10^{-6} انتخاب گردد تغییری در نتیجه محاسبات ایجاد نخواهد شد.

(۱۶)

$$w_{jl} = e^{-\alpha(Q_{L+1}^C - Q_j^C)^2} = 10^{-5} \Rightarrow \alpha = \frac{5C^2}{(Q_{\max} - Q_{\min})^2}$$

با تعیین مقدار α ، مقادیر w_{jl} برای هر Q_j در کلیه مراکز خوشه ها تعیین و مقادیر آن نرمال می شود.

$$\text{Sum } w_j = \sum_{l=1}^C w_{jl} \quad (17)$$

$$w_{jl}^N = w_{jl} / \text{Sum } w_j \quad (18)$$

به این ترتیب مقادیر دبی رسوب نظیر Q_j از متوسط گیری وزنی مقادیر دبی رسوب کلیه خوشه ها تعیین می گردد. به این ترتیب

$$Q_s^{\wedge j} = \sum_{l=1}^C w_{jl}^N Q_{sl}^C \quad (19)$$

میزان رسوبات انتقال یافته در هر سال با جمع مقادیر رسوبات هر روز در یک سال آماری با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می گردد.

۳-۲-۲- روش خوشه بندی فازی C میانگین به صورت هدایت شده^۱

(Supervised fuzzy C Mean method)

در این روش سه تفاوت اساسی با روش قبلی دارد که عبارتند از:

الف- جستجو برای یافتن نقاطی که در محاسبه عامل متغیر (Q_s) به کار می رود در بازه های خاصی صورت

در این صورت مرکز دبی های رسوب نظیر هر خوشه با استفاده از رابطه

$$Q_{sl}^C = \sum_{i=1}^m Q_{si} / m, \text{ if } Q_{l-0.5}^C \leq Q_i < Q_{l+0.5}^C \quad (11)$$

که در آن m تعداد داده های واقع در این خوشه است.

به منظور تخمین دبی رسوب روزانه $Q_s^{\wedge j}$ نظیر دبی روزانه Q_j ، درجه تعلق دبی روزانه به هر کدام از خوشه ها با استفاده از تابع نمایی

$$w = e^{-a(x-C)^2} \quad (12)$$

تعیین می گردد. بنابراین با استفاده از رابطه فوق درجه تعلق Q_j به خوشه I ام به صورت تابعی از فاصله دبی Q_j از مرکز خوشه I به شرح زیر تعیین می گردد.

$$w_{jl} = e^{-\alpha(Q_j - Q_l^C)^2} \quad (13)$$

که در این رابطه w_{jl} درجه تعلق دبی را به مرکز هر خوشه نشان می دهد. ضریب α ، ضریبی است که دامنه فازی بودن سیستم را نشان می دهد. و به شرح زیر تعیین شده است.

$$1- \text{ اگر } Q_j = Q_l^C \text{ باشد آنگاه } Q_j = Q_{sl}^C \text{ و } Q_s^{\wedge j} \quad (14)$$

$$\text{if } Q_j = Q_L^C \Rightarrow Q_s^{\wedge j} = Q_s^C l$$

$$2- \text{ اگر } Q_j = Q_{l+1}^C \text{ یا } Q_j = Q_{l-1}^C \text{ باشد آنگاه } W_{jl} \approx 0$$

$$\text{if } Q_j = Q_{L\pm 1}^C \Rightarrow w_{jl} \cong 0 \quad (15)$$

با توجه به این که رسیدن به عدد صفر در تابعی نمایی امکان پذیر نیست، در این شرایط w_{jl} عدد کوچکی نظیر 10^{-5} یا 10^{-6} انتخاب و با کاربرد رابطه (۱۳) ضریب α تعیین می شود. با توجه به کوچکی نسبی این عدد در مقابل ضریب تعلق یک، این عدد

1- Supervised fuzzy C Mean method

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

$$w_{ij} = e^{-\alpha_1(Q_j - Q_i)^2 - \alpha_2(t_j - t_i)^2} \quad (21)$$

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

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

$$e^{-\alpha_1(Q_j - Q_i)^2} = 10^{-5} \quad (22)$$

$$e^{-\alpha_2(t_j - t_i)^2} = 10^{-5} \quad (23)$$

بنابراین مقادیر α_1 و α_2 به شرح زیر محاسبه می‌شوند.

$$\alpha_1 = \frac{5}{\Delta Q} \quad , \quad \alpha_2 = \frac{5}{\Delta t} \quad (24)$$

مقادیر ΔQ و Δt بر اساس تعداد خوشه‌های انتخابی در جهت‌ها Q و t تعیین می‌شوند و عموماً شبیه رابطه (۱۱) در نظر گرفته می‌شوند. کاربرد این روش موجب می‌شود تا جستجو برای یافتن نقاطی که

می‌گیرد بنابراین برای یک دبی مشخص Q که در زمان t اتفاق افتاده است، جستجو برای یافتن Q_s در فاصله $Q \pm \Delta Q$ و $t \pm \Delta t$ صورت می‌گیرد.

ب- در این روش به جای محاسبه مراکز خوشه‌ها (C)، کلیه داده‌های مشاهداتی به عنوان یک مرکز خوشه مستقل انتخاب می‌شوند. تفاوت کلی روش فوق با روش قبلی در امکان ایجاد فضاهای جستجوی دلخواه در برآورد متغیر می‌باشد.

ج- این روش مقادیر Q_s را برای دوره زمانی که در آنها Q روزانه وجود داشته باشد به صورت مستقیم روزبه روز حساب می‌کند در حالیکه روش قبل منجر به ارائه منحنی سنجه رسوبی خواهد شد که در آن تأثیر کلیه نقاط در ترسیم منحنی یکسان انتخاب می‌شود.

با توجه به وجود دوره‌های خشک و تر و وجود یا عدم وجود سدهای کارون و دز تغییرات قابل ملاحظه‌ای در رژیم رسوبی رودخانه‌های کارون و دز اتفاق افتاده است، در این تحقیق از روش رده‌بندی هدایت شده فازی استفاده شده است.

در این روش نیز درجه تعلق هر کدام از دبی‌های روزانه به مجموعه داده‌های مشاهداتی دبی روزانه و دبی رسوب با استفاده از یک تابع فازی نمایی نظیر رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد. تابع تعیین درجه تعلق در این روش یک تابع 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 صورت

$$t_i = y_i + \frac{(m_i - 1 + di/30)}{12} \quad (20)$$

حجم مخزن سد دز به ۲/۶۹۹ میلیارد متر مکعب کاهش یافته است به عبارت دیگر حجم مخزن سد دز در خلال ۴۰ سال حدود ۶۱۷ میلیون متر مکعب کاهش یافته است (۹).

ب- حجم اولیه مخزن کارون ۱ در سال ۱۹۷۶، ۳/۰۱۹ میلیارد متر مکعب بوده است. در سال ۱۹۹۶ حجم مخزن سد کارون ۱ به ۲/۳۱۸ کاهش یافته است به عبارت دیگر حجم مخزن سد کارون ۱ در خلال ۲۰ سال بهره برداری حدود ۷۰۱ میلیون متر مکعب کاهش یافته است (۹).

ج- در ایستگاه های سدکارون ۱ و دزفول که در پائین دست سدهای مخزنی قرار دارند، با توجه به تله اندازی رسوبات در مخزن سدها، منحنی آورد رسوب رودخانه باید روندی کاهشی را نشان دهد.

د- بررسی عکسهای هوایی و اطلاعات ماهواره ای نشان میدهد در حد فاصل بین ایستگاه های ملاثانی تا اهواز سطح و تعداد جزایر رسوبی واقع در مسیر رودخانه افزایش داشته که این خود بیانگر بیلان مثبت رسوب در این محدوده است شکل (۲).

نتایج و بحث

برای تعیین معادلات رگرسیون آماری و محاسبه مقادیر رسوبات حمل شده توسط جریان با روش آماری از نرم افزار Excel استفاده شده است. جدول (۲) نتایج برازش منحنی رگرسیون $Q_s = aQ_w^b$ را بر داده های دبی - دبی رسوب ایستگاه های تحت بررسی نشان می دهد. همانگونه که از جدول (۲) مشاهده می شود ضریب a بین حداقل ۰/۰۳۶ تا حداکثر ۶/۴۸۶ در ایستگاه های مختلف متغیر است. هم چنین ضریب b بین حداقل ۱/۲۶۹ تا حداکثر ۲/۱۲ متغیر است.

بر اساس آنها تخمین زده می شود در محدوده $Q_j \pm \Delta Q$ و $t_j \pm \Delta t$ محدود می گردد. در واقع الگوهای تغییرات رسوب ناشی از تغییر دبی و با گذشت زمان تعیین خواهد شد. با تعیین مقادیر α ، w_{ij} برای هر Q_j در کلیه نقاط مشاهداتی ($i=1, \dots, n$) تعیین و مقادیر آن با استفاده از روابط (۱۷) و (۱۸) نرمال می شود. به این ترتیب مقدار رسوب تخمینی برای دبی Q_j در زمان t_j از رابطه

$$Q_s^{\wedge} = \sum_{i=1}^n W_{ij}^N Q_{si} \quad (25)$$

تعیین می گردد و میزان رسوبات انتقال یافته در هر سال با جمع مقادیر رسوبات هر روز در یک سال آماری و با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می گردد. همانگونه که ملاحظه می شود میزان فازی بودن روش های هدایت شده بیشتر از روش های هدایت نشده است (مجموع $\alpha 1$ و $\alpha 2$ در رابطه (۲۱) کوچکتر از میزان α در رابطه (۱۶) است) این مسئله به دلیل توزیع نقاط مشاهداتی در روش فازی هدایت شده بر روی یک رویه فضایی ۳ بعدی است در حالی که در روش های هدایت نشده توزیع نقاط مشاهداتی بر روی منحنی دو بعدی است. در این بررسی به دلیل وجود دوره های خشک و تر و وجود یا عدم وجود سدهای کارون و دز، تغییرات قابل ملاحظه ای در رژیم رسوبی رودخانه های کارون و دز اتفاق افتاده است، از روش رده بندی هدایت شده فازی استفاده شده است.

۴- کنترل صحت نتایج^۱

به منظور کنترل صحت و دقت روشهای مورد استفاده، از اطلاعات زیر برای تفسیر نتایج بدست آمده استفاده شده است.

الف- حجم اولیه مخزن سد دز در سال ۱۹۶۲، ۳/۳۱۶ میلیارد متر مکعب بوده است. در سال ۲۰۰۳

1- Validation

جدول ۲- ضرایب a و b و ضریب همبستگی تابع رگرسیون آماری

Station	a	b	R
پل شالو	۰/۰۳۶	۲/۱۲۰	-/۸۵۹
سد کارون	۱/۳۸۱	۱/۳۵۰	-/۶۸۴
گتوند	۰/۱۲۷	۱/۸۰۷	-/۷۴۳
تله‌زنگ	۰/۰۸۹	۲/۰۷۶	-/۹۱۱
دزفول	۶/۴۸۶	۱/۲۶۹	-/۵۰۴
خرمله	۰/۹۷۶	۱/۵۳۹	-/۶۰۶
بامدژ	۰/۲۳۰	۱/۸۳۲	-/۷۸۰
ملائانی(رامین)	۰/۱۲۷	۱/۸۴۶	-/۸۳۹
اهواز	۰/۱۷۵	۱/۸۰۳	-/۸۲۸
فارسیات	۰/۰۷۵	۱/۹۱۴	-/۸۲۸

رژیم طبیعی در نظر گرفته می شود (۱۲). در این بررسی، به منظور محاسبه مقادیر رسوب انتقال یافته در شرایط رژیم طبیعی رودخانه از نتایج محاسبات فازی قبل از وقوع اولین تغییرات در رژیم رودخانه استفاده شده است. به همین منظور در هر ایستگاه بر آمار حداقل ۱۰ سال متوالی اولیه یا نقطه ای که تغییر روند انتقال رسوب مشهود است، مناسبترین خط رگرسیون برازش داده شده است و این روند از ابتدا تا انتهای دوره آماری توسعه داده شده است. لازم به ذکر است که در ایستگاه فارسیات به دلیل کوتاه بودن طول دوره آماری، استخراج منحنی رژیم طبیعی رودخانه میسر نگردید.

پس از انجام محاسبات، نتایج بدست آمده در شکلهای (۳) تا (۱۲) نشان داده شده است. برای هر کدام از ایستگاه های تحت بررسی همانگونه که ملاحظه می شود ۳ منحنی ترسیم شده که عبارتند از: الف- منحنی دبی تجمعی در مقابل رسوب محاسبه شده با روش فازی.

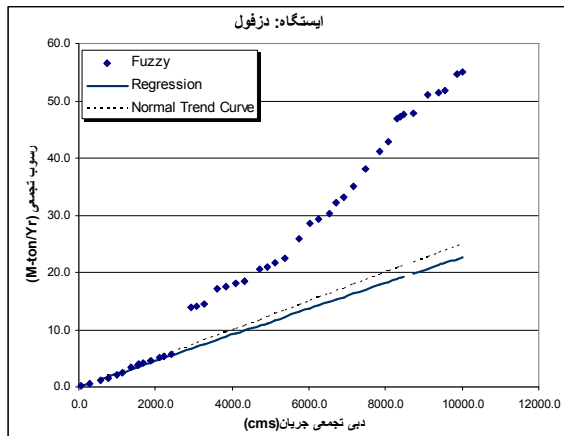
ب- منحنی دبی تجمعی در مقابل رسوب محاسبه

شده با روش آماری

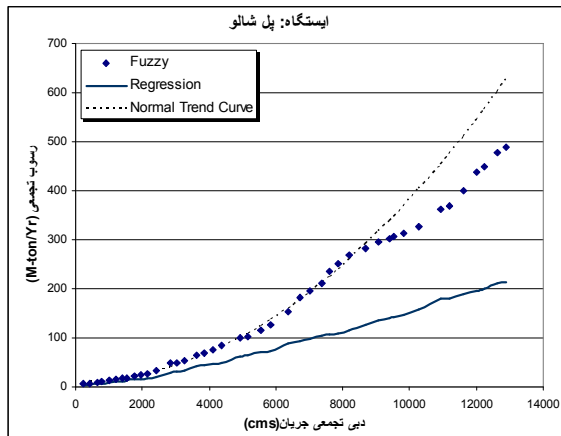
برای محاسبه مقادیر رسوب حمل شده توسط جریان با روش رده بندی هدایت شده فازی یک برنامه کامپیوتری در محیط نرم افزار Visual Basic 6.0 تهیه و محاسبات مربوط به مقادیر رسوب سالانه حمل شده توسط جریان توسط این برنامه انجام گردید. با توجه به آنکه میزان انتقال رسوبات سالانه تابع میزان جریان عبوری بوده که خود عاملی متغیر است، برای بررسی بیلان رسوب و تغییرات زمانی آن و تفسیر نتایج محاسبات از منحنی جرم مضاعف استفاده شده است. منحنی جرم مضاعف^۱ یکی از مناسبترین روشهای تشخیص انحراف داده‌ها ناشی از ناهمگنی یا تغییر شرایط بهره برداری تحت تاثیر عامل یا عوامل نامشخص می باشد. بر اساس نتایج منحنی جرم مضاعف، امکان تشخیص زمان وقوع تغییرات، بررسی رفتار زمانی و برآورد پاسخ سیستم در شرایط رژیم طبیعی^۲ وجود خواهد داشت. بر این اساس پس از ترسیم منحنی جرم مضاعف، داده ها به صورت گرافیکی کنترل و از ابتدای دوره تا محل وقوع اولین تغییر در شیب منحنی جرم مضاعف به عنوان شرایط

1- Double Mass Curve

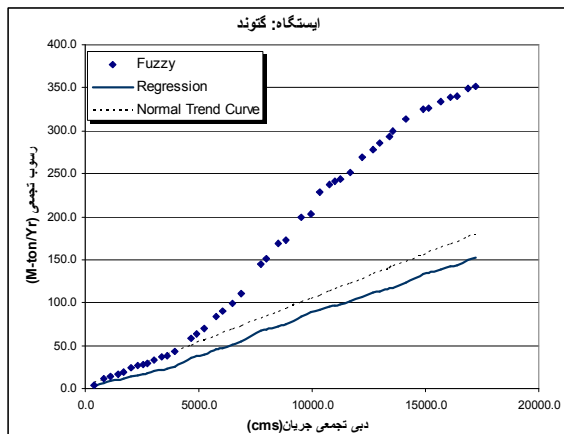
2 - Normal Trend Curve



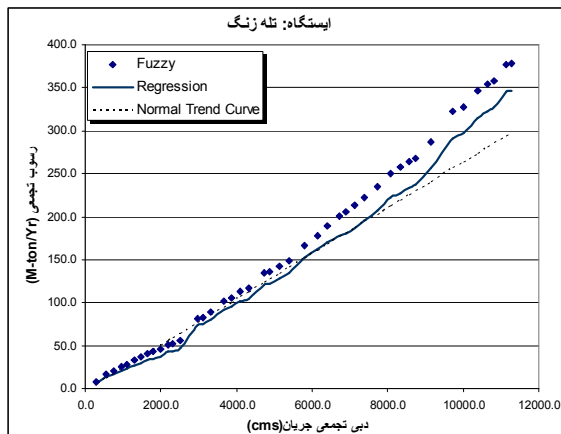
شکل ۶- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه دزفول



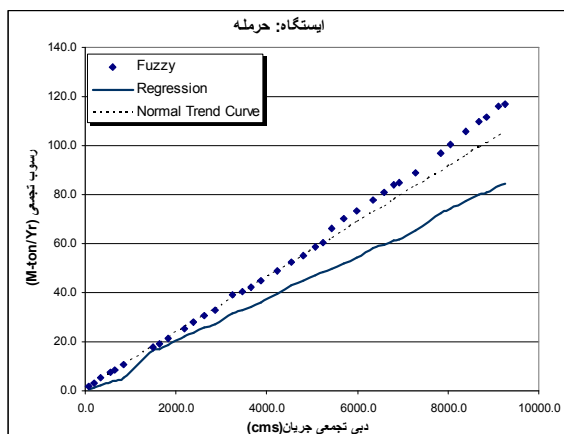
شکل ۳- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه پل شالو



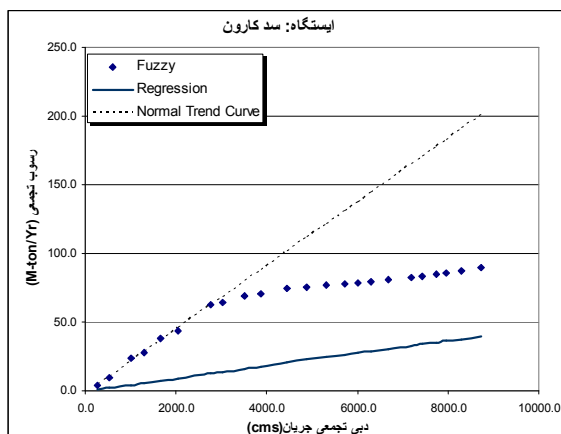
شکل ۷- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه گنوند



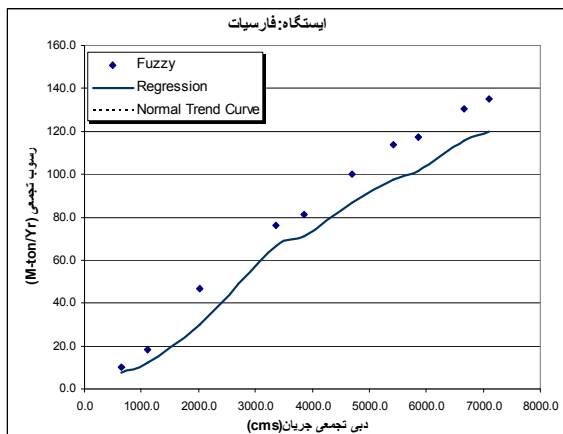
شکل ۴- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه تله زنگ



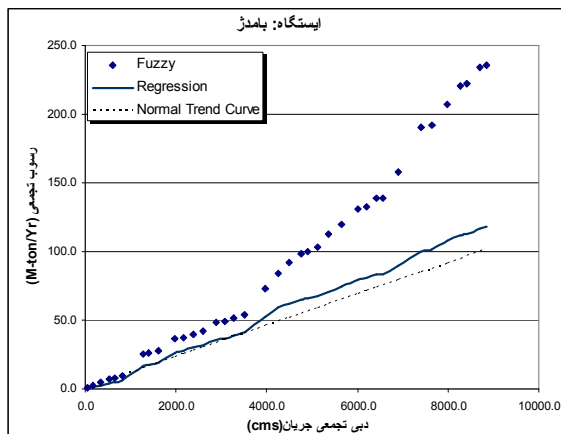
شکل ۸- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه حرمله



شکل ۵- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه سد کارون



شکل ۱۲- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه فارسیات

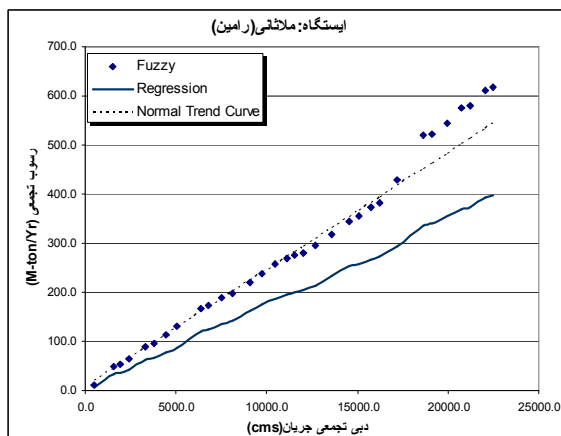


شکل ۹- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه بامدژ

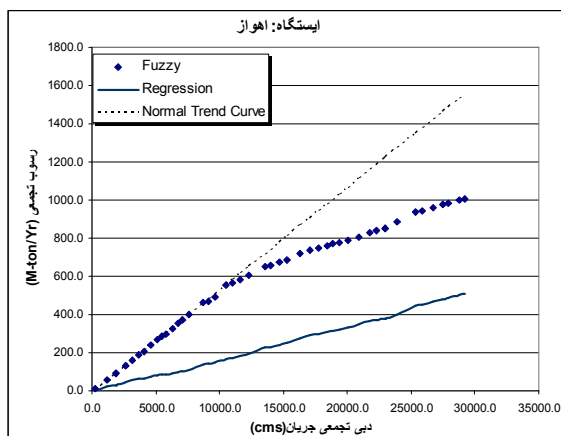
ج- منحنی دبی تجمعی در مقابل رسوب بر اساس رفتار طبیعی رودخانه^{۳۱}

همانگونه که از شکل‌های (۳) تا (۱۲) نیز قابل مشاهده است در کلیه موارد مقادیر رسوبات محاسبه شده با روش فازی بیشتر از مقادیر رسوب محاسبه شده در روشهای آماری می باشد که به نظر میرسد این موضوع ناشی از شناخت دقیق تر الگوی انتقال رسوب به خصوص در شرایط سیلابی است. برای روشن تر شدن موضوع، نتایج بدست آمده با توجه به شرایط هیدرولوژیکی حاکم بر منطقه و نحوه بهره برداری از منابع آب به شرح زیر دسته بندی و تفسیر می شوند.

الف- نتایج برآورد بار رسوبی در ایستگاههای پل شالو و تله زنگ واقع در بالا دست سد های مخزنی کارون و دز.



شکل ۱۰- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه ملاتفی



شکل ۱۱- نتایج برآورد بار رسوبی ایستگاه اهواز

1- Normal Trend Curve

بررداری از نظر زمانی با نتایج محاسبات فازی تطابق دارد در حالیکه در روش آماری این تغییرات مشهود نیست.

ایستگاه تله زنگ (شکل ۴) نتایج مشابهی را با ایستگاه شالو نشان میدهد. در طی دوره بهره برداری از سد دز بر اساس روش آماری حدود ۲۹۰ میلیون تن رسوب وارد مخزن سد دز شده است و این در حالی است که روش فازی این میزان را حدود ۳۷۰ میلیون تن برآورد نموده است. مطالعات انجام شده در خصوص کاهش حجم مخزن سد دز نشان می دهد محاسبات انجام شده با روش فازی با مقادیر حجم کاهش یافته مخزن سد دز، تطابق بیشتری دارد. در روش فازی افزایش میزان رسوب خیزی حوضه از سال ۵۹-۱۳۵۸ مشهود است که این میزان به طور متوسط حدود ۲ میلیون تن در سال بوده است. این میزان افزایش را می توان با عدم اجرای طرح آبخیزداری قرق در بخش هائی از حوضه آبخیز دز پس از سالهای ۵۹-۵۸ تفسیر نمود.

۲- نتایج ایستگاه های واقع بین سد های

مخزنی تا محل اتصال دو رودخانه کارون و دز

در شکل (۵) همانگونه که ملاحظه می شود روش فازی توانسته است زمان وقوع بهره برداری از سد و همچنین میزان رسوبات عبوری از ایستگاه را نشان دهد. طی دوره بهره برداری از سد بر اساس روش فازی به طور متوسط سالانه ۱ میلیون تن رسوب منتقل شده است که این رقم با روشهای آماری حدود ۱/۲ میلیون تن می باشد. روش فازی تعدیل نسبی میزان رسوبات انتقالی طی سالهای پایانی را نشان می دهد که به نظر می رسد ناشی از کاهش شیب رودخانه طی این دوره باشد. در ایستگاه های دز، گتوند، حرمله و بامدژ (شکلهای ۶ تا ۹) در پائین دست سدهای کارون و دز پس از بهره برداری افزایش میزان

ب- نتایج برآورد بار رسوبی در ایستگاههای سد کارون، گتوند، دزفول، حرمله و بامدژ واقع در پائین دست سدهای مخزنی کارون و دز قبل اتصال رودخانههای کارون و دز در بند قیر (قبل از تشکیل کارون بزرگ)

ج- نتایج برآورد بار رسوبی در ایستگاههای ملاثانی، اهواز، فارسیات واقع بر رودخانه کارون پس از اتصال رودخانههای کارون و دز در بند قیر (بعد از تشکیل کارون بزرگ)

۱- نتایج ایستگاه های واقع در بالا دست

سدهای دز و کارون

همانگونه که از شکل (۳) نیز قابل مشاهده است در ایستگاه پل شالو در طول دوره آماری با استفاده از روش رگرسیون ۲۱۳ میلیون تن و با استفاده از روش فازی حدود ۴۹۰ میلیون تن رسوب عبور نموده است. این در حالی است که از سال آبی ۶۵-۱۳۶۴ بخشی از بار رسوبی رودخانه کاسته شده است و چنانچه روند قبلی ادامه می یافت این میزان به ۶۲۶ میلیون تن می رسید. با در نظر گرفتن زمان احداث و بهره برداری از سد کارون در سال آبی ۵۵-۱۳۵۴ تا سال ۷۶-۱۳۷۵ که اندازه گیری ها در آن انجام شده است، میزان رسوبات عبوری از ایستگاه پل شالو که وارد مخزن سد کارون شده است بر اساس روش آماری ۱۴۹ میلیون تن و بر اساس روش فازی حدود ۴۰۰ میلیون تن می باشد. با در نظر گرفتن بار کف که مقدار آن اندازه گیری نشده است میتوان نتیجه گرفت که محاسبات انجام شده با روش فازی با مقادیر حجم کاهش یافته این سد مخزنی تطابقی نزدیکتر دارد.

در این خصوص کاهش رسوبات ایستگاه پل شالو که از سال ۶۴-۱۳۶۳ آغاز شده را میتوان ناشی از انحراف بخشی از جریان حوضه کارون به حوضه رودخانه زاینده رود دانست که این سیاست بهره

میلیون تن رسوبگذاری اتفاق افتاده است. تحلیل اطلاعات ماهواره ای و عکس های هوایی نشان می دهد در طی این دوره رسوبگذاری اتفاق افتاده و سطح و تعداد جزایر واقع در رودخانه افزایش یافته است. بر اساس این شواهد میتوان نتیجه گرفت که به نظر می رسد روش فازی با دقت بهتری توانسته است پتانسیل و تغییرات زمانی حمل رسوب را برآورد نماید.

نتیجه گیری

بررسی نتایج بدست آمده نشان می دهد که روش فازی در شناسائی الگوهای انتقال رسوب در محدوده تحت بررسی نتایج قابل قبول تری از روشهای آماری ارائه نموده است.

روش فازی توان تشخیص محدوده زمانی وقوع تغییرات رژیم رسوبی را در رودخانه دارا می باشد. براساس شواهد موجود از میزان رسوبات بر جای مانده در مخازن سد های کارون و دز، روش فازی حجم رسوبات انتقال یافته را دقیقتر محاسبه نموده است.

روش فازی می تواند در اتخاذ روشهای صحیح مدیریت در حوضه های آبخیز، به خصوص در مورد مسایل رسوبگذاری و فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

رسوبات حمل شده دیده می شود که به نظر می رسد ناشی از افزایش سطوح زیر کشت و بهره برداری از جریان آب رودخانه از یک طرف و افزایش پتانسیل حمل جریان از طرف دیگر باشد. این روند ها در روش آماری دیده نمی شود.

۳- نتایج ایستگاه های واقع در پائین دست

محل اتصال رودخانه های کارون و دز

در شکل های (۱۰) تا (۱۲) نتایج بدست آمده از ایستگاه های ملاثانی، اهواز و فارسیات ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می شود در هر سه ایستگاه فوق روش فازی میزان رسوبات انتقال یافته را بیشتر نشان میدهد. نتایج روش فازی نشان می دهد پس از احداث و بهره برداری از سد کارون در سال ۵۵-۱۳۵۴ میزان رسوبات انتقال یافته از ایستگاه اهواز کاهش یافته که این میزان با ارقام رسوب انتقال یافته از ایستگاه های واقع در بالادست و پائین دست سد کارون نیز تطابق دارد. نکته جالب توجه دیگر اینکه پس از دوره بهره برداری از سد کارون میزان رسوبات عبوری از ایستگاه ملاثانی بر اساس روشهای آماری و فازی به ترتیب ۳۱۱ و ۴۸۴ میلیون تن بوده که این ارقام در اهواز ۳۱۷ و ۴۰۰ میلیون تن بوده است. بر این اساس چنانچه نتایج روش آماری صحیح باشد در حد فاصل بین ملاثانی و اهواز طی سالهای ۵۵-۱۳۵۴ به بعد حدود ۶ میلیون تن فرسایش و در غیر این صورت ۸۴

منابع

- ۱- وانگ، لی، مترجمین، تشنه لب، م، صفار پور، ت. و افیونی، د، ۱۳۷۸، سیستم های فازی و کنترل فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۵۲۶ صفحه.
- ۲- آلدرد، ه و راسلر، ا مترجمین، زالی ع و جعفری شبستری، ج. چاپ ششم ۱۳۷۹، مقدمه ای بر احتمالات و آمار، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۵ صفحه.

- ۳- فرمنش مونس، ع.، چاپ دوم ۱۳۸۰، روش‌های طراحی و تجزیه و تحلیل الگوریتم‌ها، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیر کبیر، ۲۹۷ صفحه.
- ۴- تاناکا، کازو، ترجمه، وحیدیان کامیاد، ع و طارقیان، ح. ر. مترجمین، ۱۳۸۱، مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره صفحات ۳۲۷، ۲۱۳.
- 5- Bardossy, A., Bogardi, I., and Duckstein, L. (1990). Fuzzy Regression in Hydrology, *Journal of Water Resource Research*, 26(7): 1497-1508.
- 6- Brent, R. P., 1973. Algorithms for Minimization without Derivatives, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 345
- 7- Brion, G. M., Lingireddy, S., (1999). A Neural network approach to identifying non-point sources of microbial contamination, *Water Resource* 33(14), 3099-3106.
- 8- Capra, A., (1994). Application of Fuzzy sets to Drought Classification, *Advances in Water resource technology and management*, Balkema Publication, P 479-483.
- 9- Dez Dam Rehabilitation Project, Stage 2, Task 1 – Reservoir Operation Review and Sediment Study (DRAFT), 2004. Khuzestan Water and Power Authority, 35۵p.
- 10- 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.
- 11- Jang, J.S.R., (1993). ANFIS; Adaptive a network based fuzzy inference system, *IEEE Trans. Sys., Man and Cybernetics* 23(3): 665 685
- 12- Julien, P.Y., (2002). *River Mechanics*, Cambridge University press, 434
- 13- Keller, J.M., Krishnapuram, R., and Rhee, F.C.H. (1992). Evidence aggregation networks for fuzzy logic interface, *IEEE Trans. Neural Network* 3(5): 764 769
- 14- Kindler, J., (1992). Rationalizing Water Requirements with Aid of Fuzzy Allocation Model, *Journal of Water Resource Planning and Management*, ASCE, 118 (3): 308-323
- 15- Kosko, B. (1992). Fuzzy systems as universal approximators, *Proceedings of IEEE International Conference. Fuzzy Systems*, 1153-1162 pp.
- 16- Kurtanek, Z., (1998). Principle component ANN for modeling and control of barks yeast production. *Journal of Biotechnical*, 65: 23-35.
- 17- Mamdani, E. H., (1977). “Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning using Linguistic Synthesis”, *IEEE Transaction on Computers* , 26 (12): 1182-1191.

- 18- Russel S.O., (1996). Reservoir Operating Rules with Fuzzy Programming, Journal of Water resource planning and management, ASCE, 12(3):165 170
- 19- Sherstha B, Duckstein L, Stakhiv E.Z., (1996). Fuzzy Rule based Modeling of Reservoir Operation, Journal of Water resource planning and management, ASCE, 12(4): 262 269
- 20- Van Rijn LC. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Aqua Publications, Amsterdam, 68pp.