مجله علمی - پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیـــزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering
سال دوم - شماره ۵ - زمستان ۱۳۸۷
Vol. 2, No. 5, Winter 2009

استفاده از نظام استنتاج فازی در برآورد رسوب معلق (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)

حسن احمدی[۱]، محمد طهمورث[۲] و حسین محمدعسگری[۳]
تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۱۴

چکیده

شبیه سازی و ارزیابی آورد رسوب رودخانه از جمله مسائل مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب می باشد. بررسی روابط تجربی و معادلات ریاضی ارائه شده نشان می دهد که هنوز روش تحلیلی یا تجربی مناسبی که براساس آن به برآورد درستی از میزان رسوبات حمل شده توسط رودخانه دست یافت، ارائه نشده است. به همین دلیل در این مطالعه به منظور دستیابی به تخمینی نزدیک به واقعیت از میزان رسوبات حمل شده توسط رودخانه ها، از داده های همزمان دبی آب و دبی رسوب ایستگاه گلینک واقع بر رودخانه طالقان، جهت مدل سازی رسوب معلق روزانه با استفاده از نظام استنتاج فازی و روش معادله همبستگی چند متغیره آماری استفاده شد. به منظور ارزیابی نتایج این دو روش از معیارهای RMS، MAE و R^2 استفاده شد. نتایج نشان دهنده دقت بالاتر برآوردهای مدل فازی (RMS=۳.۵۱، MAE = ۱۶.۳۱ و R^2=۹۶.۴۰) در مقایسه با برآوردهای مدل معادله همبستگی چند متغیره (RMS=۳.۹۳، MAE=۸۵.۵۲ و R^2=۸۱.۰) می باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که روش فازی توان تشخیص محدوده زمانی وقوع تغییرات رژیم رسوبی را در رودخانه دارا می باشد و روش فازی می تواند به عنوان طریقی موثر و کارآمد جهت تصمیم گیری در خصوص مسایل رسوبگذاری و فرسایش حوزه آبخیز مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: دبی رسوب، دبی آب، مدل سازی، منحنی سنجه و نظام استنتاج فازی.

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آبی در طبیعت، توزیع زمانی و مکانی غیر یکنواخت منابع آبی، افزایش آلودگی ها، تخریب منابع طبیعی و همچنین افزایش جمعیت، رشد و توسعه جوامع شهری و فعالیت های کشاورزی و صنعتی، ضرورت برنامه ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی اجتناب ناپذیر است. شبیه سازی و ارزیابی آورد رسوب رودخانه نیز از جمله مسائل مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب می باشد. در اغلب رودخانه های طبیعی بخش اعظم رسوبات به صورت بار معلق انتقال می یابند. رسوبات حمل شده توسط رودخانه ها مشکلات زیادی از جمله رسوبگذاری در مخازن سدها و کاهش حجم مفید آنها، تغییر مسیر رودخانه به دلیل رسوبگذاری در بستر آنها، کاهش ظرفیت عبور کانال ها و تاسیسات انتقال آب و تغییر کیفیت آب به لحاظ مصارف شرب و کشاورزی را به وجود می آورند [۲]. بار معلق به رسوباتی اطلاق می شود که درون آب و بالاتر از لایه بستر در حرکت هستند و بدلیل وزن کم شان، توسط جریان آب به راحتی حمل شده و به خاطر مولفه های روبه بالای جریان های متلاطم برای مدت زمان قابل ملاحظه ای به حالت معلق باقی می مانند [۹ و ۱۷].

برآورد دقیق میزان رسوب در مسائلی از جمله طراحی مخازن، انتقال رسوب، برآورد آلودگی دریاچه، طراحی کانال ها و لایروبی آنها بعد از سیلاب ها، تعیین خسارت های ناشی از رسوبگذاری به محیط زیست و تعیین تاثیرات مدیریت آبخیز مورد نیاز است. برای برآورد بار معلق رودخانه ها به طور کلی دو روش وجود دارد: الف) استفاده از مدل های تجربی، که از مفاهیم فیزیکی و حل معادلات هیدرودینامیک رسوب استفاده می کنند. این قبیل مدل ها معمولا به داده های متنوعی از قبیل دانه بندی مصالح، دمای آب، وزن مخصوص و لزجت آب، سرعت جریان، شکل مقطع رودخانه، جنس جداره و شیب کناره نیاز دارند. در اکثر موارد چنین داده هایی با دقت کافی وجود ندارد و به طور عمده کل داده ها به دبی آب و دبی رسوب خلاصه می شود. با توجه به این مشکلات، بسیاری از پژوهشگران به روش های دوم رو می آورند. ب) استفاده از روش معادله همبستگی، که در این روش یک یا چند منحنی بر داده های رسوب برازش داده می شود. رایج ترین فرم برازش، منحنی توانی به $Qs= aQ_w^b$ می باشد که در آن Qs دبی رسوب Qw دبی آب، a و b ضرایب ثابت می باشند[۶]. یکی از روش هایی که امروزه در حل مسائل مختلف آبشناختی و منابع آب کاربرد زیادی یافته، بهره گیری

۱- استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲ - نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران
tahmoures@ut.ac.ir
۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان زدایی، دانشگاه تهران

از منطق فازی می باشد. اولین بار پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ منطق فازی و تئوری مجموعه های فازی را معرفی کرد. او از این روش برای مدل سازی ابهامات و عدم قطعیت موجود در تصمیم گیری استفاده کرد. ایده اصلی منطق فازی ساده است. عبارات، فقط "صحیح" یا "غلط" نیستند، بلکه می توانند تا حدی صحیح باشند یا تا حدی غلط [۱۰و۱۱]. بعد از گسترش تئوری مجموعه فازی و منطق فازی، پژوهشگران دریافتند که این منطق، ابزار مناسبی برای مدل سازی فرآیندهای آبشناختی می باشد. مثال هایی از کاربرد نظام استنتاج فازی در مدل سازی فرآیندهای آبشناختی را می توان در کارهای هوریکاوا[۱۵]، بردسی و همکاران [۱۲]، کاپرا [۱۴] ملاحظه کرد. نظام استنتاج فازی را می توان بر اساس دانش شخص خبره[1] یا داده های مشاهده شده[2] ساخت. دینی[۴] با استفاده از نظام استنتاج فازی و نروفازی و عامل های هواشناسی و میزان مصرف روزهای قبل به عنوان ورودی مدل، میزان مصرف یک روزه آب شهری تهران را پیش بینی کرد. در این پژوهش در مجموع در حدود ۱۰۰ مدل فازی و نروفازی ساخته شده که نتایج نشان داد که نظام فازی به دلیل اینکه هیچ گونه آموزشی نمی بینید، قادر به پیش بینی مطلوب مصرف روزانه آب شهری نیست ولی نظام های نروفازی قادرند میزان مصرف روزانه شهری تهران را با دقت قابل قبولی پیش بینی کنند. از جمله مطالعات دیگر انجام گرفته در زمینه استفاده از مدل فازی در زمینه مسائل آبشناختی عبارتند از: استفاده از منطق فازی در مدل سازی بارش ـ رواناب[۱۶]، استفاده از منطق فازی در پیش بینی دبی رودخانه و وقوع سیلاب[۱۹]، به کارگیری منطق فازی جهت برآورد رواناب فصلی- رواناب[۱۸]، استفاده از منطق فازی در پیش بینی فرسایش و هدررفت خاک در حوزه های آبخیز بزرگ و وسیع[۲۳]. از آنجایی که شبیه سازی و ارزیابی آورد رسوب رودخانه از جمله مسائل مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب می باشد و اندازه گیری غلظت رسوب به روش های متداول به طور عام مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی بوده و گاهی از دقت کافی نیز برخوردار نمی باشد، در این مطالعه از داده های همزمان دبی آب و دبی رسوب ایستگاه گلینک واقع بر رودخانه طالقان، جهت مدلسازی رسوب معلق روزانه با استفاده از نظام استنتاج فازی و روش معادله همبستگی چند متغیره آماری استفاده شد.

مواد و روش ها

۱) مشخصات منطقه مورد مطالعه:

حوزه آبخیز طالقان یکی از سر شاخه های سفید رود است که در ۱۱۰ کیلومتری شامل غرب تهران واقع گردیده و بین عرض های ً۱۹ َ۵ ْ۳۶ و ً۳۰ َ۲۱ ْ۳۶ شمالی و طول های ً۵ َ۲۰ ْ۵۰ و ً۲۲ َ۱۱ ْ۵۱ شرقی قرار دارد. زهکشی اصلی این حوزه آبخیز طالقان رود است که در بخش پایاب به الموت رود پیوسته و شاهرود را تشکیل می دهد. این رودخانه پس از طی ۷۰ کیلومتر به سد سفید رود می پیوندد. حوزه آبخیز طالقان در ارتفاعات البرز مرکزی قرار گرفته و مساحتی بالغ بر ۱۳۲۵۰۰ هکتار دارد که ۲/۳٪ حوزه آبخیز سفیدرود و ۰/۸٪ مساحت کل کشور را شامل می شود. از مشخصات مهم این حوزه آبخیز ارتفاع بالا و شیب زیاد آن می باشد. ارتفاع متوسط حوزه ۲۶۶۵ متر از سطح دریا (ارتفاع حداکثر ۴۴۰۰ متر و ارتفاع حداقل ۱۰۸۰ متر) می باشد. همچنین ۵۰٪ حوزه آبخیز طالقان دارای شیب بالای ۴۰٪ است جهت کلی حوزه آبخیز شرقی- غربی است و پراکندگی نزولات آسمانی در نقاط مختلف آن متفاوت و بین ۲۵۰ تا بیش از ۱۰۰۰ میلی متر در سال متغیر است. طول رودخانه طالقان ۸۵ کیلومتر است. در فصل بهار دارای حداکثر دبی است بخشی از حوزه آبخیز که از سازندهای حساس میوسن تشکیل شده رسوب زایی زیادی داشته و باعث انباشت رسوب زیاد در مخزن سد سفید رود می شود.

روش های متداول برآورد بار معلق

یکی از متداول ترین روش های برآورد بار معلق رودخانه ها استفاده از منحنی سنجه رسوب می باشد. در این منحنی رابطه دبی آب و رسوب به طور معمول به صورت یک رابطه نمایی ($Q_S = a\,Q_W^b$) تعریف می شود. عامل های منحنی سنجه (a و b) را از چندین روش شامل مدل های خطی و غیرخطی به دست می آورد. برآورد حاصل از مدل غیرخطی بر اساس روش آزمون و خطا بدست می آید که همیشه به جواب نمی رسد. همچنین مقدار خطای باقی مانده نیز قابل محاسبه نمی باشد که همین امر باعث کاهش صحت می شود [۶]. به همین دلیل در محاسبه عامل های منحنی سنجه از روش خطی استفاده می شود. از مدل های خطی می توان به مدل لگاریتمی و مدل میانگین دسته ها اشاره کرد. در روش خطی بایستی داده ها به حالت لگاریتمی تبدیل شوند. این تبدیل لگاریتمی باعث ایجاد اریبی در خط ترسیمی بر اساس حداقل مربعات می شود که به برآورد کمتر از واقعیت منجر می شود. برای رفع این مشکل افراد و سازمان های مختلف ضرایب تصحیحی مختلفی را ارائه داده اند که هر کدام نتایج متفاوتی را تولید کرده و هیچ کدام از آنها قطعی نیستند و برای استفاده از آنها به مطالعات بیشتری نیاز است [۸].

د) بررسی و آماده سازی داده ها:

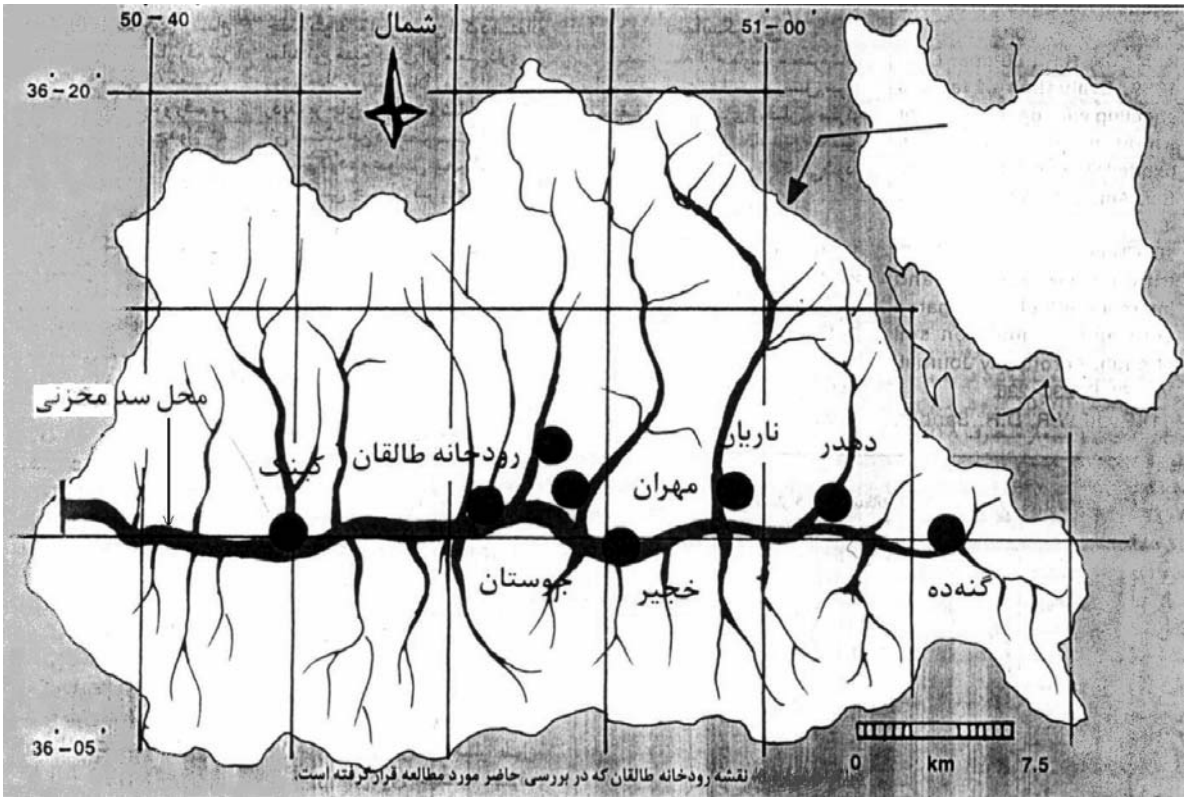
داده های استفاده شده در این مطالعه مربوط به سال های ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۰ ایستگاه گلینک طالقان می باشد. جهت آماده سازی داده ها، وجود داده های پرت با استفاده از روابط ۱ و ۲ که توسط انجمن منابع آب امریکا در سال ۱۹۸۱ [۱۲] ارائه شده است، مورد بررسی قرار گرفت و پس از رفع نواقص آماری، ۲۸۰ داده همزمان دبی آب و رسوب روزانه انتخاب گردید.

$$y_L = \bar{y} + K_N S_y \qquad (۱)$$

$$y_H = \bar{y} - K_N S_y \qquad (۲)$$

1- Expert knowledge

2- Obsereved data



شکل ۱ - موقعیت حوزه آبخیز طالقان در ایران

که در آنها: y_Hوy_L : لگاریتم آستانه های بالا و پایین داده‌های پرت، $\bar{y}$: میانگین لگاریتم داده‌ها، K_N: ضریب روش داده‌های پرت و S_y: انحراف معیار داده‌ها می باشد. جدول (۱) مشخصات آماری داده های مورد بررسی را نشان می دهد.

جدول ۱ - مشخصات آماری داده‌های مورد بررسی

عامل آماری	دبی آب m^3/s	دبی رسوب ton/day
حداکثر	۳۵/۸۸	۵۴۵۵/۳
حداقل	۴/۳۵	۱۲۰/۷
میانگین	۱۳/۴۴	۴۳۳/۹۹
انحراف معیار	۱۰/۰۸	۹۰۲/۵

روش‌های تحلیل

روش معادله همبستگی آماری

به منظور محاسبه دبی رسوبات در محل ایستگاه‌های آب سنجی، از منحنی سنجه رسوب[1] استفاده می شود. در ایستگاه‌های اندازه گیری مجهز به نمونه بردارهای بار معلق، همزمان با برداشت، غلظت مواد معلق توسط نمونه بردار، دبی جریان، غلظت، درجه حرارت و تاریخ نیز در برگه آماری ثبت شده است. در خصوص منطقه مورد مطالعه کلیه ایستگاه‌ها مجهز به نمونه برداری‌های غلظت مواد معلق بوده و دارای آمار رسوب می باشند.

غلظت رسوبات عبوری از محل ایستگاه‌ها هر روز یا در فواصل زمانی مشخص برداشت نمی‌شود بنابراین به منظور برآورد دبی رسوب عبوری از ایستگاه‌های تحت بررسی، از منحنی سنجه رسوب استفاده می‌شود. منحنی سنجه رسوب، منحنی است که با ایجاد همبستگی بین دبی جریان و دبی رسوب معلق محاسبه می‌گردد. به منظور تعیین مناسب‌ترین رابطه برازش شده بر داده‌ها، از تابع هدف مجموع حداقل توان‌های دوم خطای برآورد[2] استفاده می شود[۹].

$$SSE = \sum_{i=1}^{n} (Q_{si} - \hat{Q}_{si})^2 \qquad (۳)$$

$$\text{objective function} = \text{Min. SSE} \qquad (۴)$$

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

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.

رسوبات انتقال یافته سالانه با جمع مقادیر رسوبات روزانه محاسبه شده در یک سال، با استفاده از رابطه زیر برآورد

1- Sediment Rating Curve

1- Sum of Square Error- SSE

می شود.

$$Q_{S\text{-}ANNUAL} = \sum_{j=1}^{365} (Q_{SJ}^{\wedge}) \quad (۵)$$

روش فازی

در سال‌های اخیر به دلیل پیشرفت گسترده سامانه های سخت‌افزار و نرم‌افزار رایانه‌ای، امکان استفاده از روش های جدید محاسباتی همراه با عملیات تکراری فراوان که انجام آن به شکل غیر رایانه‌ای به طور عملی غیر ممکن بود، فراهم شده است. از بین این روش‌ها می‌توان به مدل‌های روندنمای ژنتیک[1] مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی[2] و روش‌های فازی[3] اشاره نمود.

منطق فازی برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ میلادی در مقاله‌ای تحت عنوان مجموعه‌های 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. لطفی‌زاده منطق فازی را براساس اصل ناسازگاری[4] به شرح زیر بنیان گذاری کرد:

"هنگامی که پیچیدگی یک سامانه از حد تعیین شده‌ای فراتر می رود تعریف صریح، دقیق و با معنای عملکرد آن سامانه غیرممکن می شود" [۳ و ۷ و ۲۲].

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 خودکار قطار در ژاپن مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۸۹ انجمن نظام‌ها و نظریه فازی (SOFT) پایه گذاری شد و آزمایشگاه بین‌المللی فازی (LIFE) در ژاپن تأسیس شد. سامانه‌های فازی از اوایل دهه ۱۹۹۰ در ساخت محصولات الکتریکی مورد استفاده قرار گرفت و کم‌کم دامنه کاربرد آن در جامعه توسعه یافت [۴ و ۲۰].

بردوسی و همکاران [۱۲] روش فازی را برای محاسبات معادله‌های همبستگی در آبشناختی به کار گرفتند. کیندلر [۱۳] از منطق فازی در برنامه‌ریزی منابع آب استفاده نمود. کاپرا [۱۴] از منطق فازی برای طبقه‌بندی نوع خشکسالی‌ها استفاده نمود.

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 ویژه در نقاط دارای اهمیت زیاد (سیلاب‌ها) به مراتب کمتر از سایر نقاط است. روندنمای خوشه‌سازی فازی با دسته‌بندی داده‌های اندازه‌گیری شده براساس دبی، امکان تفکیک نقاط مربوط به دبی پایه یا سیلابی و دوره‌های پرآبی یا کم‌آبی 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 تأثیر سیاست‌های مختلف بهره‌برداری را ارزیابی نماید.

به منظور محاسبه میزان رسوبات حمل شده با استفاده از روش فازی، از فرآیند خوشه‌سازی فازی[5] که در حقیقت فرایندی برای شناخت الگوی واقعی مربوط به عامل‌های مختلف است استفاده گردید. نتایج کاربرد این روش در برآورد محاسبات رسوب و روندنمای 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 سامانه‌های الکترومکانیکی اخذ شده است. به طور کلی این روش‌ها به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند که تعاریف و روندنماهای محاسباتی هر کدام از این روش‌ها در ادامه آمده است.

روندنمای خوشه‌سازی فازی -C میانگین هدایت نشده

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.

$$Q_l^C = Q_{min} + (Q_{max} - Q_{min})(l-0.5)/C \quad (۶)$$

که در آن C...، 1=l تغییر می‌کند.

مراکز خوشه‌ها را می‌توان به صورت تصادفی در حد فاصل بین Q_{max} و Q_{min} نیز انتخاب نمود.

این نقطه به عنوان نماینده کلیه دبی‌های رسوبی است که در محدوده $Q_{l-0.5}^C \le Q_i < Q_{l+0.5}^C$ قرار دارند.

در این صورت مرکز دبی‌های رسوب نظیر هر خوشه با استفاده از رابطه:

$$Q_{Si}^C = \sum_{i=1}^{m} Q_{Si}/m, \text{ if } Q_{l-0.5}^C \le Q_i < Q_{l+0.5}^C \quad (۷)$$

که در آن m تعداد داده‌های واقع در این خوشه است.

به منظور برآورد دبی رسوب روزانه $Qs^{\wedge}j$ نظیر دبی روزانه Q_j، درجه تعلق دبی روزانه به هر کدام از خوشه‌ها با استفاده از تابع نمایی

$$w = e^{-\alpha(X-C)^2} \quad (۸)$$

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

1- Genetic Algorithm

2- Artificial Neural Network Algorithm

3- Fuzzy Logic Algorithm

4- Principle of Incompatibility

5- Unsupervised Fuzzy C-mean Clustering Method

$$w_{jl}=e^{-\alpha(Q_j-Q_l^C)^2} \quad (۹)$$

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 سامانه را نشان می دهد و به شرح زیر تعیین شده است:

۱ - اگر $Q_j=Q_l^C$ باشد آنگاه $Qs\hat{}j=Q_l^C$ و یا

$$\text{if} \quad Q_j=Q_l^C \Rightarrow Qs\hat{}j=Q_s^C l \quad (۱۰)$$

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

$$\text{if} \quad Q_j=Q_{L\pm 1}^C \Rightarrow W_{jl}\cong 0 \quad (۱۱)$$

با توجه به این که رسیدن به عدد صفر در تابعی نمایی امکان‌پذیر نیست، در این شرایط W_{jl}عدد کوچکی نظیر 10^{-5} یا 10^{-6} انتخاب و با کاربرد رابطه (۶) ضریب α تعیین می‌شود. با توجه به کوچکی نسبی این عدد در مقابل ضریب تعلق یک، این عدد تاثیری بر تغییر خوشه‌های فازی و نتایج محاسبات نخواهد داشت زیرا به این ترتیب درجه تعلق در مرکز هر خوشه فلزی 10^{-5} برابر بیشتر از درجه تعلق در فاصله ΔQ است. توضیح این که به دلیل کوچکی عدد مذکور اگر مقدار آن 10^{-4} یا 10^{-6} انتخاب گردد تغییری در نتیجه محاسبات ایجاد نخواهد شد.

$$W_{jl}=e^{-\alpha(Q_{L\pm 1}^C-Q_l^C)^2}=10^{-5} \Rightarrow \alpha=\frac{5C^2}{(Q_{max}-Q_{min})} \quad (۱۲)$$

با تعیین مقدار α، مقادیر W_{jl} برای هر Q_j در کلیه مراکز خوشه‌ها تعیین و مقادیر آن نرمال می‌شود.

$$\text{Sum} \quad W_j=\sum_{l=1}^{C} W_{jl} \quad (۱۳)$$

$$W_{jl}^N=W_{jl}/\text{Sum} \quad W_j \quad (۱۴)$$

به این ترتیب مقادیر دبی رسوب نظیر Q_j از متوسط گیری وزنی مقادیر دبی رسوب کلیه خوشه‌ها تعیین می‌گردد. به این ترتیب

$$Qs\hat{}_j=\sum_{l=1}^{C} W_{jl}^N \, Qsl^C \quad (۱۵)$$

میزان رسوبات انتقال یافته در هر سال با جمع مقادیر رسوبات هر روز در یک سال آماری با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد.

روش خوشه‌بندی فازی C میانگین به صورت هدایت شده[1]

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 می‌رود در بازه‌های خاصی صورت 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 حالی که روش قبل منجر به ارائه منحنی سنجه رسوبی خواهد شد که در آن تاثیر کلیه نقاط در ترسیم منحنی یکسان انتخاب می‌شود.

با توجه به وجود دوره‌های خشک و تر و وجود یا عدم وجود سد مخزنی طالقان تغییرات قابل ملاحظه‌ای در رژیم رسوبی رودخانه طالقان اتفاق افتاده است، در این پژوهش 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 (۱۰) محاسبه می‌گردد. تابع تعیین درجه تعلق در این روش یک تابعه ۲ بعدی است که یک بعد ان دبی جریان و بعد دیگر آن زمان اندازه‌گیری است. چنانچه تاریخ ثبت دبی - دبی رسوب iام به ترتیب سال- ماه- روز به صورت (y-m-d) نشان دادن داده شود، عامل کمی زمانی به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$t_i=y_i+\frac{(m_i-1+di/30)}{12} \quad (۱۶)$$

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:

$$W_{jl}=e^{-\alpha(Q_j-Q_i)^2-\alpha_2(t_j-t_i)^2} \quad (۱۷)$$

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

اگر $Q_j=Q_i$ و $t_j=t_i$ باشد آنگاه $W_{jl}=1$

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 نمایی مذکور امکان‌پذیر نیست، عددی نزدیک به صفر مثلاً 10^{-5} برای تعیین ضریب αمورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به کوچکی نسبی این عدد در مقابل ضریب تعلق یک، این عدد تاثیری بر تغییر خوشه‌های 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 ΔQیا Δt است. به این ترتیب:

$$e^{-\alpha_1(Qj-Q_1)^2}=10^{-5} \quad (۱۸)$$

$$e^{-\alpha_2(tj-t_i)^2}=10^{-5} \quad (۱۹)$$

بنابراین مقادیر α_1 و α_2 به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

$$\alpha_1=\frac{5}{\Delta Q} \text{ و } \alpha_2=\frac{5}{\Delta t} \quad (۲۰)$$

مقادیر ΔQ و Δt بر اساس تعداد خوشه‌های انتخابی در جهت‌های Q و t تعیین می‌شوند و عموماً شبیه رابطه (۱۱) در نظر گرفته می‌شوند.

1- Supervised fuzzy C Mean method

کاربرد این روش موجب می‌شود تا جستجو برای یافتن نقاطی که بر اساس آنها برآورد می‌شود در محدوده $\hat{Qs}_j$ و $Q_i \pm \Delta Q$ محدود $t_i \pm \Delta t$ می‌گردد. در واقع الگوها 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 مشاهده‌ای (i=1,...,n) تعیین و مقادیر آن با استفاده از روابط (۱۷) و (۱۸) نرمال می‌شود. به این ترتیب مقدار رسوب تخمینی برای دبی Q_j در زمان t_j از رابطه زیر تعیین می‌گردد و میزان رسوبات انتقال یافته در هر سال با جمع مقادیر رسوبات هر روز در یک سال آماری و با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌گردد. همان گونه که ملاحظه می‌شود میزان فازی بودن روش‌های هدایت شده بیشتر از روش‌های هدایت نشده است (مجموع α_1 و α_2 در رابطه (۱۷) کوچک‌تر از میزان α در رابطه (۱۲) 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 روش‌های هدایت نشده توزیع نقاط مشاهده‌ای بر روی منحنی دو بعدی است. در این بررسی به دلیل 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، از روش رده‌بندی هدایت شده فازی استفاده شده است.

نتایج

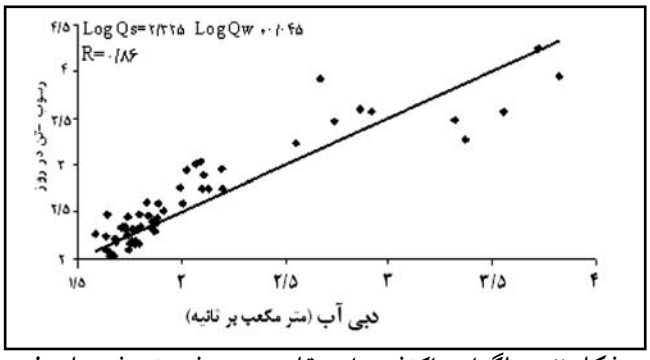
روش معادله همبستگی

مسئله تخمین آورد رسوب رودخانه طالقان، با استفاده از مدل معادله همبستگی برآورد و ارزیابی گردید. نتایج حاصله در زیر آورده شده است (جدول ۲). البته لازم به ذکر است که به‌دلیل اختلاف تا حدودی زیاد در مقادیر کمینه و بیشینه و چولگی بالا در داده‌ها، لگاریتم آنها در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت.

شکل (۲) دیاگرام پراکنش برای مقادیر دبی پیش بینی شده با مدل معادله همبستگی برای ایستگاه گلینک را نشان می‌دهد.

جدول ۲ - مشخصات رابطه معادله همبستگی

$\text{Log } Qw325/2\text{Log } Q^S = +۰/۰۴۵$	$R^2 = ۰/۸۳$
رابطه مذکور بر اساس آزمون فیشر در سطح ۹۹ درصد معنی دار می باشد.	



شکل ۲ - دیاگرام پراکنش برای مقادیر دبی پیش بینی شده با مدل معادله همبستگی برای ایستگاه گلینک

روش فازی

برای محاسبه مقادیر رسوب حمل شده توسط جریان با روش رده بندی هدایت شده فازی یک برنامه رایانه‌ای در محیط نرم‌افزاری MATLAB تهیه و محاسبات مربوط به مقادیر رسوب سالانه حمل شده توسط جریان با بهره‌گیری از این برنامه انجام گردید. نرم‌افزار (Matrix Laboratory) یک برنامه نرم افزاری قوی جهت دانشجویان و پژوهشگران رشته‌های ریاضی و مهندسی است که اولین نگارش‌های آن در دانشگاه نیومکزیکو و استانفورد در سال ۱۹۷۰ میلادی در جهت حل مسائل تئوری ماتریس‌ها، جبر خطی و تجزیه و تحلیل عددی به وجود آمده است.

با توجه به آنکه میزان انتقال رسوب سالانه تابع میزان جریان عبوری بوده که خود عاملی متغیر است، برای بررسی ییلان رسوب و تغییرات زمانی آن و تفسیر نتایج محاسبات از منحنی جرم مضاعف استفاده شده است. منحنی جرم مضاعف یکی از مناسب‌ترین روش‌های تشخیص انحراف داده‌ها ناشی از ناهمگنی یا تغییر شرایط بهره‌برداری 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 سامانه در شرایط رژیم طبیعی وجود خواهد داشت.

بر این اساس پس از ترسیم منحنی جرم مضاعف، داده‌ها به صورت شکلی کنترل و از ابتدای دوره تا محل وقوع اولین تغییر در شیب منحنی جرم مضاعف به عنوان شرایط رژیم طبیعی در نظر گرفته می‌شود [۱ و ۲۱].

در این پژوهش 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 بر آمار حداقل ۱۵ سال متوالی اولیه از ایستگاه گلینک، یا نقطه‌ای که تغییر روند انتقال رسوب مشهود است، مناسب‌ترین خط معادله همبستگی برازش داده شد و این روند از ابتدا تا انتهای دوره آماری توسعه داده شد.

به منظور بررسی دقت و مقایسه مدل‌های فازی و معادله همبستگی در برآورد رسوب معلق رودخانه طالقان، از عامل‌های آماری RMSE و R2 و MAE استفاده شد که نتایج آن در جدول (۳) آمده است.

در این پژوهش دو نوع سامانه ممدانی و سوگینو با تغییر در نوع و مقدار توابع عضویت مورد بررسی قرار گرفت. دقت حاصل از هر کدام از مدل‌ها با استفاده از معیار میانگین قدر مطلق خطا بررسی گردید. جهت مدل‌سازی رسوب از مدل‌های منطق فازی با تغییر در نوع سامانه، تعداد توابع عضویت و نوع تابع عضویت استفاده گردید که نتایج آنها در جدول‌های (۴ و۵ و۶) ارائه گردیده است.

مراحل فوق نیز با استفاده از سری یکساله داده انجام گردید.

با توجه به جدول‌های فوق سامانه ممدانی با یک تابع عضویت مثلثی به عنوان بهترین مدل استنتاج فازی جهت مدلسازی آورد

جدول ۳- مقایسه نتایج بدست آمده از مدل فازی و مدل معادله همبستگی در مدلسازی آورد رسوب رودخانه

برآورد مدل معادله همبستگی	برآورد مدل فازی	عامل های مقایسه
۹۳/۳	۵۱/۳	RMSE
۰/۸۱	۰/۹۶۰۴	R^2
۵۲/۸۵	۳۱/۱۶	MAE

جدول ۴- نتایج مدل سازی رسوب با سامانه ممدانی و با تغییر در تعداد توابع عضویت

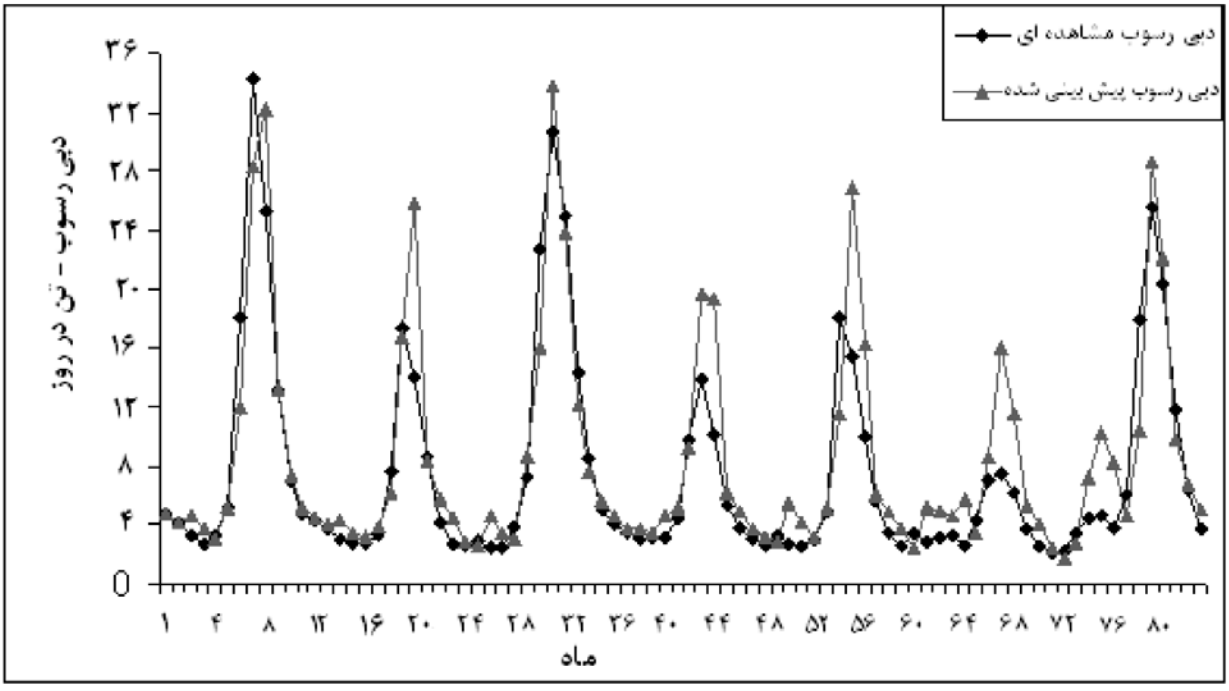
سامانه	تعداد تابع عضویت	نوع تابع عضویت	RMSE
ممدانی	۱	مثلثی	۶۵۷۵
ممدانی	۲	مثلثی	۶۵۸۰
ممدانی	۳	مثلثی	۶۵۸۰

جدول ۵- نتایج مدل سازی رسوب با سامانه سوگینو و با تغییر در تعداد توابع عضویت

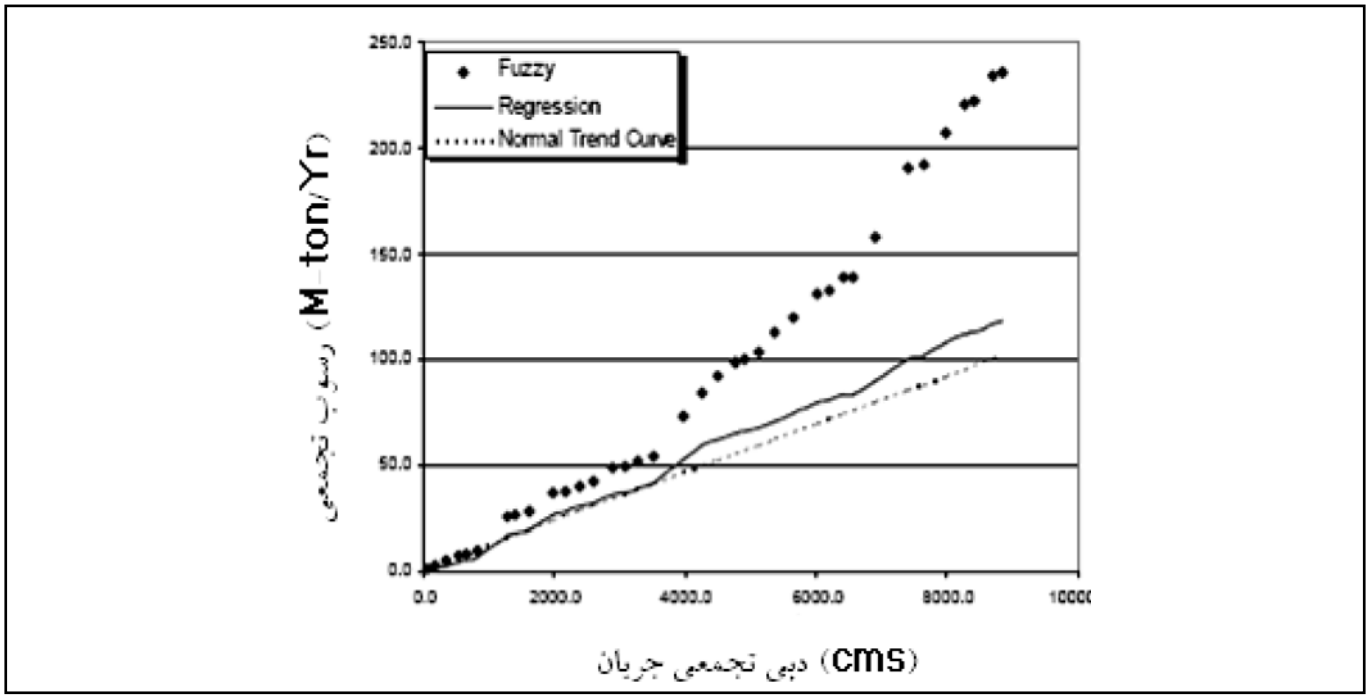
سامانه	تعداد تابع عضویت	نوع تابع عضویت	RMSE
سوگینو	۱	مثلثی	۶۵۷۶
سوگینو	۲	مثلثی	۶۵۷۶
سوگینو	۳	مثلثی	۶۵۸۰

جدول ۶- نتایج مدل سازی رسوب با سامانه ممدانی و با تغییر در نوع توابع عضویت

سامانه	تعداد تابع عضویت	نوع تابع عضویت	RMSE
ممدانی	۱	مثلثی	۶۵۷۵
ممدانی	۱	ذوزنقه	۶۵۸۰
ممدانی	۱	گوسی	۶۵۸۵



شکل۳- مقادیر دبی رسوب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده با سامانه استنتاج فازی برای ایستگاه گلینک طالقان



شکل ۴ - مقایسه نتایج برآورد بار رسوبی رودخانه با مدل‌های فازی، معادله همبستگی و منحنی سنجه رسوب

رسوب رودخانه شناخته شد.

پس از انجام محاسبات، نتایج بدست آمده در شکل‌های (۳) تا (۵) نشان داده شده است.

همان گونه که از شکل‌های (۳) و (۴) مشاهده می‌شود، مقادیر رسوب محاسبه شده با روش فازی بیشتر از مقادیر رسوب محاسبه شده در روشهای آماری می‌باشد که به نظر می‌رسد این موضوع ناشی از شناخت دقیق‌تر الگوی انتقال رسوب به خصوص در شرایط سیلابی است.

بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از روش‌هایی که بتوانند ارتباطات غیرخطی موجود در سامانه را مدل‌سازی کنند همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. در سال‌های اخیر توجه متحصصین آبشناختی به استفاده از سامانه‌هایی چون شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی در پیش‌بینی و مدلسازی سامانه‌های غیر خطی معطوف شده است. منطق فازی به عنوان یک مدل جعبه سیاه، در سامانه‌های غیرخطی و پیچیده از جمله پیش‌بینی آورد رسوب رودخانه از اهمیت زیادی برخوردار باشد. در این پژوهش به منظور تخمین آورد رسوب رودخانه طالقان از سامانه استنتاج فازی و روش معادله همبستگی چند متغیره آماری استفاده شد.

بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش فازی در شناسایی 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.

مورات و همکاران [۲۳] از سامانه استنتاج فازی جهت شبیه سازی و برآورد رواناب و رسوب و سپس مقایسه نتایج آنها با مدل معادله همبستگی در تعدادی از حوزه‌های آبخیز کانادا استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که برآوردهای مدل فازی درمقایسه با برآوردهای مدل معادله همبستگی خطی از دقت بالاتری برخوردار است. نتایج پژوهش حاضر نیز موید این مطلب بوده و نتیجه گیری شد که برآوردهای مدل فازی در مقایسه با برآوردهای مدل معادله همبستگی خطی از دقت بالاتری برخوردار است.

در مدلسازی با سامانه استنتاج فازی در مقایسه با مدل معادله همبستگی می‌توان در زمان کوتاهتر و با دقت تاحدودی بالاتر، به روابط میان دبی آب و رسوب دست یافت. دیگر مزیت این روش حساس نبودن آن به وجود تعداد معدودی خطا در داده‌های آماری است که همین امر باعث برآورد بهتر مدل فازی در مقایسه با مدل معادله همبستگی شده است. رضایی [۵] نیز در مطالعه خود به این مورد اشاره کرده است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روش فازی می‌تواند در اتخاذ روش‌های صحیح مدیریت در حوزه‌های آبخیز، به ویژه در مورد مسایل رسوب گذاری و فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

از مهم‌ترین معایب روش‌های مختلف برآورد رسوب این است که هنوز رابطه‌های جهانی که قادر باشد در تمام حالات و شرایط به خوبی پاسخگو باشد، وجود ندارد. در مورد روش مذکور نیز از

آنجایی که حوزه‌های مختلف دارای ویژگی‌های متفاوت اعم از شیب حوزه، میزان و نوع پوشش گیاهی، جنس خاک و... بوده و نیز از لحاظ مدیریتی در سطوح مختلفی قرار دارند، بهتر است در مطالعه‌ای وسیع‌تر، با جمع آوری آمار حوزه‌های متعددی که از لحاظ عامل‌های مذکور تفاوت معنی‌داری با هم دارند، علاوه بر ورودی های به کار رفته، عامل‌های فوق نیز به نحوی به عنوان ورودی به مدل فازی تعریف شوند.

در پایان موارد پیشنهادی زیر مطرح می گردد:

۱- در سال‌های اخیر استفاده از روش شبکه عصبی- فازی (نروفازی) کاربرد زیادی در حل مسائل مختلف آبشناختی و منابع آب پیدا کرده است، که مهم‌ترین مزیت آنها توان یادگیری روابط بین متغیرها می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات بعدی از این سامانه‌ها جهت مدل‌سازی آورد رسوب رودخانه استفاده شده و دقت آنها مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- استفاده از روش‌هایی که در آنها عامل‌های شبکه عصبی و عصبی- فازی با استفاده از روندنمای ژنیتک بهینه سازی شوند.

۳- استفاده از سایر مدل‌های فازی و شبکه عصبی از قبیل شبکه‌های معادله همبستگی و پایه شعاعی و برگشتی.

۴- استفاده از متغیرهای هواشناسی به عنوان عامل‌های ورودی در روش‌های فازی و هوش مصنوعی که به طور عام سبب بهبود عملکرد مدل‌ها می شود.

منابع

۱- آوریده، ف.، بنی‌حبیب،م. و شمسی،ط. ۱۳۸۰، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تخمین دبی رسوب رودخانه‌ها، سومین کنفرانس هیدرولیک، تهران، ۳۶۶ تا ۳۶۷.

۲- بایزیدی، ش.، یاسی،م.، فتاحی،ر.ا. و کارگر، ع. ۱۳۸۴. پیش‌بینی و برآورد رسوب معلق روزانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی- مدل پرسپترون چند لایه، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرمان، ص ۵۵۵ تا ۵۶۱.

۳- وانگ، ل.، تشنه لب، م.، صفارپور، ت. و افیونی، د. (مترجمین). ۱۳۷۸. سامانه‌های فازی و کنترل فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۵۲۶ صفحه.

۴- دینی، ع. ۱۳۸۳. استفاده از سامانه استنتاج فازی و نروفازی جهت پیش بینی میزان مصرف یک روزه آب شهری تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران، ۳۳۲ صفحه.

۵- رضایی، ع. ۱۳۸۳. مدل سازی منطقه‌ای دبی‌های اوج زیر حوزه‌های سد سفیدرود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، پایان‌نامه دکتری آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ۲۱۵ص.

۶- کوچک‌زاده، ص. و یوسفی،ا. (مترجمین). ۱۳۸۱. تئوری و کاربرد انتقال رسوب، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۲۴۶ ص.

۷- منهاج، م.ب. ۱۳۸۱. مبانی شبکه‌های عصبی مصنوعی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۷۱۵ ص.

۸- مهدوی، م. ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۹۷ ص.

۹- میرزایی، م. ر.، عرب‌خدری،م.، فیض نیا،س. و احمدی،ح. ۱۳۸۴. مقایسه روش‌های آماری برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها، مجله منابع طبیعی ایران، جلد۵۸(۲)، ۳۰۱-۳۱۳.

۱۰- نجفی‌نیسیانی، ن.، حیدرپور،م. و گلمایی،ح. ۱۳۸۴. برآورد بار رسوب معلق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مجموعه مقالات دومین کنفرانس آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان، ص۲۴۹۳ تا ۲۵۰۰.

۱۱- تاناکا، ک.، وحیدیان کامیاد، ع. و طارقیان، ح. ر. (مترجمین). ۱۳۸۱. مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای علمی آن، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۲۷ صفحه.

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

13. Brent, R. P. 1973. Algorithms for Minimization without Derivatives, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 345.

14. Capra, A. 1994. Application of Fuzzy sets to Drought Classification, Advances in Water resource technology and management, Balkema Publication, P 479-483.

15. Horikawa, S., Furuhashi, T., and Uchikawa, Y. 1992. Fuzzy modeling using fuzzy networks with back-propagation algorithm. Neural Networks 3(5): 801- 806.

16. Kerem, H. 2002b. Suspended sediment estimation for river using artificial neural networks and sediment rating curve, Engineering Environment Science, Vol. 26, 27-36.

17. Kerem, H. 2006a. generalized regression neural network in modeling river sediment yield, Advances in Engineering Software Vol. 37, 63-68.

18. Kerem, H. 2006b. Methods to improve the neural network performance in suspended sediment estimation, Journal of Hydrology Vol. 317, 221-238.

19. Kindler, J. 1992. Rationalizing Water Requirements with Aid of Fuzzy Allocation Model, Journal of Water Resource Planning and

Management, ASCE, 118 (3): 308-323

20. Kosko, B. 1992. Fuzzy systems as universal approximators, Proceedings of IEEE International Conference. Fuzzy Systems, 1153-1162 pp.

21. Mamdani, E. H. 1977. Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning using Linguistic Synthesis, IEEE Transcaction on Computers, 26 (12): 1182-1191.

22. Memarian Khalilabad, H., Zakikhani,S. and Feiznia,S. 2006. River suspended sediment yield investigation by MLP neural network, a case study of the Bar River, Neyshaboor, Iran, International Symposium on Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems, poster report Booklet, p.65-70, Dundee, Scotland.

23. Murat, A. and Cigizoglu, H.K. 2007. Suspended sediment load simulation by two artificial neural network methods and Fuzzy method, using hydrometeorological data, Environmental Modelling, Software Vol. 22, 2-13.

مجله علمی - پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیـــزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 2, No. 5, Winter 2009
سال دوم - شماره ۵ - زمستان ۱۳۸۷

Abstract

Application of Fuzzy Method for Estimation of Suspended Load (Case Study: Taleghan Basin)

H. Ahmadi[1], M. Tahmoures[2] and H. Mohammad Asgari[3]

Evaluating and modeling of volume of loaded sediment is one of the most important subjects in water resources management. Investigation of experimental relations and mathematical equations shows that yet analytical or suitable experimental method has not presented for the estimation of suspended load carried by a river. For the mentioned reason, in the current study we use contemporary data of water discharge and sediment discharge of Glinak Station located on Taleghan River for modeling of daily suspended load by using Fuzzy method and regression model. We assess results of these two models by using statistical parameters like RMSE, MAE, and R^2. Results show that Fuzzy method (RMSE=51.3, MAE=31.16, R^2=0.9604) has more accuracy than regression model (RMSE=93.3, MAE=52.85.R^2=0.81) to assess daily suspended load.

Keywords: Water Discharge, Sediment Discharge, Modeling, Trend Curve and Fuzzy Interference System.

1- Professor Natural Resourees Faculty, University of Tehran.
2- Msc. Student, Natural Resources Faculty, University of Tehran.
3- Msc. Student, Natural Resources Faculty, University of Tehran.