بررسي امكان مدلسازي بار معلق رودخانه با استفاده از منطق فازي (مطالعه موردي: حوزه آبخيز زنجانرود)

بهارک معتمدوزيري*[١]، حسن احمدي[٢]، محمد مهدوي[٢]، فرود شريفي[٣] و نصرا... جواهري[٤]

[١] استاديار دانشگاه آزاد اسلامي، واحد علوم و تحقيقات تهران، ايران

[٢] استاد دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران

[٣] استاديار پژوهشي مركز تحقيقات حفاظت خاک و آبخيزداري، ايران

[٤] استاديار دانشكده كشاورزي، دانشگاه گيلان، ايران

(تاريخ دريافت: ٨٧/٧/٢، تاريخ تصويب: ٨٧/١٢/١٢)

چكيده

يكي از مهم‌ترين مسائل در طراحي سازه‌هاي آبي، بررسي كيفيت آب، تعيين تاثير مديريت حوزه آبخيز وحفاظت زيستگاه ماهيان و تعيين ميزان و حجم رسوبات معلق رودخانه‌ها است. براي برآورد بار معلق رودخانه‌ها، به طور معمول از دو روش تجربي و هيدرولوژيكي بهره‌گيري مي‌شود؛ اما به دليل بيشماري و ضرورت اصلاح روش‌هاي تجربي و نيز به علت برآورد نه چندان دقيق و نبود امكان بررسي تغييرات زماني رسوبات حمل شده توسط جريان در روش‌هاي هيدرولوژيكي، امروزه بسياري از پژوهشگران به روش‌هاي نوين مانند منطق فازي روي آورده‌اند. در اين پژوهش كه در حوزه آبخيز زنجانرود صورت گرفته است، ضمن برآورد رسوب معلق ايستگاه هيدرومتري سرچم با دو روش معمول هيدرولوژيكي USBR و FAO، با بهره‌گيري از مدل طراحي شده در محيط Visual Basic 6.0 بر پايه اصول منطق فازي نيز ميزان رسوب معلق ايستگاه ياد شده برآورد شده است. به منظور محاسبه ميزان رسوبات حمل شده با بهره‌گيري از روش فازي، از فرآيند خوشه‌سازي فازي C– ميانگين هدايت شده كه در حقيقت فرآيندي براي شناخت الگوي واقعي مربوط به مشخصه‌هاي مختلف مي‌باشد، بهره‌گيري شده است. نتايج بيانگر اين مي‌باشد كه روش فازي، به علت شناخت دقيق‌تر الگوي انتقال رسوب به‌ويژه در شرايط سيلابي، نسبت به روش‌هاي USBR و FAO برآورد به‌نسبت دقيق‌تري از ميزان رسوبات حمل شده ارائه نموده و با مقادير ديده شده همخواني بهتري داشته است. علاوه بر اين در روش فازي، به دليل وارد نمودن عامل زمان در محاسبات، امكان بررسي تغييرات زماني ميزان رسوبات حمل شده توسط جريان نيز فراهم شده است.

واژه‌هاي كليدي: بار معلق، روش فازي، USBR، FAO، حوزه آبخيز زنجانرود، سرچم

* نويسنده مسئول: تلفن: ٤٤٨٣٦٩٢٥-٠٢١ فاكس: ٤٤٨٦٥٠٢٥-٠٢١ E-mail: bmvaziri@yahoo.com

مقدمه

هر ساله بالغ بر۲۰ ميليارد تن رسوب توسط رودخانه‌هاي جهان حمل مي‌شود كه بخش عمده آن را رسوبات معلق تشكيل مي‌دهد. رسوبات معلق به رسوباتي اطلاق مي‌شود كه درون آب و بالاتر از لايه بستر در حركت هستند و به دليل كم وزن بودن و مؤلفه‌هاي رو به بالاي جريان‌هاي متلاطم، براي مدت زمان قابل ملاحظه‌اي به حالت معلق باقي مي‌مانند. رسوبات معلق، همراه با رسوباتي كه در بستر رودخانه به صورت جهشي، خزشي يا غلتشي حركت مي‌نمايند، بار رسوب كل رودخانه را تشكيل مي‌دهند. با توجه به مشكل بودن اندازه‌گيري بار رسوب بستر و با عطف به‌اين قضيه كه توان حمل بار بستر در ارتباط مستقيم با توان حمل مواد معلق مي‌باشد، به‌طور معمول بار بستر رودخانه به صورت ضريبي از بار معلق كه حدود ۱۵ درصد آن مي‌باشد، در نظر گرفته مي‌شود (۶). بار رسوب رودخانه، مشكلات زيادي از جمله رسوبگذاري در مخازن سدها، تغيير مسير رودخانه‌ها به دليل رسوبگذاري در بستر آنها، كاهش ظرفيت آبگذري آبراهه‌ها و تأسيسات انتقال آب و تغيير كيفيت آب به لحاظ مصارف شرب و كشاورزي را به وجود مي‌آورد. بنابراين برآورد دقيق بار رسوب معلق، در مسائل بيشماري از جمله طراحي مخازن سدها و تعيين عمر مفيد آنها، طراحي آبراهه‌ها، حفاظت زيستگاه ماهيان، برآورد ميزان فرسايش حوزه‌هاي آبخيز و ارزيابي تاثير مديريت آبخيز مورد نياز مي‌باشد (۷).

به رغم اهميت رسوب معلق، اطلاعات دقيق و درست از ميزان رسوبات معلق در كشور ما بسيار كم است و بين اندازه‌گيري‌ها و برآوردهاي انجام شده نيز اختلافات زيادي ديده مي‌شود كه از جمله علل وجود اين اختلافات، مي‌توان به نبود اندازه‌گيري‌هاي دراز مدت در زمينه رسوب معلق در ايران و همچنين به كار بردن روش‌هاي متفاوت براي برآورد بار معلق اشاره نمود. (۴)

به طور معمول، براي برآورد بار معلق رودخانه‌ها از دو روش تجربي و هيدرولوژيكي بهره‌گيري مي‌شود. در روش‌هاي تجربي، براي برآورد بار معلق از يک مجموعه روابط تجربي بهره‌گيري مي‌شود كه اين روابط مبتني برمفاهيم فيزيكي مي‌باشند و به‌طور معمول به داده‌هاي گوناگوني نياز دارند. روش‌هاي تجربي داراي محدوديت‌هاي بيشماري مي‌باشند كه از آن جمله مي‌توان به بيشماري روابط تجربي ارائه شده، لزوم اصلاح اين روابط و ارائه ضريب‌هاي واسنجي (با توجه به شرايط مناطق مورد بررسي) و لزوم دستيابي به اطلاعات گسترده اشاره نمود. به همين دليل به‌طور عموم بين نتايج اخذ شده در روش‌هاي مختلف تجربي، اختلافات قابل توجهي وجود دارد. با عطف به اين مشكلات، بسياري از پژوهشگران به روش‌هاي دوم يعني روش‌هاي هيدرولوژيكي روي مي‌آورند (۲). در روش‌هاي هيدرولوژيكي مقادير اندازه‌گيري شده دبي جريان و دبي رسوب در مقابل يكديگر رسم شده و سپس تابع مناسبي بر داده‌ها برازش داده مي‌شود. تجربيات پژوهشگران مختلف نشان مي‌دهد كه رابطه همبستگي $Q_s = aQ_w^b$ مناسب‌ترين رابطه براي بيان تغييرات دبي جريان و رسوب در ايستگاه‌هاي اندازه‌گيري است كه در اين رابطه Q_s دبي رسوب و Q_W دبي آب مي‌باشد (۶). a وb ضريب‌هاي ثابت رابطه هستند كه از راه ايجاد همبستگي بين داده‌ها محاسبه مي‌شوند و عواملي مانند شرايط محيطي، شرايط هيدروليكي رودخانه و نوع رسوبات بر ميزان آنها تأثير مي‌گذارد. با توجه به اين قضيه، بهره‌گيري از اين روابط منوط به ثابت ماندن شرايط كلي حوضه است كه خود از مهم‌ترين محدوديت‌هاي بهره‌گيري از آنها در پيش‌بيني و برآورد رسوب مي‌باشد. علاوه بر اين، در اين روش‌ها امكان بررسي تغييرات زماني رسوبات حمل شده توسط جريان نيز وجود ندارد (۲). بنابراين با توجه به مشكلات موجود، امروزه بسياري از پژوهشگران به روش‌هاي نوين روي آورده‌اند. يكي از روش‌هاي نوين در حل مسائل مهندسي، منطق فازي[1]مي‌باشد. منطق فازي راه ساده‌اي را براي رسيدن به يک نتيجه قطعي و معين بر پايه اطلاعات ورودي ناقص و مبهم و

1 . Fuzzy Logic

دو پهلو فراهم مي نمايد (١). اگر چه منطق فازي پديده‌هاي غير قطعي و نامشخص را توصيف مي‌كند، با اين حال نظريه فازي يک نظريه دقيق مي‌باشد (٣). منطق فازي، اولين بار در سال ١٩٦٥ ميلادي در مقاله‌اي تحت عنوان "مجموعه‌هاي فازي" توسط پرفسور لطفي زاده استاد دانشگاه بركلي كاليفرنيا به جامعه علمي معرفي شد كه انگيزه اصلي ارائه آن، نداشتن رضايت از ناتواني و ضعف منطق سنتي دوگانه و رياضيات بسيار دقيق در برخورد با جهان واقعي و نادقيق بود (٢٠). در سال ١٩٧٤، ابراهيم ممداني براي اولين بار منطق فازي را در زمينه كنترل يک موتور بخار ساده به كار برد (١٥) و پس از آن در ديگر صنايع كاربرد گسترش يافت. اما نخستين بار در سال ١٩٩٢، منطق فازي توسط بردوسي و همكاران[١] براي محاسبات رگرسيوني در هيدرولوژي به كار برده شد (٨). سپس اشويژهي چون كيندلر[٢] در سال١٩٩٢ (١٢)، كاپرا[٣] در سال ١٩٩٤ (٩)، راسل[٤] در سال ١٩٩٦ (١٦) و شـــــرستا[٥] در سال ١٩٩٦ (١٧)، از منطق فازي در مديريت منابع آب بهره‌گيري نمودند. اما كاربرد منطق فازي در بررسي‌هاي رسوب بسيار جديد بوده و به سال‌هاي اخير بر مي‌شود. تيفور و همكاران[٦] (٢٠٠٣) با بهره‌گيري از داده‌هاي شدت بارندگي و شيب، يک مدل فازي را براي برآورد رسوبات بدست آمده از سطوح بدون پوشش گياهي طراحي نمودند. در اين مدل، مشخصه‌هاي شدت بارندگي و شيب، به عنوان متغيرهاي ورودي و مشخصه رسوب به عنوان خروجي به مدل فازي معرفي شده و روابط بين متغييرهاي ورودي و خروجي، توسط قواعد فازي (به صورت قواعد اگر/آنگاه)، نمايش داده شدند. نتايج مدل بيانگر اين بود كه مقادير رسوب برآورد شده با بهره‌گيري از مدل فازي، با مقادير اندازه‌گيري شده همخواني دارد. از سوي ديگر، نتايج بدست آمده از مدل فازي، با نتايج بدست آمده از مدل‌هاي فيزيكي و شبكه عصبي مصنوعي مقايسه شد كه نتايج نشان داد كه مدل فازي، در شدت بارندگي‌هاي خيلي زياد در شيب‌هاي مختلف و نيز در شيب‌هاي تند تحت شدت بارندگي‌هاي متفاوت، نتايج بهتري را ارائه مي نمايد (١٨). كيسي[٧] (٢٠٠٤) با توجه به نقصي كه روش‌هاي رگرسيوني در برآورد درست رسوب داشتند، براي محاسبه بار رسوب معلق روزانه مقطعي از رودخانه كويبرادا بلانكا، از مدل فازي بهره‌گيري نمود. در اين مطالعه، از ٩ مدل فازي مختلف به منظور برآورد رسوب بهره‌گيري شد كه هر يک از اين مدل‌ها داراي شمار متفاوتي توابع عضويت بودند. مقايسه نتايج بدست آمده از مدل‌هاي ياد شده با آمار ديده شده ٥ ساله ايستگاه هيدرومتري واقع بر روي رودخانه كويبرادا بلانكا، بيانگر اين بود كه مدل‌هاي فازي نسبت به مدل‌هاي رگرسيوني، براي داده‌هاي ورودي همانند، نتايج خيلي بهتري را نشان مي‌دهند و از دقت بالاتري در برآورد رسوب معلق روزانه رودخانه برخوردارند (١٣). كيسي و همكاران[٨] (٢٠٠٤) با بهره‌گيري از مدل‌هاي فازي و رگرسيون آماري، رسوبات معلق رودخانه‌اي واقع در ايالات متحده آمريكا را برآورد نمودند. مقايسه نتايج بدست آمده از مدل‌هاي ياد شده با داده‌هاي ديده شده بدست آمده از اندازه‌گيري صحرايي رسوبات معلق، بيانگر اين بود كه مقادير ارائه شده توسط مدل فازي به مقادير ديده شده نزديكتر بوده و از خطاي آماري كمتري برخوردار مي‌باشند (١٤). جواهري (١٣٨٤) با بهره‌گيري از روش‌هاي معمول آماري و روش فازي، بار رسوب معلق رودخانه‌هاي كارون و دز را برآورد نمود. مقايسه نتايج بدست آمده از اين روش‌ها با بيلان رسوبات معلق ١٠ ايستگاه هيدرومتري واقع بر روي رودخانه‌هاي دز و كارون، بيانگر اين بود كه روش فازي،

١- Bardossy et al.

٢- Kindler

٣- Capra

٤- Russel

٥- Shrestha

٦- Tayfur

٧- Kisi

٨- Kisi et.al.

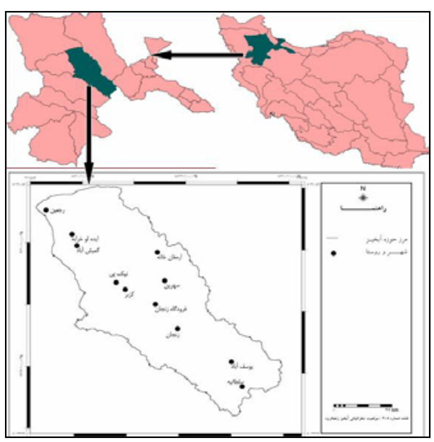
نسبت به روش‌هاي معمول آماري، برآورد دقيق‌تري را از ميزان رسوبات حمل شده ارائه مي نمايد. علاوه بر اين، نتايج نشان داد كه با بهره‌گيري از روش فازي، امكان بررسي تغييرات زماني رسوبات حمل شده توسط جريان وجود دارد (٢).

در اين پژوهش كه با هدف برآورد مقادير بار معلق رودخانه زنجانرود با بهره‌گيري از مدل طراحي شده بر پايه اصول منطق فازي صورت گرفته است، مقادير بار معلق رودخانه ياد شده توسط دو روش هيدرولوژيكي معمول USBR و FAO نيز برآورد شده است تا در عين حال بتوان مقايسه‌اي بين دقت برآورد روش‌هاي هيدرولوژيكي و فازي انجام داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسي

حوزه آبخيز زنجانرود يكي از زير حوضه‌هاي حوزه آبخيز رودخانه قزل اوزن است كه در شمال غرب ايران و در غرب استان زنجان واقع شده است (شكل١). اين حوضه با مساحتي حدود ٤٧٢٧/٣٦ كيلومتر مربع، در محدوده جغرافيايي ٤٧ درجه و ٤٧ دقيقه و ٤١ ثانيه تا ٤٩ درجه و ٤ دقيقه و ٥٥ ثانيه طول شرقي و ٣٦ درجه و ١٧ دقيقه و ٤١ ثانيه تا ٣٧ درجه و ١٣ دقيقه و ٣٦ ثانيه عرض شمالي قرار دارد. ارتفاع حوزه آبخيز زنجانرود از كمينه ١١١٠ متر از سطح دريا در محل اتصال زنجانرود به رودخانه قزل اوزن تا بيشينه ٢١٩٧ متر از سطح دريا در مرز شمالي آبخيز متغيير مي‌باشد. شيب ميانگين حوضه ٣/٨٢ درصد و شيب نيمرخ طولي زنجانرود ٠/٥٥ درصد است. بر پايه روش آمبرژه، اقليم بخش سراب و مياني حوضه نيمه خشك سرد و بخش پاياب حوضه شبه بياباني معتدل مي‌باشد. ميانگين دماي سالانه حوضه ١٠/٥ درجه سلسيوس و ميانگين بارندگي سالانه آن٢٥٦/٢ ميلي‌متر است. دبي ميانگين زنجانرود ٤/٩٤ متر مكعب در ثانيه بوده و ميانگين گل آلودگي بلند مدت آن ٥٨٧ گرم در ليتر مي‌باشد. بر روي رودخانه زنجان رود كه طولي حدود ١٧٠ كيلومتر دارد، ايستگاه هيدرومتري سرچم واقع است كه در طول جغرافيايي ′۵۳-۴۷، عرض جغرافيايي ′۰۷-۳۷ و ارتفاع ١١۵٠ متر از سطح دريا قرار گرفته و مساحت تحت تأثير آن ۴۶۱۴ كيلومتر مربع مي‌باشد.



شكل ١- موقعيت حوزه آبخيز زنجان رود در ايران

داده‌های مورد استفاده

در اين پژوهش، آمار دبي آب و دبي رسوب ايستگاه هيدرومتري سرچم از سازمان تحقيقات منابع آب كشور (تماب) تهيه شده و با توجه به تأثير به سزايي كه اين داده‌ها در نتايج دارند، اقدام به تصحيح و تكميل آمار نيز شده است. يادآوري اين نكته لازم است كه در بيشتر بررسي‌هايي كه انجام مي‌شود، براي رسيدن به ضريب همبستگي واحد، بعضي از مقادير غير واقعي يا مشكوك آمار را از ميان داده‌هاي موجود حذف مي‌كنند كه اين آمار حذف شده به‌طور عموم مربوط به رژيم‌هاي پرآبي و سيلابي كه حجم قابل ملاحظه‌اي مواد معلق با خود دارند و يا رژيم‌هاي دبي رودخانه است؛ اما در اين پژوهش، هيچ داده‌اي از ميان داده‌ها حذف نشده و رژيم طبيعي رودخانه، با توجه به حالت‌هاي رخ داده مدنظر قرار گرفته است. علاوه بر آمار هيدرومتري، آمار هوا و اقليم‌شناسي از سازمان هواشناسي كشور و اطلاعات مربوط به ويژگي‌هاي حوزه آبخيز زنجانرود از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخيزداري و سازمان برنامه‌ريزي و اقتصاد كشاورزي تهيه شده است. نقشه‌هاي پستي و بلندي با مقياس‌هاي ١:٢٥٠٠٠٠ و١:٥٠٠٠٠ منطقه زنجان از سازمان جغرافيائي ارتش جمهوري اسلامي ايران، نقشه زمين‌شناسي با مقياس‌هاي ١:١٠٠٠٠٠ منطقه زنجان-ابهر ازشركت ملي نفت ايران، نقشه زمين‌شناسي با مقياس١:٢٥٠٠٠٠ منطقه زنجان از سازمان زمين‌شناسي كشور، عكس‌هاي هوايي با مقياس‌هاي ١:٢٠٠٠٠ منطقه از سازمان نقشه برداري كشور و تصاوير رقومي ماهواره‌اي لندست - موضوعي مربوط به سال ١٩٩٨ ميلادي تهيه شد. همچنين در اين پژوهش، براي انجام بررسي‌ها، از بسته‌هاي نرم‌افزاري Arc GIS 9.2، R2V، Microsoft Excel 2007 ، Microsoft Word 2007، SPSS 10.1 و Visual Basic 6.0 نيز بهره‌گيري شده است.

روش تحقيق

در روش USBR، براي برآورد رسوب معلق، مقادير دبي رسوب اندازه‌گيري شده (Q_s) و دبي جريان لحظه‌اي متناظر با آنها (Q_w) بر روي محورهاي مختصات لگاريتمي منتقل شده و با گذراندن خط بهترين برازش[١]، منحني سنجه رسوب[٢] ايستگاه ياد شده ترسيم شده و معادله منحني سنجه رسوب (معادله١) و ضريب‌هاي مربوطه (b,a) شد (شكل٢).

$$Q_s = aQ_w^b \qquad (١)$$

معادله ١، تابع بدست آمده از رگرسيون خطي بين دبي جريان و دبي رسوب مي‌باشد (معادله٢). در واقع در روشUSBR، براي اينكه بتوان توزيع بين دبي آب و دبي رسوب را به يكديگر نزديك تر ساخت، از لگاريتم داده‌هاي اندازه‌گيري شده، بهره‌گيري مي‌شود.

$$\log Q_s = b.\log Q_w + \log a \qquad (٢)$$

با تعيين معادله و ضريب‌هاي منحني سنجه رسوب و با بهره‌گيري از داده‌هاي موجود دبي جريان روزانه‌اندازه‌گيري شده، مقادير رسوب حمل شده توسط جريان به صورت روزانه محاسبه شده و با جمع مقادير رسوبات روزانه محاسبه شده در يک سال، رسوبات انتقال يافته سالانه برآورد شده است.

در روش FAO، پس از برازش منحني سنجه رسوب، معادله سنجه رسوب تعيين شد؛ ولي از معادله‌اين خط كه از نقطه ميانگين عبور مي‌كند، بهره‌گيري نشد و به جاي آن از معادله خطي موازي كه از ميانگين دبي آب و دبي رسوب عبور مي‌كند، بهره‌گيري شد (شكل ٣). علت اين است كه در روش USBR، به دليل بهره‌گيري از لگاريتم داده‌ها، پخشيدگي داده‌ها پيرامون خط بهترين برازش نامتقارن بوده و فاصله حد اطمينان بالايي با خط رگرسيون بيشتر از حد

١- line of best fit

٢- Sedimrnt-rating curve

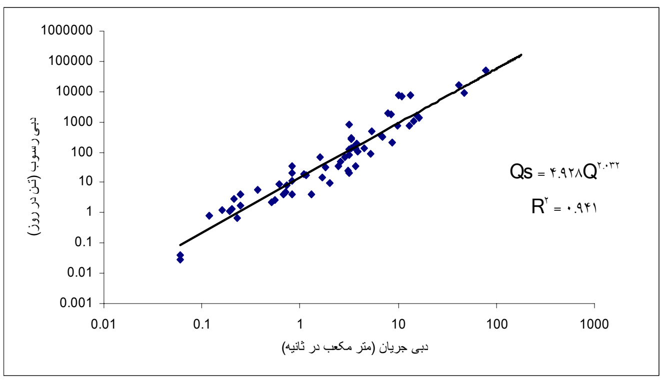
اطمينان زيرين است و در نتيجه دبي رسوب برآورد شده براي هر دبي آب (Q_w) به مقـادير كمينـه ديـده شـده نزديـك‌تـر مي‌باشد. لذا براي تعديل ارقام و نزديك كردن مقادير بـرآورده شده از منحني سنجه رسوب به مقادير ديده شـده، از معادلـه جديدي به صورت زير بهره‌گيري شد:

$$Q_s = a'Q_w{}^b \qquad (۳)$$

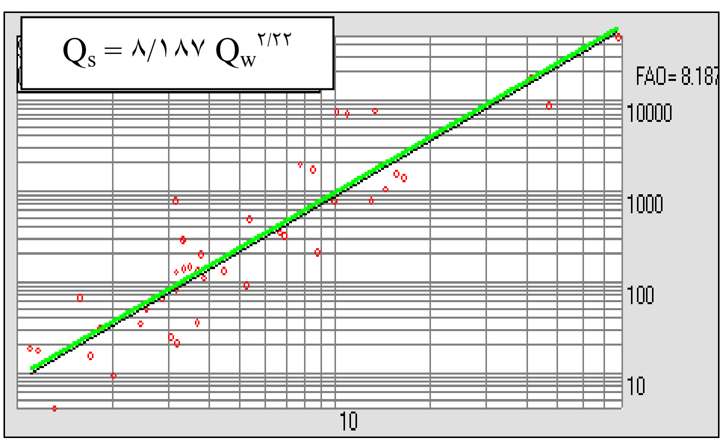
براي برآورد بار معلق با بهره‌گيري از معادله بالا، گام اول تعيين ضريب 'a (ضريب فائو) و قرار دادن آن در معادله سنجه رسوب به جاي ضريب a بود. براي تعيين ضريب'a، برابر رابطه ۴، ميانگين دبي‌هاي رسوب اندازي گيري شده را بر دبي‌هاي جريان متناظر آنها تقسيم شد:

$$a' = \frac{\overline{Q}_s}{\overline{Q}_w} \qquad (٤)$$

پس از تعيين ضريب 'a و قرار گيري آن در معادله سنجه رسوب (شكل ۳)، داده‌هاي مربوط به دبي روزانه‌ايستگاه سرچم در معادله سنجه رسوب قرارگرفته و بار معلق همان روز برآورد شده است. بر اين پايه، براي هر سال ۳۶۵ (سال كبيسه ٣٦٦) رقم بار معلق روزانه برآورد شده است كه مجموع آنها، بار معلق حمل شده در طول سال مي‌باشد.



شكل ۲ – منحني سنجه رسوب ايستگاه سرچم



شكل ۳ – ضريب فائو و معادله جديد سنجه رسوب ايستگاه سرچم

به منظور محاسبه بار معلق با بهره‌گيري از روش فازي، از فرآيند خوشه‌سازي فازي C– ميانگين هدايت شده[1] كه در حقيقت فرآيندي براي شناخت الگوي واقعي مربوط به مشخصه‌هاي مختلف است، بهره‌گيري شده است؛ زيرا الگوريتم خوشه‌سازي فازي، با دسته‌بندي داده‌هاي اندازه‌گيري شده بر پايه دبي، امكان جداسازي نقاط مربوط به دبي پايه يا سيلابي و دوره‌هاي پر آبي يا كم آبي رودخانه و را فراهم مي آورد. از سوي ديگر، با وارد نمودن عامل زمان در محاسبات فازي، امكان بررسي تغييرات زماني غلظت رسوبات و دبي را نيز برايمان فراهم مي‌كند (١). تابع تعيين درجه تعلق در اين روش يك تابعه ٢ بعدي است كه يك بعد آن دبي جريان و بعد ديگر آن زمان اندازه‌گيري است. چنانچه تاريخ ثبت دبي جريان– دبي رسوب i ام به ترتيب سال– ماه–روز به صورت (y-m-d) نشان دادن داده شود، مشخصه كمي زمان به اين صورت تعيين مي‌شود:

$$t_i = y_i + \frac{(m_i - 1 + di/30)}{12} \qquad (٥)$$

بر اين اساس تابع درجه تعلق فازي مربـوط بـه دبـي Q_j در زمان t_j به مركز خوشه Q_i به صورت زير محاسبه مي‌شود.

$$w_{ij} = e^{-\alpha_1 (Q_j - Q_i)^2 - \alpha_2 (t_j - t_i)^2} \qquad (٦)$$

ضريب‌هاي α_1 و α_2، ضريب‌هايي هستند كه دامنه فازي بودن سامانه را نشان مي‌دهند. با تعيين مقادير α، مقادير w_{ij} براي هر Q_j در كليه نقاط ديده شده تعيين و مقادير آن عادي‌سازي مي‌شود.

$$Sum \quad w_j = \sum_{l=1}^{C} w_{jl} \qquad (٧)$$

١- Supervised Fuzzy C- mean Clustering Method

$$w_{jl}^N = w_{jl} / Sum \quad w_j \qquad (٨)$$

به‌اين ترتيب ميزان رسـوب پـيش‌بينـي بـراي دبـي Q_j در زمان t_j از رابطه زير تعيين مي‌شود.

$$Qs\hat{}_j = \sum_{i=1}^{n} W_{ij}^N Q_{si} \qquad (٩)$$

سپس ميزان رسوبات انتقال يافته در هر سال، با جمع مقادير رسوبات هر روز در يك سال آماري محاسبه مي‌شود (٢).

براي برآورد مقادير رسوب حمل شده توسط جريان با روش خوشه‌سازي هدايت شده فازي، كليه مفاهيم و روابط ياد شده به صورت الگوريتم‌هايي در محيط Visual Basic 6.0 تعريف شده و مدلي فازي تهيه شد. در زير نمونه‌اي از الگوريتم‌هاي بهره‌گيري شده براي تعريف مشخصه كمي زمان بيان شده است.

```
 Input #1, SALQS(I), MAHQS(I),
ROZQS(I), QQS(I), QS(I)
 TQS(I) = SALQS(I) + (MAHQS(I) - 1) / 12
+ ROZQS(I) / 365
 Loop Until EOF(1) Or I = 10000
 NQS = I
 Close #1..............................................
```

با توجه به آنكه ميزان انتقال رسوبات سالانه تابع ميزان جريان عبوري مي‌باشد كه خود عاملي متغير است، در اين پژوهش، براي بررسي بيلان رسوب و تغييرات زماني آن و تفسير نتايج محاسبات، از منحني جرم مضاعف كه يكي از مناسب‌ترين روش‌هاي تشخيص انحراف داده‌ها ناشي از ناهمگني يا تغيير شرايط بهره برداري تحت تاثير عامل يا عوامل نامشخص مي‌باشد (٢)، استفاده شده و مقادير دبي تجمعي در برابر مقادير رسوب تجمعي محاسبه شده با روش‌هاي USBR، FAO و فازي ترسيم شده است.

در ادامه، به منظور بررسي كارايي روش‌هاي مورد استفاده در اين پژوهش براي برآورد بار معلق، از مشخصه‌هاي آماري ميانگين مربعات خطا (RMSE)، ضريب تعيين (R^2) و درصد خطاي نسبي (RE) كه به صورت زير تعريف مي‌شوند، بهره‌گيري شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{Si}-\widetilde{Q}_S)^2} \quad (۱۰)$$

$$R^2 = 1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{Si}-\widetilde{Q}_S)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{Si}-\overline{Q}_S)} \quad (۱۱)$$

$$RE=\frac{|\hat{O}-O|}{O}\times ۱۰۰ \quad (۱۲)$$

كه در آنها: Q_{si}: رسوب ديده شده، Q_s: رسوب برآوردي، $\overline{Q}_S$: ميانگين رسوب ديده شده، $\widetilde{Q}_S$: ميانگين رسوب برآوردي است.

يكي از ساده ترين روش‌ها در بيشتر معادله‌هاي رگرسيوني براي تعيين دقت و درستي مدل، تعيين ضريب همبستگي (R^2) و ضريب تبيين مدل (CI) مي‌باشد. به‌طور معمول ضريب همبستگي براي مدل‌هايي كه داراي يک مشخصه مستقل مي‌باشند به كار مي‌رود، اما ضريب تبيين براي مدل‌هايي كه داراي دو تا چند متغير مستقل باشند كاربرد دارد. از آنجايي كه روابط مورد بهره‌گيري در روش‌هاي USBR و FAO روابط نمايي مي‌باشند، بنابراين شمار متغيرهاي آنها بيشتر از يک (۲ متغير) بوده و بايستي ضريب تبيين را تعيين نماييم. براي تعيين ضريب تبيين، پس از هر كاري بايد درجه آزادي را از راه رابطه زير مشخص نماييم.

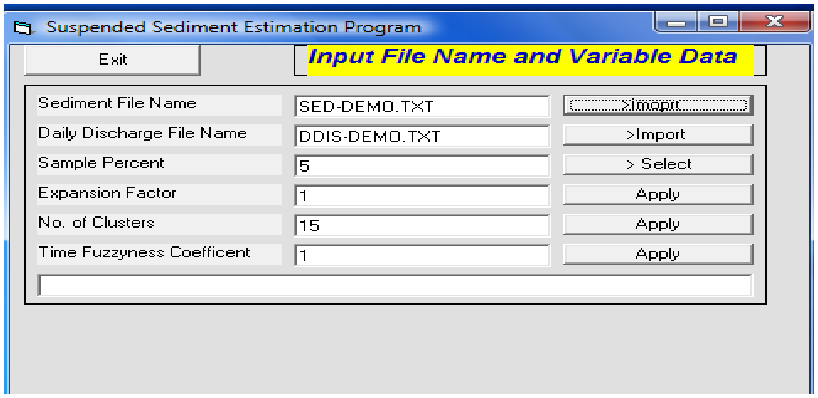
$$df=n-m \quad (۱۳)$$

كه در اين رابطه: df درجه آزادي، n شمار داده داده‌ها و m شمار متغيرها (در روابط نمايي برابر با ۲) مي‌باشد.

در اين پژوهش، پس از تعيين ميزان درجه آزادي ايستگاه سرچم با بهره‌گيري از رابطه df=n۲-، با بهره‌گيري از جدول سطح اعتماد به خط رگرسيون در سطح اعتماد ۱%، معني دار بودن ضريب همبستگي و در نهايت مناسب بودن معادله رگرسيوني را تعيين شده است.

نتايج

بررسي نتايج روش‌هاي USBR و FAO نمايانگر اين است كه ميزان ضريب‌هاي a، 'a و b به ترتيب ۴/۹۲۸، ۸/۱۸۷ و ۲/۲۲ است. ميزان ضريب همبستگي تابع رگرسيون (R^2) نيز ۰/۹۴۱بوده است كه با توجه به ميزان ضريب تبيين ۰/۳۲۳، در سطح اعتماد ۱% و درجه آزادي٦١، معني دار بوده و در نتيجه نشان دهنده همبستگي مناسب بين داده‌هاي دبي و رسوب اندازه‌گيري است. پس از تعيين ضريب‌هاي ياد شده، مقادير ميانگين رسوب سالانه حمل شده توسط جريان، با روش‌هاي ياد شده محاسبه شده است (جدول۱). سپس در محيط Visual Basic 6.0، پس از تعريف الگوريتم‌هاي روش فازي، مدلي فازي به نام "Suspended Sediment Estimation Program" برابر شكل ۴ تهيه شده است.



شكل ۴- مدل فازي طراحي شده براي برآورد بار معلق رودخانه

همان‌گونه كه در شكل ٢ ملاحظه مي‌شود، مدل ياد شده از چند بخش به شرح زير تشكيل شده است:

١) Sediment File Name: در اين قسمت نام فايلي كه محتوي مقادير دبي رسوب لحظه‌اي اندازه‌گيري شده هر ايستگاه، همراه با مقادير همزمان دبي جريان لحظه‌اي و تاريخ نمونه برداري (سال، ماه و روز) مي‌باشد، با زدن دكمه Import وارد مدل مي‌شود. يادآوري اين نكته لازم است كه مقادير ياد شده بايستي به صورت فايل متني وارد شوند و پسوند آنها TXT. باشد.

٢) Daily Discharge File Name: در اين بخش، فايل متني محتوي مقادير دبي جريان روزانه هر ايستگاه، همراه با تاريخ رخ دادشان (سال، ماه و روز) را وارد مدل مي‌شود.

٣) Sample Percent: در اين قسمت درصد نمونه‌ها را گزينش مي‌شود؛ هر چه شمار داده‌هاي همزمان دبي رسوب و دبي جريان لحظه‌اي بيشتر باشد، درصد كمتري گزينش مي‌شود. هرچه درصد نمونه گيري بيشتر باشد، زمان بيشتري براي تنظيم نياز داريم. در اين مدل، بسته به شمار داده‌ها، از سطوح نمونه‌گيري ۵ تا ٣٠ درصد بهره‌گيري شده است.

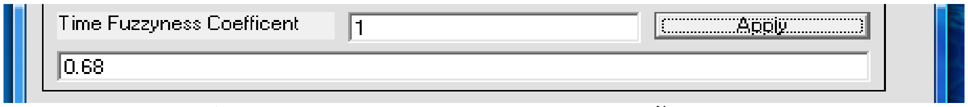
۴) Expansion Factor: اين قسمت مربوط به دامنه گسترش خوشه‌هاي فازي است. به عبارت ديگر، ميزان اشتراك هر خوشه را با خوشه‌هاي مجاور نشان مي‌دهد. چنانچه ميزان آن كمتر از يک باشد، ميزان همپوشاني با خوشه‌هاي مجاور كاهش مي يابد؛ اما چنانچه ميزان آن برابر با يک باشد، همپوشاني كل فضاي محاسباتي را به طور كامل داريم. بنابراين براي داشتن همپوشاني كاملي از خوشه‌ها، به طور ثابت ميزان Expansion Factor روي عدد ١ داده شده است.

۵) No. of Clusters: اين بخش مربوط به شمار خوشه‌ها است. با توجه به بررسي‌هاي صورت گرفته در اين زمينه، اگر چنانچه شمار خوشه‌ها كم شود، دقت پايين مي آيد؛ در صورتي كه شمار خوشه‌ها از ١۵ بيشتر باشد، دقت تغييري نكرده و تنها حجم كار بالا مي‌رود. بنابراين ميزان آن به طور ثابت برابر با صفر قرار داده شده است.

۶) Time Fuzziness Coefficient: اين بخش، مهم‌ترين قسمت مدل مي‌باشد كه مربوط به ضريب فازي ساز زمان است. برتري روش Fuzzy نسبت به ديگر روش‌ها گزينش اين است كه در اين روش عامل زمان نيز وارد محاسبات مي‌شود. اما چون زمان و دبي مشخصه‌هاي يكساني نبوده و از يک جنس نيستند، در نتيجه بايد از يک ضريب زماني بهره‌گيري شود تا اين كه‌اين ضريب آن اندازه روي زمان تأثير بگذارد كه تأثير زمان روي داده‌ها بهتر ديده شود.

در ادامه، پس از وارد نمودن فايل محتوي مقادير همزمان دبي رسوب و دبي جريان لحظه‌اي در قسمت Sediment File Name و تعيين درصد نمونه برداري، عامل گسترش خوشه‌ها و شمار خوشه‌ها، به روش آزمون و خطا اقدام به

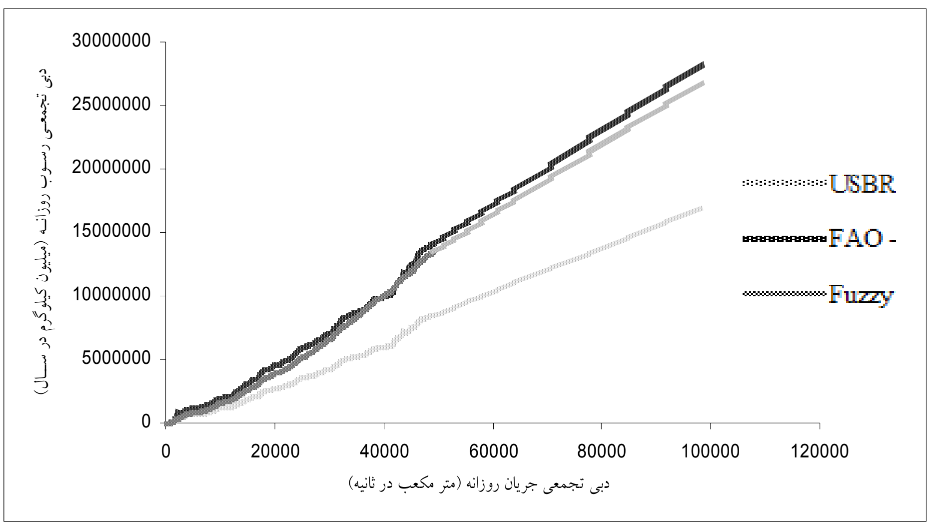
تغيير مقادير ضريب فازي ساز زمان شده است؛ تا جايي كه ضريبي كه كمترين خطا را نشان دهد، تعيين شود. (شكل ۵)



شكل ۵- خطاي برآوردي براي مدل به ازا، ميزان ضريب فازي ساز گزينشي

پس از تعيين بهترين ضريب فازي ساز زمان و قرار دادن آن در بخش مربوطه، در قسمت Daily Discharge File Name، فايل متني دبي‌هاي روزانه‌ايستگاه مورد نظر وارد شده و بدين ترتيب مقادير رسوب روزانه حمل شده توسط جريان به ازاء دبي‌هاي روزانه محاسبه شده است. سپس فايل متني محتوي دبي‌هاي رسوب روزانه به محيط Excel منتقل شده و مقادير ميانگين سالانه رسوب معلق ايستگاه سرچم را محاسبه شده است (جدول ۱).

براي بررسي بيلان رسوب و تغييرات زماني آن و تفسير نتايج محاسبات منحني جرم مضاعف ايستگاه سرچم نيز برابر شكل ٦، مقادير دبي تجمعي در مقابل مقادير رسوب تجمعي محاسبه شده با روش‌هاي USBR، FAO و فازي ترسيم شده است. بررسي منحني جرم مضاعف نمايانگر اين است كه روش فازي، ميزان حدوسط (واقعي‌تر) دو روش USBR وFAO را محاسبه نموده است.



شكل ۶- منحني جرم مضاعف مقادير تجمعي دبي رسوب در برابر مقادير تجمعي دبي جريان ايستگاه سرچم

براي مقايسه آماري روش‌هاي مورد استفاده و تعيين بهترين روش براي برآورد بار معلق رودخانه زنجان رود نيز از روش‌هاي آماري مانند درصد خطا و مجموع مربعات خطا بهره‌گيري شده است. (جدول ۲).

نتايج بيانگر اين است كه درصد خطاي روش فازي در ايستگاه سرچم ۲/٦۳٦ درصد بوده كه‌اين ميزان در مورد روش‌هاي USBR و FAO به ترتيب ۱۷/۳۴۸ و ۲۹/۳۶۰ بوده است. مجموع مربعات خطاي بدست آمده براي روش‌هاي USBR، FAO و فازي نيز از الگوي همساني پيروي نموده و به ترتيب ۱۰۸۴/۰۲۵، ۲۹۹۲/۳۷۹ و ۷۳۳/۲۴۹ بوده است. يادآوري اين نكته لازم است كه روش‌هاي FAO و فازي، مقاديري بيشتر از واقعيت را براي ايستگاه سرچم برآورد نموده‌اند؛ در صورتي كه روش USBR ميزان كمتر از واقعيتي را برآورد نموده است.

جدول ١- مقادير رسوب معلق ميانگين سالانه برآورد شده به روش‌هاي **Fuzzy**، **USBR** و **FAO** در ايستگاه سرچم

ميانگين دبي **Fuzzy** رسوب با (ميليون كيلوگرم در سال)	ميانگين دبي **FAO** رسوب با (ميليون كيلوگرم در سال)	ميانگين دبي **USBR** رسوب با (ميليون كيلوگرم در سال)	ميانگين دبي جريان (مترمكعب در ثانيه)	سال آبي
٨٢٠/١٦٨٦	٧٢٤/٣٠٤٦	١٨٣٤/٠٢٦	٨/٨٥٨	١٣٥٣-٥٤
١٧٤٩/٠٢٣	١٩٢٢/٧٧٨	١١٥٧/٤٤٨	٩/٤١٠	١٣٥٤-٥٥
٤٥٦/٢١٧	٤٨٢/٠٤٣	٢٩٠/١٧٤	٥/٦٨١	١٣٥٥-٥٦
١٣٠/٤٥٢	٩٥/٩٥٩	٥٧/٧٦٤	٢/٩٩٧	١٣٥٦-٥٧
٢٣٥/٤٩٠	١٩٦/٩٩٥	١١٨/٥٨٤	٣/٨٠٧	١٣٥٧-٥٨
٩٤٩/٣٢٢	١٠٠٤/٤٧٧	٦٠٤/٦٦١	٥/٥٨٩	١٣٥٨-٥٩
٢٠٠٥/٤٧٤	٢١٥٠/٢٥٥	١٢٩٤/٣٨٢	٩/٢٧١	١٣٥٩-٦٠
٤٥٢/٣٨٦	٢٨٥/٤٣٨	١٧١/٨٢٤	٤/٠٤١	١٣٦٠-٦١
٣١٦٥/٥٥٤	٣٥٤٨/١٧١	٢١٣٥/٨٨٠	١٣/٤٥٢	١٣٦١-٦٢
١٥٩١/٦٧٢	١٨٦٢/٩٠١	١١٢١/٤٠٤	٦/٧٨١	١٣٦٢-٦٣
٣٦٨٦/٠٦٤	٤١٨١/٨٦٣	٢٥١٧/٣٤٢	١٢/٧٠٨	١٣٦٣-٦٤
١٤٥٤/٣٠٩	١٥٩٤/٧٢٧	٩٥٩/٩٧٢	٧/٦٣٣	١٣٦٤-٦٥
١٢٥٥/٠٤٠	١١٩٨/٢٢٤	٧٢١/٢٩١	٧/٠٨٣	١٣٦٥-٦٥
٤٣٣٣/٤٣٢	٤٨٧٥/٥٠٧	٢٩٣٤/٨٩٢	١٥/٤١٦	١٣٦٦-٦٧
١٧٨٣/٧١٥	١٢٦٧/٠٦٢	٧٦٢/٧٢٩	٧/٠٠٠	١٣٦٧-٦٨
٣٣١١/٢٧٥	٢٦٦٤/٩٤٤	١٦٠٤/٢٠٧	١١/١٨٠	١٣٦٨-٦٩
٣٦٨٥/٧٩٣	٣٣٢٣/٨٧٨	٢٠٠٠/٨٦٤	١١/٦٣٧	١٣٦٩-٧٠
٥٩٦٦/٣٣٥	٦٦٤٩/٦٨٠	٤٠٠٢/٨٨٥	١٥/٧٥١	١٣٧٠-٧١
٢٥١٢/٤٩٩	١٥٩٤/١٧٠	٩٥٩/٦٣٧	٨/١٥٦	١٣٧١-٧٢
٦٣١٥/٢٥٢	٤٨٢٠/٦١٤	٢٩٠١/٨٤٨	١٧/٦٤٢	١٣٧٢-٧٣
٢٤٩٤/٦٩٥	١٠٢٠/٧٣١	٦١٤/٤٤٦	٨/٧٦٢	١٣٧٣-٧٤
٦٠٩١/٨٤٩	٨٢٠٧/٣٨٩	٤٩٤٠/٥٧٤	١٤/١٤٦	١٣٧٤-٧٥
١٦٠٠/٢٤٩	٢٧٨٢/١٤٥	١٦٧٤/٧٥٨	٤/٨٥٩	١٣٧٥-٧٦
٥٥٨٧/٧٣٢	٦٥٢٩/٢٦٤	٣٩٣٠/٣٩٩	١٣/٨٤٥	١٣٧٦-٧٧
٥٧٦/٠٠٥	٤٩٨/١٢٠	٢٩٩/٨٥٢	٢/٥٨٣	١٣٧٧-٧٨
١٤٠١/٣٥٨	١٥٤٥/١٣٠	٩٣٠/١١٦	٤/٤٨٣	١٣٧٨-٧٩
٤٤/١٦٧	٢٠/٠٣٠	١٢/٠٥٨	١/٣١٠	١٣٧٩-٨٠
٣٨/٠٦٣	١٣/٢٢٥	٧/٩٦١	١/١٣١	١٣٨٠-٨١
٢٣٠٥/٧٢٣	٢٤٠٦/٥١٦	١٤٤٨/٦٤٢	٨/٤٠٠	ميانگين دوره

جدول ٢- نتايج آزمون آماري مقادير رسوب معلق برآورد شده در ايستگاه سرچم

مجموع مربعات خطا	درصد خطا	دبي رسوب FAO -	مجموع مربعات خطا	درصد خطا	دبي رسوب USBR-	مجموع مربعات خطا	درصد خطا	دبي رسوب FUZZY-	دبي رسوب ديده شده	دبي لحظه‌اي	مشخصه كمي زمان
	٧٣/٨٨٠	٤١٣/٠٩٦		١٨٨/٨٥٣	٢٤٨/٦٧٠		١٧/٥٢١	٨٧٠/٨٧٩	٧١٨/٢٩٠	٦/٨٩٠	١٣٥١/٥٥٠
	١٠/٧٠٧	٨٦٩/٧٩١		٤٨/٣٣٥	٥٢٣/٥٨٥		٤١/٨٦٧	١٣٣٦/٠١٠	٧٧٦/٦٦٠	٩/٩٤٠	١٣٥١/٩٧٩
	٤٣/٠١٩	٢٤٠٥/٤٧٩		٥/٣٤٢	١٤٤٨/٠١٨		٤٦/٤٠٨	٢٥٥٧/٦٠٤	١٣٧٠/٦٧٠	١٦/٤٠٠	١٣٥٢/٠٦٨
	٢٣١/٩٣٩	١٠٣/٧٣٦		٤٥١/٤٢٥	٦٢/٤٤٦		٣٦/٧٢٠	٥٤٤/١٤٩	٣٤٤/٣٤٠	٣/٤٩٠	١٣٥٢/٩٣٠
	٩٤/٩٩٤	٢٤٨/٩٦٦		٢٢٣/٩٢٩	١٤٩/٦٩		٢٨/٤٧٥	٦٧٨/٧٣٧	٤٨٥/٤٧٠	٥/٣٧٠	١٣٥٢/٩٧٧
	٧٨/٩٥١	٦٧٤/٤٠٨		١٩٧/٢٧٧	٤٠٥/٩٧١		٢/٣٨٦	١١٧٨/٧٣٢	١٢٠٦/٨٦٠	٨/٧٧٠	١٣٥٢/١٢٧
	٥٧/٢٤٢	٢٠٥١٣/٢٣١		٢٨/٩٧٠	١٢٣٤٨/٢٧٨		٣٨/٤٦٧	٦٣٣٤/٣٥٠	٨٧٧١/٠٠٠	٤٧/١٠٠	١٣٥٣/٠٩٢
	١٤٨/٤١٧	٢٣٧/٧٩٤		٣١٢/٦٧٦	١٤٣/١٤٤		١٦/٢٨٠	٧٠٥/٥٨٨	٥٩٠/٧٢٠	٥/٢٥٠	١٣٦١/١٠٣
	٢٦٩/٩٤٢	٥٢٤/٦٠٢		٥١٤/٥٥٦	٣١٥/٧٩٣		١/٩٦٤	١٩٧٩/٦٠٣	١٩٤٠/٧٢٤	٧/٧٥٠	١٣٧٦/٩٩١
	٢٠٦/٠٤٣	٩٣/٧٢٨		٤٠٨/٤٠٦	٥٦/٤٢١		٣١/٦٤١	٤١٩/٦١٨	٢٨٦/٨٤٨	٣/٣٢٠	١٣٧٧/٠١٦
	١٠٩١/٠٣٢	٩/٩٣٦		١٨٧٨/٥٦٨	٥/٩٨١		١٤/٨٧٦	١٣٩/٠٢٥	١١٨/٣٤٣	١/١٠٠	١٣٧٧/١٩٤
	٢٠١/٧٩٨	٩٢/٥٨٤		٤٠١/٣٥٣	٥٥/٧٣٣		٣٦/٩٩٧	٤٤٣/٥٠١	٢٧٩/٤١٨	٣/٣٠٠	١٣٧٧/٠٩٧
٢٩٩٢/٣٧٩	٢٩/٣٦٠	٢٩١٢٢/٤١٩	١٠٨٤/٠٢٥	١٧/٣٤٨	١٧٥٣٠/٧٢٢	٧٣٣/٢٤٩	٢/٦٣٦	٢١١٢٨/٩٩٤	٢٠٥٧١/٩٧٣		مجموع

بحث و نتیجه گیری

با توجه به تجزیه و تحلیل آماري روش هاي مورد بررسي، روش فازي حجم رسوبات انتقال یافته را دقیق‌تر از روش‌هاي USBR و FAO محاسبه نموده است که‌این نتیجه با نتایج بررسي‌هاي کیسي (٢٠٠۴) و کیسي و همکاران (٢٠٠۴) همخواني دارد.

در بیشتر موارد، روش USBR میزان کمتر از واقعیتي را ارئه نموده است که عامل آن کمبود آمار نمونه برداري در مواقع پرآبي بوده است؛ زیرا در محاسبه ضریب‌هاي منحني سنجه رسوب، با کلیه نقاط دیده شده یکسان برخورد شده است و از آنجا که بیشتر نقاط اندازه‌گیري دبي جریان– دبي رسوب رودخانه‌ها در زمان اندازه‌گیري دبي پایه صورت گرفته و شمار داده‌ها در زمان سیل به مراتب کمتر بوده است، لذا در نهایت روش USBR به سمت مقادیر پائین گرایش پیدا کرده است. از طرفي، با توجه به این نکته که بیشترین میزان رسوب هنگام رخداد سیل از رودخانه عبور کرده است، کاربرد این روش در محاسبه میزان رسوب حمل شده در شرایط سیلابي با خطا همراه است. این نتایج در راستاي نتایج بررسي‌هاي عرب خدري (١٣٨٠)، میرابوالقاسمي و همکاران (١٣٧۴)، میرزایي (١٣٨١) و والینگ (١٩٧٧) بوده است (۴، ۶، ٧ و١٩). در روش FAO نیز محدود بودن تغییرات دبي آب نسبت به تغییرات بار معلق رودخانه، باعث بزرگ شدن ضریب `a و در نتیجه برآورد بیشتر بار معلق نسبت به روش USBR شده است که این نتیجه، همانند نتیجه بدست آمده از بررسي‌هاي میر ابوالقاسمي و همکاران (١٣٧۴) و جونز وهمکاران (١٩٨١) بوده است (۶ و ١١). از سوي دیگر روش‌هاي USBR و FAO، شرایط زماني و فیزیکي ویژه اندازه‌گیري داده‌ها را در نظر نگرفته‌اند؛ به عنوان مثال مشخص نیست که هر کدام از نقاط روي منحني مربوط به دبي پایه بوده‌اند یا دبي سیلابي؛ و یا مشخص نیست داده‌ها مربوط به دوره‌هاي پر آبي بوده‌اند یا دوره کم آبي رودخانه (٢). این در حالي است که در بررسي انتقال رسوب رودخانه‌ها، شناخت الگوي واقعي انتقال رسوب و تغییرات زماني آن در ماه‌ها، فصول و یا سال‌هاي مختلف با توجه به دبي جریان داراي اهمیت ویژه‌اي است. این موضوع زماني اهمیت مي‌یابد که شمار نقاط دیده شده به‌ویژه در نقاط داراي اهمیت زیاد (سیلاب‌ها) به مراتب کمتر است. الگوریتم خوشه سازي فازي با دسته‌بندي داده‌هاي اندازه‌گیري شده بر پایه دبي، امکان جداسازي نقاط مربوط به دبي پایه یا سیلابي و دوره‌هاي پر آبي یا کم آبي رودخانه را فراهم نموده است که این نتیجه با نتایج بدست آمده از بررسي‌هاي جواهري (١٣٨۴)، کیسي (٢٠٠۴) و کیسي و همکاران (٢٠٠۴) همخواني دارد. از سوي دیگر، روش فازي، توان تشخیص محدوده زماني رخداد تغییرات رژیم رسوبي را در رودخانه داشته است، زیرا بر خلاف روش‌هاي USBR و FAO که دو بعدي بوده و در آنها تنها دبي آب و دبي رسوب مورد بررسي قرار گرفته است، در روش فازي عامل زمان نیز وارد محاسبات شده است که‌این نتیجه نیز همانند نتیجه بررسي‌هاي جواهري (١٣٨۴) بوده است.

بنابراین روش فازي، به علت برآورد نزدیک به واقعیت مقادیر رسوب حوضه و توان تشخیص محدوده زماني رخداد تغییرات رژیم رسوبي در رودخانه، مناسب ترین روش براي برآورد بار معلق رودخانه زنجانرود مي‌باشد که مي‌تواند در اتخاذ روش‌هاي بهینه مدیریت حوزه آبخیز، به‌ویژه در مورد مسایل رسوبگذاري و فرسایش مورد بهره‌گیري قرار گیرد.

با توجه به نتایج مقبول و نزدیک به واقعیتي که روش فازي در حوزه آبخیز زنجانرود داشته است، توصیه مي‌شود که دیگر روش‌هاي هوش مصنوعي اعم از الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm)، شبکه‌هاي عصبي مصنوعي (Artificial Neural Network) و شبکه عصبي فازي (Neuro Fuzzy Network) نیز در این حوضه و دیگر حوزه‌هاي آبخیز، مورد بررسي قرار گیرد. همچنین با توجه به نتایج به‌نسبت ضعیفي که روش‌هاي USBR و FAO داشته‌اند بهتر است از این روش‌ها بهره‌گیري نشود؛ اما به علت

بهره‌گيري گسترده‌اي كه از اين روش‌ها به عمل مي‌آيد، بايستي در مورد آنها نسبت به تعيين چندين عامل تعديل‌كننده اقدام شود.

از سوي ديگر، با توجه به‌اينكه بيشترين مقادير بار معلق عمدتاً در مواقع سيلابي و پرآبي توسط رودخانه حمل مي‌شوند، لذا لازم است كه در ايستگاه‌هاي رسوب سنجي امكانات لازم براي نمونه مستمر و همزمان در مواقع سيلابي فراهم شود و در صورت امكان تغييرات بار رسوبي رودخانه، به صورت ساعتي در رژيم‌هاي سيلابي رودخانه ثبت شود.

منابع

۱- تشنه لب، محمد، نيما صفارپور و داريوش افيوني، ۱۳۸۵. سيستم‌هاي فازي و كنترل فازي، انتشارات دانشگاه صنعتيخواجه نصيرالدين طوسي، ص ۵۲۶

۲- جواهري، نصرا ، ۱۳۸۴. مقايسه روش‌هاي رگرسيون آماري و فازي براي برآورد بار رسوبي رودخانه‌هاي كارون و دز، مجله علمي كشاورزي، شماره ۲، ص ۱۸۳-۱۹۹

۳- جورابيان، محمود و رحمت ا هوشمند، ۱۳۸۱. منطق فازي و شبكه‌هاي عصبي، دانشگاه شهيد چمران اهواز، ص ۳۰۰

٤- عرب خدري، محمود، ۱۳۸۰. روش هاي افزايش دقت برآورد بار معلق رودخانه‌ها، همايش ملي مديريت اراضي- فرسايش خاك و توسعه پايدار، ص ۱۱۴-۱۲۵

۵- فرمنش مونس، علي،۱۳۸۰. روش‌هاي طراحي و تجزيه و تحليل الگوريتم ها، انتشارات دانشگاه امير كبير، ص ۲۹۷

۶- ميرابوالقاسم، هادي. و سعيد مريد، ۱۳۷۴. بررسي روش‌هاي هيدرولوژيكي برآورد بار رسوب معلق رودخانه‌ها، مجله آب و تكنولوژي، وزارت نيرو، سال سوم، ۳، ص ۵۴-۶۷

۷- ميرزايي، محمدرضا، ۱۳۸۱. مقايسه روش‌هاي آماري برآورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردي گرگانرود)، پايان نامه كارشناسي ارشد، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ص ۱۳۰

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

9-Capra, A, 1994. Application of Fuzzy sets to Drought Classification, Advances in Water resource technology and management, Balkema Publication, ISBN 90 54103892, P 479-483.

10- Jang, J.S.R., 1993. ANFIS;Adaptive a network based fuzzy inferencesystem, IEEE Trans.Sys., Man and Cybernetics 23(3): 665-685.

11-Johns, K.R.O., D.P. Berney, & E.C.Barrettand, 1981. Arid zone hydrology for agricultural development, FAO Irrigation and drainage paper, 37: 271

12- Kindler, J., 1992. Rationalizing Water Requirements with Aid of Fuzzy Allocation Model, Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE, 118 (3): 308-323

13- Kisi, O., 2004. Daily Suspended sediment modelling using a fuzzy differential evilution approach , Hydrological Sciences Journal , 49(1): 183-197

14- Kisi, O., M.E.Karahan & Z.Sen, 2006. River Suspended sediment modelling using a fuzzy logic approach , Hydrological Process J. , 20(20): 4351-4362

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

16- Russel, S.O., 1996. Reservoir Operating Rules with Fuzzy Programming, Journal of Water resource planning and management, ASCE, 122(3):165-170.

17- Sherstha, B., L.Duckstein & E.Z.Stakhiv, 1996. Fuzzy Rule based Modeling of Reservoir Operation, Journal of Water resource planning and management, ASCE, 122(4): 262-269.

18-Tayfur, G., S.Ozdemir & V.P.Singh, 2003. Fuzzy logic algorithm for runoff-induced sediment transport from bare soil surface , Advances in water resources , 26(12):1249-1256

19-walling, D.E. & B.W.Webb, 1988. The reliability of rating curves estimates of suspended sediment yield: some further comments, IAHS, Publ, 173:337-349

20-Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, 8:338-353.

Modeling river suspended load using fuzzy logic approach (Case study: Zanjanroud Basin)

B. Motamedvaziri[*1], H. Ahmadi[2], M. Mahdavi[2], F. Sharifi[3] and N. Javaheri[4]
[1] Assistant Prof., Islamic Azad University, Science and Research Branch, I.R.Iran
[2] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R.Iran
[3] Assistant Prof., Research Center of Soil Conservation and Watershed Management, I.R.Iran
[4] Assistant Prof., Faculty of Agriculture, Gilan University, I.R.Iran
(Received 23 September 2008, Accepted 02 March 2009)

Abstract

Estimation of river sediment load is one of the most important issues in design of hydraulic structures, investigating water quality, conserving fish habitat, estimating erosion and determining watershed management effects. There are two methods for estimating sediment load: empirical and hydrological methods. Existence of numerous empirical methods for estimation of river sediment load and a wide range of calibration coefficients shows that a suitable analytical or empirical method does not yet exist to accurately estimate the sediment load. Also, hydrological methods are not able to recognize and separate the specific data measuring conditions and they can not show the temporal variation of sediment loads. In spite of these problems, nowadays, researchers are using Artificial Intelligence methods such as Fuzzy Logic. In this study, the measured suspended sediment load at hydrometric station of Sarcham located on Zanjanroud river is analyzed using USBR and FAO methods (common hydrological methods). Furthermore, suspended sediment load are estimated with a model developed based on Fuzzy Logic rules. In order to estimate suspended load using fuzzy method, one method named Supervised Fuzzy C- mean Clustering Method, is used. Then the results of hydrological and fuzzy methods are compared. The results showed that the temporal variation of sediment loads can be analyzed using a fuzzy method. Also the results obtained using the fuzzy method in comparison with the corresponding values obtained using the usual hydrological methods shows a better correlation with the observed values.

Keywords: Suspended sediment load, Fuzzy logic, USBR, FAO, Zanjanroud batchment, Sarcham

*Corresponding author: Tel: +98 21 448369255 , Fax: +98 21 44865025 , E-mail: bmvaziri@yahoo.com