



مقایسه روابط تجربی رواناب-رسوب حاصل از منحنی‌های سنجه رسوب و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گدارخوش، استان ایلام)

علیرضا سپهوند^۱، نجمیه هزارخوانی^۲، مجید طائی سمیرمی^۳، شمس اله عسگری^۴

چکیده

از مهمترین عوامل تصمیم‌گیری در احداث سازه‌های رودخانه‌ای و تعیین عمق مفید سدها داشتن داده‌ای دقیق از میزان رسوب حمل شده توسط رودخانه‌ها است. روش‌های چندی برای محاسبه بار معلق رودخانه‌ها پیشنهاد شده است. یکی از این روش‌ها، روش هیدرولوژیکی منحنی سنجه رسوب است. از خطاهای عمده روش مذکور عدم لحاظ اختلاف‌های فصلی می‌باشد. بر این اساس هدف از تحقیق حاضر ارزیابی اثر ارائه منحنی سنجه رسوب در دوره‌های کم آبی و پر آبی بر میزان خطای تخمین رسوب و مقایسه روش مذکور با روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. جهت دستیابی به این مهم با ترسیم منحنی تداوم جریان و روش اداره عمران ایالات متحده (USBR) اقدام به محاسبه میزان رسوب معلق روزانه و منحنی سنجه‌های رسوب کم آبی و پر آبی ترسیم گردید سپس نتایج حاصله با نتایج به دست آمده از روش شبکه عصبی مصنوعی مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت به وسیله معیارهای آماری سنجش خطا شامل خطای نسبی (RE)، کارایی مدل (EF)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R2) اقدام به ارزیابی خطاهای روش‌های مذکور نموده نتایج مبین قابلیت بالای روش شبکه عصبی مصنوعی با ضرایب تبیین و کارایی به ترتیب ۰/۹۰۳ و ۰/۸۹ و ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی به ترتیب ۰/۳۲۲ و ۶/۲۲ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

روش اداره عمران ایالات متحده، شبکه عصبی مصنوعی، منحنی سنجه رسوب، منحنی تداوم جریان، دوره‌های کم آبی و پر آبی

۱ - دانش آموخته گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس sepahvand1982@yahoo.com

۲ - دانش آموخته گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۳ - کارشناس ارشد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۴ - کارشناس ارشد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری



Scientific-Research Quarterly Journal Of
Environmental Erosion Researches
Vol. 2, No. 7, autumn 2013, pp: 29-43

Comprising the Empirical Equations of Runoff- Sediment Resulted from Sediment Rating Curves and Artificial Neural Network (Case Study: Ghadarkhosh Watershed, Ilam Province)

Sepahvand A., Hezarkhani N., Taei Semiromi M., Asgari Sh.

Abstract

Being available the accurate data on carried sediment has accounted as an important factor for making decision about constructing of river structures and determining of dam life. To accomplish this object, a number methods have been proposed so that sediment rate curving as a hydrological method has been developed for doing it. Ignoring differences between season's values causes to lower the precision of this method. So, present research has been programmed for evaluation of classified discharge to two categories including high water and low water on suspended sediment calculated by sediment rating curve in comparison with Artificial Neural Network (ANN). For acquiring this object, by means of flow duration curve and USBR method, daily suspended sediment and sediment rating curve were resulted. Finally, some statistical criteria including Relative Error (RE), Model Efficiency (EF), Root Mean Square Error (RMSE) and Descriptive Coefficient (R^2) were applied for comparing the results outcome of sediment rating curve method and ANN method. Results showed that ANN method has as higher capability in comparison with sediment rating curve on basis of Descriptive Coefficient and Model Efficiency 0/903 and 0/89 respectively moreover Root Mean Square Error and Relative Error 0/322 and 6/22 respectively.

Keywords:

USBR, ANN, Sediment Rating Curve, Flow Duration Curve, High and Low Water Periods

۱- مقدمه

رسوبات معلق رودخانه نتیجه فرسایش خاک و انتقال این مواد به آبراهه‌ها می‌باشند. رسوب انتقال یافته حجم مفید مخازن را کاهش می‌دهد و از قابلیت استفاده از آن برای نیروگاه‌های برق، آبیاری، کاربردهای صنعتی و خانگی، شرب، کشاورزی و پرورش آبزیان می‌کاهد. علاوه بر مقدار کل رسوب منتقل شده توسط رودخانه‌ها، چگونگی تغییرات زمانی رسوب حمل شده توسط آب‌های جاری برای مطالعات مورفولوژی رودخانه‌ها و طراحی سازه‌های کنترل رسوب و مخازن مورد نیاز است (Williams, 1978; Das and Agarwal, 1990; Kothyari et al, 2002; Sadeghi, Singh and Lee, 2005; Singh et al, 2008). آگاهی از توزیع مقدار رسوب در طول سیل‌های بزرگ، مهندسان را در طراحی سازه‌ها برای تله‌اندازی بهتر رسوب یاری می‌نماید. علاوه بر این دانستن چگونگی توزیع رسوب در طول سیلاب به عنوان یک منبع و حمل‌کننده مواد جذب‌شده، از نظر آلودگی و امکان مدیریت بهتر و جامع‌تر حوزه‌های آبخیز مهم می‌باشد (تلوری و همکاران، ۱۳۸۶). از طرفی تخمین دقیق رسوب تولیدی در هر رگبار مستلزم داشتن تعداد کافی نمونه در هر واقعه و یا منحنی کامل رسوب است. اطلاعات مربوط به تولید رسوب‌نگارها محدود و بیش‌تر به صورت کیفی است (Gracia and Sanchez, 1996). با این وجود، در ایستگاه‌های هیدرومتری کشور، برداشت رسوب به صورت تصادفی است و هیچ‌گونه ارزیابی از الگوی توزیع زمانی رسوب در سیلاب‌ها و وقایع بارندگی صورت نمی‌پذیرد. روش معمول برای برآورد مقدار رسوب معلق استفاده از منحنی‌های سنج رسوب^۲ تهیه شده با داده‌های غلظت و دبی متناظر آن می‌باشد (تلوری و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین باید در نظر داشت که اندازه‌گیری مقادیر ورودی و خروجی در سیستم‌های طبیعی از جمله حوزه آبخیز با دقت مطلق امکان‌پذیر نمی‌باشد (Sadeghi and Singh, 2005)، اما می‌توان با مدل سازی این پارامترها دقت مناسبی به دست آورد. بنابراین درک فرآیندهای فرسایش و تولید رسوب جهت مدل‌سازی روابط مزبور یکی از الزامات برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز می‌باشد. در رابطه با تحلیل روابط رواناب رسوب مطالعات متعددی در اقصی نقاط دنیا صورت گرفته است. در این تحقیق به چند مورد بسنده می‌شود. (Kisi, 2004)، با بهره‌گیری از مدل‌های فازی و رگرسیون آماری، رسوبات معلق رودخانه‌ای واقع در ایالات متحده آمریکا را برآورد نمودند. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل‌های یادشده با داده‌های دیده‌شده به دست آمده از اندازه‌گیری صحرایی رسوبات معلق، بیانگر این بود که مقادیر ارائه‌شده توسط مدل فازی به مقادیر دیده‌شده نزدیک‌تر بوده و از خطای آماری کمتری برخوردار می‌باشند.

(Mishra et al, 2006) با استفاده از معادله جهانی فرسایش آب^۳ و روش شماره منحنی مدلی برای تخمین رسوب حوزه آبخیز در مقیاس رگبار به دست آوردند. در این مدل ضریب رواناب بر مبنای درجه‌ای از اشباع بودن خاک به دست آمد و نسبت تحویل رسوب برابر ضریب رواناب مد نظر قرار گرفت. نتایج استفاده این مدل در ۱۲ حوزه آبخیز با کاربری‌های مختلف در هندوستان نشان‌دهنده عملکرد خوب آن در برآورد رسوب‌نگار بوده است.

(Sadeghi et al, 2009) از رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای^۴ حاصل از آب‌نگار واحد لحظه‌ای کلارک و روابط بین رسوب و بارش مازاد در حوزه آبخیز خانمیرزا در ایران به منظور برآورد تغییرات زمانی رسوب طی شش رگبار به طور موفقیت‌آمیز استفاده کردند. (ذرتی‌پور و همکاران، ۱۳۸۷) تأثیر طبقه‌بندی رسوب را بر بهبود روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها بررسی نمودند. نتایج حاکی از آن است که روش حد وسط داده‌ها و فائو برای داده کلی و فصول خشک، روش غیر مشخصه‌ای برای طبقه داده فصول بارش و روش خطی برای طبقه داده فصول سیلابی به عنوان روش‌های مناسب برای برآورد بار معلق حوزه آبخیز طالقان شناسایی شدند.

(معمدوزیری و همکاران، ۱۳۸۷) به بررسی امکان مدل‌سازی بار معلق رودخانه با استفاده از منطق فازی در حوزه آبخیز زنجان رود پرداختند. در این پژوهش که در حوزه آبخیز زنجان رود صورت گرفته است، ضمن برآورد رسوب معلق ایستگاه

1 Suspended Load

۲ Sediment Rating Curve

۳ USLE

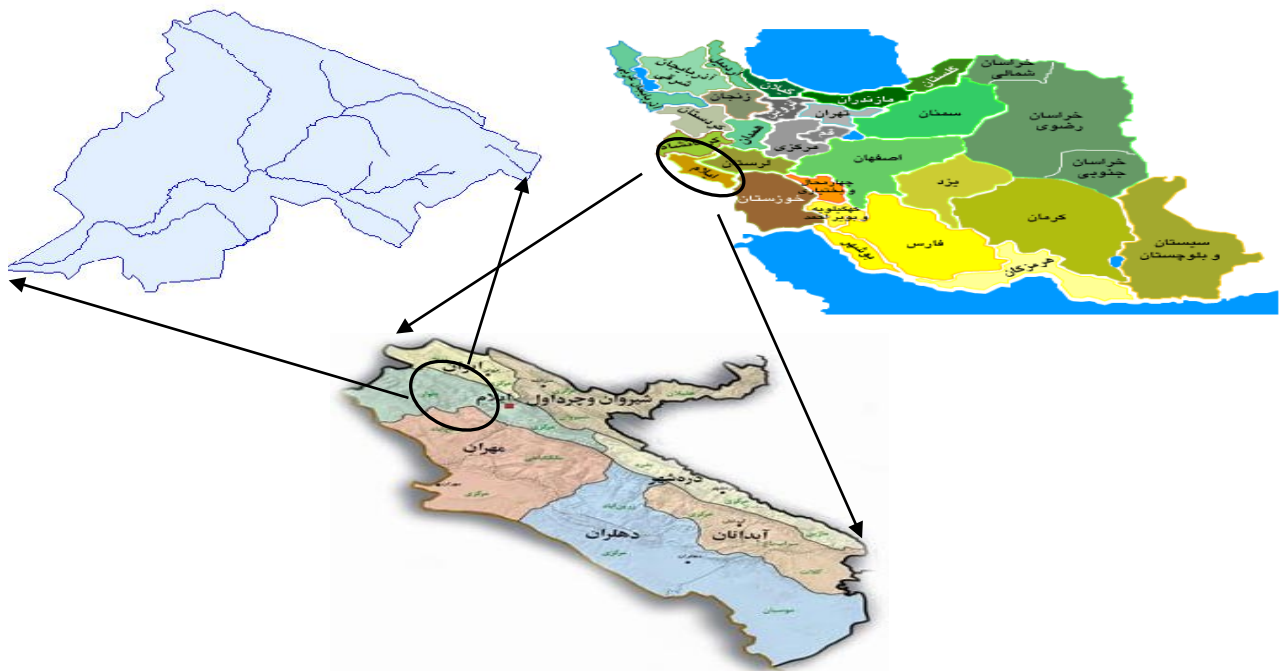
۴ Instantaneous Unit Sediment Graph, IUSG

هیدرومتری سرچم با دو روش معمول هیدرولوژیکی FAO و USBR با بهره‌گیری از مدل طراحی‌شده در محیط Visual Basic 6.0، بر پایه اصول منطق فازی نیز میزان رسوب معلق ایستگاه یادشده برآورد شده است. نتایج بیانگر این می‌باشد که روش فازی، به علت شناخت دقیق‌تر الگوی انتقال رسوب به ویژه در شرایط سیلابی، نسبت به روش‌های FAO و USBR برآورد دقیق‌تری از میزان رسوبات حمل شده ارائه نموده و با مقادیر مشاهداتی هم‌خوانی بهتری داشته است. تحقیق حاضر به منظور مقایسه روابط تجربی رواناب-رسوب حاصل از منحنی‌های سنجه رسوب و شبکه عصبی مصنوعی حوزه آبخیز گدارخوش پایه‌گذاری شده است.

۲- مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

استان ایلام بر اساس تقسیمات شهرستان‌های این استان به هفت حوزه اصلی (ایلام، ایوان، شیروانچرداول، دره شهر، آبدانان، دهلران، مهران) و ۲۲ زیر حوزه تقسیم می‌شود، که منطقه مورد تحقیق زیر حوزه گدارخوش می‌باشد که جزء حوزه اصلی ایلام است. زیر حوزه گدارخوش با مساحتی در حدود ۱۱۸۱۵۳ هکتار معادل ۱۱۸۱ کیلومترمربع در شمال غرب استان با موقعیت جغرافیایی ۲۷' ۳۳° تا ۲۹' ۳۳° عرض شمالی و ۵۲' ۴۵° تا ۳۰' ۴۶° طول شرقی واقع شده است. ارتفاع حداقل و حداکثر حوزه به ترتیب ۲۰۰ و ۲۶۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط سالیانه بارندگی حوزه ۶۳۰ میلی‌متر و متوسط حداکثر و حداقل سالیانه دمای منطقه به ترتیب ۲۲/۱ و ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد است. (شکل ۱) موقعیت این حوزه را در نقشه ایران و استان ایلام نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز گدارخوش در نقشه ایران و استان ایلام

روش تحقیق

در مطالعه حاضر به طور عمده دو روش منحنی سنجه-های رسوب به همراه روش USBR و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به کاررفته است. در ابتدا آمار ۴۳ ساله دبی روزانه و رسوب ایستگاه هیدرومتری تخت خان واقع بر روی رودخانه گدارخوش جمع‌آوری و اصلاح گردید.

استفاده از روش منحنی سنجه رسوب به همراه روش USBR

به منظور استفاده از روش منحنی سنجه رسوب در ابتدا منحنی‌های تداوم جریان و سنجه رسوب رسم گردیدند سپس نظر به اینکه تحقیق حاضر با هدف افزایش صحت نتایج داده‌های دبی به دو دوره‌های کم آبی و پر آبی (یوسفوند و گلمائی، ۱۳۸۴) تقسیم شد. منحنی تداوم جریان^۱ مقدار جریانی که در ۹۱ روز از سال دبی مساوی و یا بیش‌تر از آن باشد را به عنوان دبی نرمال در حالت پر آبی رسم کرده و رسوبات متناظر این دبی‌ها را نیز استخراج نموده و منحنی سنجه رسوب را برای آن ترسیم می‌شود در حالت کم آبی نیز دبی که ۲۷۴ روز از سال دبی مساوی یا آن بیش‌تر از آن باشد را به عنوان دبی در حالت کم آبی معین نموده و به صورت ذکرشده در رابطه با منحنی سنجه پر آبی، منحنی سنجه کم آبی نیز ترسیم می‌گردد. به دلیل اهمیت مرحله صحت‌سنجی در ارزیابی دقت منحنی سنجه‌های رسوب تنها از دو سوم داده‌ها برای ترسیم این منحنی‌ها استفاده شد حال آن‌که یک سوم داده‌ها برای مرحله صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور محاسبه متوسط رسوب معلق و دبی طولانی مدت روزانه با استفاده روش USBR، در ابتدا منحنی‌های تداوم جریان و سنجه رسوب برای دوره‌های کم آبی و پر آبی ترسیم گردیدند سپس دسته‌بندی احتمال وقوع دبی‌های تداوم جریان به تعدادی طبقه بر اساس مقادیر حداقل و حداکثر آن‌ها که در این طبقه فواصل طبقات ابتدایی و انتهایی کمتر می‌باشد دسته‌بندی شدند دامنه طبقات زمانی و میانگین احتمال هر دسته مشخص شده و میانگین احتمال هر دسته بر روی منحنی تداوم جریان منتقل شده و دبی‌های متناظر قرائت گردید در گام بعدی وضعیت دبی در هر طبقه از حیث کم آبی و پر آبی تعیین شده و پس از آن دبی استخراج شده در هر طبقه در میانگین احتمال هر دسته ضرب می‌شود. پس از محاسبه دبی مربوطه در مرحله قبل (بسته به این‌که دبی مربوط به کم آبی یا پر آبی باشد) به روی منحنی سنجه رسوب مورد نظر منتقل نموده و قرائت رسوب متناظر با هر دبی بر روی منحنی سنجه رسوب قرائت و رسوب قرائت شده در متوسط احتمال وقوع هر طبقه ضرب می‌گردد و در نهایت مجموع رسوبات به دست آمده در مرحله قبل برای هر طبقه برابر وزن رسوب معلق روزانه بر حسب تن می‌باشد که با ضرب آن در ۳۶۵ وزن رسوب معلق سالانه به دست می‌آید.

استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

توانایی شبکه عصبی مصنوعی در حل معادلات چند متغیره به اثبات رسیده است (فاست، ۱۳۸۸). لذا در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی برای ارائه رابطه رواناب رسوب در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. طبق قضیه کولموگوروف، سه لایه برای تفکیک هر نوع فضایی مناسب است (منهاج، ۱۳۸۱)، پس در این مطالعه نیز از ۳ لایه استفاده گردید، سپس در محیط نرم‌افزار MATLAB ۱۰ برنامه‌ای مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی نوشته شد که دبی رودخانه به عنوان نرون لایه ورودی و رسوب خروجی از منطقه به عنوان نرون لایه خروجی تعیین شدند و به طور تصادفی $\frac{2}{3}$ از داده‌ها برای آموزش شبکه مورد استفاده قرار گرفت و از $\frac{1}{3}$ باقیمانده داده‌ها برای آزمایش شبکه استفاده گردید. از مناسب‌ترین روش‌ها برای تعیین تعداد نرون لایه پنهان برای داشتن کمترین مقدار خطا، استفاده از روش سعی و خطا است (جکسون، ۱۳۸۳). که در این تحقیق نیز از روش سعی و خطا استفاده شد و تعداد نرون در لایه پنهان بین ۱ تا ۱۰ تغییر داده شد. سپس مقدار نسبت یادگیری^۲ از ۰/۱ و تعداد تکرار^۳ در مرحله آموزش ۲۰۰۰ تکرار در نظر گرفته شد و تابع غیرخطی سیگموئید^۴ (f) به دلیل مشتق پذیر بودن، سادگی و پر کاربرد آن در برنامه تحقیق نوشته شد. لازم به ذکر است دلیل استفاده از تابع فعال^۵، قرار دادن خروجی

۱ Flow-Duration curve

۲ Learning Rate

۳ Epoch

۴ Sigmoid Function

۵ Activation Function

هر نرون در یک محدوده خاص است (Lee، 2007). در مرحله بعد به منظور نرمال کردن^۱، دستوری لحاظ گردید که داده‌ها را بین ۰/۱ تا ۰/۹ نرمال کند.

به منظور تعیین وزن در شبکه عصبی مصنوعی، در این مطالعه در مرحله اول وزن‌ها به صورت تصادفی و بین ۰/۷- و ۰/۷+ با توابع توزیع گوسین انتخاب شدند. در مرحله دوم، که مرحله تعیین وزن نهایی است، در مرحله یادگیری شبکه در هر تکرار مقادیر وزن را تغییر داده تا به مقادیر وزن مطلوب برسد. سپس تعیین وزن نهایی در شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار انجام شد (Lee، 2007).

ارزیابی روش USBR و شبکه عصبی مصنوعی

برای ارزیابی دقت روش USBR، با استفاده از یک سوم داده‌های کنار گذاشته شده برای منحنی سنج در حالت کم آبی، پر آبی و منحنی سنج کل اقدام به ارزیابی روش‌های فوق نموده که در این راستا معیارهای سنجش خطا میزان دقت این روش‌ها را تعیین می‌نمایاند. بدین منظور طبق روابط ۱ تا ۳ از معیارهای آماری نظیر خطای نسبی^۲، کارایی مدل^۳، ریشه میانگین مربعات خطا^۴ و ضریب تبیین مورد استفاده گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{O_i - P_i}{O_i} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در روابط فوق، P_i مقدار برآورد شده، O_i مقدار مشاهده شده، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده و N تعداد داده‌های اندازه‌گیری نفوذ است. همانند روش USBR، دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از پارامترهای آماری خطای نسبی، ضریب کارایی مدل، ریشه میانگین مربعات خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی مبین اختلاف کلی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی است. مقدار کارایی مدل نیز نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از منفی بی‌نهایت در بدترین حالت، تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها تغییر می‌کند (سپهوند و همکاران، ۱۳۹۰). از بین مدل‌های مذکور مدلی که از ضریب کارایی بالاتر، درصد خطای نسبی و ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به صفر و ضریب تبیین نزدیک به یک برخوردار باشد به عنوان مناسب‌ترین مدل برای ارائه رابطه تجربی رواناب رسوب در منطقه مورد مطالعه انتخاب می‌شود.

۳- نتایج

ترسیم منحنی تداوم جریان

یکی از پارامترهای مهم در هیدرولوژی منحنی تداوم جریان یا دبی کلاسه در رودخانه است. این منحنی از رسم تجمعی دبی رودخانه نسبت به زمان به دست می‌آید. منحنی تداوم جریان ترسیم شده برای رودخانه گذارخوش به صورت ارائه شده در شکل ۲ می‌باشد. بر اساس این شکل همان طور که مشخص می‌شود با افزایش در صد احتمال وقوع دبی، مقدار آن کاهش می‌یابد و

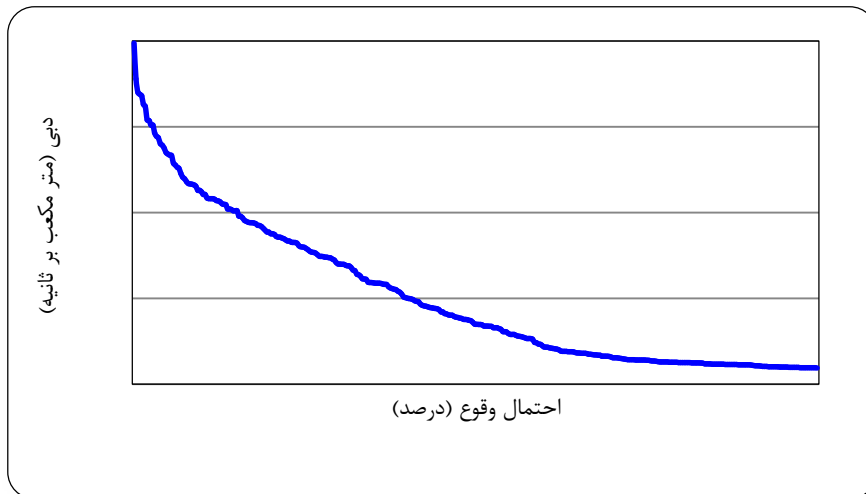
۱ Normalization

۲ Relative Error

۳ Modeling Efficiency

۴ Root Mean Square Error

برعکس. با استفاده از منحنی فوق دبی کم آبی برابر با ۷/۹۸ مترمکعب بر ثانیه تعیین می‌گردد و بر این اساس دبی فوق به عنوان یک آستانه جهت این تفکیک به کاررفته می‌رود.

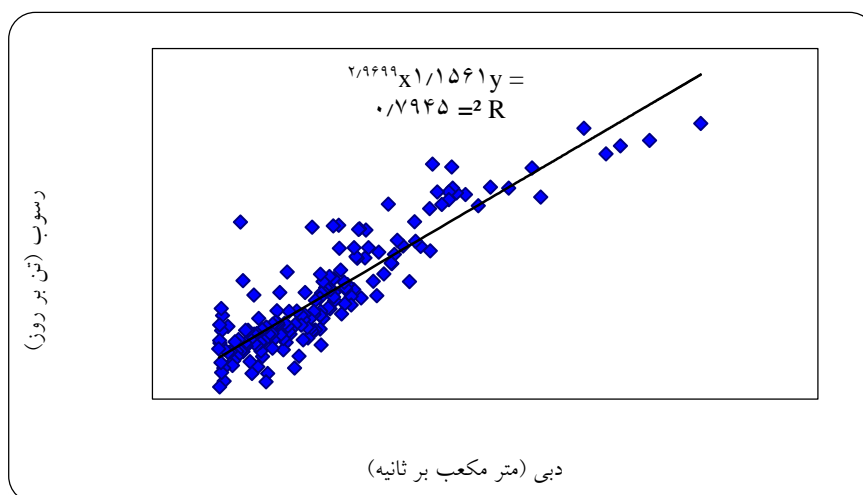


شکل ۲ - منحنی تداوم جریان رودخانه گذارخوش

منحنی سنجه رسوب برای دوره پر آبی

به منظور ارزیابی اثرات تفکیک نمودن جریان به دوره‌های پر آبی و کم آبی در دقت منحنی سنجه رسوب، اقدام به ترسیم منحنی سنجه‌های رسوب جداگانه برای هر یک از دوره‌های کم آبی و پر آبی تفکیک شده بر اساس منحنی تداوم جریان، منحنی تداوم جریان به صورت ارائه شده در شکل ۳ ارائه می‌گردد.

با لحاظ دبی ۷/۹۸ مترمکعب بر ثانیه، رسوبات متناظر با دبی‌های بیش‌تر از این مقدار استخراج شده و تنها از دو سوم آن‌ها به طور تصادفی در ترسیم منحنی سنجه استفاده گردید. در این شکل مشخص می‌گردد که ابر نقاط پراکنش زیادی نداشته و برازش نسبتاً مناسبی صورت گرفته است.

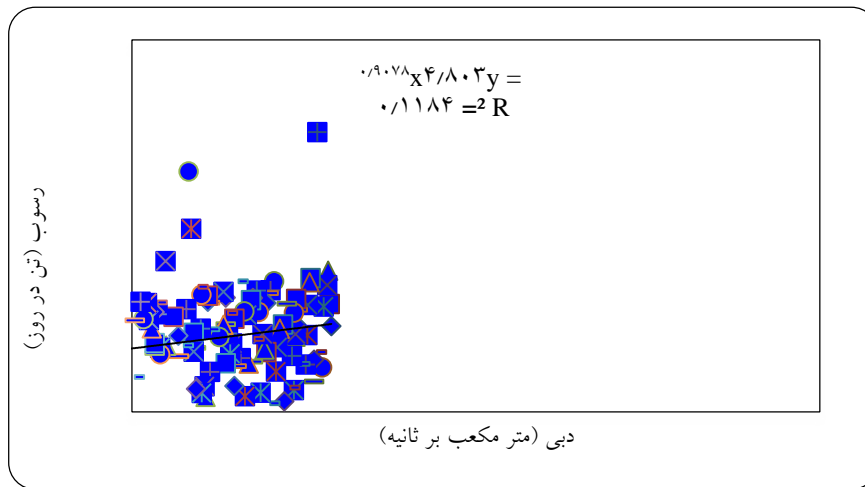


شکل ۳ - منحنی سنجه رسوب ترسیم شده برای دبی‌های نرمال در حالت پر آبی

منحنی سنجه رسوب برای دوره کم آبی

در ادامه نیز با استفاده از منحنی تداوم جریان و مشخص نمودن دبی نرمال در حالت کم آبی و استخراج رسوبات متناظر آن‌ها، منحنی سنجه رسوب برای این سری از داده‌ها به صورت ارائه شده در شکل ۴ نشان داده می‌شود. در این حالت نیز به مانند

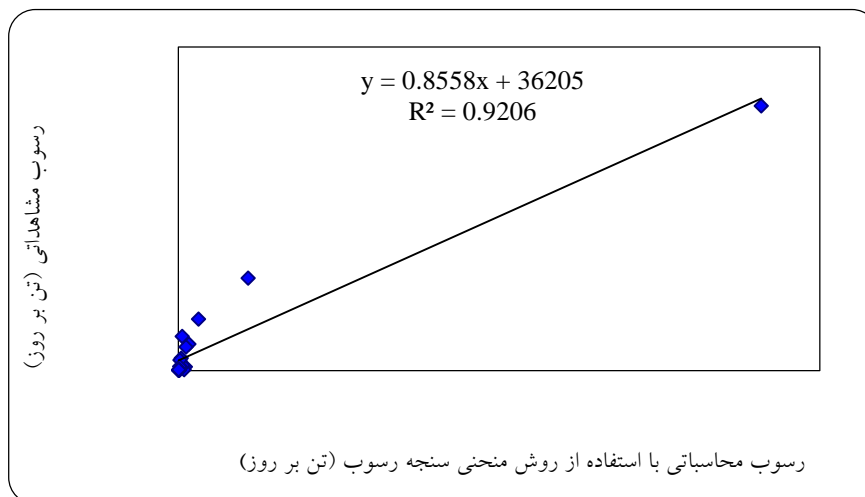
منحنی سنجه در حالت پر آبی فقط دو سوم داده‌ها برای این منظور استفاده گردید. در این روش پراکنش ابر نقاط بسیار زیاد بوده و ارتباط مناسبی بین دبی‌ها در حالت کم آبی و رسوبات متناظر آن‌ها ملاحظه نمی‌گردد به طوری که ضریب تبیین $0/118$ به دست آمده است.



شکل ۴ - منحنی سنجه رسوب ترسیم‌شده برای دبی‌های نرمال در حالت کم آبی

صحت‌سنجی منحنی سنجه رسوب در حالت پر آبی

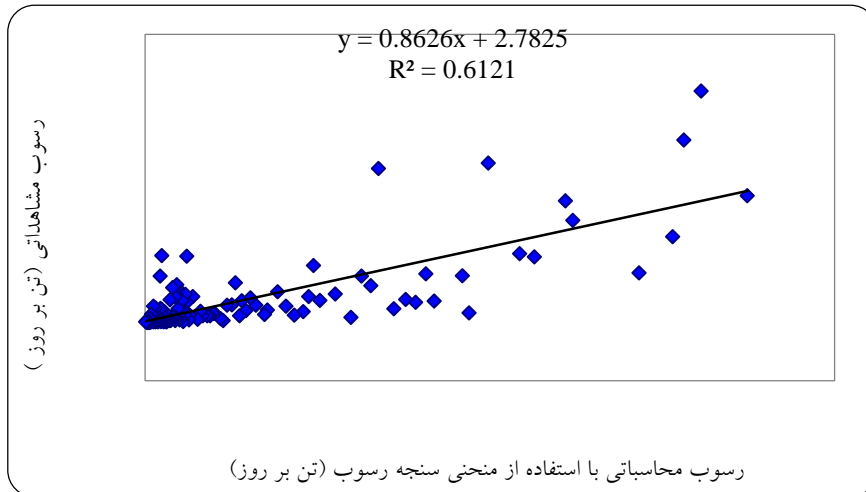
پس از مشخص نمودن داده‌های پر آبی و رسوب متناظر آن‌ها به صورت تصادفی یک سوم داده‌ها جهت انجام مرحله صحت‌سنجی کنار گذاشته شد؛ نتایج حاصله در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج حاصله مبین انطباق بسیار مناسب دبی‌ها پر آبی با رسوبات متناظر آن‌ها می‌باشد به طوری که در حالت صحت‌سنجی بین مقادیر مشاهداتی تخمینی قرابت زیادی دیده می‌شود.



شکل ۵ - رابطه بین رسوب محاسباتی و مشاهداتی برای یک سوم داده‌ها در حالت پر آبی

صحت‌سنجی منحنی سنجه رسوب در حالت کم آبی

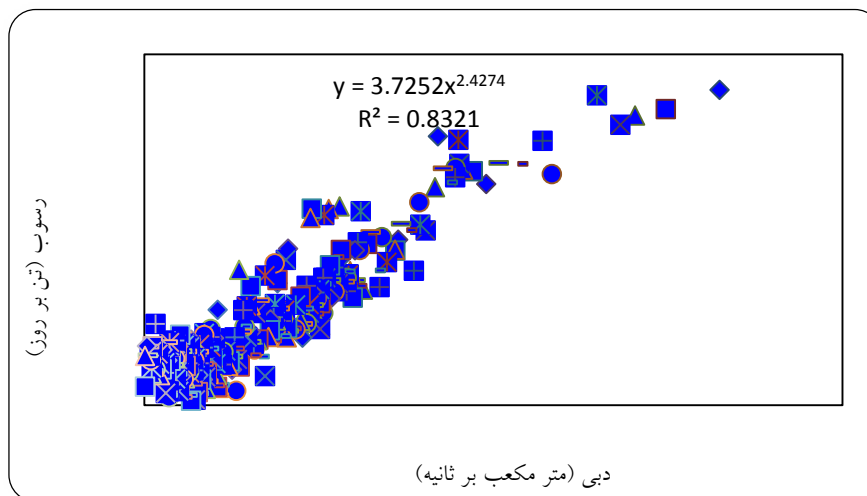
در این مرحله نیز به منظور ارزیابی قابلیت اعتماد منحنی سنجه رسوب ترسیمی در شرایط کم آبی، اقدام به صحت‌سنجی یک سوم داده‌ها نموده که نتیجه این مقایسه در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶- رابطه بین رسوب محاسباتی و مشاهداتی برای یک سوم داده‌ها در شرایط کم آب

منحنی سنج رسوب برای کل داده‌ها (کم آبی و پر آبی)

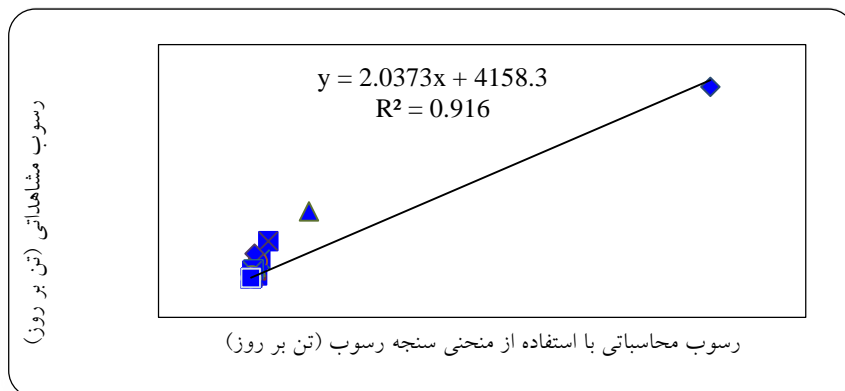
با هدف مقایسه اثرات تفکیک جریان به دوره‌های کم آبی و پر آبی در قیاس با استفاده از کلیه داده‌ها به منظور ارزیابی توانایی منحنی سنج رسوب، منحنی سنج رسوب برای کلیه سری داده‌ها به صورت شکل ۷ ترسیم گردید. همان طور که دیده می‌شود پراکنش ابر نقاط کم بوده و منحنی خطی به خوبی بر دو سوم کل داده‌ها برازش یافته است. بالا بودن ضریب تبیین گواهی بر این مسئله می‌باشد.



شکل ۷- منحنی سنج رسوب ترسیم شده برای دو سوم کل داده‌ها (کم آبی و پر آبی)

صحت‌سنجی منحنی سنج رسوب برای یک سوم کل داده‌ها (کم آبی و پر آبی)

در این مرحله نیز به مانند قبل رسوب محاسباتی با استفاده از یک سوم کل داده‌ها با رسوب مشاهداتی مقایسه می‌شود؛ نتایج حاصله در شکل ۸ آورده شده است. علیرغم تعداد کم داده‌های به‌کار رفته انطباق مناسبی بین رسوب مشاهداتی و محاسباتی شکل گرفته؛ ضریب تبیین ۰/۹۱۶ با توجه به استفاده از داده‌های کم آبی، ضریب بسیار بالایی محسوب می‌شود.



شکل ۸ - رابطه بین رسوب محاسباتی و مشاهداتی برای یک سوم کل داده‌ها (کم آبی و پر آبی)

ترسیم جدول USBR

در گام بعدی به منظور استخراج متوسط میزان رسوب معلق روزانه طولانی مدت (تن) و همچنین متوسط دبی طولانی مدت (دبی مترمکعب بر ثانیه) با توجه به اطلاعات موجود و روش تشریح شده که نتایج حاصله (جدول ۱) نشان داد که متوسط رسوب معلق روزانه طولانی مدت برابر با $448/83$ تن بر روز و متوسط دبی طولانی مدت $5/01$ مترمکعب بر ثانیه به دست می‌آید.

جدول ۱- محاسبات رسوبات مربوط به رودخانه گذارخوش با استفاده از روش USBR

ستون ۲ در ۶	میزان دبی رسوب برای آب نظیر از ستون	ستون ۲ در ۴	تعیین دبی‌ها از نظر کم آبی و پرآبی	دبی آب با احتمال حد واسط دسته‌ها	حد واسط فواصل دسته‌ها	فواصل دسته‌ها (درصد)	حدود دسته‌ها احتمالی به درصد
۰/۰۹	۴/۵۸	۰/۰۲	کم آبی	۰/۹۵	۱	۲	۰-۲
۰/۰۹	۴/۷۲	۰/۰۲	کم آبی	۰/۹۸	۳	۲	۲-۴
۰/۱	۴/۷۶	۰/۰۲	کم آبی	۰/۹۹	۵	۲	۴-۶
۰/۱	۴/۸۹	۰/۰۲	کم آبی	۱/۰۲	۷	۲	۶-۸
۰/۲۱	۵/۳۲	۰/۰۴	کم آبی	۱/۱۲	۱۰	۴	۸-۱۲
۰/۲۲	۵/۵۰	۰/۰۵	کم آبی	۱/۱۶	۱۴	۴	۱۲-۱۶
۰/۲۳	۵/۸۴	۰/۰۵	کم آبی	۱/۲۴	۱۸	۴	۱۶-۲۰
۰/۳	۶/۰۵	۰/۰۶	کم آبی	۱/۲۹	۲۳	۵	۲۰-۲۵
۰/۳۳	۶/۶	۰/۰۷	کم آبی	۱/۴۲	۲۸	۵	۲۵-۳۰
۰/۸۳	۸/۲۷	۰/۱۸	کم آبی	۱/۸۲	۳۵	۱۰	۳۰-۴۰
۱/۲۷	۱۲/۶۷	۰/۲۹	کم آبی	۲/۹۱	۴۵	۱۰	۴۰-۵۰
۱/۷۷	۱۶/۶۷	۰/۴۲	کم آبی	۴/۲	۵۵	۱۰	۵۰-۶۰
۲/۴۱	۲۴/۰۶	۰/۵۹	کم آبی	۵/۹	۶۵	۱۰	۶۰-۷۰
۱/۴۸	۲۹/۷۰	۰/۳۷	کم آبی	۷/۴۴	۷۳	۵	۷۰-۷۵
۳۱/۸۰	۶۳۵/۹۱	۰/۴۲	پرآبی	۸/۳۷	۷۸	۵	۷۵-۸۰
۳۵	۸۷۵/۱۱	۰/۳۷	پرآبی	۹/۳۲	۸۲	۴	۸۰-۸۴
۴۵/۷۶	۱۱۴۳/۰۳	۰/۴۱	پرآبی	۱۰/۲	۸۶	۴	۸۴-۸۸

ستون ۲ در ستون ۶	میزان دبی رسوب برای آب نظیر از ستون	ستون ۲ در ستون ۴	تعیین دبی‌ها از نظر کم‌آبی و پرآبی	دبی آب با احتمال حد واسط دسته‌ها	حد واسط فواصل دسته‌ها	فواصل دسته‌ها (درصد)	حدود دسته‌ها احتمالی به درصد
۶۰/۸۹	۱۵۲۲/۳۶	۰/۴۵	پرآبی	۱۱/۲۳	۹۰	۴	۸۸-۹۲
۴۰/۶۷	۲۰۳۳/۶۰	۰/۲۵	پرآبی	۱۲/۳۸	۹۳	۲	۹۲-۹۴
۵۲/۲۶	۲۶۱۲/۷۹	۰/۲۷	پرآبی	۱۳/۴۷	۹۵	۲	۹۴-۹۶
۷۰/۵۱	۳۵۲۵/۶۷	۰/۳۰	پرآبی	۱۴/۹	۹۷	۲	۹۶-۹۸
۱۰۲/۵۰	۵۱۲۵/۰۳	۰/۳۴	پرآبی	۱۶/۹	۹۹	۲	۹۸-۱۰۰
۴۴۸/۸۳		۵/۰۱					مجموع

تعیین ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی

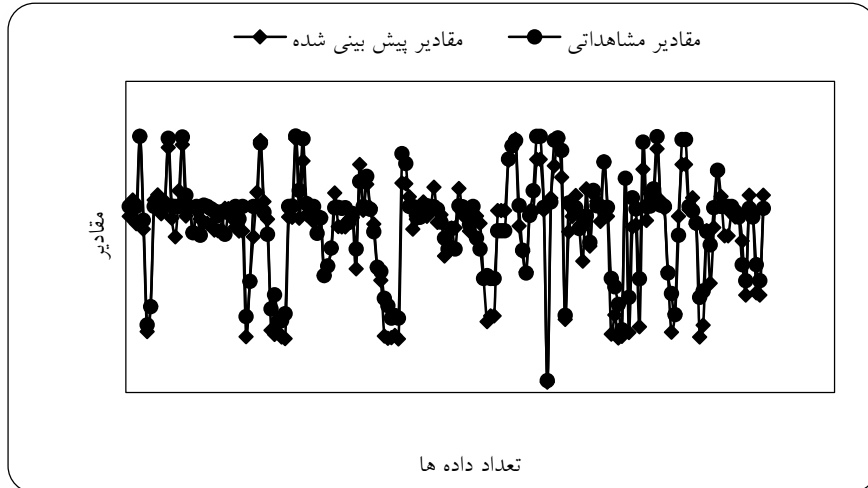
پس از انتخاب تعداد ۲۰۰۰ تکرار برای مدل‌سازی، جهت تعیین ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی تعداد نرون لایه میانی از ۱ تا ۱۰ با نسبت یادگیری از ۰/۱ و ضریب ممتنم ۰/۱ تغییر داده شد و در هر مرحله ریشه میانگین مربعات خطا محاسبه گردید. در نهایت ساختاری که دارای کمترین خطا بود به عنوان ساختار بهینه انتخاب شد که نتایج آن را می‌توان در شکل ۹ مشاهده کرد.



شکل ۹ - منحنی کمترین خطای شبکه در تعداد نرون‌های میانی مختلف (LR=۰/۱)

همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌گردد با نسبت یادگیری ۰/۱ و تعداد ۴ نرون در لایه میانی به کمترین مقدار خطا در مرحله آزمایش رسیده است.

شکل ۱۰ خروجی مدل شبکه عصبی مصنوعی به همراه داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد، که این محاسبات مربوط به مدل تهیه‌شده با نسبت یادگیری ۰/۱ و تعداد ۴ نرون در لایه میانی می‌باشد.

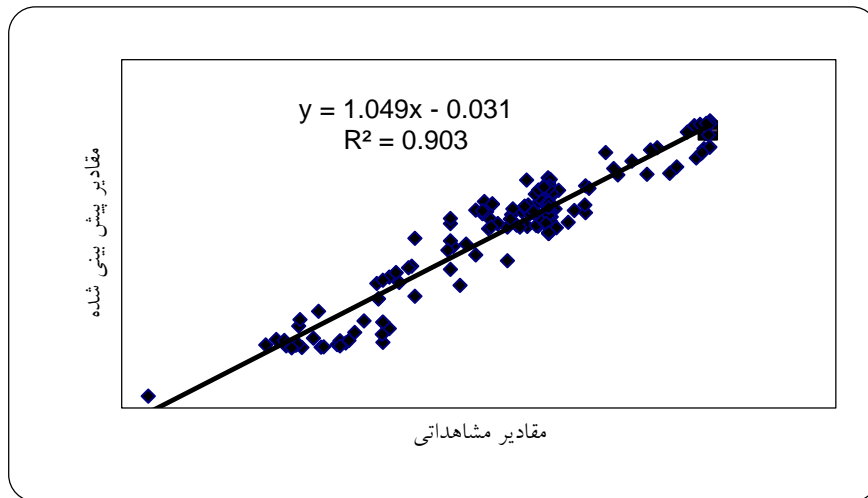


شکل ۱۰ - خروجی مدل شبکه عصبی مصنوعی به همراه داده‌های مشاهداتی

ضریب تبیین در شبکه عصبی مصنوعی

برای تعیین درجه همبستگی مرحله آموزش و آزمایش، جواب‌های به دست آمده از خروجی شبکه با داده‌های شاهد موجود مقایسه شدند. ضریب تبیین که بین خروجی شبکه و داده‌های شاهد به دست آمد بیانگر همبستگی بالای بین داده‌های شاهد با داده‌های خروجی از شبکه بود. نتایج حاصله در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

ضریب تبیین در مرحله آموزش و آزمایش برابر $R^2 = 0.903$ و بهترین خطی که بین این دو سری داده‌ها می‌توان رسم کرد مطابق رابطه (۴) $Y = 1.049X - 0.031$ با رابطه ۴ است.



شکل ۱۱ - ضریب تبیین بین داده‌های مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده

ارزیابی روش منحنی سنجه‌های رسوب و شبکه عصبی مصنوعی

بعد از مدل‌سازی اقدام به محاسبه معیارهای سنجش خطا برای مدل شبکه عصبی مصنوعی شد. در این تحقیق از پارامترهای خطای نسبی، ضریب کارایی مدل، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده شد. نتایج این محاسبات در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- معیارهای سنجش خطا برای مدل شبکه عصبی مصنوعی

مدل	ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی	خطای نسبی	ضریب تبیین
ANN	۰/۳۲۲	۰/۸۹	۶/۲۲	۰/۹۰۳
منحنی سنجه برای کل داده‌ها	۴۸۰۴۸/۴۵	-۰/۰۲	۸۶/۸۴	۰/۹۱۶
منحنی سنجه برای داده‌های پر آبی	۷۴۵۳۴	۰/۸۷	-۶۰/۴۸	۰/۹۲
منحنی سنجه برای داده‌های کم آبی	۳۹/۶۱	۰/۵۹۱	-۷۱/۸۶	۰/۶۱

بر اساس جدول فوق مدل ANN با ضرایب تبیین و کارایی بالا و همچنین ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی پایین به عنوان بهترین روش و منحنی سنجه ترسیم شده بر اساس داده‌های کم آبی با وجود خطای بسیار زیاد و ضرایب کارایی و تبیین پایین، ضعیف‌ترین مدل را ارائه داده است.

۴- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی دو روش منحنی سنجه رسوب و شبکه عصبی مصنوعی جهت ارائه بهترین مدل برای پیش‌بینی رسوب صورت گرفت. روش‌های هوش مصنوعی امروزه در بحث مدل‌سازی کاربرد فراوانی دارند، لذا یکی از روش‌های که در این تحقیق استفاده شد روش شبکه عصبی مصنوعی بود.

معمولاً الگوریتم پس انتشار خطا با نسبت یادگیری پایین بهترین جواب را تولید می‌کند که در این تحقیق نسبت یادگیری ۰/۱ در نظر گرفته شد. برای تعیین ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی تعداد نرون در لایه پنهان بایستی با روش سعی و خطا تعیین گردد. زیرا با تغییر نرون در لایه پنهان نتایج خروجی تغییر خواهد کرد (منهاج، ۱۳۸۱). لذا در تحقیقات مختلف تعداد نرون در لایه پنهان متفاوت خواهد بود. در این تحقیق تعداد نرون در لایه پنهان با روش سعی و خطا تعیین شد که تعداد بهینه برابر ۴ نرون در لایه پنهان تعیین شد که نتایج آن در شکل ۸ آمده است. در نهایت ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرسایش و رسوب تعیین شد. ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی رواناب-رسوب به ترتیب برابر ۰/۳۲۲ و ۰/۹۰۳ بود. در این زمینه مدل تهیه شده توسط (Bhattacharya and Sarangi, 2005) دارای ضریب تبیین ۰/۹۸ و ضریب کارایی ۰/۹۶ و مدل (Agarwal et al, 2006) دارای ضریب تبیین ۰/۶۸ بود.

منحنی سنجه رسوب برای دوره‌های پر آبی، کم آبی، یک سوم داده‌ها در حالت پر آبی، یک سوم داده‌ها در حالت کم آبی، دو سوم کل داده‌ها در حالت پر آبی و کم آبی و یک سوم کل داده‌ها در حالت پر آبی و کم آبی تهیه شد که ضریب تبیین هر یک به ترتیب برابر ۰/۷۹۴، ۰/۱۱۸، ۰/۹۲، ۰/۶۱۲، ۰/۸۳۲ و ۰/۹۱۶ تعیین گردید. در بین منحنی‌های ارائه‌شده، منحنی سنجه رسوب کم آبی به عنوان بدترین تخمین‌گر و منحنی سنجه رسوب یک سوم داده‌ها در حالت پر آبی به عنوان بهترین تخمین‌گر انتخاب شدند. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۲ ریشه میانگین مربعات خطا برای منحنی سنجه برای کل داده‌ها، منحنی سنجه برای داده‌های پر آبی و منحنی سنجه برای داده‌های کم آبی به ترتیب برابر ۴۸۰۴۸/۴۵، ۷۴۵۳۴ و ۳۹/۶۱ تعیین شد و با توجه به ضریب تبیین ارائه‌شده در این جدول، منحنی سنجه برای داده‌های پر آبی به عنوان بهترین تخمین‌گر انتخاب شد. در حالت کلی با توجه به نتایج این تحقیق روش شبکه عصبی مصنوعی به عنوان مدل برتر برای مدل‌سازی رواناب-رسوب در حوزه آبخیز گدارخوش انتخاب شد و مدل تهیه‌شده با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی از دقت و ضریب کارایی بالاتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار بود که این نتایج با نتایج (Agarwal et al, 2006)؛ (Zhu, 2007)؛ (Bhattacharya and Sarangi, 2005) هم‌خوانی داشت.

۵-مراجع

- ۱- تلوری ع.، بیرودیان ن.، منوچهری ا.، ۱۳۸۶: مدل سازی تغییرات زمانی رسوب، مطالعه موردی حوزه آبخیز گاران در استان کردستان. مجله پژوهش و سازندگی، (۷۵): ۶۴-۷۰.
- ۲- جکسون آ.ب.و.، ۱۳۸۳: آشنایی با شبکه‌های عصبی، ترجمه دکتر محمود البرزی. چاپ دوم. موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۹۷ص.
- ۳- ذرتی پور ا.، مهدوی م.، خلیقی سیگارودی ش.، سلاجقه ع.ف. شمس‌المعالی ن.، ۱۳۸۷: بررسی تأثیر طبقه‌بندی رسوب را بر بهبود روش‌های هیدرولوژیکی بر آورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، نشریه دانشکده منابع طبیعی، (۴۴): ۸۰۹-۸۱۹.
- ۴- سپهوند، ع.، طایبی سمیرمی، م.، میرنیا، س.خ.، مرادی، ح.ر.، ۱۳۹۰: ارزیابی حساسیت مدل‌های نفوذ نسبت به تغییرپذیری رطوبت خاک، نشریه آب و خاک، (۲)۲۵: ۱-۱۱.
- ۵- فاست، ل.، ۱۳۸۸: مبانی شبکه‌های عصبی، ترجمه: هادی ویسی، کبری مفاخری، سعید باقری شورکی، چاپ اول، انتشارات نص، ص ۴۴۸.
- ۶- معتمد وزیری، ب.، احمدی، ح.، مهدوی، م.، شریفی، ف.، و جواهری، ن.، ۱۳۸۷: بررسی امکان مدل سازی بار معلق رودخانه با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زنجانرود)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، (۲) ۶۲: ۲۸۳-۲۹۸.
- ۷- منهایج، م.ب.، ۱۳۸۱: مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران)، جلد اول: چاپ دوم، ۷۱۵ ص
- ۸- یوسفوند، ف.، گلماپی، س.ح.، قمرنیا، ه.، احمدی، م.، ض.، وحیدی مجد، ع.، ۱۳۸۳: مقایسه روش‌های مختلف برآورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه قره‌سو، کرمانشاه)، پژوهش‌نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر (علوم زراعی)، (۴)۲: ۵۲-۶۵.
- 9- Agarwal A., Mishra S.K., Ram S., Singh J.K., 2006: Simulation of Runoff and Sediment Yield using Artificial Neural Networks, Biosystems Engineering, 94(4): 597-613.
- 10- Das G., Agrawal A., 1990: Development of Conceptual Sediment graph Model. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, ASAE, 33(1): 100-104.
- 11- Gracia-Sanchez J., 1996: Generation of Synthetic Sediment Graphs. Hydrological Processes, 10:1181-1191.
- 12- Kisi, O., 2004. Daily Suspended sediment modeling using a fuzzy differential evolution approach, Hydrological Sciences Journal, 49(1): 183-197.
- 13- Kothyari U.C., Jain M., Ranga Raju K., 2002: Estimation of Temporal Variation of Sediment Yield using GIS. Hydrological Sciences Journal, 47(5): 693-706.
- 14- Lee S. 2007: Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping, Environmental Geology, 52, 615-623.
- 15- Mishra S.K., Tyagi J.V., Singh V.P., and Singh R., 2006: SCS-CN based Modeling of Sediment Yield. Journal of Hydrology, 324: 301-322.
- 16- Sadeghi S.H.R., Mizuyama T., Miyata S., Gomi T., Kosugi K., Ffukushima T., Mizugaki S., Onda Y., 2008: Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed, Geoderma, 144: 198-211
- 17- Sadeghi S.H.R., Mizuyama T., Singh J.K., Tofighi B., 2009: Applicability of Instantaneous Unit Sediment Graph Model in an Iranian Large Watershed. Journal of Ecological Economics and Statistics, 13: 30-45.
- 18- Sadeghi S.H.R., Singh J.K., 2005: Development of a Synthetic Sediment Graph using Hydrological Data. Journal of Agricultural Science and Technology (JAST), 7: 69-77.

- 19-** Sarangi A., Bhattacharya A.K., 2005: Comparison of Artificial Neural Network and regression models for sediment loss prediction from Banha watershed in India, *Agricultural Water Management*, 78: 195–208.
- 20-** Williams J.R., 1978: A Sediment Graph Model based on an Instantaneous Unit Sediment Graph. *Journal of Water Resources Research*, 14(4): 659-664.
- 21-** Zhu Y.M., Lu X.X., Zhou Y., 2007: Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Long-chuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment, China, *Geomorphology*, 84: 111–125.