

مقایسه شبکه‌های عصبی و مدل رگرسیونی در پیش‌بینی راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری

• امیر مرادی نژاد

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج وزارت جهاد کشاورزی (نویسنده مسئول)

• امیر حمزه حقی آبی

گروه سازه های آبی دانشگاه لرستان

• عباس پارسایی

گروه سازه های آبی دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: مرداد ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

Email: amir_24619@yahoo.com

چکیده

شبکه عصبی مصنوعی از جمله روش‌های جدید تخمین تغییرات پدیده‌ها می‌باشد که در شاخه‌های مختلف علوم کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. راندمان تله‌اندازی رسوب و حجم رسوبگذاری شده مخازن سدها نیز از جمله مسائلی است که می‌تواند با این روش مورد بررسی قرار گیرد. هدف از انجام این تحقیق، تعیین راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری با استفاده از روش‌های شبکه عصبی و مقایسه آنها با مدل‌های رگرسیونی است. برای انجام این تحقیق از مدل فیزیکی سد تأخیری که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ساخته شده بود، استفاده گردید. به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب، از ایده مدل مخازن خطی استفاده گردید. سپس با رهاسازی سیلاب همراه با رسوب، عملکرد سد تأخیری در تله‌اندازی رسوبات مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد، با شناسایی پارامترهای تأثیرگذار بر تله‌اندازی رسوبات مخازن سدها، مدل شبکه عصبی مناسب به روش پس انتشار خطا توسعه داده شد. همچنین از مدل‌های رگرسیونی برای بررسی رابطه پارامترها و نیز مقایسه نتایج برآوردی با مشاهده‌ای استفاده شد. در نهایت، شاخص‌های آماری $RMSE$ ، R^2 و $MAPE$ به منظور ارزیابی صحت و دقت مدل به کار گرفته شد. طبق نتایج، میانگین مقادیر $RMSE$ ، R^2 و $MAPE$ در مدل‌های رگرسیونی به ترتیب برابر $۰/۴۶۵$ ، $۲۶/۶$ و $۶۲/۱$ می‌باشد، در حالی که مقادیر این شاخص‌ها در مدل توسعه داده شده شبکه عصبی به ترتیب برابر $۰/۹۸۲$ ، $۴/۶$ و $۶/۱$ می‌باشد. از این رو مدل شبکه عصبی مصنوعی از توانایی بیشتری نسبت به روابط رگرسیونی در پیش‌بینی راندمان تله‌اندازی رسوب سدهای تأخیری برخوردار است. همچنین نتایج نشان داد که محاسبه راندمان تله‌اندازی رسوب بستگی به تعداد پارامترهای به کار رفته در معادله دارد و باید با توجه به تعداد پارامترها، رابطه بهینه را انتخاب نمود.

کلمات کلیدی: راندمان تله‌اندازی رسوب، سد، شبکه عصبی، تحلیل ابعادی، مدل رگرسیونی

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 106 pp: 63-72

Comparing Artificial Neural Network and Regression Model to predict Sediment Trap Efficiency of Delayed Dams

By: A. Moradinezhad, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) (Corresponding Author). A. H. Haghiabi, Lorestan University. A. Parsaee, Lorestan University.

Artificial neural network is a new method to estimate phenomena changes that have wide application in various branches of science. Reservoir sediment traps efficiency and sediment volume is an issue that can be investigated with this method. The purpose of this study is the determinate of sediment trapping efficiency in delayed dams and a comparison between neural network methods with regression models. So in this study, was used the physical model of delayed dams in the soil conservation and watershed management research center. In order to simulate a flood hydrograph, was used the idea of a linear reservoir model. Then with the release of flood and sediment trap sediments, examined the function of delayed dam. Then, with identify the affecting parameters on reservoirs sediment trapping; was developed neural network model on based back propagation of error. Also was applied the regression models for investigation the relationship between the parameters and compare the estimation results with observation. Finally, was applied the statistical indexes R², RMSE and MAPE to assess the accuracy and precision of the model. According to results, the average values of R², RMSE and MAPE in regression models are equal to 0.456, 26.6 and 62.1 respectively; but are the values in the neural network model 0.982, 4.6 and 6.1. So the artificial neural network has more ability in compared to regression equation to predict trap sediment in delayed dams. Also the results showed estimation of sediment trapping efficiency has depend on the number of parameters in equation and must be determined the optimized equation on based number of parameters.

Keywords: Sediment Trapping Efficiency, Dimensional Analysis Neural Network, Dams, Regression Model

مقدمه

سدسازی از جمله پروژه‌های بسیار پرهزینه است. باید راهکارهایی برای حفظ، نگهداری و افزایش کارایی آنها در نظر گرفت. یکی از مواردی که باید دقیقاً تحت کنترل باشد، میزان و نحوه رسوبگذاری دریاچه سدها است. رسوبگذاری علاوه بر آنکه ظرفیت در نظر گرفته شده برای دریاچه سد را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش آن می‌گردد، ممکن است کارکرد برخی تأسیسات سدها (مانند برخی دریاچه‌ها) را نیز دچار اختلال کند (شمسی، منهاج و احمدیان، ۱۳۸۴). بنابراین لازم است میزان، توزیع رسوبگذاری و درصد رسوبات ته‌نشست شده در سدها دقیقاً تعیین گردد. در طراحی سدها معمولاً حجم مرده‌ای برای رسوبگذاری منظور می‌گردد که این حجم مرده بخش غیرمفید به لحاظ ذخیره آب و مهار سیلاب می‌باشد (Curtis, Mcuen ۱۹۷۷). چنانچه حجم مرده بیشتر از مقدار واقعی برآورد گردد باعث افزایش هزینه سد می‌شود و چنانچه کمتر از مقدار واقعی برآورد گردد، ممکن است قبل از پایان یافتن عمر طرح در اثر گرفتگی خروجی تحتانی عملکرد سد دچار مشکل گردد (Arver, Raudkir, ۱۹۹۹). لذا برای برآورد مقدار واقعی حجم مرده نیازمند به تخمین راندمان تله‌اندازی رسوب است. از طرفی یکی از روش‌های نوین در حل مسائل مهندسی منابع آب و مهندسی رودخانه استفاده از روش شبکه

عصبی مصنوعی است که با الگوبرداری از شبکه عصبی مغز انسان، ضمن اجرای فرایند آموزش، روابط درونی بین داده‌ها را استخراج کرده و در موقعیت‌های دیگر تعمیم می‌دهد. در دهه اخیر استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در رشته‌های مهندسی به علت راحتی، دقیق بودن و صرف وقت کمتر نسبت به سایر روش‌ها افزایش یافته است (مظاهری، ۱۳۸۶). امروزه تمایل به استفاده از شبکه‌های عصبی در بین مهندسی رودخانه و هیدرولوژیستها به شدت افزایش یافته است که از جمله آنها میتوان به Smith و Eli (Smith, Eli و Eli (n.d), Hsu, Gupta, Sorooshian (۱۹۹۵), Dawson, Wilby (Dawson, Wilby و Tokar و Markus (Tokar, Johnson (۱۹۹۹), Zhang و Goriddaraju (۲۰۰۰) و Zhang, Govindaraju (۲۰۰۳) و بسیاری دیگر اشاره کرد. همه این محققین به قدرتمند بودن این روش برای مدل‌سازی پدیده‌های مختلف به ویژه پدیده‌های غیرخطی اذعان کرده‌اند. رضایی و همکاران برتری استفاده از شبکه عصبی را بر رگرسیون خطی به منظور برآورد دبی حداکثر نشان دادند (رضایی، مهدوی، لوکس، فیض‌نیا، مهدیان، ۱۳۸۶). روش اندازه‌گیری بار معلق رسوب بر پایه اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق و دبی جریان روش مطمئن بوده و معمولاً تنها برای

حفاظت خاک و آبخیزداری ساخته شده بود استفاده گردید. مدل روی فلوم شیب‌پذیری با طول ۶ متر و عرض و ارتفاع (۰/۲۵) * آبنمود وجود دارد. در این مدل برای شبیه‌سازی آبنمود سیلاب از ایده مدل مخازن خطی استفاده می‌شود (۸). در مرحله بعد برای اینکه بتوان جریان سیلاب همراه با رسوب را شبیه‌سازی کرد از سه نوع ماده رسوبی شامل ماسه بادی دریایی با وزن مخصوص نسبی ۲/۶۵ و $D_{50} = 0/178$ ، خاک اره با وزن مخصوص نسبی ۱/۲۹۱ و $D_{50} = 0/271$ و سنگ پا با وزن مخصوص نسبی ۱/۵۲۳ و $D_{50} = 0/243$ برای شبیه‌سازی رسوب استفاده گردید. غلظت رسوبات به صورت حجمی در نظر گرفته می‌شد به این صورت که با حجم ۳۰۰ لیتر و غلظت ۱۰٪ حجم رسوبات مورد استفاده ۰/۰۳ متر مکعب می‌باشد که با توجه به وزن حجمی رسوبات مقدار وزن رسوبات مورد نظر محاسبه شد. روش آزمایش به این صورت بود که پس از مشخص کردن حجم و غلظت مورد نظر، وزن رسوب مشخص شد. پس از آماده کردن رسوب با وزن مشخص، آب از طریق پمپ به داخل مخزن اصلی پمپاژ (حجم آب مشخص بود) سپس در همین حال رسوبات وزن شده به آب داخل مخزن اضافه و توسط هم‌زن به هم زده می‌شد تا ذرات رسوب به صورت یکنواخت توزیع شود. در شروع آزمایش آب از مخزن اصلی وارد مخزن ثانویه و سپس به صورت آبنمود (جریان غیر دائم سیلاب) وارد فلوم شد. بعد از آزمایش نیز رسوبات پشت سد و خروجی از آن جمع‌آوری و وزن شد. بدین صورت که با رهاسازی سیلاب همراه با رسوب عملکرد سد تأخیری در تله‌اندازی رسوبات مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش‌ها پارامترهای مؤثر بر رسوبگذاری در مخازن با توجه به پدیده رسوبگذاری و سیلاب و نیز بررسی مقالات موجود تعیین گردید که تعداد این عوامل یازده پارامتر به صورت تابع زیر است.

(۱)

$$F(Q_{out}, Q_{in}, V_f, V_s, D_{50}, h_{max}, \gamma_s, \gamma_w, C, S, T_E) = 0$$

که در آن:

Q_{out} و Q_{in} دبی حداکثر خروجی و دبی حداکثر ورودی به مخزن سد تأخیری، V_f و V_s حجم مخزن سد تأخیری و حجم سیلاب، h_{max} و D_{50} ماکزیمم ارتفاع آب پشت سد و اندازه ذرات رسوب همراه با جریان، γ_w و γ_s به ترتیب جرم حجمی آب و رسوب، S و C شیب فلوم و غلظت رسوب همراه جریان ورودی به مخزن سد و T_E راندمان تله‌اندازی رسوب در سد تأخیری می‌باشد.

سپس برای اینکه بتوان یک گروه‌بندی مشخص از پارامترها که منجر به تقلیل تعداد آنها و تفسیر نتایج آزمایشگاهی شود (کم کردن تعداد آزمایش‌ها) و در هر سیستم آحادی از آن استفاده کرد و از طرفی چون دامنه تغییرات پارامترهای بدون بعد در مدل‌های کوچک و اصل یکی است، لذا پارامترها به صورت بی‌بعد درآورده شد. با استفاده از تحلیل ابعادی و روش باکینگهام عوامل بی‌بعد مؤثر در پدیده رسوبگذاری و راندمان تله‌اندازی محاسبه شد و تابع (۱) به صورت تابع (۲) درآمد. دستورالعمل روش باکینگهام به صورت زیر می‌باشد:

رودخانه‌های مهم و دائمی قابل استفاده می‌باشد (تلوری، ۲۰۰۶). از سال ۱۹۴۲ تلاش‌هایی به منظور تعیین راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای مخزنی انجام گرفت. در سال‌های اخیر نیز تحقیقاتی در مورد راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای مخزنی ایران انجام شده است. شمسی و همکاران در سال ۱۳۸۴ به بررسی مدل‌های ریاضی رسوبگذاری و مقایسه آن با شبکه عصبی پرداخت. نتایج نشان داد که تخمین بار رسوب در چند ایستگاه با استفاده از شبکه‌های عصبی، کارایی بهتری دارد (شمسی و همکاران ۱۳۸۴). احمدی و همکاران کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP, RBF و مدل‌های فیزیکی و تجربی را برای برآورد بار کل رسوب رودخانه‌ها بررسی نمودند. نتایج تحقیق نشان داد شبکه عصبی MLP توانسته است بار کل رسوب را با دقت بالایی پیش‌بینی نماید. ولی و همکاران (۱۳۹۰) کارایی مدل‌های شبکه عصبی و مدل رگرسیونی را برای پیش‌بینی بار رسوب جریان در حوزه سمندگان بررسی نمودند. نتایج نشان داد مدل‌های شبکه عصبی در مقایسه با رگرسیون مقدار رسوب را دقیق‌تر ارزیابی می‌کند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). اکبرپور و همکاران (۱۳۸۵) برای پیش‌بینی آورد رسوب در حوزه اهرچای مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون را با هم مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که مدل شبکه عصبی از کارایی بهتر و دقت بالایی برخوردار است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). انصاری پور و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون چندمتغیره در پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب، رودخانه سفیدرود پرداختند. نتایج نشان داد شبکه عصبی از قابلیت بالاتری نسبت به رگرسیون چند متغیره در این زمینه برخوردار است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). شوشتری و همکاران از شبکه عصبی برای برآورد بار معلق ایستگاه اهواز استفاده کردند و نتیجه گرفته شد که این روش در مقایسه با روش USBR نتایج دقیق‌تری دارد (شوشتری و کاشفی پور، ۲۰۰۶). مرادی‌نژاد و همکاران به بررسی راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری پرداختند و رابطه رگرسیونی بر اساس تحلیل عوامل بی‌بعد و مشخصه‌های سیلاب و مخزن به منظور تعیین راندمان تله‌اندازی رسوب ارائه دادند (مرادی‌نژاد و بنی‌حبیب، ۱۳۷۹). در مورد راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری مطالعات چندانی صورت نگرفته است. از آنجائیکه سدهای تأخیری صرفاً نقش تأخیر دهنده سیلاب را ایفا می‌نمایند و خروجی تحتانی آنها باز است، بنابراین ذخیره آب نخواهند داشت و همزمان با ورود سیلاب تخلیه آنها نیز شروع می‌شود لذا انتظار می‌رود که راندمان تله‌اندازی متفاوتی نسبت به سدهای مخزنی داشته باشند (مرادی‌نژاد و بنی‌حبیب، ۱۳۷۹). در این تحقیق قرار است مدل رگرسیون و شبکه عصبی مورد مقایسه قرار گیرد. در روش شبکه عصبی بدون درگیری با روابط غیرخطی که در عمل ناگزیر به ساده‌سازی آنها می‌باشد، رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را می‌توان به صورت یک شبکه آموزش دیده بدست آورد و پیش‌بینی‌های لازم را انجام داد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از مدل فیزیکی سد تأخیری که در پژوهشکده

۷- سر انجام مقادیر بدست آمده را در گروه‌های اولیه قرار داده و پارامترهای بدون بعد را بدست می‌آوریم،
 ۸- اگر تغییر شکل پارامترهای π مورد نظر باشد، مجدداً متغیرهای تکراری را تغییر داده و مراحل فوق را تکرار کرده تا رابطه نهایی بدست آید (White, ۱۹۸۶).
 روش بدست آمدن یکی از پارامترهای بی‌بعد در ذیل آمده است، بقیه پارامترها نیز به همین شکل بدست می‌آیند. در اینجا تعداد متغیرهای دخیل در مسئله $n=11$ می‌باشد. متغیرهای دخیل در مسئله را به صورت جدول تهیه کرده و ابعاد آنها تشکیل می‌شود. کمیت‌های اصلی و مستقل طول (L) زمان (T) جرم (M) یا طول زمان نیرو (F) تعیین می‌گردند ($k=3$)، تعداد پارامترهای بدون بعد هشت عدد می‌باشد ($11-3=8$).

جدول ۱- متغیرهای دخیل در مسئله و ابعاد آنها

TE	S	C	γ_w	γ_s	hmax	D50	Vs	Vf	Qin	Qou	کمیت اصلی
.	.	.	۱	۱	.	.	.	.	.	.	M(جرم)
.	.	.	-۲	-۲	۱	۱	۳	۳	۳	۳	L(طول)
.	.	.	-۲	-۲	.	.	.	.	-۱	-۱	T(زمان)

با توجه به متغیرهای تشکیل دهنده پارامترهای بی‌بعد، برنامه آزمایش‌ها و تغییرات لازم برای اندازه‌گیری داده‌ها در هر آزمایش انجام شد. تعداد کل آزمایش‌های انجام شده ۵۰ بود. پس از انجام آزمایش نیاز بود که پارامترهای بی‌بعد وابسته از تابع (۲) حذف شوند. در این آزمایش‌ها غلظت تابعی از شیب بود زیرا سدهای تأخیری در ناحیه کوهستانی ساخته می‌شوند و با افزایش شیب غلظت رسوب افزایش می‌یابد. دبی خروجی نیز تابعی از حداکثر ارتفاع آب در پشت سد می‌باشد. لذا پارامترهای وابسته به یکدیگر حذف شدند.

پارامترهای وابسته عبارت بودند از $(C, \frac{H}{\sqrt[3]{V_F}}, \frac{Q_O}{Q_N})$. پس از حذف پارامترهای وابسته تابع (۲) به صورت تابع (۳) درآمد.

$$F\left[S, \frac{D_{50}}{\sqrt[3]{V_F}}, \frac{\gamma_S}{\gamma_W}, Te, \frac{V_F}{V_S}\right] = 0 \quad (3)$$

پس از به دست آوردن تابع اصلی (۳)، رابطه بین پارامترهای بی‌بعد به عنوان متغیر مستقل و ضریب تله-اندازی رسوب (TE) به عنوان متغیر وابسته با استفاده از همبستگی غیرخطی چند متغیره مورد بررسی قرار گرفت. در این رابطه سعی شده ضریب تله‌اندازی رسوب در مخزن به صورت تابعی از پارامترهای بی‌بعد باشد. برای بررسی هر کدام از روابط بدست آمده از تحلیل همبستگی، خطای نسبی هر رابطه محاسبه گردید و رابطه بهتر بر اساس معیار خطای نسبی

۱- شناسایی تمام متغیرهایی که در پدیده دخالت دارند. آنها را به صورت جدول تهیه و ابعاد آنها را تشکیل می‌دهیم،
 ۲- انتخاب متغیرهای تکراری پارامترهای مستقل که در مجموع باید شامل تمام ابعاد اصلی و مسئله باشند،
 ۳- هر بار حاصل ضرب متغیرهای تکراری با نمای مجهول در یکی از متغیرهای باقیمانده با نمای معلوم (غالباً یک) ضرب کرده برابر π قرار می‌گیرد، هر π خود از $1+K$ متغیر تشکیل شده است،
 ۴- در هر گروه π به جای هر متغیر ابعادش را قرار داده و آن را حل می‌کنیم،
 ۵- برای هر یک از روابط π معادلات نماهای مربوط را نوشته به طوری که جمع نماهای هر یک از ابعاد برابر صفر باشد،
 ۶- معادلات نماها برای هر یک از مجهولات حل شود،

تعداد K متغیر از بین متغیرهای دخیل در مسئله انتخاب و به عنوان متغیرهای تکراری و مستقل مطرح می‌شود. این متغیرها بایستی شامل جمیع کمیت‌های اصلی بوده و ابعاد یکسانی هم نداشته باشند. متغیرهایی که انتخاب می‌شوند بایستی شامل خواص سینماتیکی، دینامیکی و هندسی جریان باشند (White, ۱۹۸۶).

$$Q_{in} D_{50} \pi_s Q_{ou} = \pi 1, Q_{in} D_{50} \pi_s h_{max} = \pi 2$$

$$Q_{in} D_{50} \pi_s V_f = \pi 3, Q_{in} D_{50} \pi_s V_s = \pi 4$$

$$Q_{in} D_{50} \pi_s \pi_w = \pi 5,$$

$$C = \pi 6, S = \pi 7, TE = \pi 8$$

هر بار حاصل ضرب متغیرهای تکراری با نمای مجهول در یکی از متغیرهای باقیمانده با نمای معلوم (غالباً یک) ضرب کرده برابر π قرار می‌گیرد، هر π خود از $1+K$ متغیر تشکیل شده است. روش بدست آوردن $\pi 1$

$$Q_{in} D_{50} \pi_s Q_{ou} = \pi 1 \rightarrow (L^{3a1} T^{-a1}) L^{b1} (M^{c1} L^{-2c1}$$

$$T^{-2c1}) (L^3 T^{-1}) = M^0 L^0 T^0 \rightarrow a1-1=1, b1=c0=1$$

$$\frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$\pi 1 =$$

بقیه پارامترهای بدون بعد به همین روش استخراج می‌شوند.
 (۲)

$$\Rightarrow T_E = f\left(C, S, \frac{Q_{out}}{Q_{in}}, \frac{V_F}{V_S}, \frac{D_{50}}{\sqrt[3]{V_F}}, \frac{h_{max}}{\sqrt[3]{V_f}}, \frac{\gamma_s}{\gamma_w}\right) = 0$$

\bar{O}_I میانگین مقادیر مشاهداتی و N نیز تعداد کل داده‌های مورد استفاده می‌باشد.

در این تحقیق از پارامترهای بی‌بعد به عنوان ورودی و خروجی مدل شبکه عصبی استفاده شد. و طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی با روش پس انتشار خطا و تجزیه و تحلیل پایداری و همگرایی فراسنج‌های اداره‌کننده سامانه‌های حلقه‌ای آن، عملکرد آن‌ها در برآورد و پیش‌بینی راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری که مدل آن در آزمایشگاه ساخته شده بود مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه حاضر به منظور پیش‌بینی راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری، به توسعه مدل شبکه عصبی پرداخته شد. برای مدل توسعه داده شده در محیط نرم‌افزار Matlab برنامه کامپیوتری تهیه شده است. مدل توسعه داده شده با ۷۰ درصد داده‌های اندازه‌گیری شده از آزمایش‌ها آموزش، صحت‌سنجی و با ۳۰ درصد داده‌ها ارزیابی شد. در نهایت عملکرد شبکه عصبی توسعه داده شده در مقایسه با روابط بدست آمده از آزمایش‌ها و فرمول‌های بدست آمده از روش رگرسیون مورد مقایسه قرار گرفت.

مدل شبکه عصبی

مدل شبکه عصبی یکی از کارآمدترین مدل‌های پیش‌بینی در مبحث مدل‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی می‌باشد دقت و صحت این مدل در زمینه‌های مختلف مهندسی آب توسط محققین مختلف به اثبات رسیده است. ساختار شبکه عصبی، ورودی‌های اعمال شده، تعداد لایه‌های مخفی، تعداد نرون‌های لایه‌ها، نحوه آموزش و تعداد بردارهای خروجی هر شبکه در ارزیابی عملکرد مدل مؤثر است. در شبکه‌های از نوع انتشار برگشتی قاعده مشخصی برای انتخاب لایه‌های پنهان و همچنین تعداد نرون‌ها در لایه پنهان وجود ندارد (دزفولی، ۱۳۸۴). در حل مسائل هیدرولوژی با توجه به تغییرات شدید داده‌ها، اغتشاش حاکم بر داده‌ها استفاده از شبکه‌های از نوع پس انتشار خطا به دلیل قابلیت انعطاف‌پذیری بالا با معماری منطبق بر تجربه و آزمون و خطا استفاده می‌شود. تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌های لایه‌های مخفی به روش آزمون و خطا و مقایسه عملکرد خطای آن‌ها انتخاب می‌شوند. در بیشتر مطالعاتی که مورد بررسی قرار گرفت، از شبکه‌های پرسپترون چند لایه با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا به منظور پیش‌بینی راندمان تله‌اندازی رسوب استفاده شده است. ساختار بهینه‌ترین آرایش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه از بین تمامی آرایش‌ها و دیگر توابع محرک که بهترین عملکرد را دارند در هنگام شروع آموزش شبکه، وزن‌ها دارای یک مقدار اولیه بوده که یا توسط مقادیری اتفاقی و یا توسط نتایج آزمایشگاهی پیشین مقداردهی می‌شوند. معمولاً در MLP تابع فعال کننده سیگموئیدی در نظر گرفته می‌شود و توسط تکنیک Levenberg-marquardt به علت داشتن قدرت و سرعت بیشتر نسبت به روش گرادینان شیب، آموزش داده شده است. اساساً ایجاد ساختار مناسب شبکه در یک مسئله، توسط سه مرحله تثبیت ساختار، آموزش شبکه و کنترل شبکه انجام می‌گیرد. مدل توسعه داده شده برای روش ANN دارای یک لایه پنهان با تابع انتقال سیگموئیدی می‌باشد. ورودی‌ها و خروجی

و R^2 adjust انتخاب شده است. برای تجزیه و تحلیل معادله (۳) و داده‌های بدست آمده از آزمایش‌ها، از نرم‌افزار (SPSS) استفاده گردید. داده‌ها وارد نرم‌افزار (SPSS) شدند، سپس پارامترهای وابسته و مستقل مشخص شدند. پارامترهای مستقل ۴ پارامتر و پارامتر وابسته فقط (TE) بود. برای استفاده از رگرسیون چند متغیره غیرخطی باید ابتدا مدل ریاضی به نرم‌افزار داد تا بتواند ضرایب آن را برای ما محاسبه کند. برای تشخیص بهترین مدل بایستی $Zadju$ R (ضریب تبیین) و خطای نسبی آنرا بدست آورد و بهترین مدل را انتخاب کرد، برای انتخاب بهترین مدل در مرحله اول ۵۰ مدل ریاضی به نرم‌افزار داده شد تا بر داده‌ها برازش دهد، نرم‌افزار (SPSS) ضرایب هر مدل ریاضی و $Zadju$ R آنرا محاسبه کرد، از میان این ۵۰ مدل ۱۵ مدل که R^2 آن بالاتر از بقیه بود انتخاب و معادلات آنها نوشته شد. پس از بدست آوردن معادلات، خطای نسبی هر معادله از فرمول (۴) بدست آمد.

$$r_{error} = \frac{1}{n} \sum \frac{|T_{E.o} - T_{E.c}|}{T_{E.o}} \quad (4)$$

سپس ۱۵ معادله با هم مورد مقایسه قرار گرفتند و بهترین آنها که ضریب تبیین بیشتری داشت و خطای نسبی آن نیز کم بود انتخاب شد. در مرحله بعد از روش گام به گام استفاده و متغیرهای کم اهمیت چون F آنها بیش از F در نظر گرفته شده بود وارد مدل نشدند. دو متغیر دیگر که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارند وارد مدل شدند. مدلهایی بر اساس این دو پارامتر به عنوان متغیر مستقل و راندمان تله‌اندازی به عنوان متغیر وابسته، به وسیله نرم‌افزار SPSS از روش غیرخطی (Nonlinear) بر داده‌ها برازش داده شد. سپس نرم‌افزار (R^2) ضریب تبیین متغیرها و ضرائب مدل‌ها را محاسبه کرد. بعد از به دست آوردن معادلات خطای نسبی هر معادله از فرمول (۴) محاسبه شد سپس بهترین معادله که R^2 آن بالا و (r) خطای نسبی آن پایین بود انتخاب و پیشنهاد شد. پس از اینکه مدل رگرسیونی تهیه، با ۳۰ درصد از داده‌ها ارزیابی شد. از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در بررسی راندمان تله‌اندازی رسوب استفاده شد. همچنین پارامترهای آماری R -Square، RMSE از معادلات (۵) و (۶) بدست آمده‌اند.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{I=1}^N (O_I - T_I)^2}{\sum_{I=1}^N (O_I - \bar{O}_I)^2} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{I=1}^N (O_I - T_I)^2}{N}} \quad (6)$$

که در این روابط O_i مقادیر نتایج مشاهداتی، T_i نتایج محاسباتی،

عنوان متغیرهای مستقل و ضریب تله‌اندازی رسوب به عنوان متغیر وابسته با استفاده از همبستگی غیرخطی چند متغیره می‌باشد. در این رابطه سعی شده است که ضریب تله‌اندازی رسوب در مخزن به صورت

تابعی از پارامترهای بی بعد باشد.

$$T_E = a_0 + a_1 \times \left(\frac{V_f}{V_s} \right) + a_2 \times \left(\frac{D_{50}}{\sqrt[3]{V_f}} \right)^2 + a_3 \times \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} \right)^{1.5} + a_4 \times S^{0.5}$$

که در آن کلیه پارامترها در قسمت‌های قبل توضیح داده شده است و ضرایب در جدول (۳) آمده است.

جدول ۲- مشخصات آماری داده‌ها

شاخصه‌های آماری	S	$\frac{\gamma_s}{\gamma_w}$	$\frac{D_{50}}{\sqrt[3]{V_f}}$	$\frac{V_f}{V_s}$	TE
انحراف معیار	۰/۰۱۱۶	۰/۵۹۶۹	۰/۰۰۰۱۲۹۲	۰/۳۱۱۹	۲۵/۷۹۶۸
میانگین	۰/۰۴۲۴	۱/۸۴۵۴	۰/۰۰۰۴۱۰۷	۱/۴۶۱۹	۶۴/۸۹۱۱
حداقل	۰/۰۲۵	۱/۲۹	۰/۰۰۰۰۵۳۶	۰/۸۸۸۸	۳۱/۸۴۴
حداکثر	۰/۰۶	۲/۶۵	۰/۰۰۰۵۸۲	۲/۳۴۱	۹۸/۵۵۶

جدول ۳- ضرایب معادله (۷)

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
۵۹/۲۶۸	۰/۸۹۱	۱۴۲۳۱۲۰۸۴/۹۸	۲۰/۰۳۲	-۶۴۵/۵۰۰۴۱

بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارند و متغیرهای $\left(\frac{D_{50}}{\sqrt[3]{V_f}} \right)$ و S چون آنها بیش از F در نظر گرفته شده بود وارد مدل نشدند. معادله شماره (۸) که یک معادله غیرخطی است از روش گام‌به‌گام بدست آمده است. این معادله دارای خطای کمتری نسبت به سایر معادلات است.

(۸)

$$E = a_0 + a_1 \times \left(\frac{V_f}{V_s} \right)^{0.0} + a_2 \times \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} \right)^2$$

جدول ۴- ضرایب معادله (۸)

2adjus R	خطای نسبی	a_0	a_1	a_2
٪۸۳۸	٪۱	۴۰۷۷/۰۱۲	-۴۰۱۶/۵۶۹	۶/۷۶۰

این مدل پارامترهای بی بعدی می‌باشند که از آنالیز ابعادی بدست آمده‌اند. مدل توسعه داده شده دارای یک لایه با ده (۱۰) نرون در لایه پنهانی میانی می‌باشد.

نتایج و بحث

محدوده داده‌هایی که در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده و همچنین مشخصات آماری مانند حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار آنها در جدول (۲) آورده شده است.

معادله (۷) مدل رگرسیون چندمتغیره (۴ پارامتر) است. این معادله دارای $2adjus R = 9452\%$ و خطای نسبی ۰/۰۶۱۱ با فاصله اطمینان ۰/۰۹۵ است. این معادله رابطه بین پارامترهای بی بعد به

بعد از اینکه رابطه همبستگی بین ۴ متغیر بدست آمد، متغیرها با استفاده از نرم‌افزار SPSS از روش گام به گام مورد بررسی قرار گرفتند. در روش گام به گام متغیرها بصورت تک تک مورد بررسی قرار می‌گیرند و درجه اهمیت آنها در رابطه همبستگی مشخص می‌شود. میزان اهمیت متغیر در مدل مقدار سطح معنی‌داری یا آماره F متناظر با آن در جدول آزمون معنی‌داری متغیرهاست. اگر متغیری

F بیشتری از F در نظر گرفته شده داشته باشد وارد مدل نمی‌شود.

در روش گام به گام مشخص شد که متغیرهای $\left(\frac{V_f}{V_s} \right)$ و $\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} \right)$

با توجه به جداول (۵) و (۶) میانگین مقادیر R^2 ، $RMSE$ و $MAPE$ در مدل‌های رگرسیونی به ترتیب برابر $۰/۴۶۵$ ، $۲۶/۶$ و $۶۲/۱$ می‌باشد، در حالی که مقادیر این شاخص‌ها در مدل توسعه داده شده شبکه عصبی به ترتیب برابر $۰/۹۸۲$ ، $۴/۶$ و $۶/۱$ می‌باشد. پس دقت نتایج شبکه عصبی توسعه داده شده در مقایسه با روابط تجربی بدست آمده از رگرسیون ارائه شده بسیار بیشتر می‌باشد.

با توجه به جداول (۳) و (۴) محاسبه راندمان تله‌اندازی رسوب بستگی به تعداد پارامترهای به کار رفته در معادله دارد و بایستی با توجه به تعداد پارامترها، رابطه بهینه را انتخاب نمود. در زمانی که چهار پارامتر بدون بعد وجود داشته باشد، برای محاسبه راندمان تله‌اندازی رسوب از معادله (۷) استفاده می‌شود. در صورتیکه فقط دو پارامتر بدون بعد وجود داشته باشد، فرمول (۸) پیشنهاد می‌شود.

جدول ۵- محاسبات خطای مربوط به مدل‌های ریاضی

معادله	MAPE	RMSE	R^2
(۵)	۹۷/۸۶	۳۲/۲۷	۰/۶۹۴
(۶)	۲۶/۳۳	۲۱/۰۵	۰/۴۳۶
متوسط	۶۲/۱	۲۶/۶	۰/۴۶۵

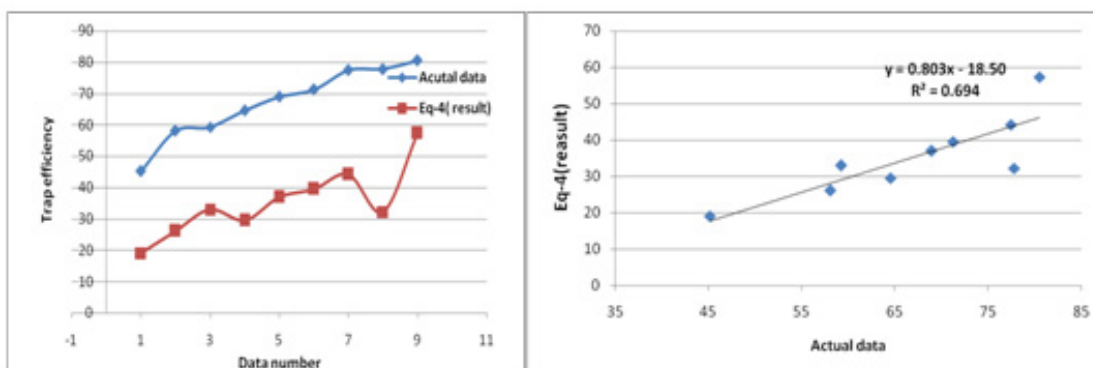
جدول ۶- محاسبات خطای مربوط به مراحل توسعه مدل شبکه عصبی

مراحل	MAPE	RMSE	R^2
آموزش	۱/۰۳	۱/۱۴	۰/۹۹۸
صحت‌سنجی	۸/۶۶	۴	۰/۹۷۸
تست	۸/۳۸	۸/۶۹	۰/۹۷۱
متوسط	۶/۱	۴/۶	۰/۹۸۲

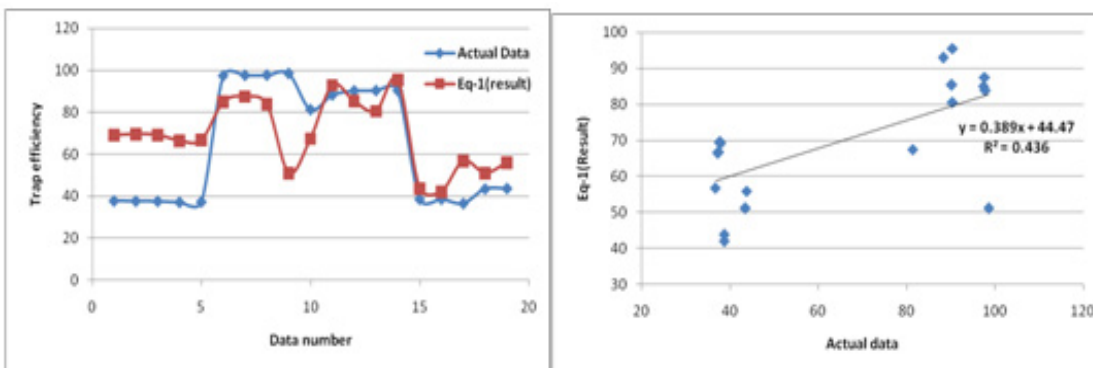
نتایج نشان می‌دهد مدل توسعه داده شده در تمام مراحل آموزش، صحت‌سنجی و آزمایش از دقت بسیار مناسبی برخوردار می‌باشد و می‌توان برای پیش‌بینی راندمان تله‌اندازی سدهای تأخیری استفاده نمود.

نتایج این تحقیق و تحقیقات شوشتری و همکاران در استفاده از شبکه‌های عصبی برای برآورد بار معلق ایستگاه اهواز و مقایسه با روش USBR، احمدی و همکاران در کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP, RBF و مدل‌های فیزیکی و تجربی برای برآورد بار کل رسوب رودخانه‌ها، ولی و همکاران در کارایی مدل‌های شبکه عصبی و مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی بار رسوب جریان در حوزه سمنگان، اکبریور و همکاران برای پیش‌بینی آورد رسوب در حوزه اهرچای و انصاری پور و همکاران در ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون چندمتغیره در پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب رودخانه سفیدرود، نشان می‌دهد که شبکه عصبی از قابلیت بالاتری نسبت به رگرسیون چند متغیره، روش USBR و مدل‌های فیزیکی و تجربی در این زمینه برخوردار است.

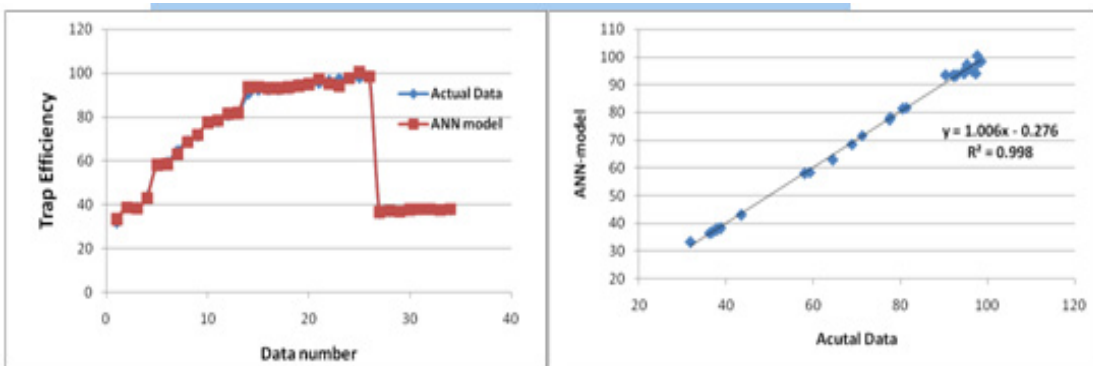
نتایج حاصل از فرمول‌های تجربی در شکل‌های (۱) و (۲) و نتایج حاصل از اجرای مدل شبکه‌عصبی در شکل‌های (۳) تا (۵) آمده است و همچنین محاسبه خطا با استفاده از پارامترهای آماری در جدول (۶) آورده شده است. با توجه به شکل (۱) و (۲) مقایسه نتایج داده‌های محاسباتی از فرمول و داده‌های مشاهداتی دارای ارتباط ضعیفی می‌باشند به طوری که R^2 آنها $۰/۶۹$ و $۰/۴۳$ می‌باشد و همپوشانی خوبی با هم ندارند. ولی در شکل‌های (۳) و (۴) و (۵) مقایسه نتایج نشان می‌دهد که داده‌ها با هم ارتباط نزدیکی دارند به طوری که R^2 آنها به $۰/۹۷$ و $۰/۹۹$ رسیده. همان‌طور که از جداول (۵) و (۶) و شکل‌های (۳) و (۴) و (۵) پیداست دقت نتایج شبکه عصبی توسعه داده شده در مقایسه با روابط تجربی رگرسیونی ارائه شده بسیار بیشتر می‌باشد. نتایج حاصل از اجرای مدل در شکل‌های (۴) تا (۵) آمده است. $RSME$ اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و محاسبه شده را نشان می‌دهد کمترین مقدار $RSME$ بالاترین صحت پیش‌گویی را نشان می‌دهد. همچنین مقدار R -Square نشانگر میزان بازده مدل توسعه داده شده می‌باشد. همان‌طور که



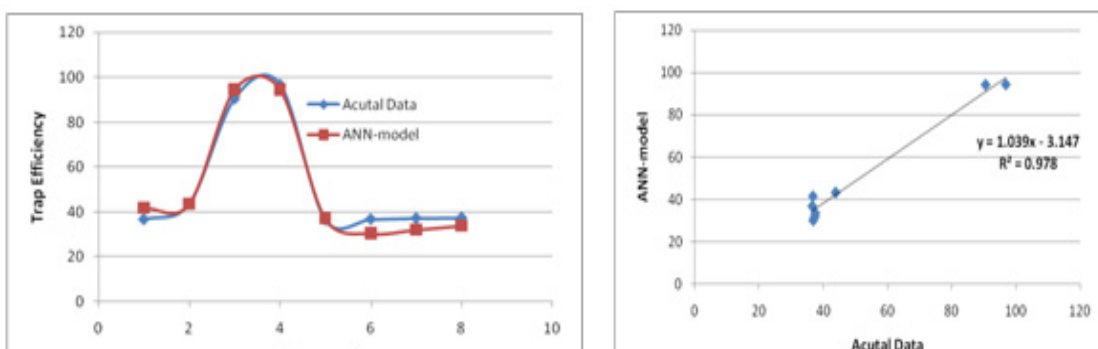
شکل ۱- مقایسه نتایج حاصل از نتایج معادله (۷) با داده‌های مشاهداتی



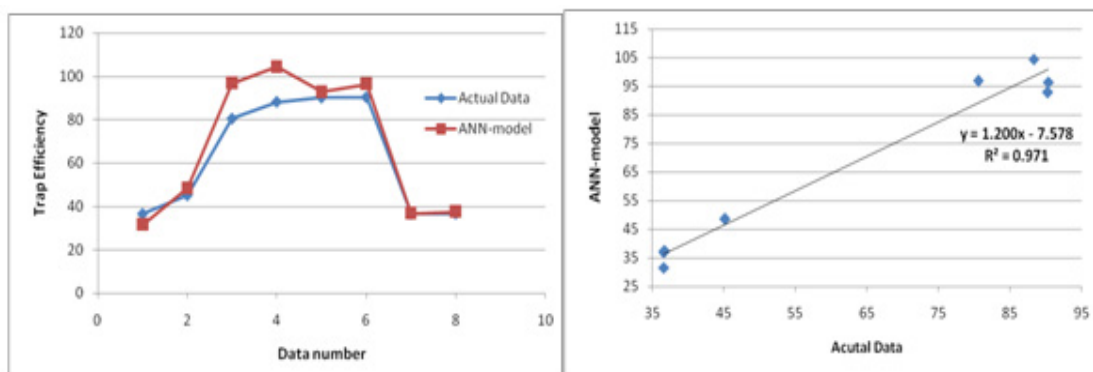
شکل ۲- مقایسه نتایج حاصل از نتایج معادله (۸) با داده‌های مشاهداتی



شکل ۳- ارزیابی مدل توسعه داده شده در مرحله آموزش



شکل ۴- ارزیابی مدل توسعه داده شده در مرحله صحت‌یابی



شکل ۵- ارزیابی مدل توسعه داده شده در مرحله آزمایش

small reservoir. 6th international symposium on river sedimentation

6. Chen, J, Adams, BI, (2006) Integration of Artificial neural networks with conceptual models in rainfall-runoff modeling. J. Hydrol, 249-232, 318.

7. Curtis D.C and ,R.H Mcuen.(1977).design efficiency of stormwater detentisin, Proceedings American Society of Civil Engineers, Journal of water Resources planning and management division. 40-103.125.

8. Dawson, cw, wilby, R. (1998) Anartificial neural network approach for rainfall-runoff modeling. Hydr. sci., -47, 43 66.

9. Dezfouli, k. A., (1384). Principles and applications of fuzzy theory in modeling water engineering problems. Published by Amir Kabir University Jihad Unit.

10. Hsu, KL, Gupta, HV, sorooshian, s. (1995) Artificial Neural Network modeling of rainfall-runoff modeling. Water Resour. Res.,2530-2517, 31.

11. Kartapulus, S. V. (1384), Fuzzy Logic and Neural Networks (Concepts and Applications). Translate Mahmoud Jurabyan Rahmat Hoshmand. Shahid Chamran University Press.

12. Mazaheri, M. (1386) Application of artificial neural networks in the dynamics of the dam break flood hydrograph stone, and set the output hydrograph basin. Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of irrigation facilities.

13. Moradinejad, A., Bani Habib, M.. A. (1379) Assessment of sediment trap efficiency delays using the physical model. MS Thesis Hydraulic Structures Tehran modares Tarbiat University.

14. Rezaei, A. Mahdavi, M. Lux, k. Fiznia, S, Mahdian, M. H. (1386) Regional modeling of peak flows in the Sefidrod

بحث و نتیجه گیری

- میانگین مقادیر R^2 , RMSE و MAPE در مدل‌های رگرسیونی به ترتیب برابر ۰/۴۶۵، ۲۶/۶ و ۶۲/۱ می‌باشد، در حالی که مقادیر این شاخص‌ها در مدل توسعه داده شده شبکه عصبی به ترتیب برابر ۰/۹۸۲، ۴/۶ و ۶/۱ می‌باشد.

- محاسبه راندمان تله‌اندازی رسوب بستگی به تعداد پارامترهای به کار رفته در معادله دارد و بایستی با توجه به تعداد پارامترها، رابطه بهینه را انتخاب نمود. در زمانی که چهار پارامتر بدون بعد وجود داشته باشد، برای محاسبه راندمان تله‌اندازی رسوب از معادله (۷) استفاده می‌شود. ولی در صورتیکه فقط دو پارامتر بدون بعد وجود داشته باشد، فرمول (۸) پیشنهاد می‌شود.

- نتایج این تحقیق و تحقیقات شوشتری و همکاران، احمدی و همکاران، اکبرپور و همکاران و انصاری پور و همکاران نشان می‌دهد که دقت نتایج شبکه عصبی توسعه داده شده در مقایسه با روابط تجربی بدست آمده از رگرسیون چند متغیره، روش USBR و مدل‌های فیزیکی و تجربی، از قابلیت بالاتری در این زمینه برخوردار است.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi shoshtari, S. and Kashefipoor, M. 2006. Estimation of suspended sediment using artificial neural networks (case study: Ahvaz Station), 7th international rivers engineering conference, Ahvaz, iran, p 813.
2. Ahmadi, A. Flamky, A. 1391. Estimated total sediment load in rivers by artificial neural networks. Iranian Hydraulic Conference. Oromye. Iran.
3. Arver j.and , I. Raudkir.(1985) . sedimentation exclusion and removal of sediment from divert water.Hydraulic Structures design Manuval IAHR.
4. Beale,M. H, Hagan,M.T, Demuth,H.B,(2011), Neural Network Toolbox. Math Works, Inc.
5. Campose R and, E.m Colado.(1995). Silting of

province. Pajouhesh and sazandegi j. p 56

19. Tokar, AS, Johnson, PA, (1999) Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks. J. Hydr. Engg., 239-232 ,4.

20. Tokar, AS, Markus, M, (2000) precipitation-runoff modeling using artificial neural networks and conceptual models. J. Hydr. Eng., 161-156 ,5.

21. White, F.M, Fluid Mechanics.secind ed., McGraw-Hill, 1986.

22. Yang, G. T. (1996) Sediment Transport: Theory and Practice : the Mc Graw-Hill Companies . Inc.

23. Zhang, B. Govindaraju, RS, (2003) Geomorphology-based artificial neural networks for estimation of direct runoff over Watersheds. J. Hydrol., 34-18 ,273.

Dam catchments using artificial neural networks. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, PP 39-25.

15. Shamsi, A. T., Menhaj, M.. B.. And Ahmadian, R. (1384) Sediment estimate using neural networks for supercritical and subcritical flows. Iranian Hydraulic Conference. Kerman. Iran.

16. Smith, j, Eli, RB, neural Network models of rainfall-runoff process. J. Water Resour. Plng. Mgmt., 239-232 ,4.

17. Soltani, S., Sardari, S., Sheikhpour, M., And Mousavi, S. F. (1389) Neural Networks. Press Nas, Tehran

18. Telvari, a. 2006. Relationship between suspended sediment yield and some of the catchment characteristics in some catchments of Dez and Karkheh rivers in Lorestan

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■