پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه با استفاده از سیستم استنتاج فازی– عصبی تطبیقی

امیراحمد دهقانی[1]، مرتضی نبی‌زاده[2]
1-استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
Email: Nabizade49@gmail.com

خلاصه

در این تحقیق با استفاده از سیستم استنتاج فازی –عصبی تطبیقی به پیش‌بینی جریان رودخانه لیقوان پرداخته شده‌است. داده‌ها به صورت روزانه و به مدت 6 سال (از سال آبی 76 تا 81) می‌باشد که به منظور بررسی تأثیر گام‌های زمانی قبل در جریان آتی، از 1 تا 5 گام به صورت روزانه استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان دهنده‌ی دقت بالای سیستم استنتاج فازی –عصبی تطبیقی(RMSE=0.0234 برای دوره‌ی آزمون) در پیش‌بینی جریان رودخانه لیقوان است. در انتها با انتخاب مدل بهینه در بخش قبل(مدل 1)، تاثیر کدگذاری روی داده‌های ورودی بر نتایج شبیه‌سازی دبی مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی جریان، عدم قطعیت، سیستم استنتاج فازی- عصبی، کدگذاری، لیقوان

1. مقدمه

رشد جمعیت و مصرف سرانه‌ی آب و از طرفی تغییرات اقلیمی، افقهایی از عمرانهای آبی را در آینده‌ای نه چندان دور پیش‌رو می‌گذارد. فائق آمدن بر این بحرانها و کاهش اثرات سوء آنها، تنها در سایه‌ی مدیریت و برنامه‌ریزی در بهره‌برداری بهینه از منابع آب و با اتکاء به دانش روز عملی می‌باشد و محدودیت‌های منابع آبی موجود و توانایی دسترسی به آنها، اهمیت مدیریت و برنامه‌ریزی آب را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

مدیریت منابع آب در حالت کلی شامل دو رکن اساسی برآورد میزان تقاضای آب و پیش‌بینی جریان است. برآورد میزان تقاضای آب هیچگونه مشکل اساسی ندارد و به راحتی قابل محاسبه می‌باشد، زیرا میزان آب کشاورزی مورد نیاز با درنظرگرفتن اراضی آبی زیرکشت پایین‌دست و نیاز آبی محصولات در ماههای مختلف قابل محاسبه می‌باشد. آنچه که مسئله را دشوار می‌سازد، پیش‌بینی جریان رودخانه در ماههای آینده می‌باشد.

بطورکلی مدل‌های پیش‌بینی را می‌توان به دو دسته کوتاه‌مدت و بلندمدت تقسیم‌بندی نمود. مدل‌های کوتاه‌مدت که مقیاس زمانی آنها ساعتی یا روزانه می‌باشد بیشتر در ارتباط با پیش‌بینی سیلاب کارایی دارند در حالی که مدل‌های بلندمدت که مقیاس زمانی آنها ماهانه و فصلی می‌باشد در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در یک فصل یا سال آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور کلی برای پیش‌بینی بلندمدت جریان رودخانه که یکی از مهم‌ترین مسایل در مدیریت منابع آب می‌باشد روش‌های مختلفی از جمله رگرسیون، مدل‌های استوکستیکی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق‌فازی و غیره توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است(پوستی‌زاده، 1385). در طول دهه‌ی گذشته شاهد کاربرد گسترده‌ی روش‌های هوش مصنوعی(شبکه عصبی و منطق‌فازی) در مسائل غیرخطی و پیچیده در محیط و هیدرولوژی بوده‌ایم. این روش‌ها به عنوان مدل مبتنی بر داده قادرند بدون در نظر گرفتن محدودیت فیزیکی محیط یک ارتباط منطقی بین ورودی و خروجی با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای برقرارکنند. باتوجه به عدم قطعیت ها و پیچیدگی‌هایی که نوعی رابطه غیرخطی بین دبی در گام‌های قبل نسبت به گام بعد برقرار کرده اعتقاد بر این است که روش‌های هوش مصنوعی قادرند به راحتی روابط غیرخطی مابین گام‌های مختلف دبی رودخانه را شبیه‌سازی کنند(سلاجقه و همکاران، 1388).

سلاجقه و همکاران(1388)، به تخمین رسوب معلق رودخانه طالقانرود با استفاده از روش نورو- فازی یا ANFIS[1] پرداختند. ایشان با استفاده از روش ANFIS، میزان رسوب معلق رودخانه طالقان در ایستگاه گلینک را تخمین زدند. نتایج حاکی از آن است که روشANFIS نسبت به مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و منحنی سنجه رسوب عملکرد خوبی داشته و همچنین لگاریتم‌گیری از داده-ها قبل از ورود آن‌ها به شبکه تأثیر چندانی بر روی عملکرد مدل‌های مختلف نداشته است.

1- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

فلاح قالهری و همکاران(1386)، به بررسی کاربرد سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی(ANFIS) و سیستم استنتاج فازی ممدانی در پیش‌بینی بارش سالیانه پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش، نشان می‌دهد، سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی و سیستم استنتاج فازی در70 درصد از سال‌ها می تواند بارش را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کنند.

در تحقیق کیسی و همکاران(2008) عملکرد روش نورو- فازی در تخمین رسوب معلق ماهانه دو رودخانه کیولوس[1] و سالورکوپروسو در ترکیه نسبت به مدل های شبکه عصبی مصنوعی و منحنی سنجه رسوب بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد، روش نورو- فازی عملکرد بهتری در تخمین میزان بار معلق رودخانه نسبت به دو روش دیگر داشته است.

در تحقیقات سوین و ناندوری(2005)، مدل ANFIS جهت پیش‌بینی جریان آب سیستم پیچیده و غیرخطی حوضه‌ی رودخانه که باران را به عنوان ورودی دریافت و رواناب را تولید می‌کند، معرفی شده‌است. همچنین در این تحقیقات یک مدل نرو- فازی جهت پیش‌بینی جریان‌های ده روزه به داخل مخزن هیراکود[2]بر روی رودخانه ماهانادی[3] در ایالت اوریسا[4] در هند توسعه داده شده است و متغیرهای ورودی مؤثر بر جریان در مخزن با استفاده از آنالیز همبستگی تعیین شده‌اند. نتایج حاصل از ارزیابی مدل فوق با استفاده از شاخص‌های اجرائی گوناگون، دلالت بر توانائی آن جهت مدل‌سازی فرآیند جریان با دقت منطقی و پیش‌بینی جریان دارد.

نایاک و همکاران(2004) در تحقیق خود به کاربرد مدل ANFIS برای مدل‌سازی سری‌های زمانی هیدرولوژی پرداختند. نتایج حاصل شده از تحقیقات این محققین دلالت بر ارجحیت و کاربرد خوب این مدل در زمینه شاخص‌های آماری مختلف دارد و به مزیت این مدل در زمینه‌ی حفظ خصوصیات آماری سری‌های جریان آغازین و حفظ پتانسیل شبکه عصبی و تسهیل فرآیند ساخت مدل اشاره شده و نتایج بدست آمده بسیار امیدبخش گزارش شده‌است.

در تحقیق حاضر با استفاده از سیستم استنتاج فازی – عصبی تطبیقی به پیش‌بینی جریان رودخانه لیقوان پرداخته شده است و به منظور بررسی تأثیر گام-های زمانی قبل در جریان آتی، از 1 تا 5 گام قبل و به صورت روزانه استفاده گردید.

2. مواد و روشها

1.2 سیستم استنتاج فازی– عصبی تطبیقی(ANFIS)

از زمانی که پروفسور زاده تئوری منطق فازی را به منظور توصیف سیستم های پیچیده پیشنهاد داد، این منطق بسیار مشهور شده است و به طور موفقیت آمیزی در مسائل به ویژه کنترل کننده‌هایی مثل رآکتورهای شیمیایی،قطارهای خودکار و رآکتورهای هسته‌ای به کار گرفته شده است. اخیراً منطق فازی برای مدل کردن مدیریت مخازن و حل ویژگی‌های مبهم آن پیشنهاد شده است. با وجود این، مشکل اصلی منطق فازی این است که روند سیستماتیکی برای طراحی یک کنترل کننده‌ی فازی وجود ندارد. به عبارت دیگر، یک شبکه‌ی عصبی این توانایی را دارد که از محیط آموزش ببیند(جفت‌های ورودی- خروجی)، ساختارش را خود مرتب کند و با شیوه‌ای تعامل خود را تطبیق دهد. بدین منظور پروفسور جنگ در سال 1993 مدل ANFIS را ارائه کرد که قابلیت ترکیب توانایی دو روش مذکور را داشت.

1.1.2 ساختار و الگوریتم

سیستم استنتاج فازی- عصبی قابلیت خوبی در آموزش، ساخت و طبقه‌بندی دارد و همچنین دارای این مزیت است که اجازه‌ی استخراج قوانین فازی را از اطلاعات عددی یا دانش متخصص می‌دهد و به طور تطبیقی یک قاعده- بنیاد می‌سازد. علاوه بر این، می‌تواند تبدیل پیچیده‌ی هوش بشری به سیستم‌های فازی را تنظیم کند. مشکل اصلی مدل پیش‌بینی ANFIS ، احتیاج نسبتاً زیاد به زمان برای آموزش ساختار و تعیین پارامترها می‌باشد. به

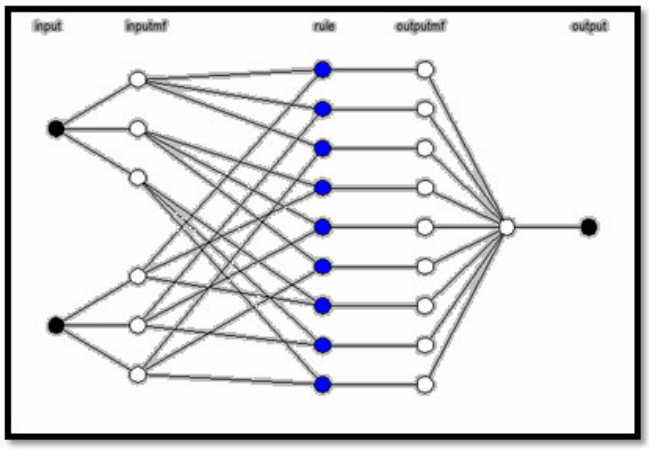
1-Kuylus
2-Hirakud
3-Mahanadi
4-Orissa

منظور ساده سازی، فرض می‌شود که سیستم استنتاجی مورد نظر دو ورودی x و y و یک خروجی z دارد. برای یک مدل فازی تاکاگی- سوگنو درجه اول، می توان یک مجموعه قانون نمونه را با دو قانون اگر- آنگاه فازی به صورت زیر بیان کرد:

قانون اول: اگر x برابر A_1 و y برابر B_1 باشد آنگاه $z_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

قانون دوم: اگر x برابر A_2 و y برابر B_2 باشد آنگاه $z_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$

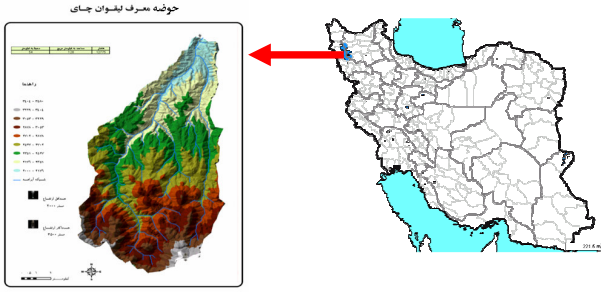
که p_i ، q_i و r_i (i=1,2) پارامترهای خطی تالی مدل فازی تاکاگی- سوگنو درجه اول هستند. ساختار ANFIS شامل پنج لایه می‌باشد(طارقیان و همکاران، 1385). در شکل(1) نمونه‌ای از یک ساختار ANFIS مربوط به یکی از مدل‌های مورد بررسی قابل مشاهده است:



شکل 1- یک نمونه از ساختار مدل ANFIS

2.2 منطقه مورد مطالعه

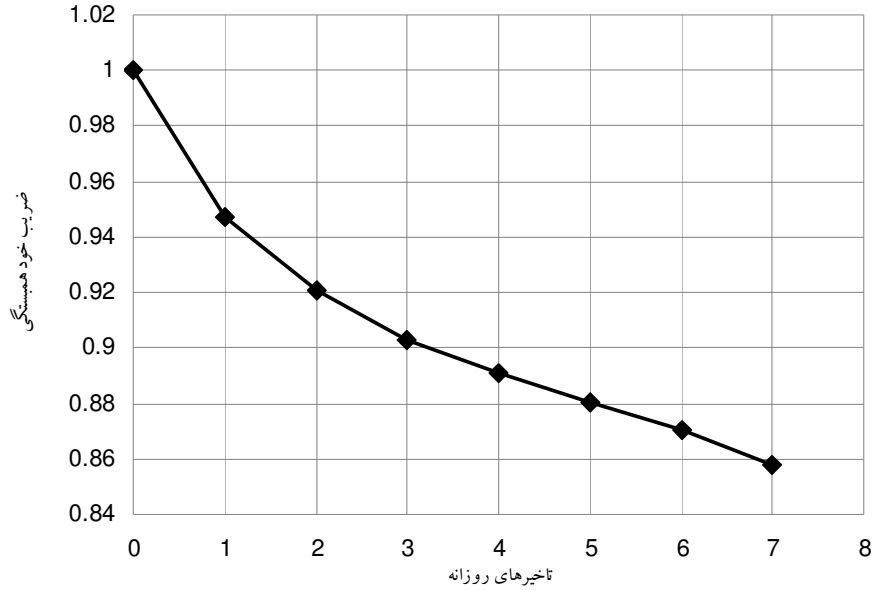
حوضهٔ آبریز لیقوان یکی از زیرحوضه‌های دریاچهٔ ارومیه بوده و با وسعتی معادل 76 کیلومتر مربع در دامنهٔ شمالی سهند بین طول‌های شرقی 46 درجه و 20 دقیقه و 30 ثانیه تا 46 درجه و 27 دقیقه و 30 ثانیه و عرض‌های شمالی 37 درجه و 42 دقیقه و 55 ثانیه تا 37 درجه و 49 دقیقه و 30 ثانیه، گسترده شده است. به طور کلی حوضه آبریز لیقوان به علت وجود پوشش‌های برفی دائمی در ارتفاعاتِ مختلف آن دارای رژیم برفی است. ذوب برف در جریان دائمی آن مؤثر و قابل ملاحظه است. ریزش باران‌ها در ماه‌های بهار و تابستان شدید بوده و این امر اثر قابل توجهی در بالا بردن مقدار دبی رودخانه دارد. متوسط جریان رودخانه در طی سالهای آماری مورد مطالعه 0/62 متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است.



شکل 2- موقعیت حوضه ی لیقوان

3.2 مدلسازی با سیستم استنتاج فازی و سیستم استنتاج فازی– عصبی تطبیقی

در ابتدا جهت بررسی اولیه داده‌ها و تعیین بهترین تأخیرها، خود همبستگی بین داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به کرولوگرام داده ها(شکل2) ضریب خود همبستگی داده‌ها برای 1 تا 5 تأخیر، دارای شرایط خوبی می باشد(خودهمبستگی0/94 برای تأخیر یک روز و0/88 برای تأخیر 5 روز). لذا با توجه به این نمودار جهت پیش‌بینی روزانه جریان، از 1 تا 5 تأخیر استفاده شد.



شکل 3- ضریب خود همبستگی به ازای تاخیرهای مختلف

بنابراین مدلهای ورودی مندرج در جدول (1)، به عنوان الگوهای ورودی به سیستم استنتاج فازی- عصبی در نظر گرفته شدند.

جدول 1- ساختار مدل های مورد آزمون

نام مدل	ساختار مدل
M1	$Q_t = f(Q_{t-1})$
M2	$Q_t = f(Q_{t-1},Q_{t-2})$
M3	$Q_t = f(Q_{t-1},Q_{t-2},Q_{t-3})$
M4	$Q_t = f(Q_{t-1},Q_{t-2},Q_{t-3},Q_{t-4})$
M5	$Q_t = f(Q_{t-1},Q_{t-2},Q_{t-3},Q_{t-4},Q_{t-5})$

در مرحله‌ی بعد مجموعه‌ی داده‌های آموزش(Train) و آزمون(Test) از بین کل داده‌ها انتخاب گردید. از آنجایی که روش‌های هوش مصنوعی دارای توانایی میان‌یابی خوبی بوده و قدرت برون‌یابی این روشها نسبتا پایین می‌باشد لذا مجموعه‌ی داده‌های آموزش و آزمون باید طوری انتخاب گردند که از نظر معیارهای آماری از قبیل میانگین و انحراف معیار شبیه یکدیگر باشند(سلاجقه و همکاران، 1388). در این تحقیق 5 سال به عنوان آموزش(یعنی حدود 80 درصد کل داده ها) و 1 سال به عنوان آزمون(حدود 20 درصد کل داده ها) انتخاب گردیدند.
قبل از ورود داده ها به سیستم ابتدا لازم است داده‌ها نرمال‌سازی شوند، یعنی بین یک دامنه‌ی عددی که معمولا(1-0) می‌باشد قرار گیرند تا تغییرات بین داده‌ها کم و نتایج پیش‌بینی دقیق‌تر گردد. بدین منظور با استفاده از رابطه ی (1) معیارسازی داده ها انجام گرفت و داده ها بین بازه‌ی باز 0 تا 1 قرار گرفتند.

$$Q_{norm} = 0.5 + 0.5\frac{Q_t^o - \overline{Q_t^o}}{Q_{\max}^o - Q_{\min}^o} \quad (1)$$

در این رابطه $Q_{\min}^o$ کوچکترین داده، $Q_{\max}^o$ بزرگترین داده، Q_t^o دبی مشاهداتی، $\overline{Q_t^o}$ میانگین دادهها و Q_{norm} دبی نرمال شده می باشد.
پس از آماده سازی دادهها، الگوهای مختلف جدول (1) مورد آزمون قرار گرفتند. در این تحقیق از نرم افزار MATLAB 7.6 برای شبیه سازی مدل ANFIS استفاده شدهاست. در این تحقیق چهار تابع عضویت ذوزنقه ای، گوسی، گوسی2 و زنگوله ای مورد بررسی قرار گرفتند. سپس برای هر تأخیر(مدلهای ورودی به سیستم یعنی 1 تا 5 تأخیر روزانه) بهترین تابع عضویت و بهترین تکرار تعیین و برای مقایسهی مدلهای مختلف از معیارهای آماری ضریب همبستگی و RMSE (مطابق رابطه 2) استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_t^o - Q_t^s)^2)} \quad (2)$$

که در روابط فوق n تعداد دادهها، Q_t^s دبی شبیهسازی، Q_t^o دبی مشاهداتی میباشد.
پس از تعیین بهترین مدل، تأثیر کدگذاری روی دادهها که به نوعی صعودی بودن و یا نزولی بودن تغییرات دبی را بیان میکند، بر شبیهسازی مورد بررسی قرار گرفت. کدگذاری بدین صورت انجام گرفت که به دادههایی که از دادهی قبلی خود به اندازهی 10٪ افزایش یافته بود کد 1+ و به داده-هایی که از دادهی قبلی خود به همین میزان کاهش یافتهبود کد 1- و به بقیه دادهها کد صفر داده شد. نهایتاً این کدگذاری نیز به عنوان یک دادهی ورودی علاوه بر میزان دبی در زمانهای تأخیر قبل، مورد آزمون قرار گرفت.

3. نتیجهگیری

پس از انجام سعی و خطا و تعیین مدل عصبی- فازی بهینه برای همهی مدلهای ورودی، نتایج شبیه سازی به صورت زیر بدست آمد. با توجه به جدول1 بهترین نتایج مربوط به مدل شمارهی 1 میباشد. همانطور که در بخش قبل ذکر شد، در این مرحله تأثیر کدگذاری روی دادههای ورودی بر نتایج مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه بهترین نتایج در مرحله قبل مربوط به مدل 1 بود،کدگذاری روی این مدل انجام و فرآیند پیشبینی با سیستم نرو- فازی با ورود مدل جدید به نرم افزار انجام شد. نتایج این مدل نیز در جدول شماره ی2 آورده شده است. نتایج نشان میدهد که تفاوت معنی داری در تخمین بدست نیامد که یکی از دلایل آن میتواند، دقت بالای تخمین قبل از کدگذاری باشد.

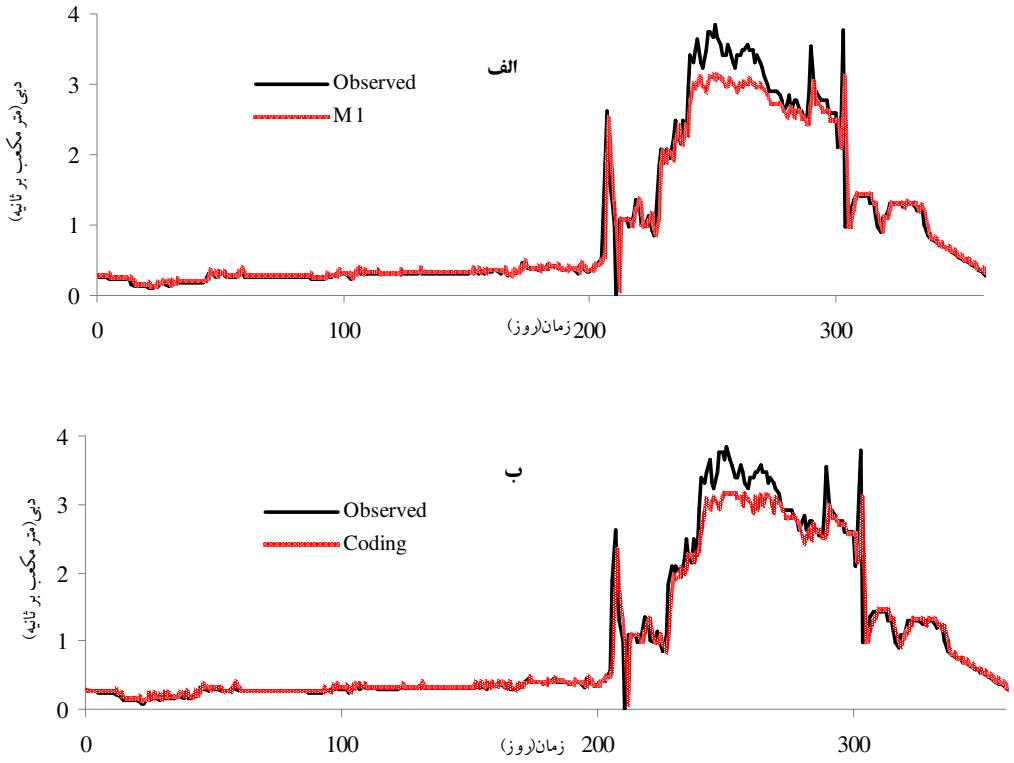
جدول2- نتایج حاصل از آزمون مدل های مختلف

مدل	تعداد تکرار(Epoch)	تابع عضویت	داده های آموزشی		داده های صحت سنجی(آزمون)	
			RMSE	ضریب همبستگی	RMSE	ضریب همبستگی
M1	9	گوسی	0.021374	0.9292	0.023409	0.9781
M2	5	گوسی	0.020161	0.9373	0.022949	0.974
M3	18	ذوزنقه ای	0.019586	0.9409	0.027023	0.9672
M4	14	ذوزنقه ای	0.019568	0.9411	0.03065	0.9554
M5	8	ذوزنقه ای	0.020114	0.9377	0.033367	0.9573

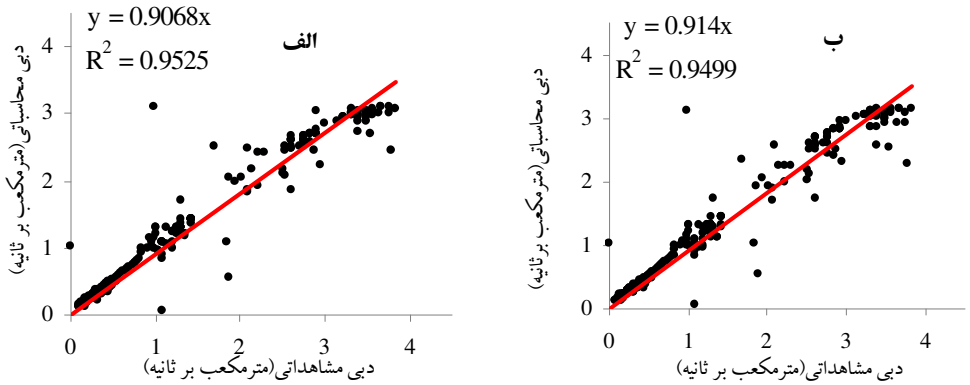
جدول3 - نتایج حاصل از شبیه سازی با مدل کدگذاری شده

ساختار مدل	تعداد تکرار(Epoch)	تابع عضویت	داده های آموزشی		داده های صحت سنجی(آزمون)	
			RMSE	ضریب همبستگی	RMSE	ضریب همبستگی
$Q_t = f(Q_{t-1}, codQ_{t-1})$	12	گوسی	0.021139	0.9308	0.023546	0.9765

در شکل4 نیز نمودار دبی محاسباتی دو مدل و دبی مشاهداتی برای دوره‌ی آزمون آورده شده است. این نمودارها و همچنین نمودار پراکنش دبی مشاهداتی و مدلهای مذکور که در شکل 5 قابل مشاهده است حاکی از دقت بالای سیستم استنتاج فازی- عصبی در برآورد دبی جریان رودخانه است.



شکل 4- نمودار دبی مشاهداتی و محاسباتی برای دوره ی آزمون الف) مدل 1 ب) مدل 1 کدگذاری شده



شکل 5- نمودار پراکنش دبی مشاهداتی و محاسباتی برای دوره ی آزمون الف) مدل 1 ب) مدل 1 کدگذاری شده

در این تحقیق با استفاده از مدل‌های نورو- فازی مقادیر دبی روزانه‌ی رودخانه‌ی لیقوان شبیه‌سازی شده و عملکرد این مدل‌ها بوسیله‌ی جریان مشاهداتی رودخانه توسط شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. با آزمون مدل‌های مختلف و سعی و خطای مکرر، نهایتاً بهترین ساختار انتخاب گردید. در انتها با انتخاب مدل بهینه در بخش قبل، تأثیر کدگذاری روی داده‌های ورودی بر نتایج شبیه‌سازی دبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق حاکی از آنست که مدل‌های نورو- فازی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی داده‌های دارای عدم قطعیت از کارایی و دقت بسیار بالایی برخوردار است. در تحقیق حاضر نتایج به دست آمده از کاربرد ANFIS برای پیش‌بینی جریان رودخانه با نتایج حاصل از تحقیقات سلاجقه و همکاران(1388)، فلاح قالهری و همکاران(1386)، و سایر محققین مطابقت دارد.

4. مراجع

1- پوستی‌زاده، ن. 1385. پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از سیستم استنتاج فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، صفحه ی 11.

2- سلاجقه، ع.، فتح آبادی، ا.، و غلامی، ح. 1388. تخمین رسوب معلق رودخانه طالقانرود با استفاده از روش نوروفازی (ANFIS)، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

3- فلاح قالهری، غ.، وحیدیان کامیاد، ع.، موسوی بایگی، م. و حبیبی نوخندان، م. 1386. کاربرد سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی(ANFIS) و سیستم استنتاج فازی ممدانی، هشتمین کنفرانس سیستمهای هوشمند، دانشگاه فردوسی مشهد.

4- Kisi, O., Haktanir, T ., Ardiclioglu M., Ozturk, O, Yalcin, E., Uludag,S.,(2008). Adaptive neuro-fuzzy computing technique for suspended sediment estimation. Advances in Engineering Software.

5- Swain, P.C. and Nanduri, U.V. (2005). Streamflow Forecasting using Neuro-Fuzzy Inference System, Advances in Water Resources, Vol.32, Issue 2, pp.1-14.

6- Nayak, P.C., Sudheer, K.P., Ranagan, D.M. and Ramasastri, k.S. (2004). A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series, Journal of Hydrology , Vol.52, Issue 2, pp.1-14.

7- طارقیان، ر.، و کاشفی‌پور، م. 1385. پیش بینی سطح آب در مخزن با استفاده از سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی(ANFIS)، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه.