



پیش بینی جریان رودخانه با استفاده از سیستم استنتاج فازی¹ (FIS) و سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی² (ANFIS)

مرتضی نبی زاده¹، ابوالفضل مساعدی²، موسی حسام³، امیراحمد دهقانی³، مهدی
ذاکری نیا³، مهدی مفتاح هلقی³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان Email:Nabizade49@gmail.com

2- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، مامور به دانشگاه فردوسی مشهد.

3- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

عمده ترین مشکل در بحث پیش بینی جریان وجود روابط غیرخطی و عدم قطعیت ها است. در این تحقیق با استفاده از سیستم استنتاج فازی و سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی به پیش بینی جریان رودخانه ليقوان پرداخته شده است. داده ها به صورت روزانه و به مدت 6 سال (از سال آبی 76 تا 81) می باشد که به منظور بررسی تاثیر گام های زمانی قبل در جریان آتی، از 1 تا 5 گام به صورت روزانه استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان دهنده دقت بیشتر سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی ($RMSE=0.0234$ برای دوره ی آزمون) نسبت به سیستم استنتاج فازی ($RMSE=0.1982$ برای دوره ی آزمون) در پیش بینی جریان رودخانه ليقوان است. کلیدواژه ها: پیش بینی جریان، عدم قطعیت، سیستم استنتاج فازی، سیستم استنتاج فازی - عصبی، ليقوان

1- مقدمه

در طول دهه ی گذشته شاهد کاربرد گسترده ی روش های هوش مصنوعی (شبکه عصبی و منطق فازی) در مسائل غیرخطی و پیچیده در هیدرولوژی هستیم. این روش ها به عنوان مدل مبتنی بر داده قادرند بدون در نظر گرفتن محدودیت فیزیکی محیط یک ارتباط منطقی بین ورودی و خروجی با استفاده از داده های مشاهده ای برقرار کنند. با توجه به عدم قطعیت ها و پیچیدگی هایی که نوعی رابطه غیرخطی بین دبی در گام های قبل نسبت به گام بعد برقرار می -

1-Fuzzy Inference System

2-Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System



کنند، اعتقاد بر این است که روش‌های هوش مصنوعی قادرند به راحتی روابط غیر خطی بین 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 سیستم استنتاج فازی-عصبی یا ANFIS پرداختند. نتایج حاکی از آن است که روش ANFIS نسبت به مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و منحنی سنج رسوب عملکرد خوبی داشته و همچنین لگاریتم گیری از داده‌ها (بدون استاندارد سازی) قبل از ورود آن‌ها به شبکه تأثیر چندانی بر روی عملکرد مدل‌های مختلف نداشته است. در تحقیقات سوین و ناندوری (2005)، مدل ANFIS جهت پیش‌بینی جریان آب سیستم پیچیده و غیرخطی حوضه رودخانه که باران را به عنوان ورودی دریافت و رواناب را تولید می‌کند، معرفی شده است. همچنین در این تحقیقات یک مدل سیستم استنتاج فازی-عصبی جهت پیش‌بینی جریان‌های ده روزه به داخل مخزن هیراکود¹ بر روی رودخانه ماهانادی² در ایالت اوریسسا³ 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 اجرایی گوناگون، دلالت بر توانایی آن جهت مدل‌سازی فرآیند جریان با دقت منطقی و پیش‌بینی جریان دارد.

در تحقیق کیسی و همکاران (2008) عملکرد روش سیستم استنتاج فازی-عصبی در تخمین رسوب معلق ماهانه دو رودخانه در ترکیه نسبت به مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و منحنی سنج رسوب بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که روش سیستم استنتاج فازی-عصبی عملکرد بهتری در تخمین میزان بار معلق رودخانه نسبت به دو روش دیگر داشته است. هدف از این تحقیق بررسی کارایی سیستم‌های استنتاج فازی و فازی-عصبی تطبیقی در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه ليقوان چای می‌باشد.

2- مواد و روشها

2-1 سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS)

1-Hirakud
2-Mahanadi
3-Orissa

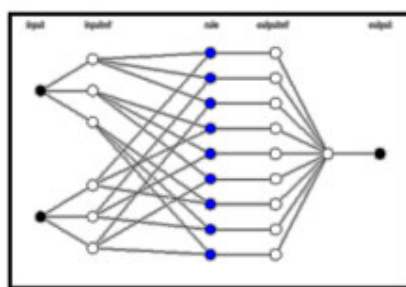


به منظور ساده سازی، فرض می‌شود که سیستم استنتاجی مورد نظر دو ورودی x و y و یک خروجی z دارد. برای یک مدل فازی تاکاگی- سوگنو درجه اول، می‌توان یک مجموعه قانون نمونه را با دو قانون اگر- آنگاه فازی به صورت زیر بیان کرد:

$$\text{قانون اول: اگر } x \text{ برابر } A_1 \text{ و } y \text{ برابر } B_1 \text{ باشد آنگاه } z_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

$$\text{قانون دوم: اگر } x \text{ برابر } A_2 \text{ و } y \text{ برابر } B_2 \text{ باشد آنگاه } z_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

که p_i, q_i, 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 نمایش داده شده است:



شکل 1. یک نمونه از ساختار مدل ANFIS

2-2 سیستم استنتاج فازی (FIS)

به‌طور کلی گام‌های یک سیستم استنتاجی فازی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

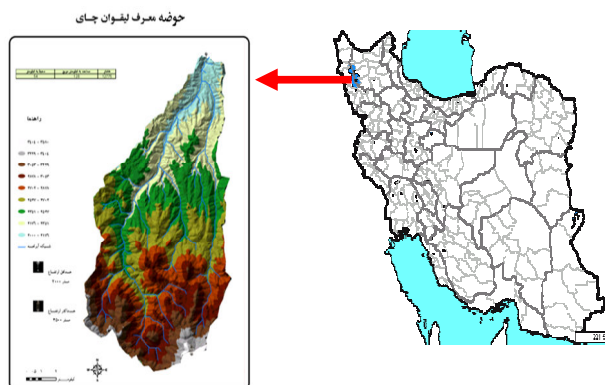
- 1) تعیین یک سیستم قاعده- بنیاد فازی بر اساس داده‌های مشاهده‌ای
- 2) فازی‌سازی بخش مقدم و تالی با استفاده از توابع عضویت فازی
- 3) ترکیب قسمت‌های مختلف بخش مقدم هر یک از قواعد و به دنبال آن تعیین شدت و میزان تاثیر قاعده مزبور در خروجی نهایی سیستم
- 4) ترکیب بخش تالی قواعد، جهت به‌دست آوردن خروجی نهایی سیستم در قالب یک مجموعه فازی
- 5) تبدیل خروجی نهایی سیستم به یک عدد کلاسیک با استفاده از روش‌های غیر فازی ساز (کوره‌پزان دزفولی، 1388).



در این تحقیق از جعبه ابزار فازی نرم افزار MATLAB برای شبیه سازی مدل FIS استفاده شده است.

2-3 منطقه مورد مطالعه

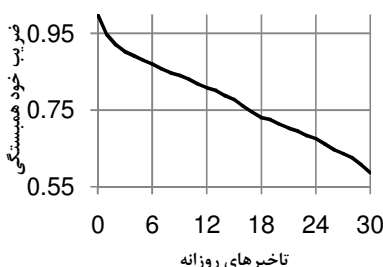
حوضه آبریز لیقوان یکی از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه بوده و با وسعتی معادل 76 کیلومتر مربع در دامنه شمالی سهند بین طول‌های شرقی 46 درجه و 20 دقیقه و 30 ثانیه تا 46 درجه و 27 دقیقه و 30 ثانیه و عرض‌های شمالی 37 درجه و 42 دقیقه و 55 ثانیه تا 37 درجه و 49 دقیقه و 30 ثانیه، گسترده شده است (شکل 2)



شکل 2. موقعیت حوضه ی لیقوان

2-4 مدل سازی با سیستم استنتاج فازی و سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی

ابتدا جهت بررسی اولیه داده‌ها و تعیین بهترین تأخیرها، خود همبستگی بین داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به کروکلوگرام داده‌ها (شکل 3) ضریب خودهمبستگی داده‌ها برای 1 تا 5 تأخیر، دارای شرایط خوبی می‌باشد (خودهمبستگی 0/94 برای تأخیر یک روز و 0/88 برای تأخیر 5 روز). لذا با توجه به این نمودار جهت پیش‌بینی روزانه جریان، از 1 تا 5 تأخیر استفاده گردید.



شکل 3. ضریب خود همبستگی به ازای تأخیرهای مختلف

مدلهای ورودی به نرم افزار نیز به صورت زیر نام گذاری شدند:

جدول 1. ساختار مدل های مورد آزمون

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 مرحله ی بعد مجموعه ی داده های آموزش (Train) و آزمون (Test) از بین کل داده ها انتخاب گردید. از آنجایی که روش های هوش مصنوعی دارای توانایی میان یابی خوبی بوده و قدرت برون یابی این روشها نسبتا پایین می باشد، لذا مجموعه ی داده های 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 داده ها نرمال شوند، یعنی بین یک دامنه ی عددی که معمولا (0-1) می باشد قرار گیرند تا تغییرات بین داده ها کم و نتایج پیش بینی دقیق تر گردد. بدین منظور با استفاده از رابطه (1) نرمال سازی داده ها انجام گرفت و داده ها بین بازه ی 0 تا 1 قرار گرفتند.

$$y_{norm} = 0.5 + 0.5 \frac{x - \bar{x}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$



در این رابطه، y_{norm} داده‌ی نرمال شده، x_{min} کوچکترین داده، x_{max} بزرگترین داده و $\bar{x}$ میانگین داده‌ها می‌باشد.

پس از آماده‌سازی داده‌ها، مدل‌های مختلف فازی-عصبی و فازی ساخته شد. در این تحقیق برای مدل فازی-عصبی چهار تابع عضویت دوزنقه‌ای، گوسی، گوسی 2 و زنگوله‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین برای مدل فازی دو تابع عضویت گوسی و مثلثی مورد بررسی قرار گرفتند. برای مقایسه‌ی مدل‌های مختلف از معیارهای آماری ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا استفاده گردید.

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

که در رابطه‌ی فوق n تعداد داده‌ها، Q_t^s دبی شبیه‌سازی و Q_t^o دبی مشاهداتی می‌باشد.

3- نتایج و بحث

جداول 2 و 3 به ترتیب حاوی نتایج پیش‌بینی مربوط به سیستم استنتاج فازی و سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی می‌باشد.

جدول 2. نتایج حاصل از سیستم استنتاج فازی

مدل	تابع عضویت	تابع خروجی	داده‌های آموزشی		داده‌های آزمون	
			RMSE	R^2	RMSE	R^2
M1	گوسی	مثلثی	0/2155	0/8600	0/1982	0/9580
M2	گوسی	مثلثی	0/0499	0/8427	0/0632	0/9355
M3	گوسی	مثلثی	0/1539	0/8482	0/1416	0/9253
M4	مثلثی	مثلثی	0/1659	0/7980	0/1522	0/9029
M5	گوسی	مثلثی	0/1628	0/7957	0/1493	0/9019

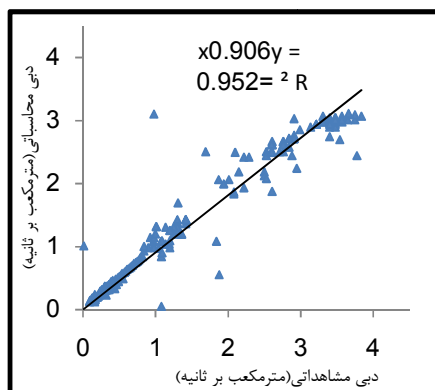
جدول 3. نتایج حاصل از سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی

مدل	تعداد تکرار (Epoch)	تابع عضویت	داده‌های آموزشی		داده‌های آزمون	
			RMSE	R^2	RMSE	R^2
M1	9	گوسی	0/0214	0/8634	0/0234	0/9567
M2	5	گوسی	0/0202	0/8785	0/0229	0/9487
M3	18	دوزنقه‌ای	0/0196	0/8853	0/0270	0/9355
M4	14	دوزنقه‌ای	0/0196	0/8857	0/0306	0/9128

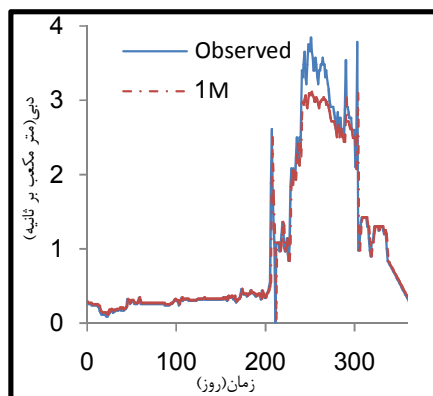


M5	8	دوره نهم	0/0201	0/8793	0/0334	0/9164
----	---	----------	--------	--------	--------	--------

باتوجه به جداول فوق می‌توان نتیجه گرفت که سیستم استنتاج فازی در ترکیب با شبکه‌ی عصبی مصنوعی نتایج دقیق‌تری را با خطای کمتر نتیجه می‌دهد.
در شکل 4 نیز نمودار دبی محاسباتی سیستم استنتاج فازی- عصبی منتخب (مدل 1) و دبی مشاهداتی برای دوره‌ی آزمون آورده شده‌است. این نمودار و همچنین نمودار پراکنش دبی مشاهداتی و مدل مذکور که در شکل 5 قابل مشاهده‌است به خوبی نتایج بدست آمده را تأیید میکند.



شکل 5. نمودار پراکندگی دبی مشاهداتی در مقابل دبی محاسباتی (مدل 1)، دوره‌ی آزمون



شکل 4. مقادیر جریان مشاهداتی و محاسباتی (مدل 1)، دوره‌ی آزمون

در این تحقیق با استفاده از سیستم استنتاج فازی و سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی مقادیر دبی روزانه‌ی رودخانه‌ی ليقوان شبیه‌سازی گردید و عملکرد این مدل‌ها بوسیله‌ی جریان مشاهداتی رودخانه توسط شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق حاکی از آنست که مدل‌های سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی داده‌های دارای عدم قطعیت و روابط غیرخطی از کارایی و دقت خوبی برخوردار است. علت بیشتر بودن دقت پیش‌بینی در دوره‌ی آزمون را به دو عامل می‌توان نسبت داد. عامل اول جدیدتر بودن اطلاعات دوره‌ی آزمون می‌باشد که به تبع آن دقت اطلاعات افزایش می‌یابد. عامل دوم کمتر بودن پراکندگی اطلاعات در این دوره می‌باشد. در تحقیق حاضر نتایج به دست آمده از کاربرد ANFIS برای پیش‌بینی جریان رودخانه با نتایج حاصل از تحقیقات سلاجقه و



همکاران (1388)، کیسی و همکاران (2008) و سایر محققین مطابقت دارد. لازم به ذکر است که استفاده از داده‌هایی چون دما و بارش، با توجه به اینکه اقلیم حوزه به گونه‌ای است که ارتفاعات آن به صورت دائمی پوشیده از برف است، ممکن است در نتایج پیش‌بینی نقش بسیار موثری داشته باشد.

4- منابع

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. 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.
4. کوره‌پزان دزفولی، ا. 1384. تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب. چاپ اول. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
5. 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.
6. 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.