

بررسی عملکرد سیستم‌های فازی-عصبی در پیش‌بینی رواناب (مطالعه موردی حوضه آبریز

اعلا-جوکنک)

علی شهبازی*^۱

(۱) سازمان آب و برق خوزستان.

* نویسنده مسئول: alish1980@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۱۵

چکیده

مسئله برآورد رواناب در حوضه‌ها با کمبود یا فقدان ایستگاه‌های هواشناسی همچنان به صورت یک مشکل در مدل‌های هیدرولوژیکی مطرح است. در اکثر موارد میزان دقت نتایج به شدت به میزان داده‌های توپوگرافی و هیدرولوژیکی و نحوه واسنجی مدل وابسته است. یک راه حل برای رفع این مشکل خصوصا در حوضه‌های با ضعف داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی استفاده از مدل‌های جعبه سیاه از جمله سیستم‌های فازی-عصبی می باشد. هدف از این تحقیق شبیه‌سازی جریان روزانه با استفاده از سیستم فازی-عصبی در یک حوضه آبریز با اطلاعات هواشناسی ضعیف می‌باشد. حوضه مورد مطالعه حوضه آبریز الله جوکنک با مساحت ۲۳۷۰ کیلومتر مربع می‌باشد. ایستگاه‌های موجود در حوضه کم و با پراکنش نامناسب می‌باشد. ایستگاه‌های هواشناسی موجود در حوضه به گونه‌ای است که تمام ایستگاه‌ها در حدود یک سوم کل حوضه پراکنده‌اند. در این مقاله از روش سیستم‌های تطبیقی فازی-عصبی (ANFIS) جهت پیش‌بینی جریان استفاده شده است. ساختار فازی ایجاد شده حوضه آبریز را به صورت یکپارچه در نظر می‌گیرد. با توجه به وضعیت پراکنش ایستگاه‌ها برای یافتن وزن ایستگاه‌های باران سنجی و تاثیر آن‌ها در خروجی حوضه از یک الگوریتم ترکیبی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد سیستم فازی-عصبی قابلیت خوب در برآورد رواناب خصوصا در دبی‌های متوسط و پایین را دارا می باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های هیدرولوژی، منطق فازی و سیستم‌های فازی-عصبی.

مقدمه

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی ایجاد مدل بارش-رواناب با استفاده از سیستم‌های فازی-عصبی صورت گرفته که اغلب حکایت از عملکرد مناسب مدل مذکور دارد. مدل فازی-عصبی جزء مدل‌های جعبه سیاه قرار دارد. در این گونه مدل‌ها رابطه بین ورودی و خروجی از طریق قوانین اگر-آنگاه ایجاد می‌شود. مزیتی که مدل‌های فازی-عصبی به مدل‌های فازی دارد قابلیت آموزش آن‌ها مانند مدل‌های شبکه عصبی برای یافتن تعداد قوانین و تعداد توابع عضویت و همچنین پارامترهای مربوط به آن‌ها می‌باشد. Dechemi و همکاران (۲۰۰۳) به مقایسه یک مدل مفهومی و سیستم فازی-عصبی برای پیش‌بینی جریان ماهانه پرداختند. این تحقیق در حوضه‌ای در الجزایر به مساحت ۵۱۵ کیلومتر مربع صورت گرفته و از روش‌های مختلف به مقایسه نتایج دو مدل پرداخته شده است. نتیجه این تحقیق عملکرد بسیار بهتر مدل فازی در مقایسه با مدل مفهومی را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش فازی تاکاگی-سوگنو یک مدل بارش-رواناب توسط Jacquinf و همکاران ایجاد شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم‌های فازی می‌تواند جایگزین خوبی برای مدل‌های سنتی در ایجاد رابطه بین بارش و رواناب باشند. در این تحقیق به بررسی عملکرد مدل فازی-عصبی در پیش‌بینی رواناب در حوضه آبریز الله-جوکنک پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

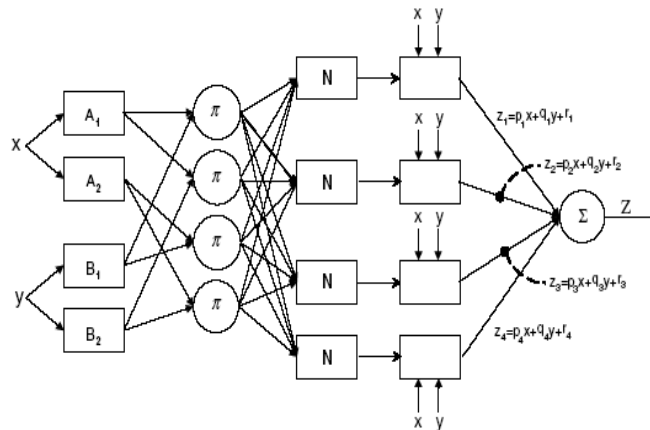
معرفی سیستم‌های فازی عصبی

از زمانی که Zadeh (۱۹۶۵) تئوری منطق فازی را برای تشریح سیستم‌های پیچیده بیان کرد، این روش بسیار عمومیت پیدا کرده و به صورت موفق برای مسائل مختلف مانند رکتورهای شیمیایی و هسته‌ای، قطارهای اتوماتیک و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. اخیراً این روش برای شبیه‌سازی پدیده‌های مختلف در زمینه منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است. از آن جمله می‌توان پیش‌بینی رواناب، سطح آب در مخازن سدها و غیره اشاره کرد (Lekkas, 2004; Russell, 1996). یک نقطه ضعف اصلی منطق فازی این است که یک روش سیستماتیک برای طراحی کنترل کننده فازی وجود ندارد. از طرفی دیگر در شبکه‌های عصبی مصنوعی این توانایی وجود دارد که ساختار مورد نظر را به وسیله جفت‌های ورودی و خروجی ایجاد کرده و با استفاده از الگوریتم‌های آموزشی خود را بامحیط سازگار کند. در این مقاله از روش ANFIS^۱ یا سیستم‌های تطبیقی فازی-عصبی جهت ایجاد ساختار و پارامترهای فازی جهت پیش‌بینی جریان استفاده شده است.

^۱ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

ساختار و الگوریتم

روش سیستم‌های فازی- عصبی تطبیقی یا ANFIS اولین بار توسط Jang در سال ۱۹۹۱ معرفی شد. ANFIS یک شبکه چند لایه پیش‌خور می‌باشد که از الگوریتم‌های آموزش شبکه عصبی و منطق فازی برای ایجاد رابطه ورودی-خروجی استفاده می‌کند. ANFIS توانایی ترکیب مفاهیم زبانی سیستم‌های فازی را با قدرت عددی شبکه‌های عصبی دارا می‌باشد، به همین دلیل می‌توان از آن در شبیه‌سازی بسیاری از فرایندها استفاده کرد. یکی از مزایای عمده این روش استخراج قوانین از داده‌های عددی و ساخت تطبیقی پایگاه قوانین می‌باشد. بزرگترین مشکل مدل‌های پیش‌بینی ANFIS زمان زیادی است که برای آموزش ساختار و برآورد پارامترها صرف می‌شود. به‌طور کلی ساختار ANFIS دارای پنج لایه می‌باشد که در ادامه به صورت خلاصه به شرح هر یک پرداخته می‌شود. شکل ۱ به صورت شماتیک یک ساختار فازی-عصبی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: شکل شماتیک یک ساختار فازی-عصبی

لایه یک (گره‌های ورودی)

هر گره در این لایه با استفاده از توابع عضویت، درجه عضویت را متناسب با هر مجموعه فازی تولید می‌کند.

$$\text{رابطه ۱: } O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad \text{for } i=1,2 \quad \text{و} \quad O_{1,i} = \mu_{B_{(i-2)}}(y) \quad \text{for } i=3,4$$

که در روابط بالا x و y داده‌ای غیر فازی ورودی و A_i و B_i مفاهیم زبانی که با توابع عضویت مناسب، به ترتیب μ_{A_i} و μ_{B_i} مشخص می‌شوند. معمولاً دو تابع عضویت نرمال و زنگوله‌ای بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع زنگوله‌ای یک پارامتر از تابع نرمال بیشتر دارد، بنابراین یک مجموعه غیر فازی با تنظیم این پارامتر می‌تواند تبدیل شود. تابع مورد استفاده در این تحقیق تابع زنگوله‌ای می‌باشد که رابطه آن به شکل زیر است:

$$\mu_{A_i} = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad \text{و} \quad \mu_{B_{i-2}} = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در روابط بالا (c_i, b_i, a_i) مجموعه پارامترهای تابع عضویت در قسمت مقدم قوانین اگر-آنگاه می‌باشد و شکل تابع عضویت را تغییر می‌دهد.

لایه دوم (گره‌های قوانین)

در لایه دوم عملگر "and" یا اشتراک برای بدست آوردن یک خروجی که نشان دهنده نتیجه قسمت مقدم قانون باشد استفاده می‌شود. در حقیقت با این عمل شکل تابع خروجی قانون نیز مشخص می‌شود. از این رو خروجی لایه دوم حاصل ضرب توابع عضویت ورودی از لایه یک به هر یک از گره‌های لایه

$$O_{2,i} = \omega_k = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_j}(x) \quad \text{for } k=1, \dots, 4$$

دوم می‌باشد.

$$i=1,2 \quad j=1,2$$

رابطه ۳:

لایه سوم (گره میانگین‌ها)

در لایه سوم هدف اصلی نرمال کردن خروجی لایه دوم می‌باشد. در نتیجه:

$$o_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^4 w_k} \quad \text{for } i=1, \dots, 4$$

رابطه ۴:

لایه چهارم (گره های تالی)

در این مرحله توابع گره میزان تاثیر و شرکت هر یک از قوانین در خروجی کل را مشخص می‌کنند:

$$o_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad i=1, \dots, 4$$

رابطه ۵:

(p_i, q_i, r_i) ضرایب ترکیب خطی و همچنین پارامترهای قسمت تالی در مدل فازی-عصبی تاکاگی-سوگنو می‌باشند.

لایه پنجم (گره خروجی)

در این گره با جمع کردن تمام خروجی‌های لایه قبل خروجی کل حاصل می‌شود. به همین ترتیب فرایند غیرفازی‌سازی نتیجه هر قانون فازی را به داده‌های واقعی تبدیل می‌کند.

$$o_{5,i} = \sum_{i=1}^4 \bar{w}_i f_i$$

رابطه ۶:

هدف از آموزش یک شبکه تطبیقی این است که قادر باشد توابع ناشناخته که میان داده‌های آموزش وجود دارد را تقریب زده و پارامترهایی در بالا ذکر شده را محاسبه کند. خصوصیت متمایز کننده ANFIS استفاده از الگوریتم آموزش

هیبرید می‌باشد. در این الگوریتم، برای به دست آوردن پارامترها از روش گرادیان کاهشی و حداقل مربعات به صورت تواما استفاده می‌شود. روش گرادیان کاهشی^۲ برای تنظیم پارامترهای غیر خطی قسمت مقدم (a_i, b_i, c_i) در حالی که روش حداقل مربعات خطا برای شناسایی پارامترهای خطی (p_i, q_i, r_i) مورد استفاده قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود گره‌های دایره‌ای ثابت هستند و متغیرهای پارامتری در آن‌ها قرار ندارد، در حالی که گره‌های مربع دارای پارامتر بوده و تغییر می‌کنند. فرایند آموزش دو مرحله دارد: در مرحله اول با استفاده از روش حداقل مربعات خطا پارامترهای قسمت تالی شناسایی می‌شود. این در حالی است که پارامترهای قسمت مقدم ثابت در نظر گرفته شده است. سپس سیگنال خطا به صورت معکوس پخش می‌شود. در این مرحله از روش گرادیان کاهشی برای اصلاح مقادیر پارامترهای قسمت مقدم استفاده می‌شود و پارامترهای قسمت تالی ثابت در نظر گرفته می‌شود (Jang, 1994).

مواد و روش‌ها

معرفی حوضه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ناحیه جنوب غربی ایران و در منطقه شرق و شمال شرقی شهر رامهرمز در محدوده جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۰ درجه ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. در این حوضه مطالعات احداث چندین سد در دست اقدام است و سد جره نیز در این حوضه واقع شده که این مطلب اهمیت پیش‌بینی جریان در حوضه را نشان می‌دهد. موقعیت حوضه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی و آبسنجی در (شکل ۲) نشان داده شده است. در این حوضه دو رودخانه اعلا و زرد قرار گرفته است. روی رودخانه زرد ایستگاه‌های هیدرومتری متعدد قرار گرفته است در حالی که بر روی رودخانه اعلا تا ایستگاه هیدرومتری جوکنک هیچ ایستگاه آبسنجی قرار ندارد. خلاصه مشخصات فیزیوگرافی حوضه در (جدول ۱) آورده شده است. داده‌های باران‌سنجی و آبسنجی از طریق روش‌های معمول آماری مورد ارزیابی قرار گرفت و نواقص آن‌ها رفع شد.

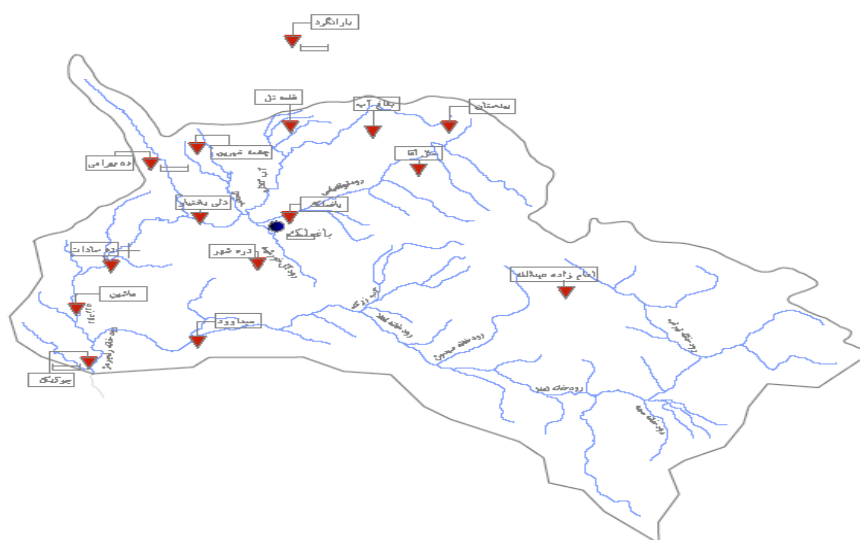
جدول ۱: خلاصه مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز رود زرد

طول آبراهه (کیلومتر)	شیب حوضه (درصد)	ارتفاع غالب (متر)	ارتفاع با فرکانس ۵۰ درصد (متر)	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	نام ایستگاه	نام حوضه
۷۲/۶	۳۰/۵	۸۰۰	۸۹۰	۸۸۹	ماشین	رودخانه زرد
۹۶/۴	۳۳/۵	۸۰۰	۱۳۸۰	۲۳۶۷/۲	جوکنک	رودخانه الله

² Gradient descent

نحوه استخراج بارش متوسط حوضه ای

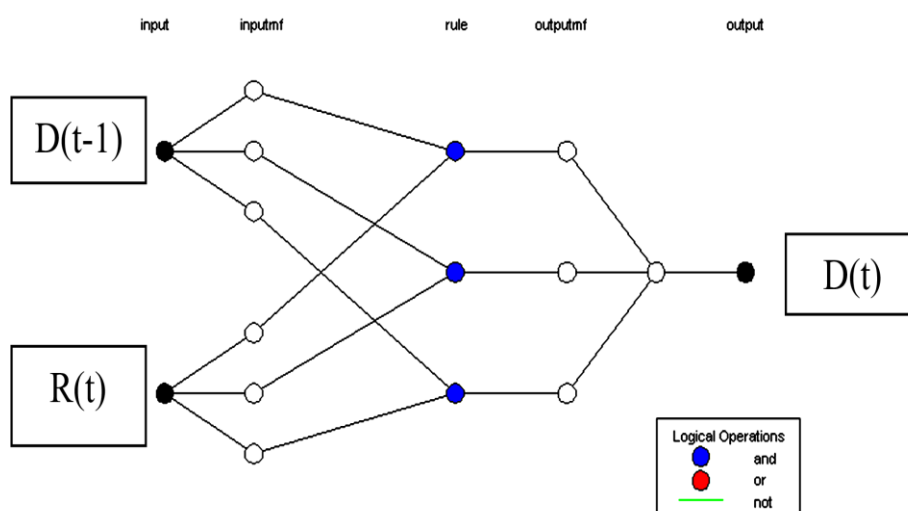
در مدل فازی که در این تحقیق مورد ارزیابی واقع شد، حوضه به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه برای داده‌های هواشناسی باید مقدار متوسط کل حوضه در مدل لحاظ شود، یافتن وزن مناسب برای ایستگاه‌های باران سنجی به گونه‌ای که بیش‌ترین تطابق با رواناب خروجی را داشته باشند از اهمیت به سزایی برخوردار است. آسان‌ترین روشی که برای این منظور به نظر می‌رسد روش چندضلعی‌های تیسن می‌باشد.



شکل ۲: حوضه آبریز الله-جوکنک و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی

ولی باید توجه داشت که با توجه به وضعیت پراکنش ایستگاه‌ها در حوضه آبریز الله جوکنک که بیش از ۹۰ درصد ایستگاه‌ها در کمتر از یک سوم سطح حوضه پراکنده اند این روش از عدم دقت زیادی برخوردار است. با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی در بیش از دو سوم سطح حوضه برای تعیین تاثیر ایستگاه‌های موجود در رواناب حوضه نیاز به تحلیل بیش‌تری می‌باشد. برای حل این مسئله ابتدا یک تحلیل آماری بر روی ایستگاه‌های منطقه صورت گرفت. در این تحلیل به بررسی میزان همبستگی حجم کل بارش انجام شده در سطح حوضه با رواناب افتاده پرداخته شد. در این روش فرض شد که بارش اتفاق افتاده در هر ایستگاه به صورت یکنواخت در کل حوضه اتفاق افتاده است. این روش تحلیل با توجه به کم بودن زمان تمرکز حوضه (کمتر از ۲۴ ساعت) از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار می‌باشد. این تحلیل برای ماه‌های نه، ۱۰، ۱۱، ۱۲، یک و دو صورت گرفت. نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که در نمودار نشان داده شده تاثیر ایستگاه‌ها در ماه‌های مختلف متفاوت است. به عنوان مثال ایستگاه جوکنک در دی ماه بیش از ۶۰ درصد همبستگی با رواناب خروجی دارد در حالی که همبستگی این ایستگاه در ماه اردیبهشت به ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. این

با خروجی مورد بررسی قرار داده شد. در ابتدا متغیرهای دما، بارش، تبخیر و جریان خروجی در نظر گرفته شد. برای یافتن ترکیب مناسب از متغیرها در ایجاد ساختار فازی-عصبی، آنالیز حساسیت بر روی آن‌ها صورت پذیرفت. در بررسی‌های به عمل آمده مشاهده شد که جریان در گام زمانی $D(t-1)$ گذشته و بارش پیش‌بینی $R(t)$ بهترین ساختار را ایجاد می‌کند. شکل ۴ ساختار تطبیقی ایجاد شده را نشان می‌دهد. با دقت در این متغیرها مشاهده می‌شود که متغیر مشخصه جریان در حقیقت بیان‌کننده شرایط حوضه از نظر عکس‌العمل هیدرولوژیکی می‌باشند و بنابراین بسیاری از مولفه‌های موثر در رواناب را پوشش می‌دهد. خروجی مدل نیز $D(t)$ در نظر گرفته شده است. برای ماه‌های آذر تا اردیبهشت یک مدل به صورت پیوسته ایجاد شد. لازم به ذکر است ساختارها با استفاده از روش دسته‌بندی کاهنده فازی ایجاد شده است. در این روش داده‌ها بر اساس چگالی داده‌های در شعاع همسایگی مشخص طبقه‌بندی می‌شود و در کاهش تعداد قوانین و به تبع آن تعداد پارامترها بسیار کمک می‌کند. اطلاعات با جزئیات بیشتر در مورد استفاده از روش دسته‌بندی کاهنده در مدل ANFIS در مرجع مربوطه گردآورده شده است (Russell et al., 1965)



شکل ۴: ساختار فازی جهت پیش‌بینی رواناب

نتایج و بحث

برای اینکه دید مناسبی نسبت به عملکرد مدل در شبیه‌سازی به وجود آید، باید میزان تامین مهم‌ترین اهداف شبیه‌سازی به صورت کمی مورد بررسی قرار گیرند. جهت کمی نمودن اهداف شبیه‌سازی از روابط جدول ۲ استفاده شده است. به طوری که در روابط بالا Q_{obs} و Q_{sim} مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، \bar{O}_{obs} و \bar{O}_{sim} مقادیر میانگین

آن‌ها، n تعداد کل داده‌ها، Q_{msim} و Q_{mobs} به ترتیب مقدار بیشیه جریان واقعی و مشاهداتی، V_{obs} حجم رواناب واقعی در دوره مورد نظر و V_{sim} حجم شبیه‌سازی در همان دوره می‌باشد.

جدول ۲: روابط استفاده شده در تحلیل مدل

نام رابطه	فرمول
خطای توازن حجمی	$E_{wb} = \frac{V_{obs} - V_{sim}}{V_{obs}}$
خطای جریان های بیشینه	$E_{peak} = \frac{Q_{mobs} - Q_{msim}}{Q_{mobs}}$
میانگین خطای مطلق	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_m)_i - (Q_s)_i $
ریشه میانگین مربعات خطا	$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum (Q_o - Q_s)^2 \right]^{0.5}$
ضریب تعیین	$R^2 = \left[\frac{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})(Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})}{\sqrt{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2 \sum (Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})^2}} \right]^2$
ضریب راندمان	$CE = 1 - \frac{\sum (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum (Q_{obs} - Q_{obsmean})^2}$

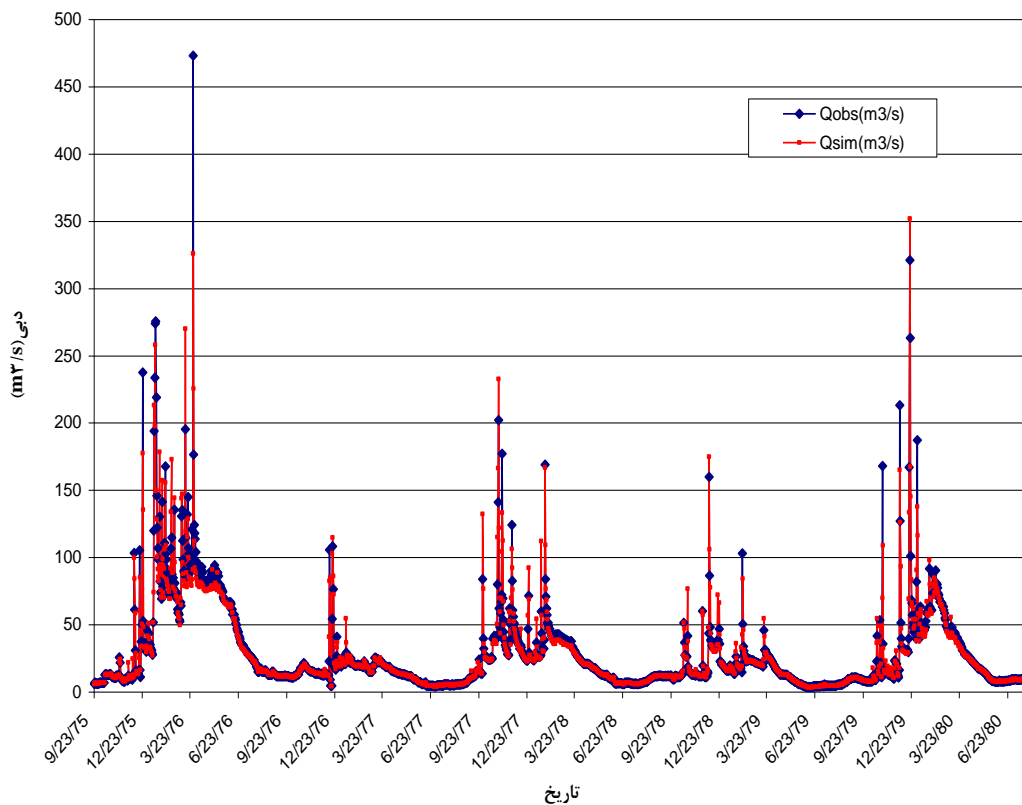
برای بررسی عملکرد مدل در دبی‌های متوسط و پایین نیز از لگاریتم داده‌ها استفاده شد تا بدین ترتیب از اثر داده‌های بیشینه بر ضرایب آماری کاسته شود. معیارهای آماری ذکر شده در دوره واسنجی و ارزیابی در جدول ۳ و جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۳: تحلیل آماری نتایج در دوره واسنجی

سال آبی	تعداد داده‌ها	خطای توازن حجمی (درصد)	خطای پیک (درصد)	MAE	RMSE	داده‌های طبیعی		لگاریتم داده‌ها	
						R ²	CE	R ²	CE
۱۳۷۵-۷۶	۳۶۰	۴/۱۰	۳۱/۱۲	۱۵/۹۴	۱۶/۱۴	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۷	۰/۹۷
۱۳۷۶-۷۷	۳۴۳	-۴/۷۱	-۶/۰۶	۲/۹۱	۶/۳۰	۰/۶۳	۰/۷۵	۰/۹۳	۰/۹۱
۱۳۷۷-۷۸	۳۶۱	-۳/۲۱	-۱۵/۱۹	۷/۵۵	۸/۲۴	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۸
۱۳۷۸-۷۹	۳۶۳	-۴/۷۲	-۹/۲۰	۴/۰۲	۵/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۹۶
۱۳۷۹-۸۰	۳۵۸	۰/۲۸	-۹/۶۳	۸/۵۱	۱۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۹۷	۰/۹۷
کل دوره آماری	۱۷۸۸	۰/۰۰	۲۵/۶۱	۳۸/۹۴	۱۰/۲۶	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۹۷

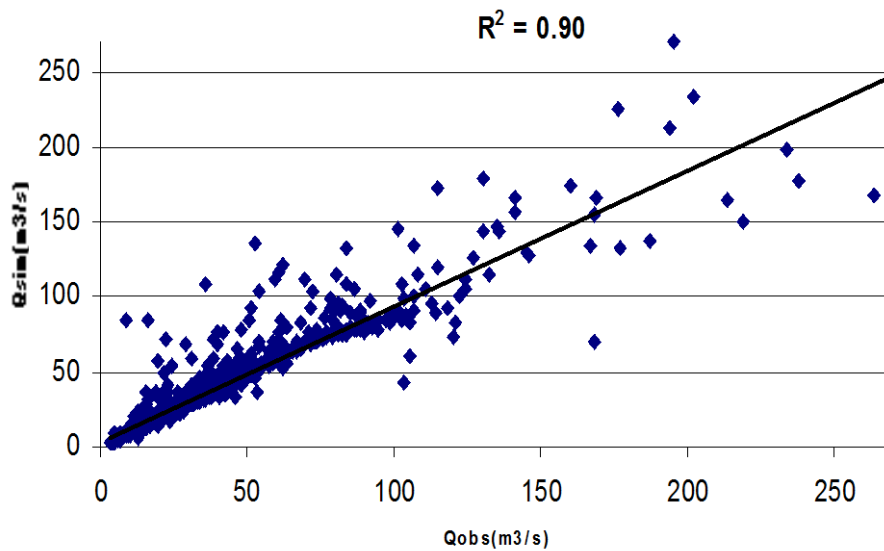
جدول ۴: تحلیل آماری نتایج در دوره ارزیابی

سال آبی	تعداد داده‌ها	خطای توازن حجمی (درصد)	خطای پیک (درصد)	MAE	RMSE	داده‌های طبیعی		لگاریتم داده‌ها	
						R ²	CE	R ²	CE
۱۳۶۴/۱۰/۲۲-۱۳۶۵/۳/۱۶	۱۴۷	-۴/۸۵	-۱/۱۲	۶/۲۰	۱۲/۴۸	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۲
۱۳۶۶/۱۰/۱۰-۱۳۶۶/۱۲/۲۲	۷۵	۰/۳۱	۴۵/۹۲	۶/۰۹	۲۹/۰۴	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۸۰
۱۳۷۱/۶/۱۷-۱۳۷۰/۷/۱	۳۵۶	۳/۲۳	۴۲/۰۶	۱۰/۳۷	۱۶/۰۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۹۸
۱۳۷۹/۸/۲۴-۱۳۷۹/۱۰/۲۲	۶۰	۶/۹۳	۳۳/۸۰	۸/۰۸	۴۰/۵۱	۰/۷۰	۰/۶۷	۰/۹۱	۰/۹۰



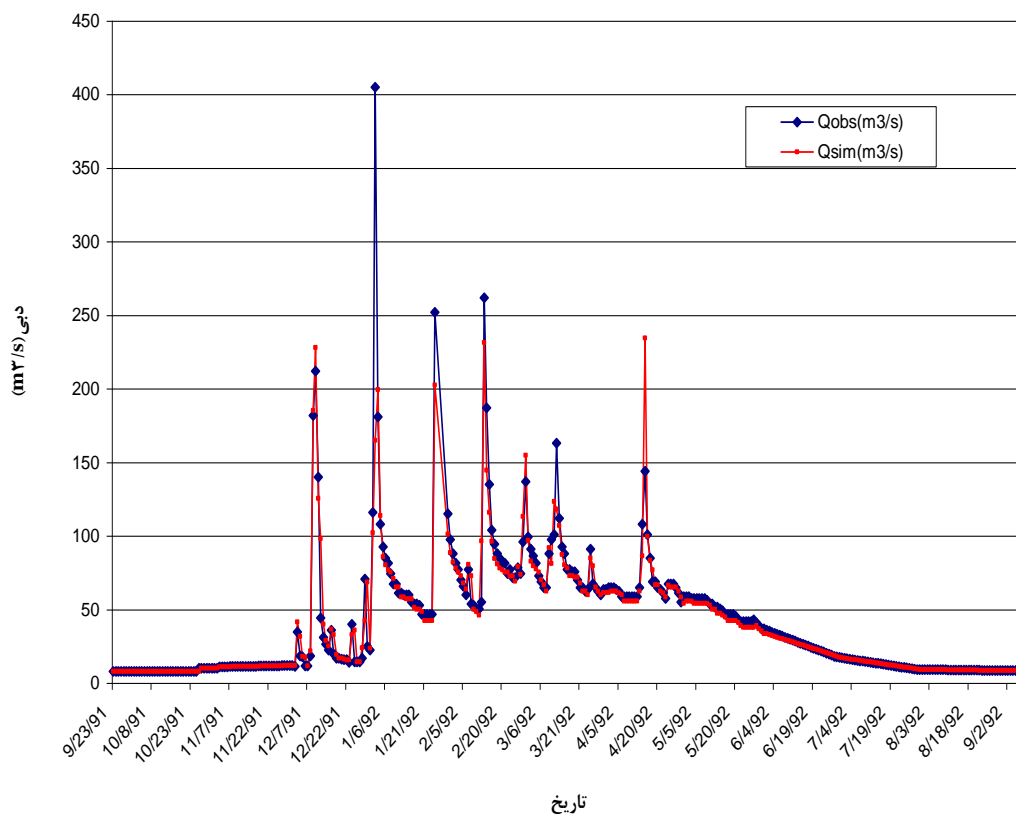
شکل ۵: مقایسه داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده توسط سیستم فازی-عصبی در دروره واسنجی

(۱۳۵۴/۷/۱-۱۳۵۹/۶/۲۴)



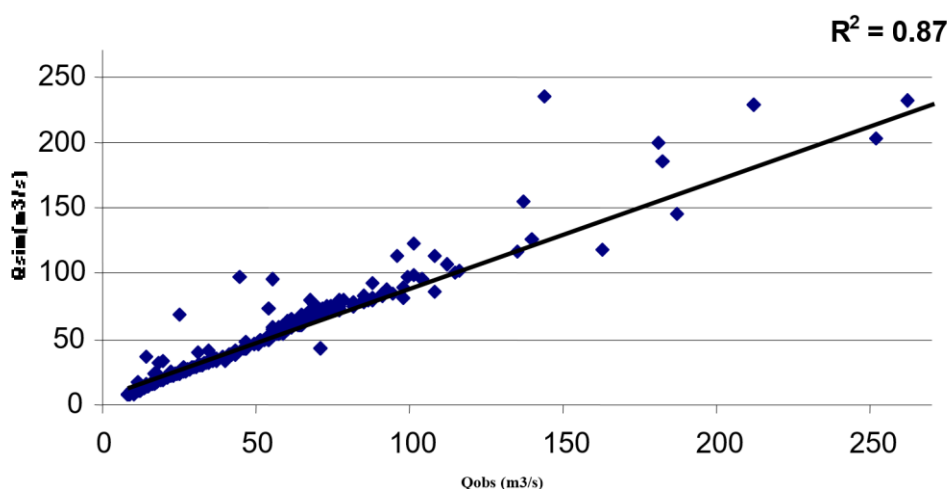
شکل ۶: پراکنش داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده توسط سیستم فازی- عصبی در دروره واسنجی (۱۳۵۹/۶/۲۴-)

(۱۳۵۴/۷/۱)



شکل ۷: مقایسه داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده توسط سیستم فازی-عصبی در دوره ارزیابی

(۱۳۷۰/۷/۱-۱۳۷۱/۶/۱۷)



شکل ۸: پراکنش مقادیر شبیه سازی شده و واقعی در دوره ارزیابی (۱۳۷۰/۷/۱-۱۳۷۱/۶/۱۷)

نتیجه‌گیری

بررسی معیارهای آماری مورد استفاده نشان می‌دهد مدل ایجاد شده از لحاظ توازن حجمی دارای دقت بالایی می‌باشد و حداکثر خطا در دوره واسنجی و ارزیابی حدود ۵ درصد می‌باشد. مقایسه ضریب تعیین دوره واسنجی تغییرات بین ۹۰ - ۶۳ درصد و در دوره ارزیابی ۷۰-۹۰ درصدی را نشان می‌دهد. البته با بررسی ضرایب تعیین لگاریتم داده‌ها مشاهده می‌شود مدل نتایج بسیار بهتری را نشان می‌دهد. این مسئله را می‌توان این‌گونه ارزیابی کرد که مدل در شبیه‌سازی دبی‌های متوسط و پایین دقت بسیار بالایی دارد.

سیاسگزار

این تحقیق با حمایت دفتر تحقیقات توسعه سد و نیروگاه سازمان آب و برق خوزستان صورت پذیرفت که بدینوسیله از حمایت‌های آن مجموعه قدردانی می‌شود.

منابع

- Dechmi, N., Benkaci, T. and Issolah A. (2003)**, A monthly stream flows modeling using conceptual models and neural fuzzy system, Rev. Sci. Eau16(4), 16 (4), pp: 407-424.
- Jacquinf A.P. and Shamsedin A.Y. (2006)**, Development of rainfall runoff models using takagi-sugeno fuzzy inference system, Journal of Hydrology, 329(1-2) , pp: 154-173.
- Jang JSR. (1994)**. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system, IEEE Trans System, Man, Cybernet, 23(3), pp:665-85.
- Jang, J.-S. R. (1991)**. Fuzzy Modeling Using Generalized Neural Networks and Kalman Filter Algorithm, Proc. of the Ninth National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI-91), pp: 762-767.

Lekkas D. F. and Maxey R.T. (2004). Wheather H. S., Intercompation of forecasting methods flood warning in the river cam catchment, *Global Nest*, 5, (2), pp: 89-97.

Russell, S.O. and Campbell, P. F. (1996). Reservoir operating rules with fuzzy programming .J *Water Resource Plan Manage*, 122 (3), pp: 165-70.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, 8 (1), pp: 338-353.