



## Technical Note

## یادداشت فنی

### Discharge Prediction by Comparing Artificial Neural Network With Fuzzy Inference System (Case study: Zayandeh rud River)

### مقایسه کاربرد شبکه عصبی مصنوعی (ANN) با سیستم استنتاج فازی (FIS) در پیش‌بینی جریان رودخانه زاینده رود

N. Poustizadeh<sup>1\*</sup> and N. Najafi<sup>2</sup>

ندا پوستی زاده<sup>۱\*</sup> و نعیمه نجفی<sup>۲</sup>

#### Abstract

The Fuzzy Sets theory and the Artificial Neural Network are among the latest methods in Water Resources Engineering for systems dealing with complexity or ambiguity and lack enough data. The main advantage of these techniques over traditional methods is that they can investigate the effects of the available parameters on the process in a short time and with no need to cause complex mathematical equations. In this study time series of monthly discharge, temperature, and rainfall are used in the Artificial Neural Network and Fuzzy Inference System context in order to forecast the flow discharge for the upcoming months. Results of this research showed that the FIS gives better estimation than the ANN.

#### چکیده

یکی از روش‌های نو ظهور در حل مسایل مهندسی جهت مدل‌سازی سیستم‌هایی که دارای پیچیدگی زیاد یا عدم‌صراحت بوده و یا داده‌های کافی از آنها موجود نیست، استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی و شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. مزیت اصلی این تکنیک‌ها نسبت به روش‌های رایج این است که در مدت زمان نسبتاً کوتاهی قادر به بررسی تأثیر انواع پارامترهای در دسترس، بر فرآیند مورد بررسی می‌باشند بدون آنکه در هر مرتبه نیاز به یافتن رابطه پیچیده ریاضی موجود بین پارامترهای منتخب باشند. در تحقیق حاضر نیز، با استفاده از این دو تکنیک و بر اساس دبی، میزان درجه حرارت و بارش ماهانه، سری پیوسته‌ای از دبی و هر یک از متغیرهای مذکور تشکیل و تأثیر هر یک از متغیرهای فوق در توالی‌های زمانی گذشته بر روی میزان دبی رودخانه در ماه‌های آینده بررسی شد و میزان دبی در ماه‌های آینده (فروردین تا شهریور) پیش‌بینی شد و در نهایت قابلیت استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی در پیش‌بینی میزان دبی رودخانه با یکدیگر مقایسه شده است و نتایج این تحقیق حاکی از برتری سیستم استنتاج فازی نسبت به شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

**Keywords:** Forecasting, River Flow, Fuzzy Inference System, Artificial Neural Network.

**کلمات کلیدی:** پیش‌بینی، جریان رودخانه، سیستم استنتاج فازی، شبکه عصبی مصنوعی.

Received: September 9, 2009

Accepted: December 8, 2010

تاریخ دریافت مقاله: ۱۸ شهریور ۱۳۸۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۷ آذر ۱۳۸۹

1- Ph.D. Candidate, Water Structures., Chamran University, Ahvaz, Iran.

Email: ava\_882005@yahoo.com

2- M.Sc. Water Structures., Mazandaran University, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۲- کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه مازندران، ایران

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

خروجی‌های مشاهده‌ای یک سیستم استفاده می‌نمایند (Ross, 1995).

رایج ترین شکل ارائه عبارت‌های زبانی، استفاده از عبارت‌های شرطی بصورت (اگر-آن گاه) به شکل زیر می‌باشد (وانگ، ۱۹۷۸).

با استفاده از بیان فوق می‌توان از یک واقعیت معلوم، واقعیت دیگر را استنتاج کرد. (کوره پزان، ۱۳۸۴).

## ۲-۲- شبکه چند لایه پیشخور

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که از بین ساختارهای مختلف ANNs، شبکه‌های چندلایه پیشخور (FF) با الگوریتم پس‌انتشار خطا (BP) بهترین عملکرد را در زمینه هیدرولیک و منابع آب داشته‌اند (Sarangi., 2005) و همانطور که در معادله زیر دیده می‌شود، شبکه‌های چندلایه، خروجی‌های هر لایه را به عنوان ورودی به لایه بعد انتقال می‌دهند:

$$a^{m+1} = f^{m+1}(W^{m+1}a^m + b^{m+1}) \quad (1)$$

$m=0, 1, \dots, M-1$

بردار بایاس  $b$  ماتریس وزن،  $W$  تعداد لایه‌ها در شبکه،  $M$  که ANN مقدار ورودی به هر لایه است. به طور کلی هر  $a$  و شامل نرون‌های ورودی، لایه یا لایه‌های مخفی، توابع تبدیل، لایه‌ی خروجی و نرون‌های خروجی می‌باشد. هر لایه شامل ماتریس وزن، جمع کننده‌های نرون‌های وزن دار شده، بردار بایاس، جعبه‌ی تابع تبدیل و بردار خروجی می‌باشد. در شبکه‌های FFBP هر نرون در لایه از طریق وزنه‌های اتصال به تمام نرون‌های لایه بعد متصل و سپس مجموع ورودی‌های وزن دار شده به تابع تبدیل هدایت می‌شوند. خروجی‌های جعبه تبدیل با مقادیر واقعی مقایسه و میانگین مربعات خطا محاسبه می‌شود و در نهایت مقادیر اصلاحی به صورت پس‌گرد بین وزن‌ها منتشر می‌شود.

این فرآیند آنقدر تکرار می‌شود تا یکی از فاکتورهای محدود کننده شامل ماکزیمم تعداد تکرار (epoch)، مینیمم خطای مطلوب و ... حاصل شود. در شبکه‌هایی که برای یادگیری از الگوریتم BP استفاده می‌کنند، رایج‌ترین تابع تبدیل Sigmoid است.

## ۳- ایستگاه مورد مطالعه و اطلاعات مورد استفاده

داده‌های استفاده شده در مطالعه حاضر مربوط به سال‌های ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۱ از ایستگاه قلعه شاهرخ (دبی تونل‌های اول و دوم کوه‌رنگ از

شبکه‌های عصبی مصنوعی برای اهداف مختلفی نظیر تشخیص الگو، کلاس بندی و بهینه سازی در علوم مهندسی به کار گرفته شده‌اند. قابلیت آنها برای نگاشت بین اطلاعات ورودی و خروجی با خطای قابل قبول، این مدل‌ها را به ابزار مناسبی برای مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی تبدیل کرده است (Hsu et al., 1995). از تحقیقات انجام گرفته، می‌توان به مطالعات (Salas et al., 2000) اشاره کرد که از ANNs برای پیش‌بینی جریان رودخانه لس پینوس کلرادو در آمریکا برای ماه‌های می، جون، جولای و آگوست استفاده کرده‌اند. داده‌های استفاده شده در این تحقیق شامل چهل سال (۱۹۴۸-۱۹۸۷) جریان رودخانه و مقدار آب معادل برف (Snow Water Equivalent) بوده است و چهارمدل ANN برای پیش‌بینی هر یک از ماه‌ها در نظر گرفته شده است. خروجی هر یک از مدل‌ها جریان رودخانه برای ماه جاری می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان دادند که عملکرد ANNs برای تمام ماه‌ها بجز ماه آگوست خوب بوده است.

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی جهت مطالعات اقلیمی به عنوان ابزاری توانمند برای بیان عدم قطعیت‌های موجود و برای عبارت‌های زبانی غیر صریح نظیر کم، زیاد و ... مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. از جمله این موارد می‌توان به مطالعات جمالی و همکاران (۱۳۸۵)، اشاره کرد که مدلی مبتنی بر سیستم استنباط فازی که برای پیش‌بینی جریان فصلی رودخانه زاینده‌رود و ساخت قواعد بهره‌برداری از مخزن ارائه کرده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهند این سیستم، روش مناسبی برای قواعد بهره‌برداری از مخزن می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

رویکردی که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network) و سیستم استنتاج فازی (Fuzzy Inference System) جهت پیش‌بینی جریان رودخانه زاینده رود و مقایسه دقت دو تکنیک ذکر شده با یکدیگر می‌باشد.

## ۲-۱- ساختار سیستم استنتاج فازی

سیستم استنتاج فازی که به سیستم‌های قاعده-بنیاد فازی معروف می‌باشد، از عبارت‌های زبانی برای ارائه ارتباط بین ورودی‌ها و

داده‌های ایستگاه قلعه شاهرخ) در بالادست سد زاینده رود بر روی شاخه اصلی رودخانه زاینده رود می باشد.

#### ۴-۱- پیش‌بینی جریان با استفاده از سیستم استنتاج فازی

در سیستم استنتاج فازی به ازای هر ورودی خاص، مقادیر خروجی آن با استفاده از میزان فعالیت هر قانون توسط آن ورودی‌ها و ترکیب خروجی‌های مختلف محاسبه می‌شود. جواب نهایی بر اساس سهم فعال شدن هر قانون و ترکیب جواب‌های آنها با روش (Mamdani, 1976) به دست می‌آید، زیرا در این روش ورودی با استفاده از یک فازی‌ساز به یک مجموعه فازی تبدیل و خروجی آن توسط غیرفازی‌ساز از مجموعه فازی به متغیر یا مقدار حقیقی تبدیل می‌شود. فرآیند بکارگیری FIS در این تحقیق به شرح زیر می‌باشد.

#### ۴-۱- تعیین ورودی‌های مدل

جهت پیش‌بینی جریان رودخانه زاینده رود، داده‌های مربوط به ایستگاه قلعه شاهرخ از سال آبی ۵۴-۱۳۵۳ تا ۸۱-۱۳۸۰ با تاخیرهای زمانی مختلف به عنوان ورودی‌های مدل انتخاب گردید که برای واسنجی مدل ۲۵ سال اول داده‌ها (۵۴-۱۳۵۳ تا ۷۸-۱۳۷۷) و برای صحت‌سنجی ۳ سال آخر (۷۹-۱۳۷۸ تا ۸۱-۱۳۸۰) در نظر گرفته شده است. (در این تحقیق به پیشنهاد برخی از متخصصان جهت ارزیابی دقت مدل نسبت به کاهش طول دوره آماری داده‌های صحت‌سنجی مدل، ۳ سال آخر جهت صحت‌سنجی در نظر گرفته شده‌اند). در این تحقیق سری پیوسته‌ای از متغیرهای ورودی شامل مجموع بارش و میانگین درجه حرارت و دبی در چند ماه متوالی و خروجی (دبی در ماه‌های آینده) به صورت ماهانه و با تاخیرهای زمانی مختلف (یک، دو تا حداکثر ۶ ماه) تشکیل و میزان تاثیر و همبستگی توالی‌های زمانی گذشته هر یک از متغیرها، بر روی میزان دبی آینده بررسی و مناسب‌ترین تاخیرهای زمانی هر یک از متغیرهای ورودی با استفاده از  $R^2$  تعیین می‌شود.

#### ۴-۲- فازی‌سازی متغیرهای ورودی و خروجی مدل

سری زمانی نهایی شده متغیرهای ورودی و خروجی مرحله قبل به صورت یک مجموعه در فایلی که هر ردیف آن دارای یک سری ورودی (در ستون‌های اولیه) و خروجی (در ستون آخر) می‌باشد، قرار می‌گیرند. گام بعدی، در نظر گرفتن سه بازه شامل کم (L)، متوسط (M) و زیاد (H) برای هر سری به گونه‌ای که توزیع داده درون این بازه‌ها یکنواخت و تقریباً یکسان باشد.

#### ۴-۳- استخراج قوانین مدل پیش‌بینی

پس از فازی‌سازی متغیرهای ورودی و خروجی، با مشاهده سری‌های زمانی فازی شده مرحله قبل، مجموعه قواعد مناسب مربوط به داده‌هایی که جهت ساخت مدل استفاده می‌شوند، استخراج و فراوانی هر یک از قواعد حاصل محاسبه می‌شود.

#### ۴-۴- ترکیب قوانین مدل

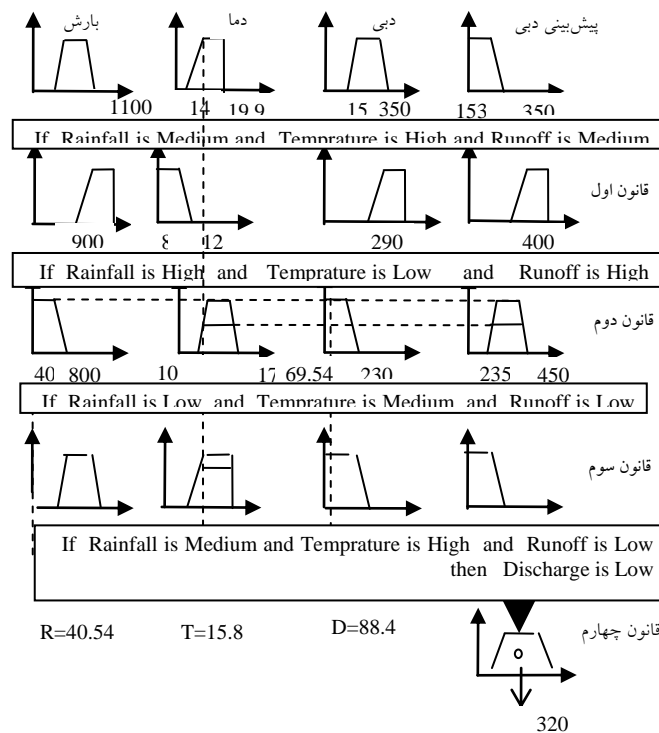
نحوه به کارگیری روش ممدانی در ترکیب قوانین فازی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل، FIS متشکل از ۴ قانون با بیشترین فراوانی و ۳ متغیر مستقل بارش، دما و رواناب، برای پیش‌بینی متوسط دبی فروردین ماه می‌باشد. به عنوان مثالی از پیش‌بینی در زمان واقعی، مقدار مجموع بارش برابر ۴ و ۴۰۵ میلی‌متر و متوسط دما برابر ۸ و ۱۵ و متوسط رواناب برابر ۴ و ۸۸ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌اند. این مقادیر در محدوده اعداد فازی قانون سوم قرار می‌گیرند و بنابراین این قانون را فعال می‌کنند. میزان تاثیر هر قانون در خروجی نهایی بر اساس درجه فعالیت خروجی هر قانون به دست می‌آید. در این تحقیق از عملگر "و" برای ترکیب متغیرهای هر قانون استفاده شده و درجه ارضای خروجی هر قانون بر اساس کمترین درجه عضویت محاسبه می‌شود. جواب نهایی بر اساس برهم نهی خروجی قوانین مختلف به صورت یک عدد فازی به دست می‌آید. این عدد فازی را می‌توان به صورت یک عدد صریح بیان کرد. در این مطالعه مرکز ثقل عدد فازی به عنوان میانگین این عدد فازی و پیش‌بینی نقطه‌ای در نظر گرفته شده است. در مثال فوق پیش‌بینی نقطه‌ای برابر ۳۲۰ می‌باشد.

#### ۴-۵- واسنجی مدل

در این تحقیق برای سادگی محاسبات، کلیه توابع عضویت متغیرها به صورت دوزنقه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. محل مرکز ثقل و محدوده هر یک از این توابع مستقیماً در جواب نهایی اثر می‌گذارد و این دو پارامتر به گونه‌ای تعیین شده‌اند که بهترین نتایج پیش‌بینی را تولید کنند. این کار در مرحله واسنجی مدل و با آزمون مقادیر مختلف برای پارامترها و مقایسه نتایج با استفاده از سه معیار زیر انجام گرفته است:

الف) انحراف مقادیر پیش‌بینی نقطه‌ای از مقادیر واقعی

ب) اطمینان‌پذیری پیش‌بینی‌ها (منظور این است، مقادیر مشاهده شده در بازه پیش‌بینی قرار گیرند)



شکل ۱- ساختار FIS مربوط به مدل پیش‌بینی دبی فروردین

شبکه در مینیمم‌های محلی افتاده و علی‌رغم بالا بودن  $R$ ، مقدار  $RMSE$  پایینی داشته باشد. برای حل این مشکل هر شبکه چندین مرتبه آموزش می‌بیند، در واقع در هر مرتبه مقادیر اولیه وزن‌ها و بایاس‌ها به هنگام می‌شوند پس از آزمایش تعداد ۲ و ۳ لایه در شبکه پیشخور برای داده‌های مذکور، شبکه بهینه بدست آمده دارای ۲ لایه با توابع تبدیل sigmoid و tangent در لایه میانی و تابع تبدیل خطی linear در لایه خروجی بوده است.

لایه خروجی همواره شامل یک نرون بوده، در حالی که تعداد نرون‌های لایه‌های میانی بر اساس آزمون و خطا بهینه می‌شود، تعداد نرون‌های ورودی نیز شامل ۳ نرون (دبی، باران و درجه حرارت) می‌باشد. ضمن اجرای هر شبکه در چندین تکرار و به دست آوردن مقادیر  $RMSE$  و  $R$ ، وزن‌ها و بایاس‌های مربوط به شبکه‌هایی که  $R$  بیشتر و  $RMSE$  کمتری دارند، ثبت و در نهایت بهترین شبکه انتخاب و ذخیره می‌شود.

#### ۶- نتایج

پس از ساخت مدل‌های پیش‌بینی دبی و اجرای آن‌ها، نتایج با معیارهای ضریب همبستگی ( $R^2$ )، ریشه میانگین مجذورخطا ( $RMSE$ ) و درصد نسبی خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر

(ج) بازه پیش‌بینی‌های فازی با تغییر پارامترهای توابع عضویت متغیرهای مستقل و وابسته به صورت سعی و خطا، بهترین مقادیر پارامترها به دست آمده‌اند.

#### ۴-۶- صحت‌سنجی مدل

در نهایت بر اساس توابع عضویت مربوط به داده‌های ۲۵ سال آماری، خروجی مدل برای ۳ سال آماری آخر محاسبه شد و خروجی‌های مدل که با بر هم نهی قوانین مختلف به صورت یک عدد فازی می‌باشد، با روش غیر فازی ساز مرکز سطح، به یک عدد معمولی تبدیل می‌شود.

#### ۵- مدل FFBP

به منظور طراحی ANN از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. داده‌های ورودی به شبکه ابتدا نرمالیزه و سپس ۲۵ سال از آنها برای آموزش و مابقی جهت صحت‌سنجی شبکه، جدا می‌شوند و از ۲۵ سال اولیه ۷۵ درصد جهت آموزش و ۲۵ درصد جهت واسنجی شبکه در نظر گرفته شده است. شبکه با وزن‌ها و بایاس‌های اولیه‌ای که نرم‌افزار به‌طور خودکار در نظر می‌گیرد آموزش و مقدار ضریب همبستگی ( $R$ ) و میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) حاصل می‌شود. در صورت نامناسب بودن شرایط اولیه، این امکان وجود دارد که

## ۷- خلاصه و نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعات ارائه شده در این مقاله دلالت بر برتری FIS نسبت به شبکه عصبی مصنوعی دارد. دلایل عبارتند از:

۱. مدل‌های بر مبنای شبکه عصبی توانایی انعکاس و در نظر گرفتن رفتار استوکستیک متغیرهای هیدرولوژیکی را ندارند و اغلب در پیش‌بینی‌های نقطه‌ای به کار می‌روند و نمی‌توانند عدم قطعیت پیش‌بینی را در خروجی منعکس کنند.
۲. در FIS امکان رابطه غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته و انجام پیش‌بینی‌های بلندمدت به صورت بازه‌های ممکن به جای یک مقدار خاص و در نظر گرفتن مقادیر غیر صریح در تعریف پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی وجود دارد.

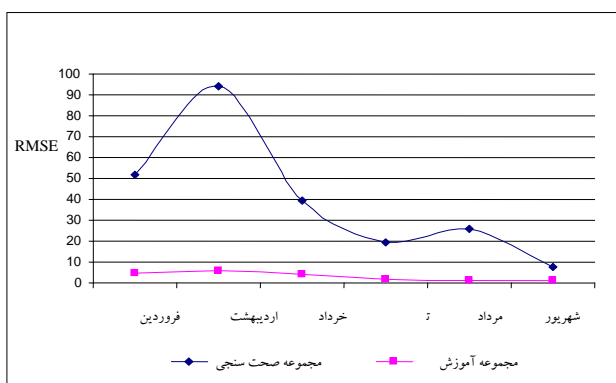
RMSE و  $R^2$  حاصل از ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی در جدول ۱ آورده شده است.

نتایج حاصل نشان می‌دهند روش FFBP برای مجموعه آموزش از عملکرد بهتری برخوردار بوده است در صورتی که برای مجموعه صحت‌سنجی روش FIS نتایج بهتری را ارائه می‌کند. بنابراین می‌توان گفت روش FIS از قدرت تعمیم دهی بالاتری نسبت به روش FFBP برخوردار است. بخصوص برای ماه‌های با دبی بیشتر این مدل با دقت بالاتری نسبت به روش FFBP میزان دبی را تخمین می‌زند.

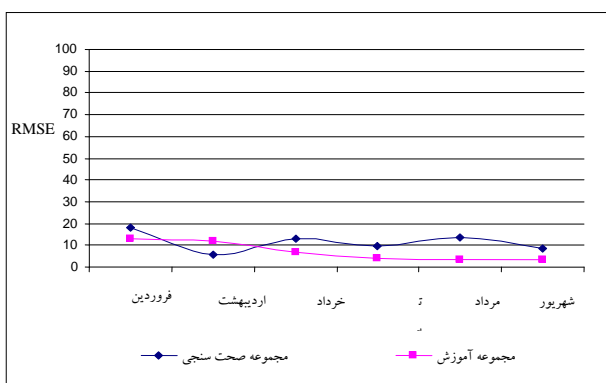
جهت مقایسه عملکرد هر روش برای ساخت و صحت‌سنجی شکل‌های ۲ و ۳ در یک مقیاس ترسیم شده‌اند.

جدول ۱- خلاصه نتایج مدل‌های پیش‌بینی دبی ایستگاه قلعه شاهرخ

شبکه عصبی مصنوعی				سیستم استنتاج فازی				روش پیش‌بینی
صحت‌سنجی		آموزش		صحت‌سنجی		واسنجی		سری داده‌ها
$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	پارامتر
۰/۹۸	۵۱/۷	۰/۹۹	۴/۹۶	۰/۹۲	۱۲/۹	۰/۹۹	۱۸/۳	فروردین
۰/۹۸	۹۴	۰/۹۹	۵/۷	۰/۹۷	۵/۸۱	۰/۹۹	۱۱/۹	اردیبهشت
۰/۹۹	۳۹/۲	۰/۹۹	۴/۲	۰/۹۷	۱۳/۲۵	۰/۹۹	۶/۷۴	خرداد
۰/۹۹	۱۹/۷	۰/۹۹	۱/۸	۰/۹۸	۳/۷۸	۰/۹۸	۸/۹۷	تیر
۰/۹۹	۲۶/۱	۰/۹۹	۱/۳	۰/۹۸	۱۳/۳۵	۰/۹۹	۳/۱۳	مرداد
۰/۹۹	۷/۶	۰/۹۹	۱/۱	۰/۹۸	۸/۲۱	۰/۹۲	۳/۴۷	شهریور



شکل ۳- RMSE حاصل از مدل‌سازی دبی فروردین تا شهریور به روش FFBP



شکل ۲- RMSE حاصل از مدل‌سازی دبی فروردین تا شهریور به روش FIS

## ۸- مراجع

- Mamdani, E.H. (1976), "Advances in linguistic synthesizes of fuzzy controllers", *Journal of Man mach, Stud.*, vol. 8, pp. 669-678.
- Ross, T.J. (1995), *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, McGraw-Hill, Inc., USA.
- Salas, J.D., Markus, M. and Tokar, A.S. (2000), "Streamflow forecasting based on artificial neural networks. In: *Artificial neural networks in hydrology*", ed. Govindaraju, R.S. and Ramachandra, A., PP. 23-51. West Lafayette Indiana, U.S.A.
- Sarangi, A. (2005), "Comparison of Artificial Neural Network and regression models for sediment loss prediction from Banha watershed in India", *Journal of Agricultural water management*, Pub. By Elsevier.
- جمالی، س.، ابریشم‌چی، الف و تجریشی، م. (۱۳۸۵). "ساخت مدل‌های پیش‌بینی جریان رودخانه و بهره‌برداری از مخزن با استفاده از سیستم استنباط فازی." مقاله دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
- کوره‌پزان دزفولی، الف. (۱۳۸۴). "تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب." چاپ اول. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۲۶۱ص.
- وانگ، ل. (۱۹۷۸). "سیستم‌های فازی و کنترل فازی." ترجمه محمد تشنه لب و همکاران. انتشارات دانشگاه خواجه نصیر طوسی.
- Hsu, k.-L., Gupta, H.V. and Sorooshnian, S. (1995), "Artificial neural networks modeling of rainfall-runoff process", *Water Resources Research*, 31(10), pp. 2517-2530.