



## River Flow Forecasting using Fuzzy Inference System

N. Poustizadeh<sup>1</sup>, J. M. V. Samani<sup>2</sup>  
and A. K. Dezfuli<sup>3</sup>

### Abstract

The Fuzzy Sets Theory has recently been widely and successfully used in engineering problems with complexity, ambiguity, or lack of enough data. The Fuzzy Inference System (FIS) is among these techniques. The main advantage of this technique over traditional methods is that it works based on IF-THEN rules and appoints the relation between input and output variables accordingly. In this study the monthly discharge, temperature, and rainfall are used in the Fuzzy Inference System context as continuous series in order to forecast the river flow discharge for the next months. The effect of each variable in previous time step is determined on the flow discharge in the upcoming month and the best combination and suitable lag time is obtained.

**Keywords:** Forecasting, Ambiguity, River flow, Fuzzy Inference System

## پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از سیستم استنتاج فازی

ندا پوستی‌زاده<sup>۱</sup>، جمال محمدولی سامانی<sup>۲</sup>  
و امین کوره‌بزان دزفولی<sup>۳</sup>

### چکیده

یکی از روش‌های نو ظهور در حل مسایل مهندسی جهت مدل‌سازی سیستم‌هایی که دارای پیچیدگی زیاد یا عدم صراحت بوده و یا داده‌های کافی از آنها موجود نیست، استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی از جمله سیستم می‌باشد. مزیت اصلی این تکنیک نسبت به استنتاج فازی روش‌های رایج، این است که این سیستم بر اساس قواعد اگر-آن‌گاه بنا نهاده شده است و قادر به تعیین ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی با استفاده از قواعد مزبور می‌باشد. در تحقیق حاضر نیز، با استفاده از سیستم استنتاج فازی و بر اساس دبی، درجه حرارت و بارش ماهانه، سری پیوسته‌ای از دبی جریان رودخانه و هر یک از متغیرهای مذکور تشکیل و تاثیر هر یک از متغیرهای فوق در توالی‌های زمانی گذشته بر روی میزان دبی جریان رودخانه در ماه‌های آینده بررسی شد و میزان دبی رودخانه در ماه‌های آینده پیش‌بینی شد.

**کلمات کلیدی:** پیش‌بینی، عدم‌صراحت، جریان رودخانه، سیستم استنتاج فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۰ شهریور ۱۳۸۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۹ آبان ۱۳۸۷

1- M.Sc. Water Structures, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: ava\_882005@yahoo.com

2- Associ. Professor of Water Resources department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3- M.Sc., Environment and Water Research Center, Ministry of Energy, Tehran, Iran

۱- کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- کارشناس ارشد عمران آب، وزارت نیرو، تهران

فازی برای پیش‌بینی بارش فصلی به صورت عدد فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی تبدیل اطلاعات هیدروکلیماتولوژیکی به جریان رودخانه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این تحقیق دلالت بر دقت قابل قبول روش ارائه شده در پیش‌بینی نقطه‌ای و بلندمدت جریان و امکان پیش‌بینی به صورت مجموعه‌ای از جریان‌های ممکن را دارد. (Swain and Nanduri 2005) یک مدل ANFIS جهت پیش‌بینی جریان آب سیستم پیچیده و غیرخطی حوضه رودخانه که باران را به‌عنوان ورودی دریافت و و رواناب را تولید می‌کند، معرفی کرده‌اند.

## ۲- مواد و روش‌ها

هدف اصلی این مطالعه کاربرد سیستم استنتاج فازی جهت پیش‌بینی جریان رودخانه می‌باشد و بررسی و ارزیابی دقت مدل با کاهش تعداد داده‌های ورودی و مقایسه دقت نتایج مدل با نتایج حاصل از روش رگرسیون چند متغیره در ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد.

## ساختار سیستم استنتاج فازی

منطق فازی به طور گسترده‌ای به استفاده از متغیرهای زبانی در مسایل کاربردی پرداخته است و در واقع سعی می‌کند قواعد و قوانین موجود در یک سیستم را که در قالب عبارت‌ها و متغیرهای زبانی بیان می‌گردد به صورت سیستم‌های فازی مدل‌سازی نماید. چنین سیستم‌هایی که به سیستم‌های قاعده - بنیاد فازی معروف می‌باشند، کاربردهای زیادی در مسایل مهندسی دارند. این سیستم‌ها از عبارت‌های زبانی برای ارائه ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌ای یک سیستم استفاده می‌نمایند. عبارت‌های زبانی ذاتاً به گونه‌ای می‌باشند که می‌توانند به وسیله مجموعه‌های فازی بیان گردند (Ross, 1995).

رایج‌ترین شکل ارائه عبارت‌های زبانی برای بیان دانش بشری، استفاده از عبارت‌های شرطی به صورت قواعد اگر- آنگاه به شکل زیر می‌باشد (وانگ، ۱۹۷۸). اگر مقدم (فرض) آنگاه تالی (نتیجه) مانند "اگر بارندگی زیاد باشد آنگاه دبی رودخانه افزایش می‌یابد".

## ایستگاه مورد مطالعه

داده‌های استفاده شده در مطالعه حاضر مربوط به سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۰ بوده و از ایستگاه تنگ پنج در بالادست سد دز و بر روی شاخه اصلی رودخانه بختیاری جمع‌آوری شده است. حدود ۸۷ درصد از کل داده‌ها یعنی ۲۷ سال اول داده‌ها (سال ۱۳۵۱-۱۳۵۰ تا ۱۳۷۶-۱۳۷۷) برای ساخت و واسنجی مدل و مابقی یعنی ۴ سال آخر داده‌ها (سال ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱-۱۳۸۰) جهت صحت سنجی

عوامل موثر در فرآیندهای هیدرولوژیک بسیار متنوع و اعمال کلیه آن‌ها در مدل‌های طراحی شده بسیار مشکل و وجود عدم قطعیت‌های بالا و غیرخطی بودن قوی داده‌ها، مسئله را پیچیده می‌کند. بنابراین با توجه به مشکلات موجود امروزه بسیاری از محققین به روش‌های نوین برای حل این مساله روی آورده‌اند. یکی از این روش‌های نوظهور، استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی از جمله سیستم استنتاج فازی می‌باشد که ابزاری است توانمند برای بیان عدم شفافیت و عدم قطعیت‌های موجود در دنیای واقعی در قالب روابط ریاضی و برای عبارت‌های زبانی غیرصریح و غیردقیق نظیر شدید، کم، زیاد، کافی و ... که در مسایل مربوط به مهندسی آب نیز به طور گسترده‌ای با آنها روبرو هستیم. بنابراین این روش ابزار مناسبی جهت مدل‌سازی سیستم‌هایی است که دارای چنین ویژگی‌هایی می‌باشند. سیستم استنتاج فازی را می‌توان براساس دانش شخص خبره<sup>۱</sup> یا داده‌های مشاهده شده (Bardossy 1995) ساخت. نحوه استخراج از این روش را شرح داده است.

از تحقیقات انجام گرفته در این زمینه، می‌توان به مطالعات جمالی و همکاران (۱۳۸۵)، اشاره کرد که یک مدل را مبتنی بر سیستم استنباط فازی برای بهره برداری مخزن سد زاینده رود توسعه داده‌اند. مدل مزبور شامل دو قسمت است که در قسمت اول، حجم جریان فصلی رودخانه توسط یک سیستم استنباط فازی پیش‌بینی شده و در قسمت دوم، قواعد بهره برداری از مخزن ساخته شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهند سیستم استنباط فازی روش مناسبی برای ساخت قواعد بهره‌برداری از مخزن می‌باشد. همچنین می‌توان به اشاره کرد که یک مدل (Chang et al 2005) مطالعات جدید براساس استنتاج فازی جهت پیش‌بینی سیلاب بنام مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی جریان رودخانه Lan-Yang در Taiwan در بازه زمانی یک ساعت زودتر در طول دوره سیلاب بر روی رودخانه استفاده شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل فوق با نتایج بدست آمده از کاربرد شبکه عصبی مقایسه شده و دلالت بر ارجحیت و دقت مدل جهت پیش‌بینی سیلاب دارد. (Yu and Chen 2000) یک مدل پیش‌بینی سیلاب در بازه زمانی یک تا چهار ساعت زودتر با استفاده از روش فازی ارائه کرده‌اند. آنالیز و بررسی‌ها، مدل فوق را تأیید می‌کند. نتایج حاصل دلالت بر توانایی مدل جهت کاهش مشکل تأخیر فازی در هیدروگراف‌های پیش‌بینی با دوره زمانی طولانی‌تر دارد. عراقی نژاد و کارآموز (۱۳۸۴) از مدل‌های مفهومی برای پیش‌بینی بلندمدت جریان رودخانه زاینده رود در محل ورودی به سد زاینده رود استفاده کرده‌اند. در تحقیقات آنها، سیستم استنتاج

### ۳-۱- تعیین ورودی‌های مدل

جهت پیش‌بینی جریان رودخانه بختیاری، داده‌های مربوط به ایستگاه تنگ‌پنج شامل بارش، درجه حرارت و دبی ماهانه از سال آبی ۱۳۵۱-۱۳۵۰ تا ۱۳۸۱-۱۳۸۰ (جمعا ۳۱ سال) با تاخیرهای زمانی<sup>۲</sup> مختلف به‌عنوان ورودی‌های مدل انتخاب گردید که ۲۷ سال اول داده‌ها از سال آبی ۵۱-۱۳۵۰ تا ۷۷-۱۳۷۶ برای واسنجی و ۴ سال آخر داده‌ها از سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۱-۱۳۸۰ برای صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده می‌شود. در این تحقیق فصل‌بندی متغیرهای ورودی و دبی بر این اساس بوده است که بتوان با استفاده از مجموع مقادیر بارش و میانگین درجه حرارت و دبی در چند ماه متوالی، میزان دبی را در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور پیش‌بینی نمود. بنابراین سری پیوسته‌ای از هر یک از متغیرهای ورودی (بارش، درجه حرارت و دبی) و متغیر خروجی (دبی در ماه‌های آینده) به‌صورت ماهانه و با تاخیرهای زمانی مختلف (یک، دو، سه تا حداکثر ۶ ماه) تشکیل و میزان تاثیر و همبستگی این توالی‌های زمانی گذشته هر یک از متغیرها، بر روی میزان دبی بررسی و مناسب‌ترین تاخیرهای زمانی هر یک از متغیرهای ورودی تعیین می‌شود که برای تعیین مناسب‌ترین تاخیر زمانی هر یک از متغیرهای ورودی در این مرحله، از معیار  $R^2$  استفاده شده است. مناسب‌ترین تاخیر زمانی هر یک از متغیرهای ورودی برای پیش‌بینی دبی در ماه‌های مذکور در جدول ۱ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، به‌عنوان نمونه، برای پیش‌بینی دبی فروردین، متوسط دبی از شش گام زمانی قبل و مجموع بارش از چهار گام زمانی قبل و متوسط دما در یک گام زمانی قبل نسبت به دبی فروردین، بیشترین ضریب همبستگی را دارند و بنابراین بیشترین تاثیر را بر روی پیش‌بینی دبی این ماه خواهند داشت.

مدل در نظر گرفته شده‌اند. (بطور کلی در اکثر تحقیقات ۶۰ درصد از کل داده‌ها برای ساخت و واسنجی مدل و مابقی برای صحت‌سنجی مدل در نظر گرفته می‌شوند اما در این تحقیق به پیشنهاد برخی متخصصان جهت ارزیابی حساسیت و دقت این مدل نسبت به کاهش طول دوره آماری داده‌های مربوط به صحت‌سنجی مدل، ۴ سال آخر داده‌ها جهت صحت‌سنجی مدل در نظر گرفته شده‌اند) این داده‌ها شامل بارش، میزان درجه حرارت و دبی ماهانه ایستگاه مورد نظر می‌باشد.

### ۳-۳- مراحل کار

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، سیستم استنتاج فازی، سیستمی بر اساس ترکیب قوانین اگر-آن‌گاه می‌باشد. در این سیستم چند قانون فازی بیانگر حالات مختلف سیستم می‌باشند. به ازای هر ورودی خاص به سیستم، مقادیر مناسب خروجی آن با استفاده از میزان ارضای هر قانون توسط آن ورودی‌ها و ترکیب خروجی‌های مختلف محاسبه می‌گردد. در نهایت جواب نهایی بر اساس سهم فعال شدن هر قانون و ترکیب جواب‌های آنها با هم به‌دست می‌آید. ترکیب نتایج قوانین مختلف با استفاده از روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد. روش استفاده شده در این تحقیق موسوم به روش ممدانی می‌باشد (Mamdani, 1976) زیرا در این روش ورودی سیستم با استفاده از یک فازی‌ساز به یک مجموعه فازی تبدیل شده و خروجی آن نیز توسط یک غیرفازی‌ساز از یک مجموعه فازی به یک متغیر یا مقدار حقیقی تبدیل می‌شود. فرآیند به‌کارگیری سیستم استنتاج فازی در پیش‌بینی جریان رودخانه در تحقیق حاضر شامل ۷ مرحله است که به شرح زیر می‌باشند.

جدول ۱- مناسب‌ترین تاخیرهای زمانی متغیرهای ورودی و ضریب همبستگی آنها

پیش‌بینی دبی	متوسط دبی	متوسط دما	مجموع بارش
(فروردین)	(مهر- اسفند) $R^2=0.382$	(اسفند) $R^2=0.1$	(آذر- اسفند) $R^2=0.255$
(اردیبهشت)	(دی- فروردین) $R^2=0.577$	(فروردین) $R^2=0.12$	(آبان- فروردین) $R^2=0.266$
(خرداد)	(اردیبهشت) $R^2=0.853$	(اردیبهشت) $R^2=0.252$	(آذر- اردیبهشت) $R^2=0.551$
(تیر)	(خرداد) $R^2=0.94$	(خرداد) $R^2=0.11$	(بهمن- خرداد) $R^2=0.611$
(مرداد)	(تیر) $R^2=0.932$	(تیر) $R^2=0.08$	(بهمن- تیر) $R^2=0.626$
(شهریور)	(اردیبهشت- مرداد) $R^2=0.9293$	(مرداد) $R^2=0.07$	(اسفند- مرداد) $R^2=0.527$

### ۳-۲- فازی سازی متغیرهای ورودی و خروجی مدل

سری زمانی نهایی شده متغیرهای ورودی و خروجی مرحله قبل را 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. بنابراین تعداد ستون‌ها برابر است با تعداد ورودی‌ها به علاوه یک. گام بعدی، انتخاب تعداد حالات یا شرایط برای تعریف یک متغیر زبانی می‌باشد و حداقل تعداد حالات ممکن برای تعریف یک متغیر زبانی در سیستم‌های فازی ۳ می‌باشد و در عمل کمتر از ۳ حالت وجود ندارد. در این تحقیق جهت تعیین تعداد حالات در مرحله فازی‌سازی، ابتدا ۳ حالت کم (L)، متوسط (M) و زیاد (H) برای داده‌های ورودی و خروجی و سپس ۳ حالت برای داده‌های ورودی ۵ حالت خیلی کم (VL)، کم (L)، متوسط (M)، زیاد (H) و خیلی زیاد (VH)، برای داده‌های خروجی در نظر گرفته شد بگونه‌ای که توزیع داده‌های هر سری زمانی درون این بازه‌ها یکنواخت و تقریباً یکسان باشد. مجموعه قواعد و خروجی‌های هر یک از دو حالت فوق استخراج گردید و در نهایت جهت انتخاب حالت مناسب‌تر، عملکرد مدل‌ها مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. به‌عنوان نمونه و بر اساس مطالب فوق، ارزیابی عملکرد مدل‌ها برای پیش‌بینی دبی فروردین - اردیبهشت رودخانه بختیاری (ایستگاه تنگ‌پنج) در جدول ۲ آورده شده است. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، بر اساس سه معیار، ضریب همبستگی، ریشه میانگین مجذور خطا و متوسط قدرمطلق خطا، عملکرد مدل مربوط به حالت اول نسبت به مدل مربوط به حالت دوم مطلوب‌تر می‌باشد. لذا در این تحقیق، فازی‌سازی متغیرها بر اساس ۳ حالت (کم، متوسط و زیاد) انجام شده است.

### ۳-۳- استخراج قوانین مدل پیش‌بینی

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

برای دبی فروردین و مرداد به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

### ۳-۴- 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 فازی و ۳ متغیر مستقل بارش، دما و رواناب، برای پیش‌بینی متوسط دبی در فروردین ماه می‌باشد. بعنوان مثالی از پیش‌بینی در زمان واقعی، مقدار مجموع بارش برابر ۴ و ۴۰۵ میلی‌متر و متوسط دما برابر ۱۵/۸ 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 ارضای 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 بر هم 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 بعنوان میانگین این عدد فازی و پیش‌بینی نقطه‌ای در نظر گرفته شده است. در مثال ارائه شده عدد فازی پیش‌بینی در محدوده ۲۳۵ و ۴۵۰ میلی‌متر و پیش‌بینی نقطه‌ای برابر ۳۲۰ می‌باشد.

### ۳-۵- واسنجی مدل

در این تحقیق برای سادگی محاسبات، کلیه توابع عضویت متغیرها به صورت ذوزنقه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. محل مرکز ثقل و محدوده هر یک از این توابع مستقیماً در جواب نهایی اثر می‌گذارد. از میان مقادیر مختلف، 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 توسط سه معیار زیر انجام گرفته است:

جدول ۲- خلاصه نتایج آماری مدل پیش‌بینی فروردین - اردیبهشت ایستگاه تنگ پنج

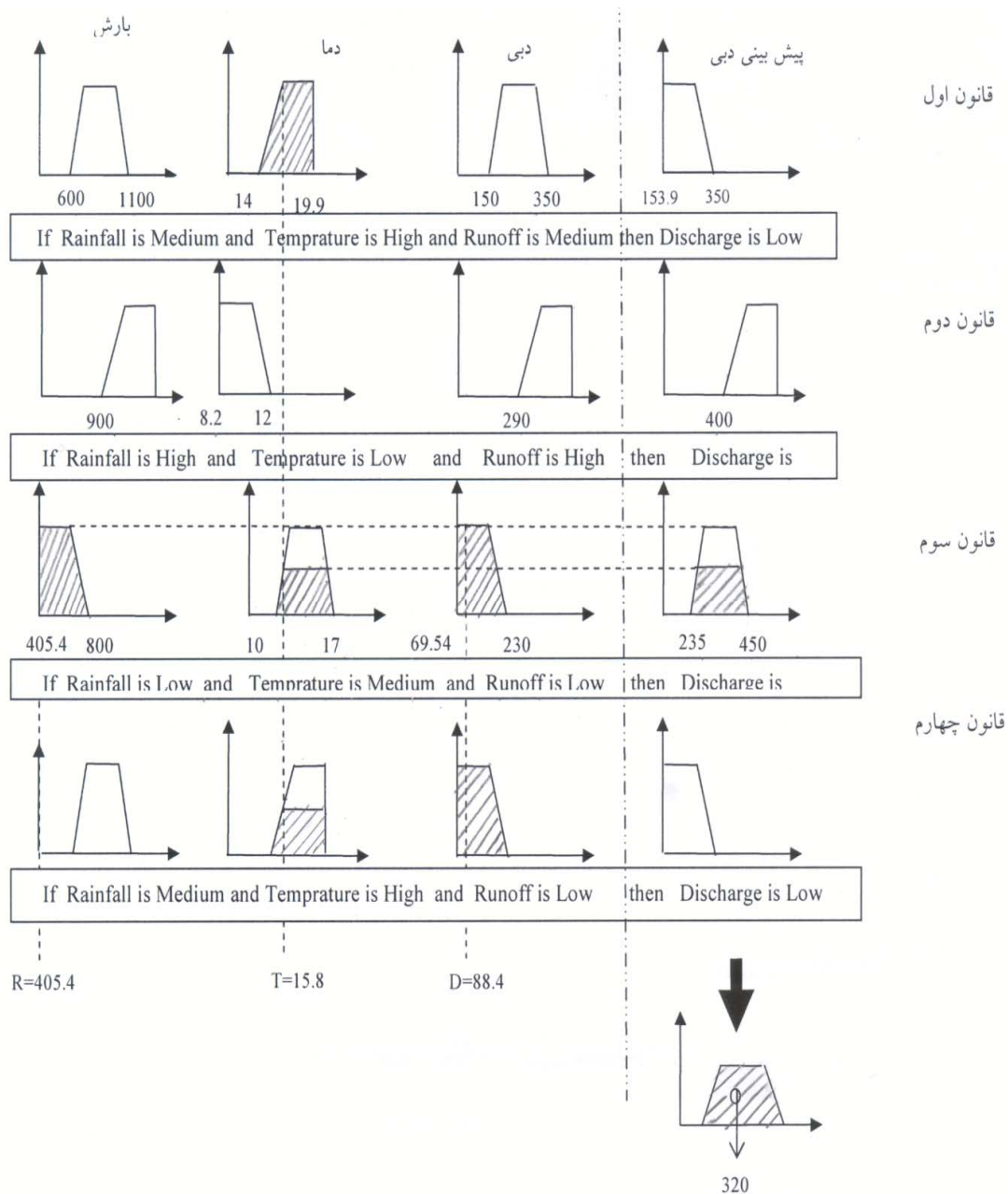
زمان	آموزش			صحت یابی		
	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
فروردین - اردیبهشت (الف)	۰/۹۴	۴۹/۳	۳۲/۹	۰/۹	۴۱/۲	۳۰/۶
فروردین - اردیبهشت (ب)	۰/۸۱	۸۹/۴	۶۴/۴	۰/۷۸	۶۱/۹	۵۷

جدول ۳- مجموعه قواعد استخراج شده مربوط به مدل پیش‌بینی دبی فروردین و فراوانی آنها

مجموع بارش (آذر- اسفند) $R^2=0.2547$	متوسط دما (اسفند) $R^2=0.1$	متوسط رواناب (مهر- اسفند) $R^2=0.3825$	پیش‌بینی دبی (فروردین)	فراوانی
M	H	M	L	۳
L	H	L	M	۳
H	M	M	H	۳
H	M	H	H	۲
L	M	H	M	۲
M	L	H	H	۲
H	L	H	H	۲
H	H	M	H	۱
H	H	L	H	۱
M	M	H	L	۱
M	L	L	M	۱
M	L	M	L	۱
L	L	M	M	۱
L	M	L	M	۱
L	M	M	M	۱
M	M	M	H	۱
M	H	L	L	۱

جدول ۴- مجموعه قواعد استخراج شده مربوط به مدل پیش‌بینی دبی مرداد و فراوانی آنها

مجموع بارش (بهمن-تیر) $R^2=0.6259$	متوسط دما (تیر) $R^2=0.03$	متوسط رواناب (تیر) $R^2=0.9323$	پیش‌بینی دبی (مرداد)	فراوانی
M	H	H	H	۳
H	M	H	H	۳
L	H	L	L	۲
H	H	H	H	۲
L	L	L	L	۲
H	L	M	M	۲
M	L	M	M	۲
L	M	M	L	۲
L	M	L	L	۱
M	H	M	M	۱
H	L	H	H	۱
M	L	H	M	۱
L	H	M	M	۱
M	M	L	L	۱
H	L	L	L	۱
M	M	M	L	۱
H	M	M	H	۱



شکل ۱- ساختار سیستم استنتاج فازی مربوط به مدل پیش‌بینی دبی فروردین

### ۳-۶- صحت‌سنجی مدل

در نهایت بر اساس توابع عضویت واسنجی شده مربوط به داده‌های ورودی ۲۷ سال آماری، میزان خروجی مدل برای چهارسال آماری آخر (۱۳۷۷-۷۸ تا ۱۳۸۰-۸۱) محاسبه و تعیین شد. قابل ذکر است خروجی‌های مدل که بر اساس برهم نهی خروجی قوانین مختلف به صورت یک عدد فازی بیان شده است، با روش غیر فازی‌ساز مرکز سطح، به یک عدد معمولی تبدیل می‌شود. بر اساس مطالب فوق، بعنوان نمونه، خروجی‌های مدل پیش‌بینی دبی فروردین و مرداد در جدول‌های ۵ و ۶ آورده شده و در شکل‌های ۲ و ۳ خروجی‌های مدل دبی فروردین و مرداد در برابر مقادیر واقعی مدل ترسیم گشته‌اند.

- انحراف مقادیر پیش‌بینی نقطه‌ای از مقادیر واقعی - اطمینان‌پذیری پیش‌بینی‌ها (منظور این است که مقادیر مشاهده شده در بازه پیش‌بینی قرار گیرند) - بازه پیش‌بینی‌های فازی

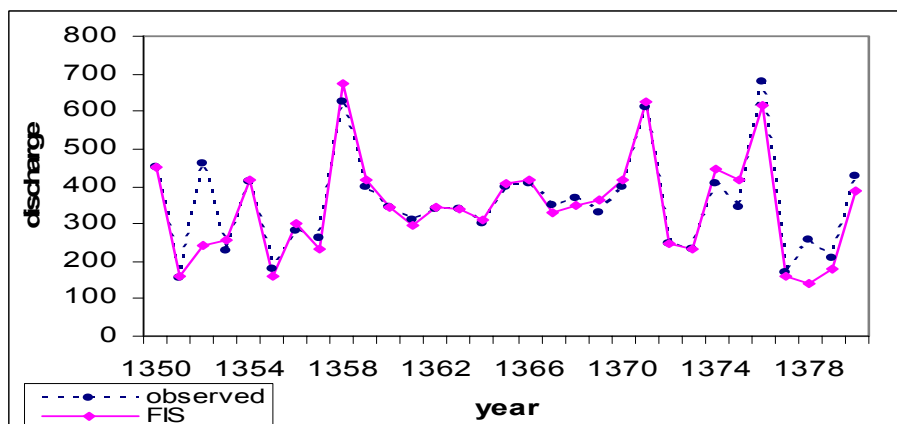
با تغییر پارامترهای توابع عضویت متغیرهای مستقل و وابسته و مشاهده اثر آن در خروجی به صورت سعی و خطا، بهترین مقادیر پارامترها بر اساس معیارهای فوق، به دست آمده‌اند.

جدول ۵- خروجی های مدل پیش بینی دبی فروردین

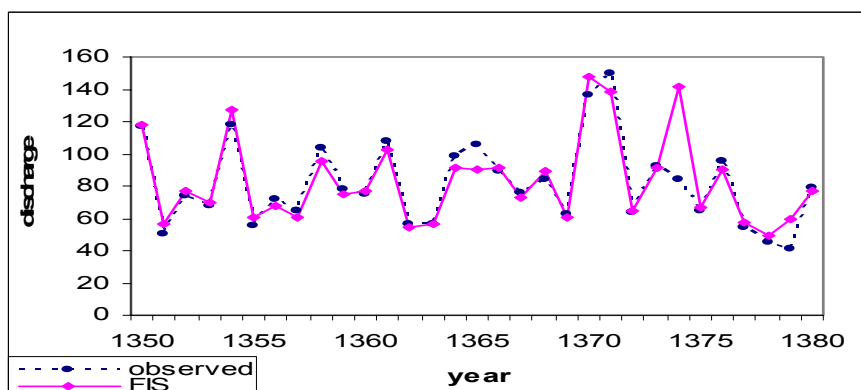
Year	$Q^{Obs}$	$Q^{cal}$
۱۳۵۰	۴۵۳/۰۹	۴۵۳
۱۳۵۱	۱۵۳/۹۲	۱۵۸
۱۳۵۲	۴۵۸/۲۹	۲۴۲
۱۳۵۳	۲۲۹/۷۴	۲۵۶
۱۳۵۴	۴۱۳/۴۲	۴۱۶
۱۳۵۵	۱۸۰/۹۹	۱۶۱
۱۳۵۶	۲۸۲/۴۲	۲۹۹
۱۳۵۷	۲۶۱/۴۵	۲۳۲
۱۳۵۸	۶۲۶	۶۷۶
۱۳۵۹	۳۹۷/۶۵	۴۱۶
۱۳۶۰	۳۴۳/۷۷	۳۴۲
۱۳۶۱	۳۰۹/۸۴	۲۹۸
۱۳۶۲	۳۳۸/۵۶	۳۴۲
۱۳۶۳	۳۴۱/۷۴	۳۴۰
۱۳۶۴	۲۹۸/۲۳	۳۱۰
۱۳۶۵	۳۹۹/۸۷	۴۰۷
۱۳۶۶	۴۰۸	۴۱۶
۱۳۶۷	۳۴۶/۷۴	۳۳۱
۱۳۶۸	۳۶۷/۰۶	۳۵۰
۱۳۶۹	۳۳۱/۲۹	۳۶۶
۱۳۷۰	۳۹۶/۹	۴۱۶
۱۳۷۱	۶۱۱	۶۲۶
۱۳۷۲	۲۴۷/۳۵	۲۴۶
۱۳۷۳	۲۳۳/۲۳	۲۳۴
۱۳۷۴	۴۰۷/۴۲	۴۴۷
۱۳۷۵	۳۴۶/۵۲	۴۱۶
۱۳۷۶	۶۷۷/۲۶	۶۱۷
۱۳۷۷	۱۷۰/۹۴	۱۶۱
۱۳۷۸	۲۵۸/۸۲	۱۴۰
۱۳۷۹	۲۰۶/۹	۱۸۱
۱۳۸۰	۴۲۶/۰۹	۳۸۶

جدول ۶- خروجی های مدل پیش بینی دبی مرداد

Year	$Q^{Obs}$	$Q^{cal}$
۱۳۵۰	۱۱۷/۱	۱۱۸
۱۳۵۱	۴۹/۹	۵۵/۹
۱۳۵۲	۷۳/۵۱	۷۷/۳
۱۳۵۳	۶۷/۲۷	۶۹/۳
۱۳۵۴	۱۱۷/۶۵	۱۲۷
۱۳۵۵	۵۵/۱۲	۶۰/۲
۱۳۵۶	۷۱/۴۹	۶۸/۲
۱۳۵۷	۶۴/۷	۶۰/۳
۱۳۵۸	۱۰۳/۳۳	۹۵/۴
۱۳۵۹	۷۷/۶۳	۷۴/۶
۱۳۶۰	۷۴/۳۸	۷۷/۴
۱۳۶۱	۱۰۷/۴۴	۱۰۳
۱۳۶۲	۵۶/۰۲	۵۴/۵
۱۳۶۳	۵۶/۸۶	۵۶/۱
۱۳۶۴	۹۷/۹۸	۹۱/۶
۱۳۶۵	۱۰۵/۶۶	۹۰/۵
۱۳۶۶	۸۹/۰۴	۹۱/۶
۱۳۶۷	۷۵/۳۹	۷۳/۱
۱۳۶۸	۸۳/۶۳	۸۹/۳
۱۳۶۹	۶۲/۲۵	۶۰/۶
۱۳۷۰	۱۳۶/۴۲	۱۴۸
۱۳۷۱	۱۴۹/۷۱	۱۳۸
۱۳۷۲	۶۳/۳۷	۶۵
۱۳۷۳	۹۱/۸۴	۹۱/۶
۱۳۷۴	۸۴/۴۵	۱۴۲
۱۳۷۵	۶۴/۴	۶۶/۳
۱۳۷۶	۹۵/۷۶	۸۹/۸
۱۳۷۷	۵۴/۲۷	۵۷/۱
۱۳۷۸	۴۵/۵۸	۴۹/۵
۱۳۷۹	۴۱/۱۳	۵۹
۱۳۸۰	۷۹/۲۷	۷۶/۸



شکل ۲- نمودار دبی های مشاهده شده در برابر دبی های محاسبه شده فروردین



شکل ۳- نمودار دبی‌های مشاهده شده در برابر دبی‌های محاسبه شده مرداد

روش رگرسیون چند متغیره، در جدول ۱۸ آورده شده است. در شکل ۴ خروجی‌های مدل دبی فروردین و مرداد در برابر مقادیر واقعی معرفی شده به مدل ترسیم گشته‌اند.

$$y' = 322.13 + 0.0653 * Q - 9.68 * T + 0.6185 * R \quad (2)$$

#### ۶- بررسی دقت روش FIS توسط آزمون LEPScore

یکی از آماره‌های اندازه‌گیری دقت یک پیش‌بینی، اندازه‌گیری خطای خطی در فضای احتمالاتی (LEPS) است. در این آزمون فاصله بین پیش‌بینی و مقدار مشاهداتی با استفاده از آماره زیر تحت عنوان مقدار LEPS تعیین می‌شود.

$$S = 3(I - |P_f - P_v| + P_f^2 - P_f + P_v^2 - P_v) - I \quad (3)$$

که در آن  $P_f$  احتمال تجمعی متغیر پیش‌بینی می‌باشد و  $P_v$  احتمال متناظر با مقدار مشاهداتی می‌باشد. بر اساس این الگوریتم، از روی توزیع متغیر پیش‌بینی، مقادیر مختلفی انتخاب می‌شود. مقدار احتمال متناظر با هر یک از این مقادیر از روی توزیع احتمالاتی تاریخی جریان خوانده و به ازای هر یک از این مقادیر، مقدار  $S$  از رابطه فوق محاسبه می‌گردد. مجموع مقادیر  $S$  آماره  $S''$  را به شرح زیر برای هر پیش‌بینی به دست می‌دهد.

$$S'' = \sum_{k=0}^n S_k \quad (4)$$

در رابطه فوق  $k$  از صفر تا  $n$  (تعداد پیش‌بینی) تغییر می‌کند و متوسط آماره LEPScore (SK) برای تمام زوج‌های پیش‌بینی کننده‌ها و متغیر مستقل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SK = \frac{\sum_{j=1}^n 100S_j''}{\sum_{j=1}^n S_{mj}''} \quad (5)$$

#### ۷- معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

پس از ساخت زیر مدل‌های پیش‌بینی دبی و اجرای آن‌ها، نتایج با سه معیار ضریب همبستگی، ریشه میانگین مجذور خطا RMSE و، متوسط قدر مطلق خطا (MAE) مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی دبی فروردین تا شهریور در جدول‌های ۷ تا ۱۲ آمده است.

#### ۴- حساسیت مدل نسبت به طول دوره آماری داده‌ها

جهت بررسی دقت نتایج مدل پیش‌بینی نسبت به طول دوره آماری داده‌های ورودی، ابتدا ۵ سال اول داده‌های ورودی و سپس ۱۰ سال اول، حذف و مراحل فوق، مجدداً انجام شده است. بر اساس مطالب فوق، خروجی و نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل پیش‌بینی فروردین در جدول‌های ۱۳ تا ۱۶ ذکر شده است.

#### ۵- مقایسه دقت مدل در برابر روش رگرسیون چندمتغیره

برای پیش‌بینی جریان رودخانه بختیاری و انجام تحلیل‌های مورد نیاز با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره، برنامه‌ای به زبان فرترن نوشته شده است. در این روش، یک متغیر وابسته با استفاده از یک یا چند متغیر مستقل پیش‌بینی می‌گردد. برای این منظور از یک مدل خطی استفاده می‌شود که این مدل به صورت معادله کلی زیر می‌باشد به طوری که  $y'$  مقدار پیش‌بینی  $X$  متغیر مستقل،  $a$  عرض از مبدا،  $b_k$  ضریب رگرسیون و  $e$  خطای پیش‌بینی می‌باشد. در این مدل، هدف یافتن ضرایب  $a$  و  $b$  به نحوی است که  $e$  حداقل شود.

$$y' = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (1)$$

به عنوان نمونه معادله رگرسیون مدل پیش‌بینی دبی فروردین به صورت زیر حاصل شده است و خروجی مدل در جدول ۱۷ آورده شده است و نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد این مدل پیش‌بینی مبتنی بر



جدول ۷- خلاصه نتایج آماری مدل پیش‌بینی دبی فروردین

واسنجی			صحت یابی		
R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
۰/۹۲	۴۸/۹۳	۲۶	۰/۹۱	۶۴/۲۲	۳۹

جدول ۸- خلاصه نتایج آماری مدل پیش‌بینی دبی اردیبهشت

واسنجی			صحت یابی		
R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
۰/۸۴	۱۰۶/۱۲	۳۰/۳	۰/۸۳	۱۹۸/۸۶	۳۲

جدول ۹- خلاصه نتایج آماری مدل پیش‌بینی دبی خرداد

واسنجی			صحت یابی		
R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
۰/۸۲	۵۱/۶۹	۳۶	۰/۸۰	۱۹/۵۷	۳۹

جدول ۱۰- خلاصه نتایج آماری مدل پیش‌بینی دبی تیر

واسنجی			صحت یابی		
R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
۰/۸۸	۱۹/۴۲	۱۰	۰/۸۲	۳۸/۸۷	۲۷

جدول ۱۱- خلاصه نتایج آماری مدل پیش‌بینی دبی مرداد

واسنجی			صحت یابی		
R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
۰/۸۹	۱۲/۵۴	۷	۰/۸۷	۹/۳۲	۷

جدول ۱۲- خلاصه نتایج آماری مدل پیش‌بینی دبی شهریور

واسنجی			صحت یابی		
R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
۰/۸۹	۷/۸۳	۴	۰/۸۳	۷/۰۸	۵

جدول ۱۳- خروجی‌های مدل دبی فروردین با ۲۶ سال داده

Year	$Q^{Obs}$	$Q^{cal}$
۱۳۵۵	۱۸۰/۹۹	۴۲۳
۱۳۵۶	۲۸۲/۴۲	۲۹۹
۱۳۵۷	۲۶۱/۴۵	۲۳۲
۱۳۵۸	۶۲۶	۶۷۶
۱۳۵۹	۳۹۷/۶۵	۴۱۶
۱۳۶۰	۳۴۳/۷۷	۳۴۲
۱۳۶۱	۳۰۹/۸۴	۲۹۸
۱۳۶۲	۳۳۸/۵۶	۳۴۲
۱۳۶۳	۳۴۱/۷۴	۳۴۰
۱۳۶۴	۲۹۸/۲۳	۳۱۰
۱۳۶۵	۳۹۹/۸۷	۴۰۷
۱۳۶۶	۴۰۸	۴۱۶
۱۳۶۷	۳۴۶/۷۴	۳۳۱
۱۳۶۸	۳۶۷/۰۶	۳۵۰
۱۳۶۹	۳۳۱/۲۹	۳۶۶
۱۳۷۰	۳۹۶/۹	۴۳۱
۱۳۷۱	۶۱۱	۵۹۸
۱۳۷۲	۲۴۷/۳۵	۲۴۶
۱۳۷۳	۲۳۳/۲۳	۲۳۴
۱۳۷۴	۴۰۷/۴۲	۴۵۷
۱۳۷۵	۳۴۶/۵۲	۴۱۶
۱۳۷۶	۶۷۷/۲۶	۴۱۶
۱۳۷۷	۱۷۰/۹۴	۳۰۱
۱۳۷۸	۲۵۸/۸۲	۲۴۲
۱۳۷۹	۲۰۶/۹	۲۹۳
۱۳۸۰	۴۲۶/۰۹	۴۱۶

جدول ۱۴- خروجی‌های مدل دبی فروردین با ۲۱ سال داده

Year	$Q^{Obs}$	$Q^{cal}$
۱۳۶۰	۳۴۳/۷۷	۳۴۲
۱۳۶۱	۳۰۹/۸۴	۲۹۸
۱۳۶۲	۳۳۸/۵۶	۳۴۲
۱۳۶۳	۳۴۱/۷۴	۳۴۰
۱۳۶۴	۲۹۸/۲۳	۳۱۰
۱۳۶۵	۳۹۹/۸۷	۴۰۷
۱۳۶۶	۴۰۸	۴۱۶
۱۳۶۷	۳۴۶/۷۴	۳۳۱
۱۳۶۸	۳۶۷/۰۶	۳۵۰
۱۳۶۹	۳۳۱/۲۹	۳۶۶
۱۳۷۰	۳۹۶/۹	۴۳۱
۱۳۷۱	۶۱۱	۵۹۸
۱۳۷۲	۲۴۷/۳۵	۲۴۶
۱۳۷۳	۲۳۳/۲۳	۲۳۴
۱۳۷۴	۴۰۷/۴۲	۴۵۷
۱۳۷۵	۳۴۶/۵۲	۴۱۶
۱۳۷۶	۶۷۷/۲۶	۴۱۶
۱۳۷۷	۱۷۰/۹۴	۳۰۱
۱۳۷۸	۲۵۸/۸۲	۲۴۲
۱۳۷۹	۲۰۶/۹	۲۹۳
۱۳۸۰	۴۲۶/۰۹	۴۱۶

جدول ۱۵- خلاصه نتایج آماری مدل دبی فروردین با ۲۶ سال داده ورودی

صحت یابی			واسنجی		
R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
۰/۸۹	۵۸/۸۶	۲۶	۰/۸۸	۵۵/۱۹	۴۳

جدول ۱۶- خلاصه نتایج آماری مدل دبی فروردین با ۲۱ سال داده ورودی

صحت یابی			واسنجی		
R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
۰/۷۸	۵۹/۹۴	۲۵	۰/۷۸	۷۸/۶	۴۳

جدول ۱۷- خروجی‌های مدل دبی فروردین براساس روش رگرسیون چند متغیره

Year	$Q^{Obs}$	$Q^{cal}$
۱۳۵۰	۴۵۳/۰۹	۲۹۷/۵۶
۱۳۵۱	۱۵۳/۹۲	۲۸۰/۳۸
۱۳۵۲	۴۵۸/۲۹	۳۱۳/۴۲
۱۳۵۳	۲۲۹/۷۴	۲۸۵/۷
۱۳۵۴	۴۱۳/۴۲	۴۷۶/۰۹
۱۳۵۵	۱۸۰/۹۹	۲۴۹/۸۶
۱۳۵۶	۲۸۲/۴۲	۳۵۴/۰۱
۱۳۵۷	۲۶۱/۴۵	۳۳۱/۷۳
۱۳۵۸	۶۲۶	۴۵۰/۴۵
۱۳۵۹	۳۹۷/۶۵	۳۵۸/۶۳
۱۳۶۰	۳۴۳/۷۷	۳۵۷/۴۴
۱۳۶۱	۳۰۹/۸۴	۳۶۱/۱۹
۱۳۶۲	۳۳۸/۵۶	۲۵۰/۳۱
۱۳۶۳	۳۴۱/۷۴	۳۴۸/۵۱
۱۳۶۴	۲۹۸/۲۳	۳۲۵/۸
۱۳۶۵	۳۹۹/۸۷	۴۲۰/۵۵
۱۳۶۶	۴۰۸	۵۲۳/۶۴
۱۳۶۷	۳۴۶/۷۴	۳۰۴/۳۲
۱۳۶۸	۳۶۷/۰۶	۳۷۲/۸۱
۱۳۶۹	۳۳۱/۲۹	۳۲۳/۸۳
۱۳۷۰	۳۹۶/۹	۴۳۷/۰۸
۱۳۷۱	۶۱۱	۵۷۴/۷
۱۳۷۲	۲۴۷/۳۵	۳۹۰/۶۳
۱۳۷۳	۲۳۳/۲۳	۳۶۳/۲۹
۱۳۷۴	۴۰۷/۴۲	۳۷۸/۲۹
۱۳۷۵	۳۴۶/۵۲	۲۹۷/۳۵
۱۳۷۶	۶۷۷/۲۶	۴۳۳/۵۸
۱۳۷۷	۱۷۰/۹۴	۲۹۴/۲۹
۱۳۷۸	۲۵۸/۸۲	۲۵۸/۶۶
۱۳۷۹	۲۰۶/۹	۳۸۳/۵۷
۱۳۸۰	۴۲۶/۰۹	۳۶۸/۲۶

جدول ۱۸- خلاصه نتایج آماری مدل دبی فروردین براساس روش رگرسیون چند متغیره

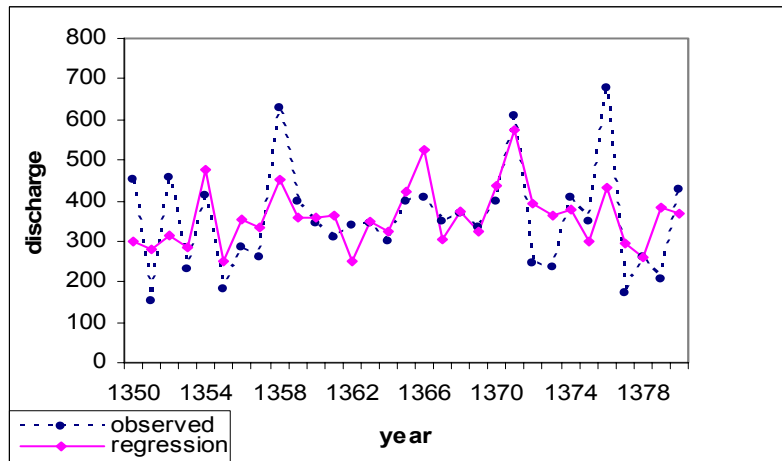
صحت یابی			واسنجی		
R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
۰/۶۳	۹۵/۳۶	۹۰	۰/۳۴	۱۱۱/۵۵	۷۵

جدول ۱۹- مقادیر آماره LEPScore مدل‌های مبتنی بر استنتاج فازی برای ماه‌های فروردین و مرداد

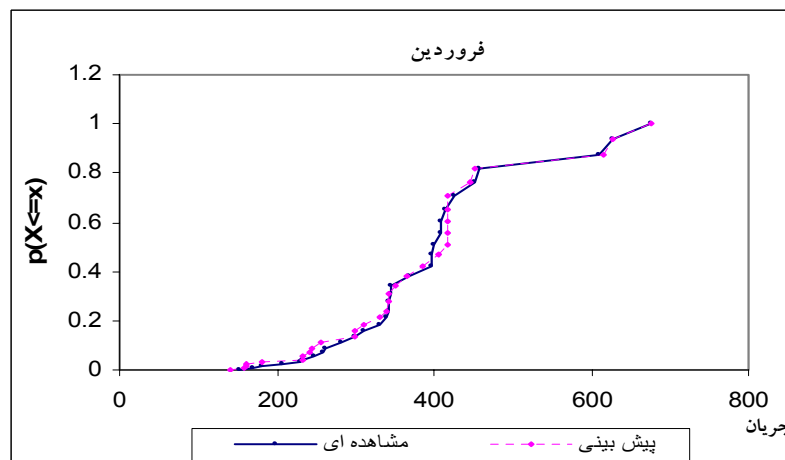
سیستم استنتاج فازی	ماه
۷۵/۴۰۷	فروردین
۸۲/۲۲۲	مرداد

در رابطه فوق  $S_m''$  همانند  $S''$  به دست می‌آید با این تفاوت که اگر  $S''$  مثبت باشد،  $S_m''$  با فرض بهترین پیش‌بینی  $p_f = p_v$  به دست می‌آید و هنگامی که  $S''$  منفی باشد،  $S_m''$  با فرض بدترین پیش‌بینی به دست می‌آید. بدترین پیش‌بینی به این صورت به دست می‌آید که هنگامیکه  $p_v$  کمتر از ۰/۵ است،  $p_f = 1$  و  $p_v = 0$  فرض می‌شود و اگر  $p_v$  بیش از ۰/۵ است  $p_f = 0$  و  $p_v = 1$  در نظر گرفته می‌شود. مقدار LEPScore بین ۱۰۰- تا ۱۰۰+ برای بدترین و بهترین پیش‌بینی تغییر می‌کند. پیش‌بینی‌هایی که LEPScore بیش از ۱۰ دارند به عنوان پیش‌بینی‌های خوب شناخته می‌شوند (Araghinejad et al, 2006).

به منظور مقایسه عملکرد مدل پیش‌بینی مبتنی بر سیستم استنتاج فازی، آزمون فوق برای توزیع احتمالاتی ماه‌های فروردین و مرداد انجام شد. منحنی توزیع احتمال برای ماه فروردین، در شکل ۵ نمایش داده شده و مقدار LEPScore برای هر یک از ماهها محاسبه شده و در جدول ۱۹ آورده شده است.



شکل ۴- نمودار دبی‌های مشاهده شده در برابر دبی‌های محاسبه شده فروردین با روش رگرسیون



شکل ۵- منحنی احتمال توزیع تجمعی دبی‌های مشاهداتی و محاسباتی فروردین

## ۷- جمع‌بندی نتایج

همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود، میزان متوسط دبی از شش ماه گذشته و مجموع بارش از ۴ ماه قبل و مقدار متوسط دما در یک ماه قبل می‌تواند تاثیر چشمگیری بر میزان دبی در ماه فروردین داشته باشد. اگرچه با کاهش طول دوره آماری داده‌های ورودی، دقت مدل نیز کاهش می‌یابد اما در شرایط نبود آمار طولانی‌تر، باز این روش نتایج قابل قبول را ارائه می‌دهد و با استفاده از این روش می‌توان حداقل طول دوره آماری مناسب با دقت مورد نظر را برای متغیرهای ورودی تعیین کرد.

نتایج جدول ۱۸ دلالت بر عدم دقت بالای روش رگرسیون چند متغیره در مقایسه با سیستم استنتاج فازی دارد.

نتایج جدول ۱۹ دلالت بر تایید دقت بالای سیستم استنتاج فازی جهت پیش‌بینی جریان دارد.

## ۸- نتیجه‌گیری

همان‌طور که در این تحقیق نشان داده شد، در مدل‌سازی با استفاده از سیستم استنتاج فازی می‌توان با دقت نسبتاً بالایی پیش‌بینی جریان رودخانه را با تاخیرهای زمانی مختلف انجام داد و تاثیر پارامترهای موثر و در دسترس، را بر روی پیش‌بینی جریان رودخانه مورد بررسی قرار داد. در مطالعه حاضر بر اساس بارش، درجه حرارت و دبی ماهانه، تاثیر هر یک از متغیرهای فوق در گام‌های زمانی قبل بر روی میزان دبی فروردین و مرداد مورد بررسی قرار گرفته است.

به دلایل زیر استفاده از سیستم استنتاج فازی برای انجام پیش‌بینی‌های اقلیمی مناسب می‌باشد: رابطه غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته در پیش‌بینی اقلیمی؛ امکان انجام پیش‌بینی‌های بلندمدت اقلیمی به صورت بازه‌های ممکن به جای یک مقدار خاص؛ امکان در نظر گرفتن مقادیر غیر صریح در تعریف پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیمی.

وانگ، لی. (۱۳۷۸)، "سیستم‌های فازی و کنترل فازی" ترجمه محمد تشنه لب، نیما صفارپور؛ داریوش افیونی. انتشارات دانشگاه خواجه نصیر طوسی.

Araghinejad, S., Burn, D.H., and Karamouz, M. (2006), "Long-Lead probabilistic forecasting of stream flow using ocean-atmospheric and hydrological predictors". *Water Resources Research*, Vol. 42, WO3431.

Bardossy, A (1995). *Fuzzy Rule-Based Modeling with Application to Geophysical, Biological and Engineering Systems*, CRC and Boca Raton, Fla.

Chang, L., Chang, F. and Tsai, Y. (2005), Fuzzy exemplar-based inference system for flood forecasting, *Water Resources Research*, Vol.41, Issue 2, pp.1-20

Mamdani, E. H. (1976), Advances in linguistic synthesizes of fuzzy controllers, *J. Man mach. Stud.*, vol. 8, pp. 669-678.

Ross, T.J., (1995), *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, McGraw-Hill, Inc., USA.

Shan Yu, P. and Tsung Chen, Sh. (2005), Updating Real-Time Flood Forecasting Using a Fuzzy Rule-Based Model, Vol.50, Issue 2, pp.265-278

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

– نتایج پیش‌بینی تا شش ماه آینده قابل قبول و در مقایسه با روش رگرسیون بسیار دقیق‌تر می‌باشد.

– اغلب انواع مدل‌های بر مبنای شبکه‌های عصبی مصنوعی و بطور کلی مدل‌های مفهومی 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.

## پی‌نوشت‌ها

1. Expert Knowledge
2. Lag Times
3. Linear error in probability space score

## ۹- مراجع

جمالی، س.، ابریشم‌چی، ا. 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.

عراقی‌نژاد، ش. و کارآموز، م. (۱۳۸۴)، "پیش‌بینی بلندمدت رواناب با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی" مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۲، صفحه ۲۹-۴۱.