

# پیش‌بینی خشکسالی یک‌ساله با استفاده از مدل فازی-عصبی، سری‌های زمانی خشکسالی و شاخصهای اقلیمی (مطالعه موردی: زاهدان)

حسین حسین پور نیکنام<sup>۱</sup>

مهدی اژدري مقدم<sup>۲</sup>

محمود خسروی<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۹/۱/۲۵ پذیرش ۹۰/۵/۲۲)

## چکیده

تحقیق حاضر تلاشی برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد در شهر زاهدان با استفاده از مقادیر پیشین شاخص خشکسالی بارندگی استاندارد شده (SPI) و ۱۹ عدد از شاخصهای اقلیمی است. به این منظور از قابلیت‌های سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی و از شاخص خشکسالی SPI برای نمایش کمی خشکسالی استفاده گردید. در ابتدا از روش محاسبه همبستگی برای تحلیل ارتباط میان خشکسالی‌ها و شاخصهای اقلیمی استفاده شده و مناسب‌ترین شاخصهای اقلیمی انتخاب گردیدند. در مرحله بعد پیش‌بینی خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه صورت پذیرفت. ترکیبات مختلفی از متغیرهای ورودی در مدل‌های پیش‌بینی فازی-عصبی ANFIS وارد گردیدند. شاخص خشکسالی SPI نیز به‌عنوان خروجی مدل‌ها معرفی شد. نتایج نشان داد که تنها استفاده از سری‌های زمانی مشابه سال قبل شاخص خشکسالی SPI در پیش‌بینی خشکسالی‌های ۱۲ ماهه مؤثر است. با این حال از بین شاخصهای اقلیمی مورد بررسی، شاخص Nino4 مناسب‌ترین نتایج را ارائه داد.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی خشکسالی، شاخص خشکسالی SPI، شاخصهای اقلیمی، مدل فازی-عصبی ANFIS، زاهدان

## Drought Forecasting Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS), Drought Time Series and Climate Indices For Next Coming Year, (Case Study: Zahedan)

Hossein Hosseinpour Niknam<sup>1</sup>

Mehdi Azhdari Moghadam<sup>2</sup>

Mahmoud Khosravi<sup>3</sup>

(Received Apr. 13, 2010 Accepted Aug. 12, 2011)

### Abstract

In this research in order to forecast drought for the next coming year in Zahedan, using previous Standardized Precipitation Index (SPI) data and 19 other climate indices were used. For this purpose Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) was applied to build the predicting model and SPI drought index for drought quantity. At first calculating correlation approach for analysis between droughts and climate indices was used and the most suitable indices were selected. In the next stage drought prediction for period of 12 months was done. Different combinations among input variables in ANFIS models were entered. SPI drought index was the output of the model. The results showed that just using time series like the previous year drought SPI index in forecasting the 12 month drought was effective. However among all climate indices that were used, Nino4 showed the most suitable results.

**Keywords:** Drought Forecasting, Standardized Precipitation Index (SPI), Climate Indices, ANFIS, Zahedan.

1. M.Sc. of Water Eng., Dept. of Civil Eng., Sistan and Balochestan University, Zahedan

2. Assoc. Prof. of Civil Eng., Sistan and Balochestan University, Zahedan (Corresponding Author) (+98 541) 8052885 mazhdary@eng.usb.ac.ir

3. Assoc. Prof. of Natural Geography, Sistan and Balochestan University, Zahedan

۱- کارشناس ارشد عمران آب، دانشکده مهندسی عمران، زاهدان دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان (نویسنده مسئول) ۸۰۵۲۸۸۵ (۰۵۴۱) mazhdary@eng.usb.ac.ir

۳- دانشیار جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که در هر شرایط اقلیمی ممکن است رخ دهد. بر خلاف سیل و بارندگی که می‌توان فهمید در چه زمانی شروع شده، در چه زمانی خاتمه پیدا کرده و در چه محدوده‌ای بوده است، توصیف زمانی و مکانی خشکسالی بسیار مشکل است. ممکن است هفته‌ها یا ماهها طول بکشد تا مشخص شود که آیا واقعاً خشکسالی اتفاق افتاده است یا خیر [۱]. خشکسالی با اینکه از نظر فراوانی رخداد، در سطح پایین تری نسبت به بسیاری از دیگر بلایای طبیعی قرار دارد، اما در به‌جای گذاشتن خسارات جانی و مالی رتبه اول را در ایران دارا است [۲]. تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که شهر زاهدان با ۴۳ درصد فراوانی خشکسالی، رتبه سوم در کشور را دارا است [۳].

برای بیان کمی خشکسالی از شاخصهای خشکسالی استفاده می‌شود. با استفاده از این شاخصها اطلاعات لازم درباره آغاز، خاتمه و شدت خشکسالی در مقیاسهای زمانی و مکانی مختلف فراهم می‌آید. در بین انواع شاخصهای ارائه شده برای این منظور، شاخص بارندگی استاندارد شده<sup>۱</sup> بیشترین توجه محققان را به خود معطوف داشته است. این شاخص بر مبنای احتمالات بارندگی در مقیاسهای زمانی مختلف ارائه گردیده است و بسیاری از محققان به توانایی آن در پایش جنبه‌های مختلف خشکسالی اشاره داشته‌اند [۴].

از سویی دیگر اگرچه در بررسی خشکسالی‌ها، استفاده از مدل‌هایی براساس روشهای تصادفی و احتمالاتی سابقه‌ای طولانی دارد، اما بسیاری از این روشها روابط بین متغیرها را خطی فرض نموده و در مدل کردن پدیده‌های غیرخطی مانند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی با شکست مواجه می‌شوند. از این رو پژوهشگران برای ساختن مدل‌های پیش‌بینی معتبر، به استفاده از تکنیک‌های مدل‌کننده غیرخطی نظیر سیستم‌های فازی و مدل‌های فازی-عصبی<sup>۲</sup> که در سالهای اخیر به جمع مدل‌های پیش‌بینی افزوده شده‌اند، روی آورده‌اند [۴-۶]. در استفاده از مدل‌هایی نظیر مدل فازی-عصبی، انتخاب متغیرهای ورودی از مهم‌ترین بخشهای محاسبات مربوط است. در سالهای اخیر با شناخت شاخصهای بزرگ مقیاس اقلیمی، تلاش محققان به این سمت سوق پیدا کرد که روابطی بین این شاخصها و تغییرات بارش تعریف کنند که بتواند در پیش‌بینی خشکسالی‌ها به‌کار رود [۴ و ۶]. در این زمینه تحقیقات مختلفی انجام گرفته است که در ادامه به تعدادی از این موارد اشاره می‌شود.

نیکنام و همکاران در سال ۱۳۸۹ از قابلیت‌های سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی<sup>۳</sup> برای پیش‌بینی خشکسالی‌های پاییزه شهر زاهدان بهره جستند. برای این منظور از متغیرهایی نظیر بارندگی و شاخصهای اقلیمی به‌عنوان ورودی‌های مدل‌ها استفاده نموده و به پیش‌بینی شاخص خشکسالی SPI پاییزه پرداختند. نتایج، نشان از قابلیت مدل ANFIS در پیش‌بینی فصلی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه داشت [۷]. پوستی زاده و همکاران در سال ۱۳۸۷ در تحقیقی با استفاده از سیستم استنتاج فازی و بر اساس میزان متوسط دبی از ۶ ماه گذشته، مقدار متوسط دما در یک ماه قبل و مجموع بارش از ۴ ماه قبل، به پیش‌بینی دبی فروردین ماه در رودخانه بختیاری پرداختند.

تجزیه و تحلیل مدل‌های مشابه با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره نیز نشانگر نتایج مناسب‌تر سیستم استنتاج فازی بود [۸]. فرخ نیا و همکاران در سال ۱۳۸۷ از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی به‌منظور پیش‌بینی خشکسالی استان تهران استفاده نمودند. بررسی‌ها نشان داد که ارتباط مناسبی بین سیگنال‌های SLP و SST شهر بورماه در نقاطی از منطقه با شاخص خشکسالی SPI در سال آبی بعد وجود دارد. آنها سپس از روشهای شبکه‌های عصبی-مصنوعی<sup>۴</sup> و فازی-عصبی به‌منظور مدل‌سازی پیش‌بینی استفاده کردند [۴]. باکانلی و همکاران<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۸ از مدل ANFIS به‌منظور پیش‌بینی خشکسالی در کشور ترکیه استفاده نمودند. مدل‌های پیش‌بینی مختلفی برای SPI با مقیاسهای زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ترکیب مقادیر پیشین بارندگی و شاخص SPI با یکدیگر، بهبود عملکرد مدل‌ها را به‌همراه دارد. مقایسه‌های انجام گرفته با نتایج روشهای شبکه عصبی FFNN<sup>۶</sup> و رگرسیون خطی چندگانه، نشان از ارجحیت مدل ANFIS نسبت به دو مدل دیگر داشت [۹].

ذونعمت و تشنه‌لب در سال ۲۰۰۸ از مدل ANFIS به‌منظور پیش‌بینی جریان روزانه سه رودخانه واقع در ایالات متحده امریکا استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در حالتی که پراکنندگی داده‌ها زیاد باشد افزایش توابع عضویت در ANFIS نتایج مناسب‌تری را نسبت به افزایش تعداد ورودی‌ها نشان می‌دهد. علاوه بر آن نتایج به‌دست آمده از شبکه فازی-عصبی، با یک مدل آتو رگرسیو<sup>۷</sup> مورد مورد مقایسه قرار گرفت که نشانگر برتری مدل فازی-عصبی در پیش‌بینی بود [۱۰]. مرید و همکاران در سال ۲۰۰۷ از دو شاخص خشکسالی SPI و EDI به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی شونده استفاده

<sup>3</sup> Adaptive Neuro- Fuzzy Inference System (ANFIS)

<sup>4</sup> Artificial Neural Network (ANN)

<sup>5</sup> Bacanli et al.

<sup>6</sup> Fast Forward Neural Network

<sup>7</sup> Auto Regressive (AR)

<sup>1</sup> Standardized Precipitation Index (SPI)

<sup>2</sup> Neuro- Fuzzy Systems

کرده و ترکیبات مختلفی از متغیرهای بارندگی، شاخصهای بزرگ مقیاس اقلیمی SOI و NAO و همچنین مقادیر قبلی خود شاخصهای خشکسالی را به عنوان ورودی های مدل پیش بینی شبکه های عصبی - مصنوعی مدنظر قرار دادند. در تمام مقیاس های زمانی، بهترین مدل ها آنهایی بودند که شامل مقادیر شاخص خشکسالی ماه متناظر سال گذشته بودند. نتایج همچنین نشان داد که SOI و NAO تأثیر چندانی بر بهبود قابلیت پیش بینی مدل در منطقه مورد مطالعه ندارند [۱۱].

کارآموز و همکاران در سال ۱۳۸۴ با توجه به قابلیتها و مزایای شبکه عصبی و سهولت استفاده از آن یک مدل شبکه عصبی برای تعیین فشار در هر نقطه از شبکه آبرسانی با توجه به ارتفاع مخزن، ارتفاع نقطه و میزان مصرف با لحاظ کردن نشت موجود در آن نقطه، تدوین نمودند. برای این منظور با استفاده از دو مدل شبکه عصبی و همچنین ترکیب آن با منطق فازی، نتایج حاصل با مدل تحلیل هیدرولیکی مقایسه شد [۱۲]. سعادت پور و همکاران در سال ۱۳۸۴ از یک مدل شبیه سازی به منظور بهینه سازی تخصیص بار آلاینده منابع نقطه ای استفاده نمودند و در طی فرایند تصمیم گیری، از مجموعه های فازی با تابع عضویت مناسب برای مواجهه با عدم قطعیت های ناشی از مبهم بودن اهداف استفاده نمودند [۱۳].

نایاک و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۴ کاربرد یک مدل ANFIS را در مدل سازی جریان رودخانه بایتارانی<sup>۲</sup> در هند مورد بررسی قرار دادند. آنها همچنین به منظور مقایسه عملکرد مدل ها، یک مدل شبکه عصبی - مصنوعی و یک مدل میانگین محرک خود رگرسیون<sup>۳</sup> را نیز برای همان حوضه توسعه دادند که عملکرد بهتر مدل ANFIS هم از لحاظ روند ساخت و هم از لحاظ نتایج را به دنبال داشت. به علاوه عملکرد مدل های ANFIS با تبدیل داده های ورودی به محدوده نرمال پیش از ساخت مدل، به طور چشمگیری بهبود یافت [۱۴]. پونگراکز و همکاران<sup>۴</sup> در سال ۱۹۹۹ از روشی مبتنی بر منطق فازی برای تخمین شاخص پالمر اصلاح شده<sup>۵</sup>، در نبراسکا استفاده نمودند که چرخش عمومی جو و پدیده ENSO را نیز مورد توجه قرار می داد [۱۵].

همان طور که مشاهده می شود در بیشتر تحقیقات صورت گرفته، به ارزیابی مدل ANFIS در پیش بینی بارندگی و خشکسالی پرداخته شده است که تمامی آنها به ارجحیت این مدل در مقایسه با روشهای دیگر اذعان داشته اند. به این منظور در تعدادی از تحقیقات

از سری های زمانی پیشین خشکسالی و در تعدادی نیز از یک یا دو شاخص بزرگ مقیاس اقلیمی برای پیش بینی بارش و خشکسالی استفاده شده است. در تحقیق حاضر علاوه بر استفاده از مقادیر پیشین سری زمانی شاخص SPI، به بررسی تأثیر ۱۹ عدد شاخص اقلیمی مختلف بر خشکسالی شهر زاهدان نیز پرداخته شد که بسیاری از این شاخصها در چندساله اخیر کشف و معرفی گردیده اند. همچنین از قابلیت های روش ANFIS برای مدل سازی استفاده گردید و پیش بینی وضعیت خشکسالی بر مبنای مقادیر شاخص خشکسالی SPI در مقیاس ۱۲ ماهه و برای یک سال بعد صورت گرفت.

## ۲- مفاهیم نظری

### ۲-۱- شاخص خشکسالی

مکی و همکاران<sup>۶</sup> در سال ۱۹۹۳ در دانشگاه ایالتی کلرادو به منظور هشدار اولیه و کمک به ارزیابی شدت خشکسالی، یک شاخص بدون بعد و بسیار پرکاربرد با مبنای احتمالاتی به نام شاخص بارندگی استاندارد شده ارائه دادند [۱۶]. محاسبه SPI از آنجا که توزیع بارندگی معمولاً از توزیع نرمال تبعیت نمی کند، تا حدودی پیچیده است. برای محاسبه آن می توان ابتدا بارندگی ماهیانه و یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه (۳ ماهه، ۶ ماهه و غیره) را با استفاده از یک توزیع مناسب مانند توزیع گاما و یا پیرسون تیپ سه برازش داد [۹ و ۱۷]. طبقه بندی خشکسالی و ترسالی ارائه شده توسط مکی بر حسب مقادیر شاخص SPI، مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱- تعیین طبقه خشکسالی و ترسالی بر اساس مقادیر SPI [۱۷]

مقادیر SPI	گروه
۲ و بالاتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم
۰/۹۹ تا ۰/۰۹۹-	نزدیک به نرمال
۱- تا ۱/۴۹-	خشکسالی ملایم
۱/۵- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید
۲- و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

### ۲-۲- شاخصهای اقلیمی

الگوهای ارتباط از دور، منعکس کننده تغییرات در مقیاس وسیع در امواج اتمسفری و موقعیت رودبادها بوده و بر درجه حرارت، بارش، مسیر طوفانها و موقعیت و شدت رودبادها بر روی مناطق وسیع

<sup>6</sup> Mckee, et al.

<sup>1</sup> Nayak et al.

<sup>2</sup> Baitarani River

<sup>3</sup> Auto Regressive Moving Average (ARMA)

<sup>4</sup> Pongracz, et al.

<sup>5</sup> Modified Palmer Drought Severity Index (PMDI)

تأثیر می‌گذارند. این الگوها عمدتاً با استفاده از شاخصهای اقلیمی که بر اساس فشار هوا و دمای سطح آب اقیانوسها محاسبه می‌شوند به صورت کمی بیان می‌گردند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تأثیر الگوهای ارتباط از دور بر شدت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان متقارن نبوده و به عبارت دیگر برخی از الگوها در شرایط خشکسالی، نمود بیشتری پیدا کرده و فعال‌تر ظاهر می‌شوند [۱۸ و ۱۹]. در مجموع حدود ۷۰ درصد از تغییرات SPI سالانه استان به وسیله این الگوها تبیین می‌گردد [۱۶].

در مجموع ۱۹ عدد شاخص اقلیمی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت که این شاخصها به همراه کد مربوطه (i) در جدول ۲ آمده‌اند. همان‌طور که ذکر شد این شاخصها عمدتاً بر اساس فشار هوا و دمای سطح آب اقیانوسها محاسبه می‌شوند. به عنوان مثال شاخص نوسانات جنوبی<sup>۱</sup> (SOI) عموماً بر اساس تفاضل مقادیر استاندارد شده فشار هوای سطح آب در داروین استرالیا و جزیره تاهیتی (در نواحی مرکزی اقیانوس آرام) محاسبه می‌گردد و یا شاخص SW Monsoon که بیانگر میانگین بارندگی ناحیه ساحلی آریزونا و نیومکزیکو است. مقادیر ماهیانه بارندگی برای هر کدام از نواحی اقلیمی در آریزونا و نیومکزیکو را میانگین‌گیری می‌نماید تا یک مقدار ماهیانه یکتا تولید گردد [۱۷-۲۰].

شاخصهای بالا در مرحله مدل‌سازی به عنوان ورودی‌های مدل ANFIS به کار خواهند رفت. این شاخصها از وبسایت اینترنتی اداره ملی اقیانوس و اتمسفر<sup>۲</sup> ایالات متحده امریکا اخذ گردیده‌اند [۲۰]. شایان ذکر است که در ادامه، در پاره‌ای از موارد برای اشاره

به شاخصهای اقلیمی، از شماره‌های تخصیص یافته به آنها در جدول ۲ استفاده خواهد شد.

۲-۳- سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS)  
مدل‌های فازی-عصبی که توسط جنگ<sup>۳</sup> در سال ۱۹۹۳ گسترش یافت، برای تسهیل فرایند یادگیری و انطباق، منطق فازی را با شبکه‌های عصبی - مصنوعی ترکیب می‌کند [۲۱]. در واقع در مدل‌های فازی - عصبی برای حل مشکل شناسایی پارامترهای سیستم استنتاج فازی<sup>۴</sup>، از یک شبکه تطبیقی که حالت عمومی شبکه عصبی پیشرو چندلایه است، استفاده می‌شود. یک شبکه تطبیقی، ساختار پیشرو چندلایه‌ای است که رفتار کلی خروجی آن به وسیله مقدار یک مجموعه از پارامترهای قابل اصلاح تعیین می‌گردد. با استفاده از این شبکه عصبی تطبیقی، مشکل اصلی استفاده از سیستم استنتاج فازی که همان به دست آوردن قواعد "اگر-آنگاه" فازی و بهینه‌سازی پارامترهای مدل است برطرف می‌گردد. معمول‌ترین نوع سیستم استنتاج فازی که قابلیت قرارگیری در یک شبکه تطبیقی را دارا است، سیستم فازی تاکاگی- سوگنو است که خروجی آن یک رابطه خطی است و پارامترهای آن را می‌توان با ترکیب روشهای حداقل مربعات خطا و انتشار خطا به عقب بر اساس کاهش گرادیان برآورد نمود [۴].

یک نمونه از سیستم استنتاج فازی سوگنو در شکل ۱- الف نشان داده شده است. برای سادگی کار، فرض می‌شود که FIS مورد بررسی از دو ورودی x و y و یک خروجی f تشکیل شده و همچنین

<sup>1</sup> South Oceanic Index (SOI)

<sup>2</sup> National Oceanic & Atmospheric Administration

<sup>3</sup> Jang

<sup>4</sup> Fuzzy Inference System (FIS)

جدول ۲- شاخص‌های اقلیمی به کار رفته در مدل‌ها به همراه شماره مربوطه

شماره	نام شاخص اقلیمی	توضیح	ادامه شماره (i)	نام شاخص اقلیمی	توضیح
۱	SOI	شاخص نوسانات جنوبی	۱۱	Nino 3	شاخص دمای سطح اقیانوس آرام
۲	PNA	الگوی آرام / آمریکای شمالی	۱۲	Nino 1+2	شاخص دمای سطح اقیانوس آرام
۳	WHWP	الگوی استخر گرم نیمکره غربی	۱۳	MEI	شاخص چند متغیره انسو
۴	TSA	الگوی حاره‌ای جنوب اقیانوس اطلس	۱۴	EPO	الگوی نوسان آرام شرقی
۵	TNI	شاخص ترنس-نینو	۱۵	BEST	شاخص سری‌های زمانی انسو دو متغیره
۶	TNA	الگوی حاره‌ای اطلس شمالی	۱۶	AMO	شاخص نوسان چنددهه‌ای اقیانوس اطلس
۷	SW Monsoon	شاخص بارندگی موسمی ناحیه جنوب غربی	۱۷	AMM	شاخص مد جنوبی اقیانوس اطلس
۸	QBO	شاخص شبه دو سالانه	۱۸	NAO	نوسانات اطلس شمالی
۹	Nino 3.4	شاخص دمای سطح اقیانوس آرام	۱۹	WP	الگوی آرام غربی
۱۰	Nino 4	شاخص دمای سطح اقیانوس آرام			

پایگاه قانون در آن شامل دو قانون "اگر-آنگاه" است. قوانین موجود در این سیستم عبارتند از:

قانون اول:

$$\text{IF } x=A_1 \text{ AND } y=B_1, \text{ THEN } f_1=p_1+q_1+r_1$$

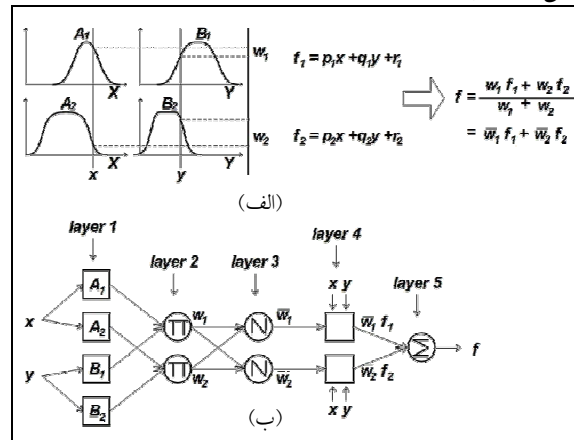
قانون دوم:

$$\text{IF } x=A_2 \text{ AND } y=B_2, \text{ THEN } f_2=p_2+q_2+r_2$$

که در آن

$A_1$  و  $A_2$  توابع عضویت برای ورودی  $x$ ،  $B_1$  و  $B_2$  توابع عضویت برای ورودی  $y$  و در نهایت  $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2$  پارامترهای تابع خروجی هستند [۱۰]. شکل ۱-ب، ساختار ANFIS معادل با سیستم استنتاجی مذکور را نشان می‌دهد.

در تحقیق حاضر از روش خوشه‌بندی کاهشی برای استخراج قوانین سیستم فازی-عصبی و بهینه‌سازی پارامترهای توابع عضویت استفاده شد. نوع سیستم استنتاج فازی به کار رفته همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، سیستم سوگنو با توابع عضویت گوسین است. برای آموزش مدل از الگوریتم آموزش ترکیبی با تعداد تکرار epoch=100 استفاده گردید. تعداد بهینه قوانین نیز با سعی و خطا به دست آمد.



شکل ۱- الف- مکانیسم سیستم استنتاج فازی سوگنو با دو متغیر ورودی و دو قانون

ب- ساختار ANFIS معادل سیستم فازی [۲۱]

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- منطقه مورد مطالعه

داده‌های بارندگی مورد نیاز برای این تحقیق، از ایستگاه سینوپتیک زاهدان متعلق به سازمان هواشناسی اخذ گردید. این داده‌ها در دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ قرار داشته و علاوه بر آنکه از طول دوره مناسبی برخوردار بودند به لحاظ آماری نیز با کمترین نواقص روبرو بودند. اطلاعات آماری سری زمانی بارندگی سالیانه و همچنین موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۳ آمده است.

شکل ۲، سری زمانی بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک زاهدان را به همراه مقدار میانگین آن در بازه زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ نمایش می‌دهد.

#### ۳-۲- مدل‌های ساخته شده

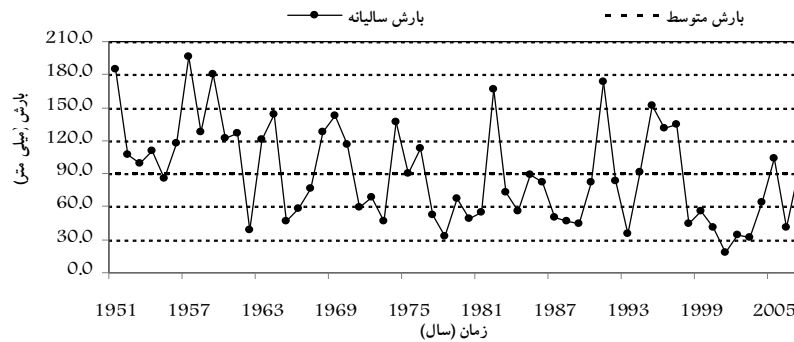
مرسوم‌ترین و در عین حال منطقی‌ترین روش در ارزیابی ارتباط بین پارامترهای اقلیمی، بررسی همبستگی بین آنها است [۶]. لذا در ابتدا همبستگی بین شاخص خشکسالی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه (SPI-12) و ۱۹ عدد شاخص اقلیمی با تأخیرهای زمانی (Lag) مختلف بررسی گردید تا مؤثرترین شاخصهای اقلیمی مشخص شوند. طبق بررسی‌های انجام گرفته در مقیاس ۱۲ ماهه، تنها وجود ارتباط معنی‌دار بین خشکسالی و پنج مورد از شاخصهای اقلیمی مورد بررسی تأیید گردید. این شاخصها با شماره ۴، ۵، ۸، ۱۰ و ۱۲ در جدول ۲ مشخص شده و به ترتیب عبارت از شاخصهای QBO، TSI، TSA، TNI، Nino 4 و Nino 1+2. شکل ۳ نمودارهای همبستگی بین شاخص خشکسالی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و شاخصهای اقلیمی مذکور را نشان می‌دهد. در هر کدام از این موارد، ۲۴ تأخیر زمانی مثبت و ۲۴ تأخیر زمانی منفی مورد توجه قرار گرفت. در هر کدام از نمودارها، تنها ستون‌هایی که خارج از باندهای افقی موازی قرار گرفته باشند نشان دهنده وجود همبستگی معنی‌دار در آن تأخیر زمانی در سطح اعتماد ۹۵ درصد هستند.

در بخش بعد برای پیش‌بینی خشکسالی از سری زمانی ماهیانه متغیرهای ورودی و خروجی در بازه زمانی ۵۶ ساله از ۱۹۵۲ تا ۲۰۰۷ استفاده گردید. پارامتر خروجی در تمامی مدل‌های ساخته شده عبارت است از شاخص خشکسالی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه. پارامترهای ورودی به مدل‌ها نیز عبارت اند از مقادیر پیشین شاخص خشکسالی SPI به علاوه ۵ عدد شاخص اقلیمی که در مرحله قبل مناسب‌ترین ضرایب همبستگی را با خشکسالی نشان دادند. این پارامترها در ادامه به ترتیب با علامت SPI و CI-i نمایش داده می‌شوند. CI مخفف شاخصهای اقلیمی<sup>۱</sup> بوده و i نیز شماره شاخصهای اقلیمی به کار رفته در این تحقیق است که شرح آنها در جدول ۲ آمد. جدول ۴، شامل اطلاعات مدل‌های ساخته شده است. هر سطر از این جدول نمایانگر یک مدل است که برای مقیاس زمانی ۱۲ ماهه اعمال شده است. طول دوره آماری مجموعاً معادل ۶۷۲ = ۱۲ × ۵۶ ماه است که ۷۰ درصد از این دوره (معادل ۴۶۸ ماه) برای آموزش و ۳۰ درصد باقیمانده (معادل ۲۰۴ ماه) برای ارزیابی مدل‌های ساخته شده مورد استفاده قرار گرفت.

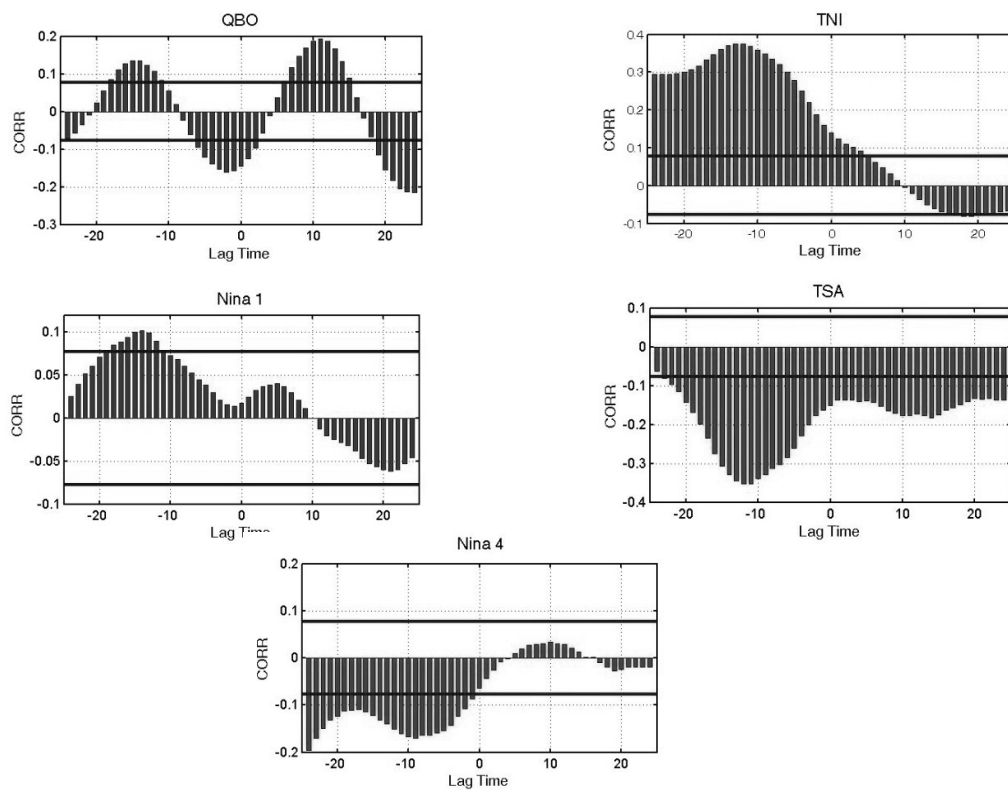
<sup>1</sup> Climate Indices

جدول ۳- موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه و اطلاعات آماری سری زمانی بارندگی سالیانه آن [۳]

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	مختصات جغرافیایی		اطلاعات آماری سری زمانی بارندگی سالیانه (۱۹۵۱-۲۰۰۷)			
		عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	میانگین (mm)	حداکثر (mm)	حداقل (mm)	انحراف از معیار
زاهدان	۱۳۷۰m	۲۸° ۲۹'	۵۳° ۶۰'	۸۹/۹	۱۹۶/۱	۱۸/۳	۴۴/۹
				چولگی <sup>۱</sup>	درجه اوج <sup>۲</sup>		
				۰/۵۳	-۰/۶		



شکل ۲- نمودار بارندگی سالیانه و میانگین آن بر حسب میلیمتر در ایستگاه سینوپتیک زاهدان (۱۹۵۱-۲۰۰۷)



شکل ۳- نمودار ضرایب همبستگی عرضی<sup>۳</sup> همراه با تأخیر زمانی<sup>۴</sup> بین شاخص خشکسالی SPI در مقیاس ۱۲ ماهه و پنج شاخص اقلیمی. باندهای افقی موازی، نمایانگر سطح اعتماد ۹۵ درصد هستند.

1 Skewness  
2 Kurtosis  
3 Cross Correlations  
4 Lag

جدول ۴- مدل‌های ساخته شده برای پیش‌بینی پیوسته خشکسالی

شماره مدل	پارامتر(های) ورودی به مدل	توضیحات
۱	SPI(t)	استفاده از شاخص SPI-12 ماه جاری برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد
۲	SPI(t, t-1)	استفاده از شاخص SPI-12 کنونی و یک ماه قبل برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد
۳	SPI(t, t-1, t-2)	استفاده از شاخص SPI-12 کنونی، یک و دو ماه قبل برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد
۴	SPI(t, t-1, t-2, t-3)	استفاده از شاخص SPI-12 کنونی، یک، دو و سه ماه قبل برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد
۵	SPI(t, t-1, t-2, t-3, t-4)	استفاده از شاخص SPI-12 کنونی، یک، دو، سه و چهار ماه قبل برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد
۶	SPI(t, t-1, t-2, t-3, t-4, t-12)	افزودن آمار مشابه سال گذشته شاخص SPI-12 به ورودی‌های قبلی برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد
۷	CI-i (t)	استفاده از شاخصهای اقلیمی ماه جاری برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد (i= {۴ و ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲})
۸	CI-i (t, t-1)	استفاده از شاخصهای اقلیمی ماه جاری و یک ماه قبل برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد (i= {۴ و ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲})
۹	CI-i (t, t-1, t-2)	استفاده از شاخصهای اقلیمی ماه جاری، یک و دو ماه قبل برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد (i= {۴ و ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲})
۱۰	CI-i (t, t-1, t-2, t-3)	استفاده از شاخصهای اقلیمی ماه جاری، یک، دو و سه ماه قبل برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد (i= {۴ و ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲})
۱۱	CI-i (t, t-1, t-2, t-3, t-4)	استفاده از شاخصهای اقلیمی ماه جاری، یک، دو، سه و چهار ماه قبل برای پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد (i= {۴ و ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲})

مطلق خطا<sup>۳</sup> استفاده شد. جدول ۵ حاوی نتایج ارزیابی مدل‌های ساخته شده در بخش قبل است. البته به دلیل محدودیت فضا، در ردیف‌های ۷ تا ۱۱ جدول ۵، تنها نتایج مربوط به شاخص اقلیمی Nino 4 با i=10 که مناسب‌ترین جواب را از بین شاخصهای اقلیمی

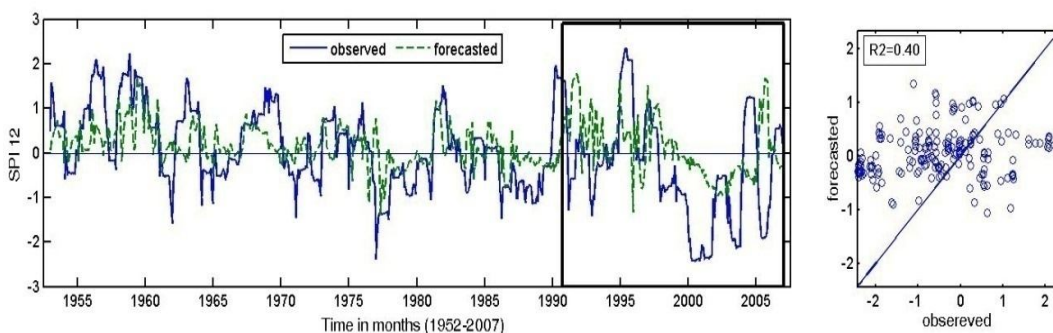
۳-۳- بررسی نتایج مدل‌ها  
به منظور ارزیابی نتایج مدل‌های ساخته شده از سه پارامتر ضریب همبستگی<sup>۱</sup>، ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> و خطای میانگین قدر

<sup>1</sup> CORR  
<sup>2</sup> Root Mean Square Error (RUSE)

<sup>3</sup> Mean Absolute Error (MAE)

جدول ۵- ارزیابی نتایج پیش‌بینی خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه

ردیف	متغیرهای ورودی	تعداد قوانین فازی	آموزش			ارزیابی		
			MAE	RMSE	CORR	MAE	RMSE	CORR
۱	SPI(t)	۵	۰/۶۵	۰/۷۹	۰/۳۴	۱/۰۲	۱/۲۳	۰/۲۵
۲	SPI(t, t-1)	۴	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۳۶	۱/۰۵	۱/۲۷	۰/۱۸
۳	SPI(t, t-1, t-2)	۳	۰/۶۶	۰/۸۰	۰/۳۰	۱/۰۷	۱/۲۸	۰/۱۳
۴	SPI(t, t-1, t-2, t-3)	۴	۰/۶۲	۰/۷۷	۰/۴۰	۱/۰۶	۱/۲۸	۰/۱۸
۵	SPI(t, t-1, t-2, t-3, t-4)	۴	۰/۵۹	۰/۷۵	۰/۴۵	۱/۰۲	۱/۲۵	۰/۲۸
۶	SPI(t, t-1, t-2, t-3, t-4, t-12)	۵	۰/۵۳	۰/۶۹	۰/۵۹	۱/۰۴	۱/۲۶	۰/۴۰
۷	nina4 (t)	۲	۰/۶۹	۰/۸۳	۰/۱۱	۱/۱۰	۱/۳۳	-۰/۱۸
۸	nina4 (t, t-1)	۴	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۲۲	۱/۰۹	۱/۳۴	-۰/۰۶
۹	nina4 (t, t-1, t-2)	۴	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۳۲	۱/۱۱	۱/۳۵	-۰/۱۸
۱۰	nina4 (t, t-1, t-2, t-3)	۴	۰/۶۶	۰/۷۹	۰/۳۲	۱/۱۲	۱/۳۷	-۰/۲۲
۱۱	nina4 (t, t-1, t-2, t-3, t-4)	۵	۰/۶۵	۰/۷۸	۰/۳۷	۱/۱۲	۱/۳۸	-۰/۱۹



شکل ۴- مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده SPI-12 با استفاده از مدل شماره ۶

جدول ۶- بررسی تأثیر افزایش قوانین بر دقت مدل شماره ۶

تعداد قوانین فازی	آموزش			ارزیابی			تعداد قوانین فازی
	MAE	RMSE	CORR	MAE	RMSE	CORR	
۵	۰/۵۹	۰/۶۹	۰/۵۳	۰/۴۰	۱/۲۶	۱/۰۴	۱
۷	۰/۵۷	۰/۷۰	۰/۵۵	۰/۲۳	۱/۵	۱/۲۶	۲
۹	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۴۹	۰/۲۲	۱/۴	۱/۲	۳
۱۱	۰/۷۷	۰/۵۴	۰/۳۹	۰/۲۵	۱/۵	۱/۲۵	۴
۱۳	۰/۷۷	۰/۵۴	۰/۴۱	۰/۳۲	۲/۳۳	۱/۵۹	۵
۱۶	۰/۷۲	۰/۵۸	۰/۴۴	۰/۲۵	۲/۲۳	۱/۷۱	۶

مناسب‌تری را به‌دنبال دارد. به‌عنوان مثال تأثیر افزایش تعداد قوانین بر نتایج مدل شماره ۶ در جدول ۶ نشان داده شده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به بررسی تأثیر سری‌های زمانی شاخص خشکسالی و شاخصهای اقلیمی بر روی بی‌نظمی‌های مربوط به بارش و متعاقب آن رخداد خشکسالی‌ها پرداخته شد. مدل‌های پیش‌بینی با استفاده از مدل فازی-عصبی ANFIS توسعه داده شده و در نهایت نتایج به‌دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق را می‌توان در موارد ذیل خلاصه نمود:

- ۱- بررسی سری‌های زمانی شاخص SPI، نمایانگر وجود نوعی بی‌نظمی شدید در روند خشکسالی‌های ۱۲ ماهه است. به این معنی که رخداد خشکسالی‌های شدیدتر به‌طور محسوسی در اواخر دوره آماری مورد بررسی مشهود است.

- ۲- محاسبه ضرایب همبستگی بین خشکسالی و شاخصهای اقلیمی، بیانگر وجود ارتباط معنی‌دار بین شاخص خشکسالی SPI در مقیاس ۱۲ ماهه و شاخصهای اقلیمی TSA، TNI، QBO، Nino 4 و Nino 1+2 بود.

- ۳- بررسی نتایج به‌دست آمده از پیش‌بینی خشکسالی ۱۲ ماهه نشان داد که استفاده از آمار مشابه سال قبل خشکسالی، یعنی t-12

مورد بررسی به‌دست داده است، نمایش داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، مدل شماره ۶ بیشترین ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده خشکسالی را نشان می‌دهد. همچنین این مدل پایین‌ترین مقادیر ضرایب RMSE و MAE را ارائه داده است. لذا به‌عنوان بهترین مدل از میان مدل‌های ساخته شده انتخاب می‌شود. شکل ۴ نمایانگر مقایسه بین سری‌های زمانی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده شاخص خشکسالی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه توسط مدل شماره ۶ است. این مدل شامل پیش‌بینی خشکسالی یک سال بعد با استفاده از مقادیر مشابه یک سال قبل شاخص خشکسالی SPI است. کادر مستطیلی مشخص شده در این نمودار، نشانگر محدوده ارزیابی داده‌ها است. این محدوده همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، ۳۰ درصد مجموع داده‌ها را تشکیل می‌دهد. شکل زیر همچنین شامل نمودار پراکنندگی داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده است که در سمت راست قرار گرفته است.

برای به‌دست آوردن تعداد قوانین بهینه در هرکدام از مدل‌های ساخته شده در جدول ۴، از روش آزمون و خطا استفاده گردید. نتایج نشان داد که در تمامی موارد، استفاده از ساختار سبک با حداقل تعداد قوانین برای شبکه‌های فازی-عصبی پاسخهای



مناسب‌ترین نتایج را ارائه داد.  
۴- افزودن بر تعداد قوانین مدل‌های ANFIS ساخته شده، علاوه بر آنکه پیچیدگی مدل‌ها را به دنبال داشت، از عملکرد آنها نیز کاست. لذا همان‌طور که مشاهده شد، تعداد قوانین فازی از ۵ قانون فراتر نرفت.

در کنار گام‌های زمانی  $t$ ،  $t-1$ ،  $t-2$ ،  $t-3$  و  $t-4$  شاخص خشکسالی SPI، مدل مناسبی را برای پیش‌بینی خشکسالی تشکیل می‌دهد. همچنین استفاده از شاخص‌های اقلیمی نتوانست نتایج قابل قبولی را در منطقه مورد مطالعه و مقیاس زمانی مورد استفاده ارائه دهد. با این حال از میان شاخص‌های مورد بررسی، شاخص اقلیمی Nin04

## ۵- مراجع

- 1- Alizadeh, A. (2004). *Principle of applied hydrology*, 17<sup>th</sup> Ed., Imam Reza University, Mashhad, Iran. (In Persian)
- 2- The OFDA/CRED International Disaster Database. (2009). <www.em-dat.net> (Dec. 5, 2009).
- 3- I.R. Iran Meteorological Organistaion. (2006). <www.weather.ir> (Jan. 15, 2007).
- 4- Farokhnia, A., Morid, S., and Ghaemi, H. (2008). "Investigation on large scale climatologically signals to predict long term drought." 3<sup>rd</sup> Proc. Iranian Water Resources Management Conferece, Tabriz University, Tabriz. (In Persian)
- 5- Anvari, S. (2008). "Increase artificial models to predict reiver discharge using distributed climatologically and snow surface data." MSc. Thesis, Hydraulic Structures, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
- 6- Bagherzadeh Chehreh, K. (2005). "Evaluation of meteorological signals on forecasting in Tehran province using artificial neural network." M.S. Thesis, Hydraulic Structures, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- 7- Hosseinpour Niknam, H., Azhdary Moghaddam, M., and Khosravi, M. (2010). "Drought forecasting using adaptive neuro-fuzzy inferece system (ANFIS) and teleconnections patterns, case study: Zahedan." 4<sup>th</sup> International Congress of Islamic World Geographers (ICIWG), University of Sistan and Balouchestan, Zahedan, Iran. (In Persian)
- 8- Poustizadeh, N., Samani, J.M.V., and Dezfuli, A.K. (2008). "River flow forecasting using fuzay inference system." *Iran, Water Resources Research*, 4 (2), 23-34. (In Persian)
- 9- Bacanlı, U., Firat, M., and Dikbas, F. (2008). "Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for drought forecasting." *Stoch. Environ. Res. Risk Assess*, 23 (8), 1143-1154.
- 10- Zounemat Kermani, M., and Teshnehlab, M. (2008). "Using adaptive neuro-fuzzy inference system for hydrological time series prediction." *Applied Soft Computing*, 8(2), 928-936.
- 11- Morid, S., Smakhtin, V., and Bagherzadeh, K. (2007). "Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices." *International J. of Climatology*, 27, 2103-2111.
- 12- Karamouz, M., Tabesh, M., Nazif, S., and Moridi, A. (2005). "Estimation of hydraulic pressure in water network using artificial nevrnal network and fuzzy logic." *J. of Water and Wastewater*, 53, 3-14. (In Persian)
- 13- Saadatpour, M., Afshar, A., and Bozorg Haddad, O. (2006). "Fuzzy simulation- optimization model for waste load allocation." *J. of Water and Wastewater*, 56, 2-10. (In Persian)
- 14- Nayak, P., Sudheer, K., Rangan, D., and Ramasa, K. (2004). "A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series." *J. of Hydrology*, 291, 52-66.
- 15- Pongracz, R., Bogardi, I., and Ducksteinc, L. (1999). "Application of fuzzy rule-based modeling technique to regional drought." *J. of Hydrology*, 224, 100-114.
- 16- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time steps." *Preprints, 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 179-184.

- 17- Razi, T., Daneshkar Arasteh, P., Akhtari, R., and Saghafian, B. (2007). "Investigation of meteorological droughts in the Sistan and Balouchestan province, using the standardized precipitation index and Markov Chain model." *Iran Water Resources Reserch*, 3 (1), 25-35. (In Persian)
- 18- Khosravi, M. (2004). "Study of relation between large scale Northern Hemisphere atmospheric circulation Pattern with sistan and Balouchestan naaual drought." *Irannian J. of Geography and Development*, 3, 167-188. (In Persian)
- 19- Hosseinpour Niknam, H. (2009). "Drough forecasting using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and climate indices case study, Zahedan, Iran." M.Sc. Thesis, University of Systan and Balouchestan, Zahedan. (In Persian)
- 20- NOAA. (2009). <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>> (Aug. 12, 2009)
- 21- Jang, J.-S.R.(1993). "ANFIS: Adaptive network based fuzzy inference system." *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23 (3), 665-683.