Archive of SID

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

حسین حسین‌پور نیکنام[۱] مهدی اژدری مقدم[۲] محمود خسروی[۳]

(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 کمّی خشکسالی استفاده گردید. در ابتـدا از روش محاسـبه 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[1] *Mehdi Azhdari Moghadam*[2] *Mahmoud Khosravi*[3]

(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.

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

1. M.Sc. of Water Eng., Dept. of Civil Eng., Systan and Balochestan Universtiy, Zahedan
2. Assoc. Prof. of Civil Eng., Systan and Balochestan University, Zahedan (Corresponding Author) (+98 541) 8052885 mazhdary@eng.usb.ac.ir
3. Assoc. Prof. of Natural Geography, Systan and Balochestan University, Zahedan

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

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 پایین‌تری 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 کمّی خشکسالی از شاخصهای خشکسالی استفاده می‌شود. با استفاده از این شاخصها اطلاعات لازم درباره آغاز، خاتمه و شدّت خشکسالی در مقیاسهای زمانی و مکانی مختلف فراهم می‌آید. در بین انواع شاخصهای ارائه شده برای این منظور، شاخص بارندگی استاندارد شده[1] بیشترین توجه محققان را به‌خود 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[2] که در سالهای اخیر به جمع مدل‌های پیش‌بینی افزوده شده‌اند، روی آورده‌اند [۴-۶]. در استفاده از مدل‌هایی نظیر مدل فازی- عصبی، انتخاب متغیّرهای 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[3] برای پیش‌بینی خشکسالی‌های پاییزه شهر زاهدان بهره جستند. برای این منظور از متغیّرهایی 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 بزرگ‌مقیاس اقلیمی به‌منظور پیش‌بینی خشکسالی استان تهران استفاده نمودند. بررسی‌ها نشان داد که ارتباط مناسبی بین سیگنال‌های SLP و SST شهریورماه در نقاطی از منطقه با شاخص خشکسالی SPI در سال آبی بعد وجود دارد. آنها سپس از روشهای شبکه‌های عصبی- مصنوعی[4] و فازی- عصبی به‌منظور مدل‌سازی پیش‌بینی استفاده کردند[۴]. باکانلی و همکاران[5] 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. مقایسه های انجام گرفته با نتایج روشهای شبکه عصبی FFNN[6] 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 پراکندگی 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[7] 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

[1] Standardized Precipitaion Index (SPI)
[2] Neuro- Fuzzy Systems

[3] Adaptive Neuro- Fuzzy Inference System (ANFIS)
[4] Artificial Neural Network (ANN)
[5] Bacanli et al.
[6] Fast Forward Neural Network
[7] Auto Regressive (AR)

www.SID.ir

Archive of SID

کـرده و ترکیبـات مختلفـی از متغیّرهـای بارنـدگی، شاخـصهای بزرگ‌مقیاس اقلیمـی SOI و NAO و همچنـین مقـادیر قبلـی خـود شاخـصهای خشکـسالی را بـه‌عنـوان ورودی‌هـای مـدل پـیش‌بینـی شبکه‌های عصبی- مصنوعی مدنظر قرار دادند. در تمام مقیاس‌هـای زمانی، بهتـرین مـدل‌هـا آنهـایی بودنـد کـه شـامل مقـادیر شـاخص خشکسالی ماه متناظر سال گذشته بودند. نتایج همچنین نشان داد که SOI و NAO تأثیر چندانی بـر بهبـود قابلیـت پـیش‌بینـی مـدل 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 شـبکه عـصبی بـرای تعیین فشار در هر نقطه از شبکه آبرسانی با توجه به ارتفاع مخـزن، ارتفاع نقطه و میزان مصرف بـا لحـاظ کـردن نـشت موجـود در آن نقطه، تدوین نمودند. برای این منظور با اسـتفاده از دو مـدل شـبکه عصبی و همچنین ترکیب آن با منطق فازی، نتایج حاصـل بـا مـدل تحلیل هیدرولیکی مقایسه شـد [۱۲]. سـعادت‌پـور و همکـاران در سال ۱۳۸۴ از یک مدل شبیه‌سازی به‌منظور بهینه‌سـازی تخـصیص بـار آلاینـده منـابع نقطـه‌ای اسـتفاده نمودنـد و در طـی فراینـد تصمیم‌گیری، از مجموعه‌های فازی با تابع عـضویت مناسـب بـرای مواجهه با عدم قطعیـت‌هـای ناشـی از مـبهم بـودن اهـداف اسـتفاده نمودند [۱۳].

نایاک و همکاران[1] در سال ۲۰۰۴ کاربرد یک مدل ANFIS را در مدل‌سازی جریان رودخانه بایتارانی[2] در هند مورد بررسی قـرار دادند. آنها همچنین به‌منظور مقایسه عملکرد مدل‌ها، یک مدل شبکه عصبی- مصنوعی و یک مدل میانگین محرک خـود رگرسـیونی[3] را نیز برای همان حوضه توسعه دادند که عملکرد بهتر مدل ANFIS هم از لحاظ روند ساخت و هم از لحاظ نتایج را به‌دنبال داشت. به‌علاوه عملکرد مدل‌های ANFIS بـا تبـدیل داده‌هـای ورودی بـه محـدوده نرمال پیش از ساخت مدل، به‌طور چشمگیری بهبـود یافـت [۱۴]. پونگراکز و همکاران[4] در سال ۱۹۹۹ از روشی مبتنی بر منطق فازی برای تخمین شاخص پالمر اصلاح شده[5]، در نبراسکا استفاده نمودند که چرخش عمومی جـو و پدیـده ENSO را نیـز مـورد توجـه قـرار می‌داد [۱۵].

همان‌طور که مشاهده می‌شود در بیشتر تحقیقات صورت گرفته، بـه ارزیـابی مـدل ANFIS در پـیش‌بینـی بارنـدگی و خشکـسالی پرداخته شده است که تمامی آنها به ارجحیت این مدل در مقایسه با روشهای دیگر اذعان داشته‌اند. به این منظور در تعدادی از تحقیقات از سری‌های زمانی پیشین خشکسالی و در تعدادی نیز از یک یا دو شاخص بزرگ‌مقیاس اقلیمی برای پـیش‌بینـی بـارش و خشکـسالی استفاده شده است. در تحقیق حاضـر عـلاوه بـر اسـتفاده از مقـادیر پیشین سری زمانی شاخص SPI، به بررسی تأثیر ۱۹ عـدد شـاخص اقلیمی مختلف بـر خشکـسالی شـهر زاهـدان نیـز پرداختـه شـد کـه بسیاری از این شاخصها در چندساله اخیر کشف و معرفی گردیده‌اند. همچنین از قابلیتهای روش ANFIS برای مدل‌سازی استفاده گردید و پیش‌بینی 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[6] در سال ۱۹۹۳ در دانشگاه ایالتی کلرادو به‌منظور هشدار اولیه و کمک به ارزیـابی شـدت خشکـسالی، یـک شـاخص بدون بعد و بسیار پرکاربرد بـا مبنـای احتمـالاتی بـه نـام شـاخص بارندگی استاندارد شده ارائه دادند [۱۶]. محاسـبه SPI از آنجـا کـه توزیع بارندگی معمولاً از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند، تا حـدودی پیچیده است. برای محاسبه آن می‌توان ابتدا بارندگی ماهیانـه و یـا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه (۳ ماهه، ۶ ماهه و غیـره) را با استفاده از یک توزیع مناسب مانند توزیع گامـا و یـا پیرسـون تیپ سه برازش داد [۹ و ۱۷]. طبقه‌بندی خشکسالی و ترسالی ارائه شده توسط مکی بر حـسب مقـادیر شـاخص SPI، مطـابق جـدول ۱ است.

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

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

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 منـاطق وسـیع

[1] Nayak et al.
[2] Baitarani River
[3] Auto Regressive Moving Average (ARMA)
[4] Pongracz, et al.
[5] Modified Palmer Drought Severity Index (PMDI)
[6] Mckee, et al.

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر می‌گذارند. این الگوها عمدتاً با استفاده از شاخصهای اقلیمی که بر اساس فشار هوا و دمای سطح آب اقیانوسها محاسبه می‌شوند به‌صورت کمّی بیان می‌گردند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تأثیر الگوهای ارتباط از دور بر شدت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان متقارن نبوده و به‌عبارت 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 به‌وسیله 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 براساس فشار هوا و دمای سطح آب اقیانوسها محاسبه می‌شوند. به‌عنوان مثال شاخص نوسانات جنوبی[1] (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 هرکدام از نواحی اقلیمی در آریزونا و نیومکزیکو را میانگین‌گیری می‌نماید تا یک مقدار ماهیانه یکتا تولید گردد [۱۷-۲۰].

شاخصهای بالا در مرحله مدل‌سازی به‌عنوان ورودی‌های مدل ANFIS به‌کار خواهند رفت. این شاخصها از وب‌سایت اینترنتی اداره ملی اقیانوس و اتمسفر[2] 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[3] 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[4]، 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 به‌وسیله 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 به‌دست 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

[1] South Oceanic Index (SOI)
[2] National Oceanic & Atmospheric Administration
[3] Jang
[4] Fuzzy Inference System (FIS)

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

شماره (i)	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			

www.SID.ir

Archive of SID

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

قانون اول:

IF $x=A_1$ AND $y=B_1$, THEN $f_1=p_1+q_1+r_1$

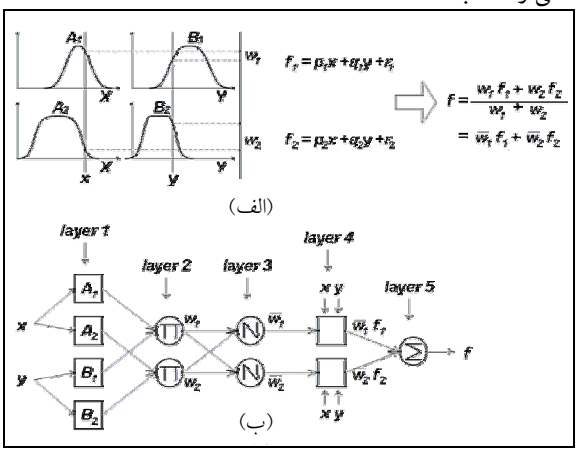
قانون دوم:

IF $x=A_2$ AND $y=B_2$, 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 به‌کار 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 به‌دست 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 به‌همراه 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 به‌ترتیب عبارت از شاخصهای TSA، TNI، QBO، 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 هرکدام 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 به‌علاوه ۵ عدد شاخص اقلیمی که در مرحله قبل مناسب‌ترین ضرایب همبستگی را با خشکسالی نشان دادند. این پارامترها در ادامه به‌ترتیب با علامت SPI و CI-i نمایش داده می‌شوند. CI مخفف شاخصهای اقلیمی[1] بوده و i نیز شماره شاخصهای اقلیمی به‌کار 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 =۵۶×۱۲ 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.

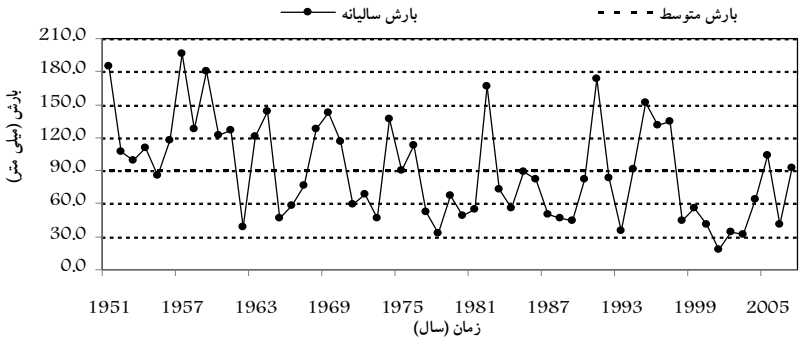
[1] Climate Indices

www.SID.ir

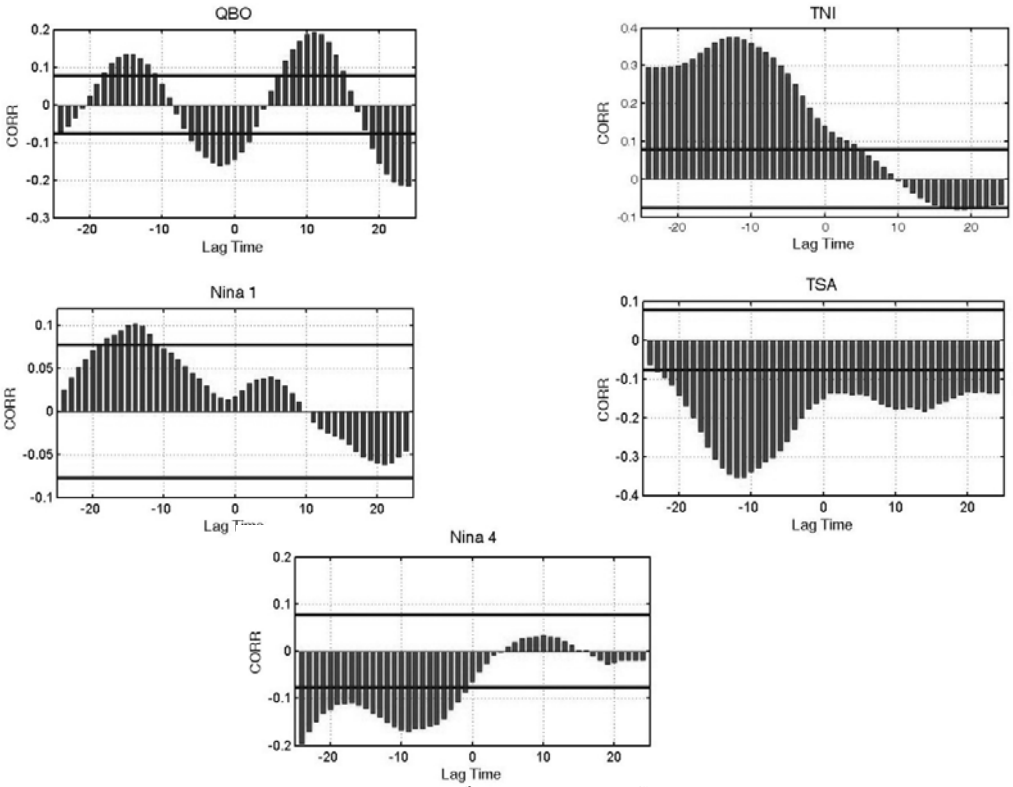
Archive of SID

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	چولگی[1]	درجه اوج[2]
زاهدان	۱۳۷۰m	۲۹° ۲۸′	۶۰° ۵۳′	۸۹/۹	۱۹۶/۱	۱۸/۳	۴۴/۹	۰/۵۳	-۰/۶



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



شکل ۳- نمودار ضرایب همبستگی عرضی[3] همراه با تأخیر زمانی[4] بین شاخص خشکسالی SPI در مقیاس ۱۲ ماهه و پنج شاخص اقلیمی. باندهای افقی موازی، نمایانگر سطح اعتماد ۹۵درصد هستند.

[1] Skewness
[2] Kurtosis
[3] Cross Correlations
[4] Lag

www.SID.ir

Archive of SID

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})

۳-۳- بررسی نتایج مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی نتایج مدل‌های ساخته شده از سه پارامتر ضریب همبستگی[1]، ریشه میانگین مربعات خطا[2] و خطای میانگین قدر مطلق خطا[3] استفاده شد. جدول ۵ حاوی نتایج ارزیابی مدل‌های ساخته شده در بخش قبل است. البته به‌دلیل 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

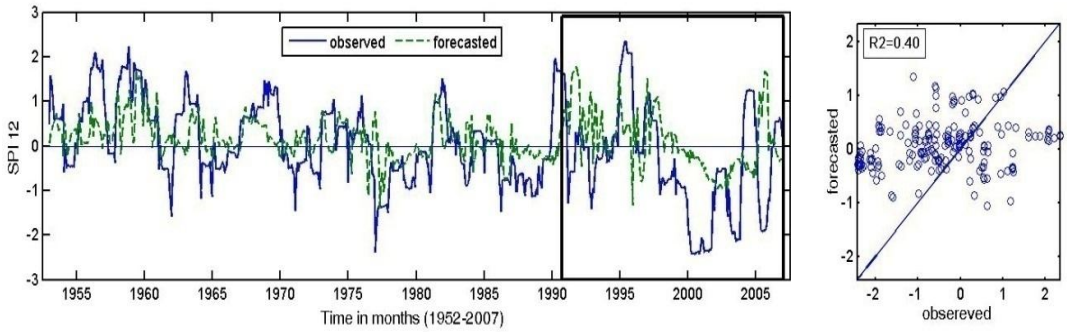
[1] CORR
[2] Root Mean Square Error (RUSE)
[3] Mean Absolute Error (MAE)

جدول ۵- ارزیابی نتایج پیش‌بینی خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه

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

www.SID.ir

Archive of SID



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

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

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 پراکندگی 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 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 Nino4 مناسب‌ترین نتایج را ارائه داد.

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

۵- مراجع

1- Alizadeh, A. (2004). *Principle of applied hydrology*, 17th 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 Metorological Organistaion. (2006). <www.weather.ir> (Jan. 15, 2007).

4- Farokhnia, A., Morid, S., and Ghaemi, H. (2008). "Inyestigation on large scale climatiologically signals to predict long term drough." *3rd Proc. Iranian Water Resources Management Conferece*, Tabriz University, Tabriz. (In Persian)

5- Anvari, S. (2008). "Increse 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." *4th 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- Bacanli, 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 nevral 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, 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 179-184.

www.SID.ir

Archive of SID

17- Raziei, 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 Hemiphere 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.

www.SID.ir