

پیش‌بینی و بررسی روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از سری زمانی
(مطالعه موردی: حوزه آبریز سلماس)

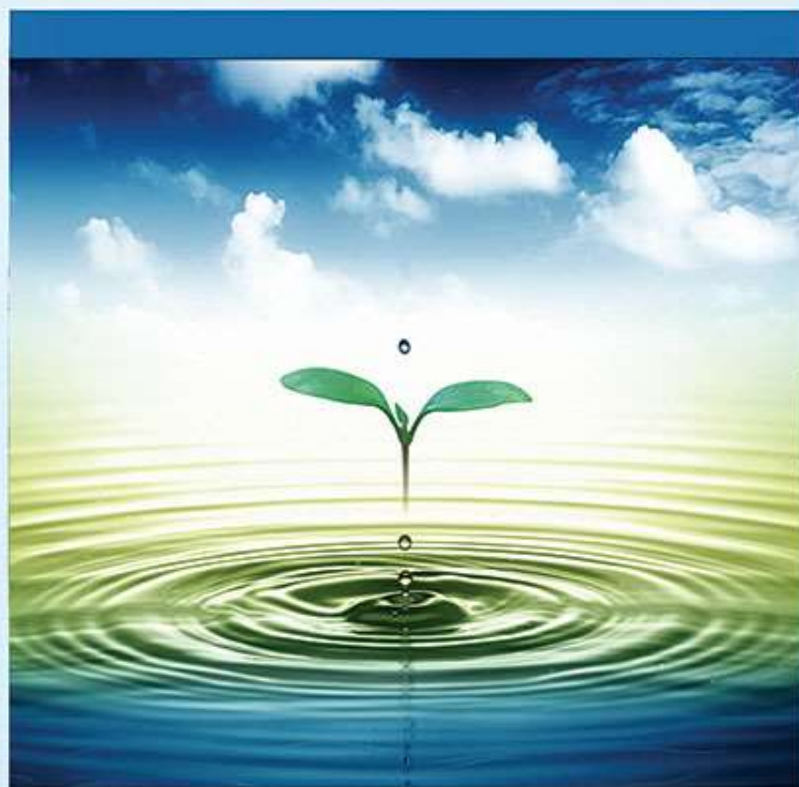
مطلب بایزیدی، معروف سی و سه مرده و آزیتا عصرآگاه

دوره ۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۳۴۶ - ۳۵۹

Vol. 2 (4), Winter 2017, 346-359

**Prediction and Analysis of Meteorological
Drought Based on Time Series (Case
Study: Salmas Watershed)**

Byzedi M., Siosemardeh M. and Asragah
A.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

نحوه ارجاع به این مقاله: بایزیدی م.، سی و سه مرده م. و عصرآگاه آ. (۱۳۹۵). پیش‌بینی و بررسی روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از سری زمانی (مطالعه موردی: حوزه آبریز سلماس). محیط زیست و مهندسی آب، جلد ۲، شماره ۴، صفحات: ۳۴۶ - ۳۵۹.

How to cite this paper: .Byzedi M., Siosemardeh M. and Asragah A. (2017). Prediction and analysis of meteorological drought based on time series (Case study: Salmas watershed). J. Environ. Water Eng., 2(4), 346-359.

پیش‌بینی و بررسی روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از سری زمانی (مطالعه موردی: حوزه آبریز سلماس)

مطلب بایزیدی*^۱، معروف سی و سه مرده^۲ و آزیتا عصر آگاه^۳

۱- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، ایران

۲- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، ایران

۳- گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، ایران

*نویسنده مسئول: m.byzedi@gmail.com

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۵/۰۳]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۰۹/۱۰]

چکیده

اساس بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فرآیندهای هیدرولوژیکی و تصمیمات بهره‌برداری از منابع آب بر پایه پیش‌بینی و تحلیل سری‌های زمانی است. خشکسالی حالتی نرمال و مستمر از اقلیم ایران با فراوانی وقوع نسبتاً بالا است و می‌توان با استفاده از تحلیل‌های آماری و مدل‌های ریاضی به پیش‌بینی آن پرداخت. در پژوهش حاضر به پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی ۵ ایستگاه حوزه آبریز سلماس واقع در استان آذربایجان غربی پرداخته شد. برای این منظور داده‌های بارش ایستگاه‌ها طی دوره آماری (۱۳۵۸-۱۳۸۷) با استفاده از مدل‌های سری زمانی بارش MA، AR، ARMA و ARIMA شبیه‌سازی شد و بهترین مدل برای پیش‌بینی انتخاب شد. سپس بارش ماهانه برای ۷ سال بر اساس مدل انتخاب‌شده پیش‌بینی گردید. با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI)، شدت خشکسالی‌ها محاسبه شد. برای ایستگاه‌های نظرآباد، سلماس، یالقوزآغاج، چهریق و اوربان به ترتیب مدل‌های نهایی MA(3)، ARMA(4,2)، ARMA(1,1) و ARMA(3,2) انتخاب شدند. در بررسی خشکسالی‌ها مشخص گردید که خشکسالی در سال‌های آماری ۱۳۵۷-۱۳۸۷ تنها در ایستگاه نظرآباد روند افزایشی داشته و در ایستگاه‌های سلماس، اوربان، چهریق و یالقوزآغاج روند کاهشی مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: سری‌های زمانی، خشکسالی هواشناسی، پیش‌بینی، روند

۱- مقدمه

تعیین ویژگی‌های خشکسالی و یا ترسالی در یک منطقه، یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی محیطی و اقتصادی به‌ویژه برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب است. در بسیاری از برنامه‌های بلندمدت لازم است که چشم‌اندازی از وضعیت آینده بارندگی و دوره‌های خشک و تر برای منطقه ترسیم گردد. به همین دلیل موضوع پیش‌بینی خشک‌سالی و ویژگی‌های آن از اهمیت بسیار زیادی در مدیریت منابع آب برخوردار است. خشکسالی وابسته به عوامل و پارامترهای متفاوتی است که در این میان تحلیل داده‌های بارش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چراکه بارندگی مهم‌ترین متغیری است که تغییرات آن به‌طور مستقیم در رطوبت خاک، جریان‌های سطحی، تغییرات مخازن زیرزمینی آب منعکس می‌شود. از طرف دیگر در میان متغیرهای اقلیمی بارش خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک جزء بی‌ثبات‌ترین آن‌ها محسوب می‌گردد. به همین دلیل بارش اولین عاملی است که می‌تواند در بررسی هر حالتی از خشکسالی مورد توجه قرار گیرد (Nasaji 2001). از اوایل دهه ۶۰ میلادی، مدل‌های خود همبسته^۱ استفاده گسترده‌ای در پیش‌بینی پارامترهای هیدرولوژیکی را داشته‌اند. دلیل اصلی استفاده گسترده از این مدل‌ها، توانایی آن‌ها در ایجاد همبستگی بین مقادیر زمان حال با زمان‌های پیشین و همچنین سادگی ساختار می‌باشد. Thomas and Fiering (1962) این مدل‌ها را برای اولین بار به کار بردند و Box and Jenkins (1976) این مدل‌ها را توسعه دادند. Khalili (2009) با استفاده از مدل $ARMA(1,2)$ جریان رودخانه شهرچای ارومیه را در دوره آماری ۲۶ ساله مدل‌سازی و دبی ماهانه جریان رودخانه را به مدت دو سال پیش‌بینی کردند. مقایسه عملکرد مدل با مشاهدات واقعی کارایی مدل به‌دست‌آمده را مورد تأیید قرارداد. (Rossi et al. 1992) خصوصیات خشک‌سالی منطقه‌ای سیسپیل را بر پایه سری‌های زمانی آمار بارندگی برای فواصل زمانی (شش ماه فصل مرطوب و تمام سال آبی) مورد بررسی قرار دادند و شاخص‌های خشک‌سالی را بکار بردند. Chow and Karelioti (1970) به آنالیز یک متغیره سری‌های زمانی بارش و درجه حرارت پرداختند. در این آنالیز وجود مؤلفه‌های تناوبی شدید یک‌ساله و تناوب ضعیف با دوره ۶ ماهه را در سری داده‌ها تشخیص دادند. Komomik et al. (2006) به مقایسه و پیش‌بینی کارایی مدل‌های هیدرولوژیکی سری‌های زمانی در جمهوری چک پرداختند که نتایج آن‌ها کارایی بالای مدل‌های مذکور در پیش‌بینی فرایندهای هیدرولوژیکی را نشان داد. Ghorbanpoor et al. (2010) از مدل‌های سری‌زمانی ARIMA^۲ و DARMA^۳ برای شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه سنگ سوراخ که یک رودخانه کارستی است، استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل ARIMA عملکرد بهتری در مدل‌سازی جریان هفتگی و ماهانه این رودخانه کارستی دارد. Bashiri et al. (2016) به مدل‌سازی دبی جریان رودخانه زربینه‌رود با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی پرداختند. نتایج بررسی مدل‌ها نشان داد که مدل AR(3) برای جریان ماهانه با ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطابه ترتیب ۰/۹۰۶ و $2/892 \text{ m}^3/\text{s}$ به‌عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. در دوره روزانه نیز عملکرد مدل $ARMA(15,5)$ چندان رضایت‌بخش نبود و دلیل آن را در خاصیت غیرخطی جریان بیان کردند. Mirmosavi et al. (2014) با استفاده از روش‌های آماری به تحلیل رفتار بارش ایستگاه هواشناسی خوی پرداختند. آزمون‌های آشکار سازی روند را روش‌های همبستگی پیرسون، اسپیرمن، من‌کنندال استفاده کردند. نتایج روند کاهشی معنی‌دار، در بارش سالانه خوی را نشان داد. آن‌ها با استفاده از مدل آریما الگوی $ARIMA(0, 1, 1)$ را برای بارش سالانه به دست آوردند و سپس بارش ایستگاه خوی را با اطمینان ۹۵ درصد تا سال ۲۰۱۵ پیش‌بینی کردند. Abdollanezhad (2015) به بررسی مناسب‌ترین مدل جهت تخمین مجموع بارندگی از بین مدل‌های سری زمانی اتو رگرسیون (AR)، میانگین متحرک (MA) و مدل‌های تلفیقی اتو رگرسیون با میانگین متحرک و مدل‌های فصلی (ARIMA) و (SARIMA) پرداخت. جهت شناسایی بهترین مدل به‌دست‌آمده، از باقیمانده‌ها و خطاهای پیش‌بینی استفاده و ضرایب مدل را تخمین زد. نتایج پژوهش نشان داد که مدل ساریمای (۲، ۰، ۱؛ ۲، ۰، ۱) (SARIMA) از سایر مدل‌های سری زمانی عملکرد بهتری داشته و روند تغییرات سری زمانی را با خطای کم‌تری شبیه‌سازی می‌کند.

¹ Auto Regressive

² Auto Regressive Moving Average (ARMA)

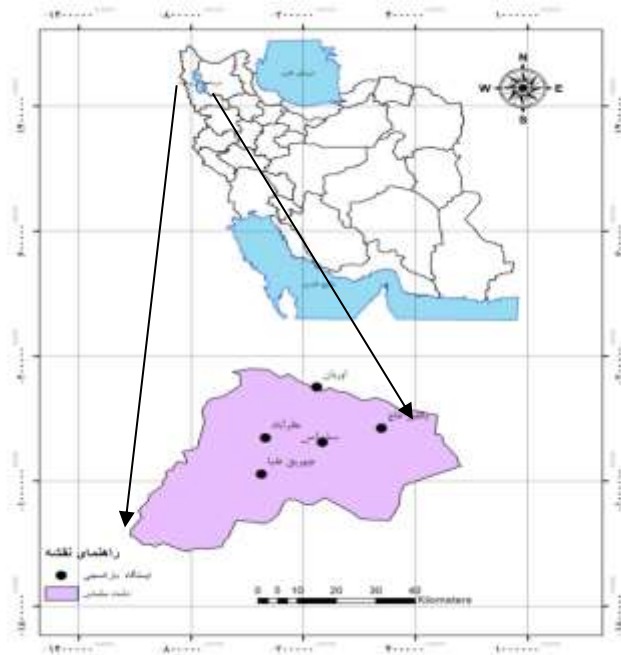
³ Deseasonalized Auto Regressive Moving Average (DARMA)

هدف از این پژوهش بررسی شدت خشکسالی و پیش‌بینی آن در دشت سلماس استان آذربایجان غربی است. پس از آنالیز و انتخاب بهترین مدل از بین مدل‌های سری زمانی برزاش داده‌شده مقادیر بارش برای ماه‌های آتی پیش‌بینی و به بررسی خشکسالی در آینده پرداخته شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه آبریز دشت سلماس به مساحت ۲۷۴۸ کیلومترمربع، در شمال غربی ایران واقع در استان آذربایجان غربی در شمال شرقی دریاچه ارومیه قرار گرفته است. موقعیت و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل (۱) نشان داده شده است. برای انجام این پژوهش از دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۸-۱۳۸۷) با خصوصیات آماری طبق جدول (۱) استفاده گردید.



شکل ۱- موقعیت دشت سلماس در ایران

جدول ۱- خصوصیات آماری ایستگاه‌ها

ایستگاه	میانگین بارش سالانه (mm)	بارش حداکثر (mm)	بارش حداقل (mm)	انحراف معیار (mm)	ضریب تغییرات
چهریق علیا	۳۵۲/۲	۵۳۳/۵	۱۴۸/۵	۱۰۷/۳	۰/۳۱
سلماس	۲۴۴/۱۲	۴۴۱	۲۴/۳	۹۱/۱۰	۰/۳۷
نظرآباد	۳۸۹/۴	۸۰۳	۱۳۱	۱۶۹/۵	۰/۴۴
اوربان	۳۰۰/۹	۵۰۰/۵	۱۴۷	۸۷/۹۱	۰/۲۹
یالقوز آغاج	۱۶۹/۸	۳۳۶/۵	۷۵	۶۶/۲۶	۰/۳۹

۲-۱-۱- آماده‌سازی داده‌ها

در این پژوهش ابتدا در محیط SPSS (نسخه ۱۸) داده‌های ماهانه بارندگی را از نظر تصادفی با آزمون ران تست و همگنی داده‌ها با روش جرم مضاعف بررسی شد و مشخص گردید که داده‌های بارش ایستگاه‌های چهاریق علیا، اوربان و سلماس همگن و ایستگاه‌های نظرآباد و یالقوزآغاج غیر همگن هستند. ایستگاه‌های غیر همگن با استفاده از روش جرم مضاعف همگن شدند. به‌طوری‌که در این روش با ترسیم داده‌های تجمعی در مقابل ایستگاه بارندگی سلماس که همگن بوده، شیب نمودار از محل شکست به بعد یکسان‌سازی و همگن شدند. در اغلب روش‌های تخمین پارامترهای آماری فرض بر این است که سری زمانی مورد مطالعه از توزیع نرمال پیروی می‌کند. از این‌رو بایستی سری زمانی مورد نظر را نرمال و استانداردسازی کرد تا بتوان مدل‌سازی را انجام داد. از آنجایی که سری‌های زمانی مورد مطالعه از توزیع احتمالاتی گاما پیروی می‌کند برای تبدیل به نرمال از رابطه (۱) استفاده شد.

$$y = \sqrt{x} \quad (1)$$

پس از تبدیل سری زمانی به حالت نرمال و استاندارد تابع خودهمبستگی (ACF^1) و تابع خودهمبستگی جزئی ($PACF^2$) در محیط SPSS محاسبه گردید.

۲-۲- شاخص بارش استاندارد

شاخص SPI^3 به‌منظور پایش خشکسالی اقلیمی توسط Mckee et al. (1993) ارائه گردید. در واقع SPI عبارت است از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار تجمعی احتمالی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از تابع توزیع گامای به‌دست‌آمده مساوی باشد. توزیع احتمال بارش در یک ایستگاه غالباً از تابع توزیع احتمال گاما پیروی می‌کند. از این‌رو ابتدا ضرایب تابع چگالی احتمال برای داده‌های بارش ماهانه محاسبه و سپس احتمال تجمعی از توزیع گامای به‌دست‌آمده. این احتمال به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف از معیار یک منتقل گردید. طبقه‌بندی وضعیت بارش بر اساس SPI در جدول (۲) نشان داده‌شده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی وضعیت بارش بر اساس SPI

وضعیت خشکسالی	شاخص SPI	درصد احتمال تجمعی نسبی
خشکسالی بسیار شدید	-۳	۰/۱۴
خشکسالی شدید	-۲/۵	۰/۶۲
خشکسالی متوسط	-۲	۲/۲۸
خشکسالی ضعیف	-۱/۵	۶/۶۸
نزدیک به نرمال	-۰/۵	۱۵/۸۷
	-۰/۵	۳۰/۸۵
نرمال	۰	۵۰
	۰/۵	۶۹/۱۵
نزدیک به نرمال	۱	۸۴/۱۳
ترسالی ضعیف	۱/۵	۹۳/۳۲
ترسالی متوسط	۲	۹۷/۷۲
ترسالی شدید	۲/۵	۹۹/۳۸
ترسالی بسیار شدید	۳	۹۹/۸۶

¹ Autocorrelation Function² Partial Autocorrelation Function³ Standard Precipitation Index

۲-۱- مدل‌های سری زمانی

به منظور پیش‌بینی داده‌های بارش از مدل‌های سری زمانی استفاده شد. از میان مدل‌های مختلفی که در سری‌های زمانی وجود دارند، مدل خودهمبستگی (AR)، مدل میانگین متحرک (MA)، مدل میانگین متحرک خود همبسته (ARMA) و مدل میانگین متحرک تجمعی خود همبسته (ARIMA)، به دلیل کاربرد بیشتر استفاده گردید.

۲-۱-۴-۱- مدل خودهمبستگی

فرآیندهای خودهمبستگی را به طور ساده می‌توان با ایجاد همبستگی، روی یکسری از مقادیر بافاصله‌های زمانی معین تعریف نمود این نوع از مدل‌ها از لحاظ کاربردی ساده‌ترین مدل‌های استوکاستیک می‌باشد که از سال ۱۹۶۰ به بعد در بررسی‌های سالانه و ماهانه طبق روابط (۲) تا (۴) مورد استفاده قرار می‌گرفتند (Jabari 2006).

$$Y_t = f(x_t) \quad (2)$$

$$Y_t = \mu + \sigma z_t \quad (3)$$

$$Z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j Z_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4)$$

که در این روابط x_t داده‌های مشاهداتی، Y_t داده‌های نرمال شده میانگین، σ انحراف معیار، Y_t سری زمانی نرمال و استاندارد که در این روابط $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ ضرایب مدل خودهمبستگی، ε_t متغیر تصادفی نرمال و p رسته (مرتبه) مدل می‌باشد (Bozorgnia 1987).

۲-۱-۴-۲- مدل میانگین متحرک

مدل میانگین متحرک (MA^۱) یکی از مدل‌های پیش‌بینی مقادیر تصادفی جهت استفاده پارامترهای تصادفی است که شکل کلی این مدل به صورت رابطه (۵) می‌باشد:

$$Z_t = \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (5)$$

که در این رابطه q مرتبه مدل میانگین متحرک ضرایب مدل، ε_t سری زمانی تصادفی نرمال می‌باشند. در مدل فرض شده، سری زمانی Z_t فقط تابعی از تعداد q متغیر تصادفی ماقبل خود می‌باشد (Niromand and Bozorgnia 1993).

۲-۱-۴-۳- مدل میانگین متحرک خود همبسته

برای نشان دادن دو رفتار متفاوت مانند (جریان‌های شدید و کم) می‌توان مؤلفه میانگین متحرک (MA) را به مؤلفه خودهمبستگی (AR) اضافه نمود که مدل جدیدی به نام میانگین متحرک خود همبسته (ARMA)^۲ ایجاد می‌گردد. شکل کلی مدل که ترکیبی از مؤلفه میانگین متحرک و مؤلفه خودهمبستگی می‌باشد، به صورت رابطه (۶) است:

$$Z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j Z_{t-j} - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (6)$$

مدل مذکور دارای مرتبه (p, q) است که p به مدل AR و q به مدل MA مرتبط می‌باشد.

^۱ Moving Average

^۲ Auto Regressive Moving Average

۲-۴-۴- مدل میانگین متحرک تجمعی خود همبسته

تفاوت مدل^۱ (ARIMA) با مدل ARMA این است که در مدل ARIMA برای ایستا نمودن داده‌ها از تفاضل طبق رابطه (۷) استفاده و مقادیر سری جدید به نام u_t محاسبه می‌شود (Karamoz and Eraqinejhad 2005).

$$u_t = x_t - x_{t-1} \quad (7)$$

شکل کلی مدل میانگین متحرک تجمعی خود همبسته، به صورت رابطه (۸) ارائه شده است:

$$Z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j u_{t-j} - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (8)$$

که در رابطه (۸) مقادیر p, q مرتبه‌های مدل و d تعداد تفاضلهای موردنیاز برای تبدیل سری زمانی (ARIMA (p, d, q) به حالت ایستا می‌باشد.

۲-۵- معیارهای ارزیابی مدل‌ها

برای مقایسه مدل‌ها با مرتبه‌های مختلف از معیار اطلاعاتی آکایکه^۲ استفاده گردید که در مقایسه میان مدل‌های مختلف، مدل دارای حداقل مقدار در معیار ذکر شده دقیق‌تر می‌باشد. معادله مربوطه و پارامترهای آن در رابطه (۹) بیان گردیده است (Karamoz and Eraqinejhad 2005).

$$AIC = 2K + n[\ln(RSS / n)] \quad (9)$$

که در آن RSS مجموع مربعات باقیمانده، N تعداد داده‌ها و K تعداد پارامترهای مدل است. همچنین برای سنجش دقت روش‌های مختلف پیش‌بینی از ضریب تعیین (R^2) و شاخص کمترین مربعات خطا (RMSE)^۳ طبق روابط زیر استفاده گردید (Aguilera et al. 2008).

$$R^2 = \frac{[COV(X_p, X_0)]^2}{\sigma_{X_p}^2 \cdot \sigma_{X_0}^2} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_p - X_0)^2} \quad (11)$$

که در آن X_p مقادیر تخمینی، X_0 مقادیر مشاهده‌ای، n تعداد مشاهدات، COV کوواریانس و σ انحراف معیار می‌باشد. بعد از مقایسه مدل‌های مختلف بهترین مدل انتخاب گردیده و برای تشخیص مناسب بودن مدل انتخاب شده و آزمون هرگونه شک و تردید نسبت به انحراف برازش، از تابع خودهمبستگی باقیمانده‌ها استفاده می‌شود. در این روش نمودار تابع خودهمبستگی باقیمانده‌ها حداکثر از ۱ تا ۴۰ تأخیر رسم می‌شود. اگر حداکثر ۵ درصد از داده‌ها بیرون محدوده اطمینان (۹۵٪) واقع شود، در این حالت مدل به دست آمده بهتر بوده و فرض تصادفی بودن داده موردقبول می‌باشد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- مدل‌سازی سری زمانی

مدل‌سازی سری زمانی بارش طی دوره مطالعه برای هر ایستگاه مورد مطالعه انجام شد. بهترین مدل بر اساس معیارهای مورد ارزیابی مدل‌ها طبق جداول (۳) و (۴) انتخاب گردید. با توجه به معیار AIC در جدول (۳) مشخص گردید که برای ایستگاه‌های نظرآباد و سلماس مدل MA(4) و برای ایستگاه‌های یالقوزآغاج، چهریق و اوربان AR(4) به عنوان بهترین مدل هستند. همچنین بیشترین

1. Auto Regressive Integrated Moving Average

2. Akaike Information Criterion

3. Root Mean Squared Error

ضریب همبستگی و کمترین مربعات خطا برای هر ایستگاه طبق جدول (۴) در مدل‌ها بررسی شد و نتایج نشان داد ضریب همبستگی در همه ایستگاه در بهترین مدل بین مقادیر ۰/۸۴ تا ۰/۸۹ قرار دارد و کمترین مربعات خطا در سری زمانی مربوط به ایستگاه یالقوزآغاج با مدل $ARMA(1,1)$ با مقدار ۵/۸۷ می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر AIC برای مدل‌های برازش شده

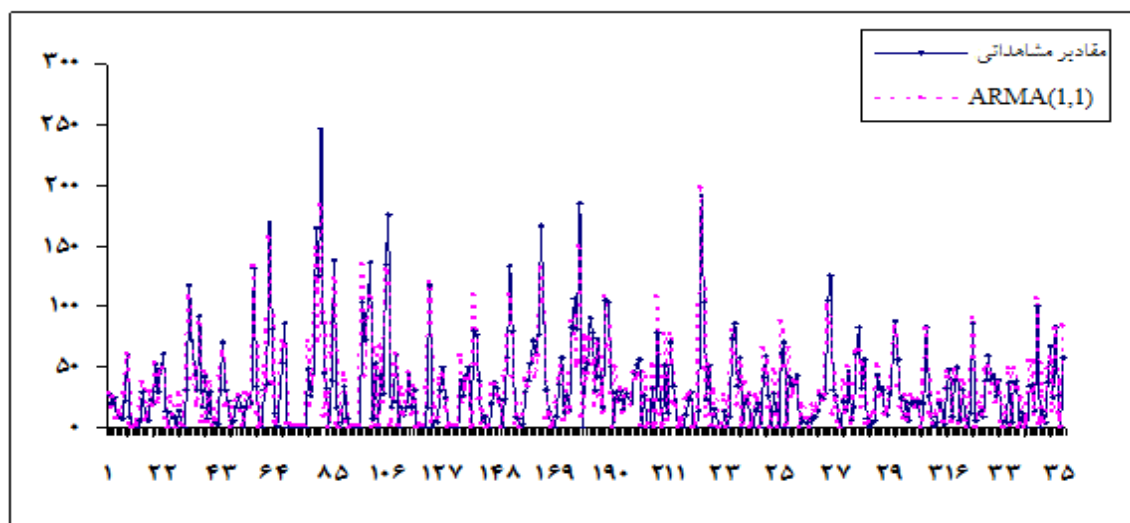
ایستگاه	مدل AR	کمترین مقدار (AIC)
سلماس	۴	۹۸۰/۳۹
اوربان	۳	۹۷۱/۸۴
چهریق علیا	۴	۱۰۱۸/۲۰
یالقوزآغاج	۴	۹۶۵/۵۸
نظرآباد	۴	۱۱۴۰/۳۵
ایستگاه	مدل MA	کمترین مقدار (AIC)
سلماس	۴	۹۸۰/۳۵
اوربان	۳	۹۸۰/۷۷
چهریق علیا	۴	۱۰۲۰/۶۷
یالقوزآغاج	۴	۹۶۸/۱۴
نظرآباد	۴	۱۱۳۷/۸۵
ایستگاه	مدل ARMA	کمترین مقدار (AIC)
سلماس	۳ و ۲	۹۸۵/۴۶
اوربان	۱ و ۱	۹۸۰/۰۸
چهریق علیا	۴ و ۲	۱۰۲۶/۷
یالقوزآغاج	۱ و ۱	۹۸۵/۳۴
نظرآباد	۱ و ۱	۱۱۴۰/۰۸
ایستگاه	مدل ARIMA	کمترین مقدار (AIC)
سلماس	۳ و ۱ و ۳	۹۹۵/۰۱
اوربان	۴ و ۱ و ۳	۹۸۱/۲۳
چهریق علیا	۳ و ۱ و ۳	۱۰۲۹/۲۰
یالقوزآغاج	۳ و ۱ و ۲	۹۸۶/۴۵
نظرآباد	۳ و ۱ و ۳	۱۱۴۶/۸۱

بر اساس معیارهای ارزیابی ارائه شده در جدول (۴) مشخص شد بهترین مدل جهت پیش‌بینی ۷ سال آینده برای ایستگاه‌های نظرآباد، سلماس، یالقوزآغاج، چهریق و اوربان به ترتیب $MA(3)$ ، $ARMA(4,2)$ ، $ARMA(1,1)$ ، $ARMA(3,2)$ و $ARMA(1,1)$ است. در تحقیقات مشابه (Abdollahzhad (2015) به بررسی مدل‌های تصادفی سری زمانی در ایستگاه هاشم‌آباد گرگان پرداخت. نتایج نشان داد که مدل ساریما (۲، ۱، ۰؛ ۳، ۱، ۲) از سایر مدل‌های سری زمانی عملکرد بهتری داشته و روند تغییرات سری زمانی را با خطای کمتری شبیه‌سازی می‌کند. همچنین (Akbari and Boshiri (2015) مدل $ARIMA(2,0,2)$ را به‌عنوان مدلی مناسب برای داده‌های بارش سرخس انتخاب نمودند. (Khiri and Moqim (2015) مدل $ARIMA(0,1,1)$ را به‌عنوان بهترین

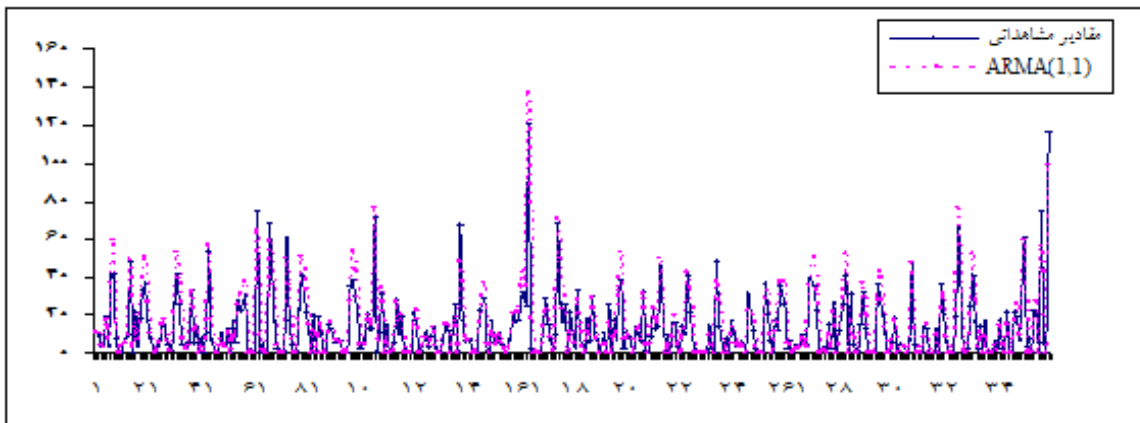
مدل برای داده‌های بارش سالانه شهر بجنورد به دست آوردند. همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی مقدار بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز محاسبه شد که مقدار $RMSE$ و R^2 برای ایستگاه نظرآباد به ترتیب ۱۷/۶۷ و ۰/۸۶، ایستگاه یالقوزآج ۵/۸۷ و ۰/۸۹، اوربان ۹/۰۹ و ۰/۸۹، چهریق علیا ۹/۴۸ و ۰/۸۹ و سلماس ۸/۳۷ و ۰/۸۷ به دست آمد. نمودار مقایسه مقادیر پیش‌بینی و مشاهداتی بارش برای دو ایستگاه نظرآباد و یالقوزآج در شکل (۲) ارائه شده است. برای بهترین مدل‌ها، نمودارهای تابع خودهمبستگی (ACF) و تابع خودهمبستگی جزئی $(PACF)$ مانده‌ها بررسی شد و مشاهده گردید که تا ۴۰ تأخیر از صفر اختلاف معنی‌داری از لحاظ همبستگی بین مانده‌ها مدل‌های انتخابی ندارند. نمودار تابع خود همبسته برای ایستگاه‌های نظرآباد و یالقوزآج در شکل (۳) ارائه شده است.

جدول ۴- ضرایب بیشترین همبستگی و کمترین مربعات خطا در داده‌های محاسباتی و واقعی

ایستگاه	ARIMA	ARMA	MA	AR
بیشترین ضریب همبستگی				
سلماس	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷
اوربان	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۷
چهریق علیا	۰/۸۴	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۷
یالقوزآج	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۵
نظرآباد	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۸۶
کمترین مربعات خطا				
سلماس	۹/۴۷	۸/۳۷	۸/۵۲	۸/۵
اوربان	۱۱/۲۲	۹/۶۴	۹/۰۹	۱۰/۲۸
چهریق علیا	۱۱/۴	۹/۴۸	۹/۸۴	۱۰/۴۷
یالقوزآج	۶/۸۲	۵/۸۷	۶/۲۵	۶/۸۵
نظرآباد	۱۹/۷۷	۱۷/۶۷	۲۰/۵۲	۲۰/۵۶

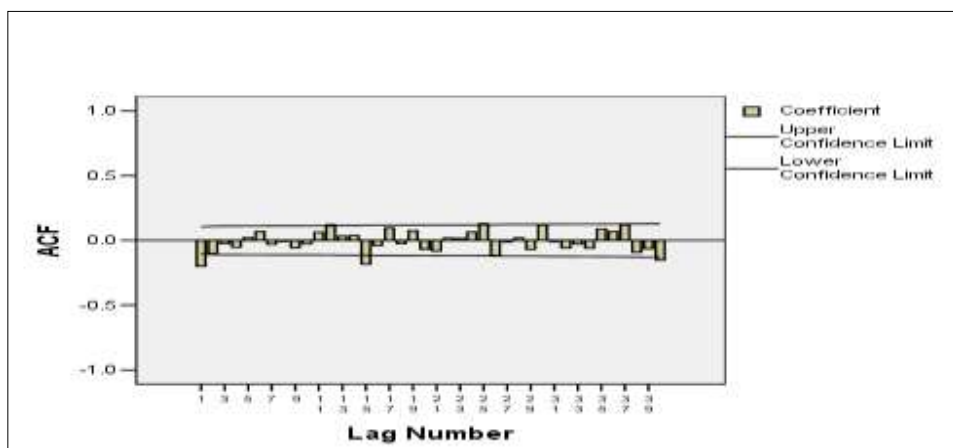


الف- ایستگاه نظرآباد

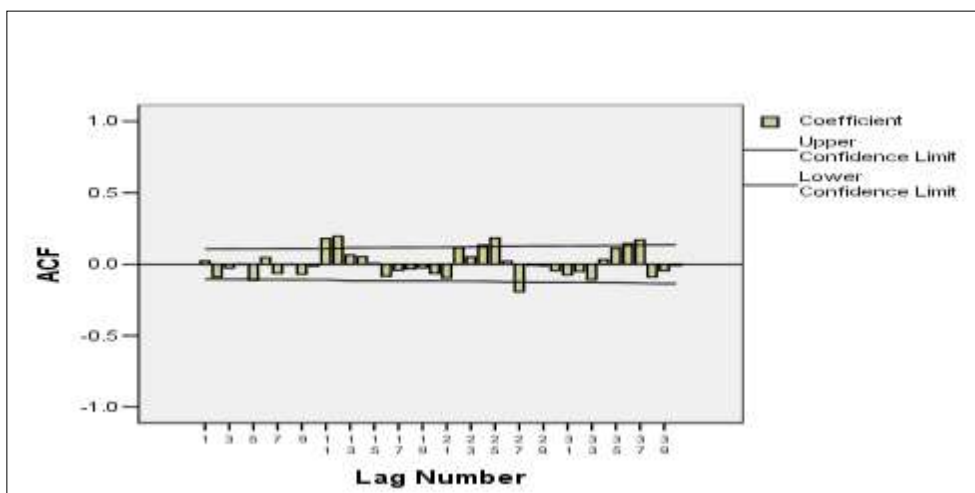


ب- ایستگاه یالقوزآغاج

شکل ۲- مقایسه مقادیر بارش پیش‌بینی و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های الف- ایستگاه نظرآباد و ب- ایستگاه یالقوزآغاج



الف- نظرآباد



ب- ایستگاه یالقوزآغاج

شکل ۳- نمودار خودهمبستگی (ACF) برای مدل‌های انتخاب‌شده در ایستگاه‌های الف- ایستگاه نظرآباد و ب- ایستگاه یالقوزآغاج

۳-۲- روند خشکسالی

روند خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج نشان داد که در هر ۵ ایستگاه مورد مطالعه خشکسالی بین سال‌های آبی ۶۵ و ۶۹-۶۷ و ۷۸-۷۷ و ۸۶-۸۳ قرار داشته‌اند. بیشترین تداوم دوره خشکسالی مربوط به ایستگاه اوربان به مدت ۸ سال از سال ۷۳ تا ۸۰ و بعد از آن بیشترین تداوم دوره خشکسالی مربوط به ایستگاه‌های سلماس، چهریق و نظرآباد (۷۴-۸۰) به مدت ۷ سال و چهریق (۵۸-۶۳) و نظرآباد (۸۱-۸۶) می‌باشد که دوره تداوم آن ۶ سال بوده است. از نظر تعداد وقوع سال‌های خشکسالی تمامی ایستگاه‌ها بیش از نصف سال‌های آماری در وضعیت خشکسالی بوده‌اند. به طور متوسط در حوضه آبریز دشت سلماس ۸/۳ سال وقوع خشکسالی داشته است. برای ۷ سال آتی نیز طبق نتایج حاصله در جدول (۵) بیشترین تعداد خشکسالی در ایستگاه اوربان در یک دوره ۵ ساله و در ایستگاه‌های چهریق علیا، یالقوزآغاج و نظرآباد در ۴ سال آینده و در ایستگاه سلماس در یک دوره ۲ ساله اتفاق می‌افتد. به طوریکه خشکسالی‌ها در دوره ۷ سال آتی در مقایسه با ۳۰ سال گذشته در ایستگاه‌های اوربان، چهریق و یالقوزآغاج روند افزایشی را نشان دادند. از سوی دیگر نتایج حاصل از پژوهش Marofi et al. (2014) نشان داد بهترین مدل‌ها برای ایستگاه فرودگاه همدان SARIMA(0,0,1)(0,1,1)، ایستگاه سینوپتیک بهار SARIMA(0,1,1)(1,0,0)، ایستگاه کبودرآهنگ SARIMA(0,0,1)(0,1,1) و ایستگاه نوژه همدان SARIMA(0,0,1)(0,1,1) بوده، که این مدل‌ها در بررسی خشکسالی نتایج ضعیفی از خود نشان دادند.

جدول ۵- وضعیت خشکسالی هواشناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه در ۳۰ سال گذشته

سال	بارش سالانه	شاخص توزیع	دوره تداوم	طول دوره	تاریخ رخداد
ایستگاه سلماس					
۸۸	۲۱۹,۸۷	-۱,۴۴	۱	۱	۱۳۸۵
۸۹	۲۵۹,۳۹	۰,۸۷		۲	۱۳۶۰-۱۳۶۱
۹۰	۲۵۸,۷۶	۰,۸۴		۱	۱۳۶۵
۹۱	۲۳۱,۱۴	-۰,۷۶	۲	۳	۱۳۶۷-۱۳۶۹
۹۲	۲۳۰,۸۲	-۰,۷۸		۷	۱۳۷۴-۱۳۸۰
۹۳	۲۴۶,۶۶	۰,۱۵		۲	۱۳۸۳-۱۳۸۴
۹۴	۲۶۳,۸۸	۱,۱۲		۱	۱۳۸۶
ایستگاه اوربان					
۸۸	۲۹۲,۶۹	۱,۴۴		۳	۱۳۵۸-۱۳۶۰
۸۹	۳۰۴,۰۸	۱,۴۹		۱	۱۳۶۵
۹۰	۲۹۳,۳۴	-۰,۶۱		۳	۱۳۶۷-۱۳۶۹
۹۱	۳۲۸,۲۲	-۰,۶۱		۸	۱۳۷۳-۱۳۸۰
۹۲	۳۱۰,۶۳	-۰,۶۱	۵	۲	۱۳۸۳-۱۳۸۴
۹۳	۳۱۷,۱۹	-۰,۵۱		۱	۱۳۸۶
۹۴	۳۱۸,۶۸	-۰,۵۹			
ایستگاه چهریق علیا					
۸۸	۳۹۷,۹۸	-۰,۲۳	۱	۶	۱۳۵۸-۱۳۶۳
۸۹	۵۰۰,۷۲	۱,۸۴		۱	۱۳۶۵
۹۰	۴۰۷,۴۸	-۰,۰۲	۱	۳	۱۳۶۷-۱۳۶۹
۹۱	۴۰۹,۱۷	۰,۰۱		۳	۱۳۷۶-۱۳۷۸
۹۲	۳۳۶,۵۷	-۱,۵۹	۱	۲	۱۳۸۳-۱۳۸۴
۹۳	۴۱۴	۰,۱۱		۱	۱۳۸۶
۹۴	۴۰۲,۶۳	-۰,۱۳	۱		
ایستگاه یالقوزآغاج					

جدول ۵- ادامه

سال	بارش سالانه	شاخص توزیع	دوره تداوم	طول دوره	تاریخ رخداد
۸۸	۱۶۴,۶۸	-۰,۲۲	۱	۲	۱۳۶۱-۱۳۶۲
۸۹	۱۷۶,۰۲	۱,۳۹		۱	۱۳۶۵
۹۰	۱۶۵,۷۴	-۰,۰۷	۲	۳	۱۳۶۷-۱۳۶۹
۹۱	۱۵۸,۸۷	-۱,۰۶		۲	۱۳۷۳-۱۳۷۴
۹۲	۱۵۹,۰۸	۱,۰۳		۳	۱۳۷۶-۱۳۷۸
۹۳	۱۶۴	-۰,۳۲	۱	۲	۱۳۸۰-۱۳۸۱
۹۴	۱۷۵,۴۵	۱,۳۱		۲	۱۳۸۳-۱۳۸۴
				۱	۱۳۸۶
ایستگاه نظرآباد					
۸۸	۳۲۹,۰۴	-۱,۰۴	۴	۱	۱۳۵۸
۸۹	۳۵۴,۵۷	-۰,۵۳		۱	۱۳۶۵
۹۰	۳۸۱,۷۷	-۰,۰۱		۵	۱۳۶۷-۱۳۷۱
۹۱	۳۴۱,۴۱	-۰,۷۹		۲	۱۳۷۴-۱۳۷۵
۹۲	۳۸۵,۷۸	۰,۰۶		۳	۱۳۷۷-۱۳۷۹
۹۳	۳۹۹,۹۸	۰,۳۳		۶	۱۳۸۱-۱۳۸۶
۹۴	۴۹۴,۸۶	۱,۹۸			

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از داده‌های ۳۰ ساله بارش ماهانه و مدل سری زمانی به پیش‌بینی بارش ماهانه ۷ سال آینده پرداخته شد. نتایج این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱- در بررسی مدل‌های مختلف سری زمانی و به کارگیری معیار اطلاعاتی آکاییکه، مدل ARMA به عنوان بهترین مدل جهت پیش‌بینی بارش ماهانه چهار ایستگاه انتخاب شد که این بیانگر قابلیت بالای مدل‌سازی مدل‌های خود همبسته با میانگین متحرک است.

۲- شاخص حداقل مربعات خطا برای مدل‌های به دست آمده در ایستگاه‌ها نشان داد که مقادیر محاسبه شده مدل ARIMA نسبت به سه مدل دیگر اختلاف زیادی با مقادیر واقعی دارند که این برای پیش‌بینی سری‌های ماهانه بارش در پژوهش حاضر کارایی ندارد.

۳- بر اساس شاخص استاندارد بارش SPI بیشترین شدت خشکسالی در گذشته و آینده مربوط به ایستگاه اوربان بوده و این ایستگاه دارای آسیب‌پذیری بیشتری می‌باشد.

۴- می‌توان جهت بررسی خشکسالی‌ها در آینده عامل دما را در حوضه مورد مطالعه دخالت داد و به پیش‌بینی خشکسالی فصلی و اثرات آن بر روی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه پرداخت.

References

- Abdollahzhad K. (2015). Random models predict monthly rainfall time series (Case Study: Hashim station, Gorgan). *J. Geo-Spatial Plan.*, 5(17), 15-25 [In Persian].
- Aguilera A. M., Escabias M. and Valderrama M. J. (2008). Forecasting binary longitudinal data by a functional PC-ARIMA model. *Comput. Statist. Data Anal.*, 52(6), 3187-3197.
- Akbari M. and Bashiri M. (2015). Modeling and forecasting of monthly precipitation using time series analysis. 1st National Conference on Agricultural and Environmental Sciences, Iran [In Persian].
- Bashiri A. Moemenpor A. Bashiri J. and Mohamadi N. (2016). River flow modeling using linear models for time series Case Study: River Zarinneh. 6th Water Resources Management Conference [In Persian].
- Box G. E. P. and Jenkins G. M. (1976). *Time series analysis: forecasting and control*. Oakland, CA: Holden-day, 2nd Edition, 2-4pp.
- Bozorgnia A. (1987). *Time series analysis and forecasting*, Astan Quds Razavi Publisher, Mashhad. 55pp [In Persian].
- Chow W. T. and Kareljoti S. J. (1970). Analysis of stochastic hydrologic systems. *Water Resour. Res.*, 16, 1569-1582.
- Ghorbanpoor M. A., Abbaspoor K., Jalalvand G. and Ashtiani Moghadam G. (2010). Stochastic modeling of surface stream flow at different time scales: Sangsoorakh karst basin, Iran. *J. Cave Karst Stud.*, 72, 1-10.
- Jabari I. (2006). *Statistical methods in environmental sciences and geography*, Kermanshah, Razi University. 25pp [In Persian].
- Karamoz M. and Araqinezhad Sh. (2005). *Advanced hydrology*. Industrial University Amirkabir, 480pp [In Persian].
- Khalili K. (2009). *Application of nonlinear time series models for short-term modeling of the river (case study: Shahrchay Urmia)*. PhD Thesis, Faculty of Agricultural Sciences Tabriz University, Tabriz. Iran, 35pp [In Persian].
- Khiri H. and Moqim Gh. R. (2014). Annual precipitation forecast Bojnoord using ARIMA model. 4th Conference on Environment, Energy and Bio-defense, Iran [In Persian].
- Komomik J., Komomik M., Mesiar R., Szokeova D. and Szolgay J. (2006). Comparison of forecasting performance of nonlinear models of hydrological time series. *Phys. Chem. Earth*, 31, 1127-1145.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints 8th Conference on Applied Climatology*, 179-184
- Marofi S., Khatar B., Sadeqifar M., Parsafar N. and Eldormi A.R. (2014). Using time-series prediction of drought SARIMA index SPI, in the central region of the province. *J. Water Agri.*, 28(1), 213-225 [In Persian].

-
- Mirmousavi S. H., Jalali M., Bkhty Grossi H. and Khaef N. (2014). Time series analysis of rainfall patterns in Khoy weather station. *Geogr. Space*, 14(47), 1-17 [In Persian].
- Nasaji M. (2001). Determine the drought periods of drought indices using SPI, the first national conference examining ways of dealing with the water crisis, Zabol University, Zabol, Iran. 65pp [In Persian].
- Niromand H. and Bozorgnia A. (1993). A review of time series analysis, University of Mashhad. 77pp [In Persian].
- Rossi G., Bendini M., Tsakiris G. and Giakoumakis S. (1992). On regional drought estimation and analysis. *Water Resour. Manag.*, 6(4), 249-277.
- Thomas H. A. and Fiering M. B. (1962). Mathematical synthesis of stream flow sequences for the analysis of river basins by simulation. In design of water resources systems, ed. A. Mass, et al. Cambridge. *Water Resour.*, 5, 228-267.

Prediction and Analysis of Meteorological Drought Based on Time Series (Case Study: Salmas Watershed)

Motaleb Byzedi^{1*}, Maroof Siosemardeh² and Azita Asragah³

¹Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

² Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

³ Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

*Corresponding author: m.byzedi@gmail.com

Received: November 30, 2016

Accepted: July 24, 2016

Abstract

Time series analyses is a base method for more decisions about hydrological process and water operation. In Iran, drought is a continues and normal condition happening frequently and can be predicted by statistical and mathematical methods and models. In this research, meteorological drought was analyzed in 5 stations of Salmas region (Nazarabad, Salmas, Yalgozagaj, Chahrygeolya and Urban) located in West Azarbijan Province, Iran. For this purpose, the monthly rainfall time series, 30 years lengths (1979-2008) for these stations were simulated by times series models as: AR, MA, ARMA and ARIMA. Then the best model was used for forecasting the drought. Then the monthly rainfalls were predicted for next 7 years using the chosen model. In the following, the intensity of droughts was calculated by standard precipitation index (SPI). The final model chosen for the stations of Nazarabad, Salmas, Yalgozagaj, Chahrygeolya and Urban were the ARMA(1,1), ARMA(3,2), ARMA(1,1), ARMA(2,3) and ARMA(4,2) models, respectively. The results showed that for 30 years (1978-2008), drought had increasing trend just in Nazarabad station, while in other stations such as Salmas, Yalgozagaj, Chahrygeolya had decreasing trend.

Keywords: Times Series, Meteorological Drought, Forecasting, Trend.