

پیش‌بینی خشک‌سالی استان اصفهان با استفاده از الگوهای مختلف سری زمانی

سید سعید اسلامیان، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
محمد هادی بذرکار^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس
سید فرهاد موسوی، استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۹/۲۶

دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۳/۱۶

چکیده

بارندگی یکی از عوامل اصلی در ایجاد خشک‌سالی است که کم‌بود آن، جریان‌های سطحی و زیرزمینی، دریاچه‌ها و به‌طور کلی منابع آب را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. پیش‌بینی بارندگی در سال‌های آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی منابع آب مؤثر واقع شود. الگوهای سری زمانی، این امکان را در اختیار برنامه‌ریزان منابع آب قرار می‌دهد. هدف از انجام پژوهش حاضر پیش‌بینی خشک‌سالی استان اصفهان با برازش الگوهای مختلف سری زمانی به داده‌های ماهانه بارندگی ایستگاه‌های استان می‌باشد. الگوهای مورد بررسی شامل ماهانه و فصلی، نمایی سالانه و میانگین متحرک سه، پنج، هفت‌ساله و سینوسی می‌باشد. ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده برای تحلیل سری زمانی ۲۴ ایستگاه است که طول دوره آماری آن‌ها متغیر و بین حداکثر ۴۴ سال (۲۰۰۰-۱۹۵۷) و حداقل ۱۱ سال (۱۹۹۷-۱۹۸۷) قرار داشت. نتایج نشان می‌دهد که ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر برازش الگوی ARIMA به سه گروه مناسب، نامناسب و متوسط تقسیم شده که به ترتیب نه، پنج و چهار ایستگاه در آن قرار می‌گیرد. هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهد که ایستگاه‌های اصفهان و کاشان علی‌رغم آمار بارندگی طولانی، دارای برازش نامناسب‌تری نسبت به دیگر ایستگاه‌های منطقه می‌باشند. بنابراین، صرف طولانی بودن آمار بارندگی نمی‌توان برازش بهتر سری زمانی را انتظار داشت. با توجه به نتایج حاصل می‌توان اظهار داشت که استفاده از الگوهای ARIMA به‌منظور مدل‌سازی سری میانگین متحرک سالانه می‌تواند در بررسی روند خشک‌سالی سودمند واقع شده و به‌عنوان الگوهایی برای این رفتار باشد.

واژه‌های کلیدی: بحران آب، جریان سطحی، خشکی، کمبود آب، منابع آب

مقدمه

خشک‌سالی یعنی کمبود بارش در بلندمدت به‌نحوی که باعث کمبود رطوبت خاک و کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی شود و فعالیت‌های انسان و گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. خشکی یک صفت اقلیمی و نوعی ویژگی پایدار آب و هوا در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که در آن بارش برای رشد و تداوم حیات کفایت نمی‌کند. در خشک‌سالی کاهش و بی‌نظمی بارش به‌حدی است که در آن روند عادی رشد، تولید محصول و رابطه متعارف و متوازن انسان و محیط مختل می‌شود. از این‌رو، خشک‌سالی صرفاً محدود به مناطق خشک دنیا نمی‌شود و در هر نوع اقلیمی، حتی در مناطقی که بارندگی سالانه آن‌ها بیش از ۱۵۰۰ میلی‌متر است، احتمال وقوع آن وجود دارد (امینی، ۱۳۷۹). با توجه به حساسیت سینوپتیک جوی در مناطق خشک، خشک‌سالی خسارات زیادی را به‌دنبال دارد. پدیده خسارت‌بار خشک‌سالی تأثیر منفی روی زندگی انسان‌ها، گیاهان و جانوران داشته و دارای مقیاس محلی، منطقه‌ای و

^۱ نویسنده مسئول bazrkar@gmail.com

جهانی است (اسلامیان و چاوشی بروجنی، ۱۳۷۹). منابع اقتصادی زیادی در اثر خشک‌سالی آسیب می‌بینند و صدمات جبران‌ناپذیری بر آن‌ها وارد می‌شود.

خشک‌سالی انواع مختلفی شامل خشک‌سالی جوی (کمبود بارش نسبت به مقدار نرمال و عادی)، خشک‌سالی هیدرولوژیک (کمبود جریان‌های سطحی در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها)، خشک‌سالی کشاورزی (کمبود رطوبت خاک) و خشک‌سالی اقتصادی-اجتماعی (کمبود سطح درآمد ناشی از فقر) دارد. از نقطه نظر هیدرولوژیک، خشک‌سالی زمانی به‌وقوع می‌پیوندد که نه‌تنها نزولات جوی، بلکه جریان رودخانه‌ها، جریان آب زیرزمینی و مقدار آب ذخیره شده نیز با کمبود روبه‌رو شود.

شاخص‌های مختلف اندازه‌گیری اثرات خشک‌سالی شامل شاخص درصد نرمال (PPN)، شاخص شدت خشک‌سالی پالم (PDSI)، شاخص رطوبت گیاه (CMI)، شاخص منابع آب سطحی، شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، شاخص احیای خشک‌سالی و شاخص پتانسیل کشاورزی هیدرولوژی است. در میان این روش‌ها، روش SPI از جایگاه مناسبی برخوردار است و تحلیل نسبتاً دقیقی را ارائه می‌دهد (رضائی پزند و مهدی‌پور، ۱۳۸۰).

مطالعات متعددی در زمینه عوامل مؤثر در خشک‌سالی هیدرولوژیک به‌روش تحلیل منطقه‌ای جریان‌های حداقل انجام شده که به‌عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های Nathan و McMahon (۱۹۹۲) در جنوب شرقی استرالیا، Vogel و Kroll (۱۹۹۰) در ماساچوست و Tasker (۱۹۸۷) برای برآورد ویژگی‌های جریان کم آبراهه‌ها اشاره کرد. شدت و حجم خرابی‌های ناشی از وقوع خشک‌سالی و هجوم سیلاب و روند فزاینده آن ایجاب می‌کند تا تدابیر مؤثر و اساسی‌تری برای پیش‌گیری از این وقایع به‌عمل آید. خسارات وارده در سطح جهان از بابت حوادث غیرمترقبه که عمده‌ترین آن‌ها سیل و خشک‌سالی است، در دهه ۱۹۹۰ نسبت به دهه ۱۹۸۰ بیش از ۳۰ درصد افزایش یافته است. در ایران نیز چنین مطالعاتی درباره علل و اثرات خشک‌سالی انجام گرفته که به‌برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

در استان اصفهان، کشت بیش‌تر به‌صورت آبی انجام می‌گیرد. از ۳۵۹۰۶۹ هکتار زمین‌های زیر کشت در سال ۱۳۷۷، ۳۳۳۲۹۱ هکتار کشت آبی بوده است که نشان‌دهنده وابستگی شدید کشاورزی در این استان به آب رودخانه زاینده‌رود و آب‌های زیرزمینی می‌باشد (کرباسی، ۱۳۸۰). از آثار خشک‌سالی سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۸۰ در این منطقه می‌توان به کاهش شدید سطح زیر کشت محصولات، کاهش عمل‌کرد محصولات در واحد سطح و کاهش درآمد کشاورزان اشاره کرد.

براساس ۳۸ سال آمار بارندگی شهر زابل (۲۰۰۰-۱۹۶۳)، بارندگی چهار سال بعدی پیش‌بینی شده است (رضائی پزند و مهدی‌پور، ۱۳۸۰). در این پژوهش، الگوی (یک و یک) ARMA مناسب تشخیص داده شد. شهاب‌فر و قیامی (۱۳۸۰) با استفاده از سری‌های زمانی، اقدام به مدل‌سازی سری سالانه بارندگی مشهد نموده‌اند. نتایج اولیه حاکی از آن است که مدل (سه، سه، صفر) ARIMA بر این سری برازش بهتری دارد.

حجازی‌زاده و قهرودی تالی (۱۳۷۹) مدل پیش‌بینی خشک‌سالی را در کرمان توسعه دادند. پرهمت و همکاران (۱۳۷۹) طول دوره‌های خشک‌سالی، توالی تکرار آن‌ها و شدت خشک‌سالی حوضه کارون را با استفاده از روش میانگین متحرک مورد مطالعه قرار دادند. اسلامیان و همکاران (۱۳۷۹) نیز سری‌های زمانی جریان کم را با تداوم‌های مختلف برای تعدادی از رودخانه‌های حوزه آبخیز مازندران بررسی کرده‌اند.

هدف از پژوهش حاضر پیش‌بینی خشک‌سالی استان اصفهان با برازش مدل‌های مختلف به داده‌های ماهانه بارندگی ایستگاه‌های استان می‌باشد. سری‌های مورد بررسی شامل ماهانه، ماهانه فصلی، نمایی، سالانه، میانگین متحرک سه، پنج و هفت‌ساله و سینوسی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان اصفهان از دیدگاه اقلیمی نسبتاً متنوع است. بخش‌های شمالی، شرقی و میانی آن دارای اقلیمی خشک و کویری است و بارندگی در آن‌ها حدود ۱۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. در بخش‌های جنوب‌غربی و غربی استان، اقلیمی خنک و مرطوب وجود دارد و حداکثر بارش در ارتفاعات این منطقه بیش از ۱۴۰۰ میلی‌متر

تخمین زده شده است (تهران برکلی-زاینداب، ۱۳۶۵). مقدار بارش سالانه در بیش از ۸۵ درصد از گستره استان اصفهان از ۳۰۰ میلی متر کم تر است و میانگین سالانه بارش آن ۱۷۰ میلی متر است. میانگین تغییرپذیری زمان بارش در این استان حدود ۴۵ درصد است و تغییرپذیری حدود ۳۰ درصد از آن از درصد فراتر می رود (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۸). در شرایطی که هدف بررسی تغییرات زمانی داده های بارندگی باشد، می توان از روش میانگین متحرک استفاده کرد (علیزاده و همکاران، ۱۳۷۶).

روش انجام پژوهش: در این پژوهش، آمار بارندگی کلیه ایستگاه های هواشناسی منطقه مورد مطالعه جمع آوری و تحلیل شد. جداول ۱ و ۲ فهرست این ایستگاه ها را نشان می دهند. جدول ۱ ایستگاه های با آمار کامل و جدول ۲ ایستگاه های با آمار بسیار اندک و یا گم شده را شامل می شود.

با استفاده از روش تحلیل سری های زمانی مدل های مختلف (ARIMA, ARMA, AM, AR) و برازش آن ها بر داده های ماهانه بارندگی روند تغییرات بارندگی پیش بینی شد. سری های مورد بررسی شامل ماهانه، ماهانه فصلی، نمایی، سالانه، میانگین متحرک سه، پنج و هفت ساله و سینوسی می باشد.

مراحل انجام پژوهش به ترتیب شامل جمع آوری گزارش ها، مقالات و مطالعات هواشناسی انجام شده در محدوده استان اصفهان، جمع آوری آمار و اطلاعات بارندگی ماهانه و سالانه در کلیه ایستگاه های هواشناسی منطقه مورد مطالعه، بررسی هم گنی آمار بارندگی، کنترل و در صورت لزوم بازسازی داده ها، برازش مدل های مختلف سری های زمانی به داده های بارندگی به صورت مجزا در کلیه ایستگاه های هواشناسی منطقه، پیش بینی بارندگی سالانه برای یک دوره پنج یا ۱۰ ساله (بسته به طول دوره آماری داده های موجود در هر ایستگاه)، تعیین دوره های خشک سالی و ترسالی با استفاده از روش میانگین متحرک سه، پنج و هفت ساله، تعیین بهترین مدل برازش آمار بارندگی و بررسی اعتبار مدل های مختلف سری زمانی و روش های محاسبه میانگین متحرک می باشد.

اکثر مدل های پیش بینی بارندگی برای مناطق مرطوب و پرباران توسعه یافته اند. لذا، در این پژوهش، علاوه بر ایستگاه های ذکر شده، آمار بارندگی ماهانه ایستگاه بندر انزلی (در استان گیلان) با طول جغرافیایی ۲۸° ۴۹' عرض جغرافیایی ۲۸° ۳۷' و ارتفاع از سطح دریا ۲۶/۲- متر برای سال های ۱۹۹۷-۱۹۷۴ نیز استفاده شد و برازش مدل های مختلف پیش بینی بارندگی برای این ایستگاه با ایستگاه کم باران اصفهان مقایسه شد.

برای تعیین میزان بارندگی فصلی (زمستان، بهار، تابستان و پاییز)، از اطلاعات بارندگی ماهانه استفاده شد. همچنین، بارندگی سالانه و میانگین متحرک سالانه از اطلاعات ماهانه تهیه شد.

تحلیل سری های زمانی با دو هدف درک یا مدل نمودن روند پدیده تصادفی مورد نظر که منجر به مشاهده سری می شود و پیش بینی مقادیر آینده سری، بر مبنای گذشته آن انجام می شود. یافتن الگوهای مناسب برای سری های زمانی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این پژوهش، به منظور توسعه یک الگو از روش چندمرحله ای Box و Jenkins (۱۹۷۶) استفاده شد. در این روش، سه مرحله عمده تشخیص (یا شناسایی) الگو، برازش الگو و تشخیص درستی الگو وجود دارد که ممکن است هر یک از آن ها چندین بار استفاده شود.

در مرحله تشخیص یا شناسایی الگو، دسته ای از الگوهای سری زمانی مناسب بر اساس معیار برازش مناسب با سری زمانی مشاهده شده انتخاب شد. در این مرحله، با توجه به نمودار سری زمانی آماره های مختلف از داده ها محاسبه شد. الگویی که در این مرحله انتخاب می شود، ممکن است با توجه به نتایج تحلیل سری زمانی تغییر یابد.

الگوهای ARIMA: هرگاه تفاضل مرتبه d م آن $(W_t = \nabla^d Z_t)$ یک فرآیند ARMA ایستا باشد، سری $\{Z_t\}$ از یک الگوی اتورگرسیو-میانگین متحرک تلفیق شده پیروی می کند. در عمل می توان d را برابر با یک یا حداکثر دو در نظر گرفت. در مسئله بارندگی با مدل نمودن تفاضل مرتبه اول در واقع به جای متغیر میزان بارندگی از تغییرات میزان بارندگی بین دو دوره زمانی متوالی استفاده می شود.

حال با در نظر گرفتن فرآیند $ARIMA(P, 1, q)$ و با فرض $W_t = Z_t - Z_{t-1}$

$$W_t = \phi_1 W_{t-1} + \phi_2 W_{t-2} + \dots + \phi_p W_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (1)$$

و برحسب سری مشاهده شده می توان نوشت:

$$Z_t - Z_{t-1} = \varphi_1(Z_{t-1} - Z_{t-2}) + \varphi_2(Z_{t-2} - Z_{t-3}) + \dots + \varphi_p(Z_{t-p} - Z_{t-p-1}) + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (2)$$

که می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$Z_t = (1 - \varphi_1)Z_{t-1} + (\varphi_2 - \varphi_1)Z_{t-2} + (\varphi_3 - \varphi_2)Z_{t-3} + \dots + (\varphi_p - \varphi_{p-1})Z_{t-p} - \varphi_p Z_{t-p-1} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (3)$$

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده برای بررسی تحلیل سری‌های زمانی بارش استان اصفهان

شماره	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مدل‌های مورد بررسی	دوره مورد مطالعه
۱	آران	۵۱° ۲۹'	۳۴° ۰۴'	ماهانه	۱۹۸۷-۹۷
۲	اصفهان	۵۱° ۵۲'	۳۲° ۴۰'	ماهانه، ماهانه فصلی، نمایی، سالانه، میانگین متحرک، سینوسی	۱۹۵۷-۲۰۰۰
۳	امین‌آباد	۵۱° ۳۴'	۳۲° ۴۶'	ماهانه، ماهانه فصلی، نمایی، سالانه، میانگین متحرک، سینوسی	۱۹۷۷-۹۵
۴	پیکان	۵۲° ۱۰'	۳۲° ۱۳'	ماهانه، هموارساز نمایی، سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۵	تاد	۵۱° ۳۱'	۳۲° ۲۷'	ماهانه، نمایی، سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۶	چادگان	۵۰° ۳۳'	۳۲° ۵۰'	ماهانه، نمایی، سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۷	چاه ملک	۵۴° ۴۰'	۳۳° ۴۶'	ماهانه، نمایی، سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۸	چوپانان	۵۴° ۱۹'	۳۳° ۳۳'	سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۹	حنا	۵۱° ۴۴'	۳۱° ۱۳'	ماهانه، نمایی، سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۱۰	خمینی‌شهر	۵۱° ۳۲'	۳۲° ۴۱'	ماهانه، نمایی، سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۱۱	دامنه	۵۰° ۲۹'	۳۳° ۱'	نمایی، سالانه، میانگین متحرک	۱۹۷۵-۲۰۰۰
۱۲	شرق اصفهان	۵۱° ۵۱'	۳۲° ۴۵'	ماهانه، نمایی، سالانه، میانگین متحرک، سینوسی	۱۹۷۵-۲۰۰۰
۱۳	شهرضا	۵۱° ۳۴'	۳۲° ۴۶'	—	۱۹۸۷-۹۷
۱۴	فرخی‌نابین	۵۴° ۵۵'	۳۳° ۵۱'	ماهانه، نمایی، سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۱۵	کاشان	۵۱° ۲۷'	۳۳° ۵۹'	ماهانه، ماهانه فصلی، نمایی، سالانه، میانگین متحرک	۱۹۶۶-۹۵
۱۶	کردعلیا	۵۰° ۴۲'	۳۲° ۵۵'	نمایی، سالانه	۱۹۷۵-۹۷
۱۷	کلشادرخ	۵۱° ۰۵'	۳۲° ۲۱'	ماهانه، نمایی، سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۱۸	کوهپایه	۵۲° ۲۶'	۳۲° ۴۳'	ماهانه، نمایی، سالانه	۱۹۷۵-۲۰۰۰
۱۹	مورچه خورت	۵۱° ۳۰'	۳۳° ۵'	سالانه	۱۹۸۷-۹۷
۲۰	مهاباد اردستان	۵۲° ۱۴'	۳۳° ۳۴'	ماهانه، نمایی، سالانه	۱۹۶۴-۷۸
۲۱	مهرگرد	۵۱° ۳۱'	۳۱° ۳۳'	نمایی، سالانه	۱۹۷۵-۲۰۰۰
۲۲	میمه	۵۱° ۱۰'	۳۳° ۲۶'	ماهانه، نمایی، سالانه، میانگین متحرک	۱۹۷۵-۲۰۰۰
۲۳	نجف‌آباد	۵۱° ۲۲'	۳۲° ۳۸'	ماهانه، نمایی، سالانه، میانگین متحرک	۱۹۷۵-۲۰۰۰
۲۴	همگین	۵۱° ۲۷'	۳۱° ۵۵'	ماهانه، ماهانه فصلی، نمایی، سالانه، میانگین متحرک	۱۹۶۴-۹۸

که این شکل، معادله تفاضلی الگو نامیده می‌شود. توجه شود که این یک فرآیند $ARMA(p+1,q)$ است. لذا چندجمله‌ای مشخصه آن عبارت است از:

$$1 - (1 + \varphi_1)X - (\varphi_2 - \varphi_1)X^2 - (\varphi_3 - \varphi_2)X^3 - \dots - (\varphi_p - \varphi_{p-1})X^p + \varphi_p X^{p+1} = (1 - \varphi_1 X - \varphi_2 X^2 - \dots - \varphi_p X^p)(1 - X) \quad (4)$$

که آن را به سهولت می‌توان بررسی کرد. در این تجزیه، ریشه $X=1$ مشاهده می‌شود که دال بر نایبستگی است. بنابراین، ریشه‌های دیگر، ریشه‌های چندجمله‌ای مشخصه فرآیند نایبستگی ∇Z_t می‌باشند.

جدول ۲- ایستگاه‌های با آمار ناقص و یا با آمار گم‌شده

شماره	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دوره آماری
۱	فلاورجان	۵۱° ۳'	۳۲° ۳۴'	۱۹۸۷-۹۷
۲	زواره	۵۲° ۳۳'	۳۳° ۲۷'	۱۹۸۸-۹۷
۳	گرمه	۵۴° ۵۹'	۳۲° ۳۳'	۱۹۹۶-۹۷
۴	طالخنچه	۵۱° ۳۶'	۵۲° ۱۶'	۱۹۹۶-۹۷
۵	غم بوان	۵۱° ۳۹'	۳۲° ۹'	۱۹۹۵-۹۷
۶	قلعه سرخ	۵۰° ۱۴'	۳۲° ۴۳'	۱۹۹۴-۹۷
۷	خوانسار	۵۰° ۶'	۳۲° ۲۰'	۱۹۹۵-۹۷
۸	اسفرجان	۵۰° ۶'	۳۱° ۴۰'	۱۹۹۱-۹۷
۹	دهاقان	۵۱° ۵'	۳۱° ۵۹'	۱۹۹۴-۹۷
۱۰	فراموشجان	۵۰° ۲'	۳۲° ۴۰'	۱۹۹۶-۹۷
۱۱	اسلام‌آباد شاتور	۵۲° ۱'	۳۲° ۳۰'	۱۹۹۶-۹۷
۱۲	اسلام‌آباد پیشکوه	۴۹° ۳۷'	۳۳° ۲'	۱۹۹۵-۹۷
۱۳	مبارکه (لنجان)	۵۲° ۴'	۳۱° ۴'	۱۹۸۷-۹۷
۱۴	زرین‌شهر	۵۱° ۲۳'	۳۲° ۲۴'	۱۹۹۳-۹۷
۱۵	دولت‌آباد برخوار	۵۱° ۴۰'	۳۲° ۴۸'	۱۹۸۹-۹۶
۱۶	کللی	۵۰° ۱۸'	۳۲° ۵۰'	۱۹۸۷-۹۷
۱۷	سواران فریدن	۵۰° ۲۱'	۳۲° ۵۳'	۱۹۸۹-۹۷

شکل صریح سری مشاهده شده Z_t بر حسب W_t یا سری اغتشاش خالص W_t مورد نظر، مشکل‌تر از حالت ایستاست، زیرا فرآیندهای نایبستا در تعادل آماری نیستند. بنابراین، آن‌ها را نمی‌توان از $t=-\infty$ شروع کرد و یا برای گذشته بی‌نهایت دور در نظر گرفت. در عین حال می‌توان شروع فرآیند را از نقطه‌ای مانند $t=-m$ که m جلوتر از $t=1$ (که سری ابتدا در آن نقطه مشاهده شده) است، فرض کرد. برای سهولت، فرض می‌شود که به ازای $t < -m$ ، $Z_t = 0$ باشد و سپس با جمع کردن دو طرف معادله $Z_t - Z_{t-1} = W_t$ از $t=-m$ تا $t=t$ می‌توان این معادله را حل کرد تا شکل صریح زیر برای فرآیند $ARIMA(p,2,q)$ حاصل شود.

$$Z_t = \sum_{j=0}^{t+m} W_{t-j} \quad (5)$$

در مورد فرآیند $ARIMA(p,1,q)$ با دوبار جمع کردن می‌توان به شکل زیر دست پیدا کرد:

$$\sum_{i=-m}^j = \sum_{j=0}^{t+m} (j+1)W_{t-j} \quad Z_t = \sum_{j=-m}^t \quad (6)$$

مورد استفاده این فرم‌ها محدود بوده، ولی از آن‌ها برای بررسی خواص کواریانس الگوهای $ARIMA$ و هم‌چنین بیان Z_t بر حسب جملات سری اغتشاش خالص می‌توان استفاده کرد. اگر فرآیند جملات اتورگرسیو نداشته باشد، آن‌را الگوی میانگین متحرک تلفیق شده نامیده و به صورت مختصر با $IMA(d,q)$ و اگر جملات میانگین متحرک نداشته باشد، به صورت $ARI(p,d)$ نشان داده می‌شود.

الگوهای فصلی ARMA: در بخش‌های قبلی الگوهای باکس-جنکینس ایستا و سپس تعمیم آن به الگوهای نایبستا مطرح شد. این گونه الگوها برای تأخیرهای کوتاه (به‌عنوان مثال تأثیر بارندگی یک ماه بر ماه آتی) مناسب می‌باشند. اما

در بسیاری از سری‌های زمانی انتظار رفتارهای دوره‌ای، مناسب به نظر می‌رسند. به‌عنوان مثال در مسئله دمای ماهانه هوای یک منطقه، در ماه‌های زمستان انتظار دمای پایین و در تابستان دمای بالاتر قطعی است. الگوهای فصلی تصادفی برای این‌گونه سری‌ها تعمیم داده شده است. فرض می‌شود s نمایش‌گر دوره فصلی معلوم باشد (برای سری‌های ماهانه $s=12$ و سری‌های فصلی $s=4$) که طبق فرمول:

$$Z_t = a_t - qa_{t-12}$$

تولید می‌شود. توجه شود که:

$$\text{cov}(Z_t, Z_{t-1}) = \text{cov}(a_t - \theta a_{t-12}, a_{t-1} - \theta a_{t-13}) = 0 \quad (7)$$

ولی،

$$\text{cov}(Z_t, Z_{t-2}) = \text{cov}(a_t - \theta a_{t-12}, a_{t-2} - \theta a_{t-14}) = -\theta \sigma_a^2 \quad (8)$$

الگوهای MA فصلی: به‌سادگی مشاهده می‌شود که این سری ایستا است و فقط در تأخیر ۱۲ دارای خود هم‌بستگی مخالف صفر است. الگوی فصلی $MA(Q)$ از مرتبه Q را به‌وسیله روابط ذیل محاسبه می‌شود:

$$Z_t = a_t - q_1 a_{t-s} - q_2 a_{t-2s} - \dots - q_Q a_{t-Qs} \quad (9)$$

با چند جمله‌ای مشخصه فصلی MA :

$$\theta(X) = 1 - \theta_1 X^s - \theta_2 X^{2s} - \dots - \theta_Q X^{Qs} \quad (10)$$

چنین سری همواره ایستاست و تابع خود هم‌بستگی آن فقط در تأخیرهای فصلی $s, 2s, \dots, Qs$ مخالف صفر است و:

$$\rho_{ks} = \frac{-\theta_k + \theta_1 \theta_{k+1} + \theta_2 \theta_{k+2} + \dots + \theta_{Q-k} \theta_Q}{1 + \theta_1^2 + \dots + \theta_Q^2} \quad (11)$$

می‌توان اشاره کرد که الگوهای فصلی $MA(Q)$ را ممکن است به‌عنوان حالت خاص یک الگوی غیرفصلی MA از مرتبه $q=Qs$ تلقی نمود.

الگوهای AR فصلی: در مورد الگوهای اتورگرسیو فصلی فرض می‌شود که:

$$Z_t = fZ_{t-12} + a_t \quad (12)$$

که $|\phi| < 1$ و a_t مستقل از Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots اثبات می‌شود که $|\phi| < 1$ ایستایی را تأمین می‌کند و:

$$\rho_{12k} = \phi^k \quad \text{و} \quad k = 1, 2, \dots \quad (13)$$

از سوی دیگر به‌جز در تأخیرهای $s, 2s, 3s, \dots$ برابر صفر است.

الگوهای فصلی $AR(P)$ از مرتبه P به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$Z_t = f_1 Z_{t-s} + f_2 Z_{t-2s} + \dots + f_p Z_{t-ps} + a_t \quad (14)$$

برای آشنایی بیشتر می‌توان مطرح نمود که اگر بارندگی ماهانه از سری $AR(1)$ فصلی پیروی می‌کند، به این معنا است که $s=12$ ، یعنی بارندگی هر ماه به‌میزان بارندگی ماه مشابه در سال گذشته مرتبط می‌باشد و اگر در مرتبه دو باشد، یعنی $AR(2)$ و بدین مفهوم است که بارندگی در ماه t به‌میزان بارندگی ماه مشابه در دو سال اخیر بستگی دارد.

نتایج و بحث

مسئله مورد بررسی، پیش‌بینی بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان است. لذا، اطلاعات بارندگی این ایستگاه‌ها که به‌طور ماهانه تنظیم شده، استفاده شد و مدل‌های پیش‌بینی کننده مختلفی بر آن‌ها برآزش داده شد. البته به‌دلیل این‌که اطلاعات بارندگی ماهانه برخی از ایستگاه‌ها تنها مربوط به چهار یا پنج سال بوده و این اطلاعات برای برخی از سال‌ها کامل نیست، لذا امکان استخراج نتایج برای کلیه روش‌ها برای این ایستگاه‌ها مقدور نشد. در بعضی از مدل‌ها، کمبود داده‌ها باعث اجرا نشدن آن‌ها شد.

بررسی‌های انجام شده برای تعیین مدل مناسب پیش‌بینی بارندگی بر روی این دو ایستگاه به‌طور خاص مورد توجه بوده است و نتایج حاصل از تعیین بهترین مدل پیش‌بینی برای بقیه ایستگاه‌های استان اصفهان به‌کار رفته است. به‌طور کلی می‌توان مطرح نمود که بسته به سری‌های زمانی مختلف بارندگی، مدل‌های مختلف رفتار متفاوت نشان می‌دهند که مناسب‌ترین مدل‌ها در برازش آن‌ها بر داده‌های بارندگی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مدل‌های مناسب در برازش آن‌ها به سری‌های مختلف بارندگی

نوع مدل	آمار بارندگی
ARIMA - ۱	
ARIMA - ۲ فصلی	ماهانه
ARIMA - ۳ هموارسازی نمایی	
ARIMA	فصلی
ARIMA	میانگین متحرک
روند سینوسی	
ARIMA	سالانه

مدل‌های برازش داده شده به داده‌های ماهانه

مدل‌های ARIMA: به‌منظور برازش مدل‌های ARIMA، بر داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان مدل‌های مختلفی مورد آزمون واقع شد که تقریباً هیچ‌یک نتایج معتبر و قابل قبولی (یا در حد انتظار) ارائه ننمودند. این برازش بر داده‌های ایستگاه بندر انزلی (آمار بارندگی ماهانه سال‌های ۱۹۷۴ الی ۱۹۹۷) به‌عنوان یک ایستگاه پرباران انجام گرفت. نتایج حاصل از برازش مدل ARIMA بر داده‌های بارندگی ایستگاه بندر انزلی حاکی از برازش مناسب این الگو بود (شکل ۱).

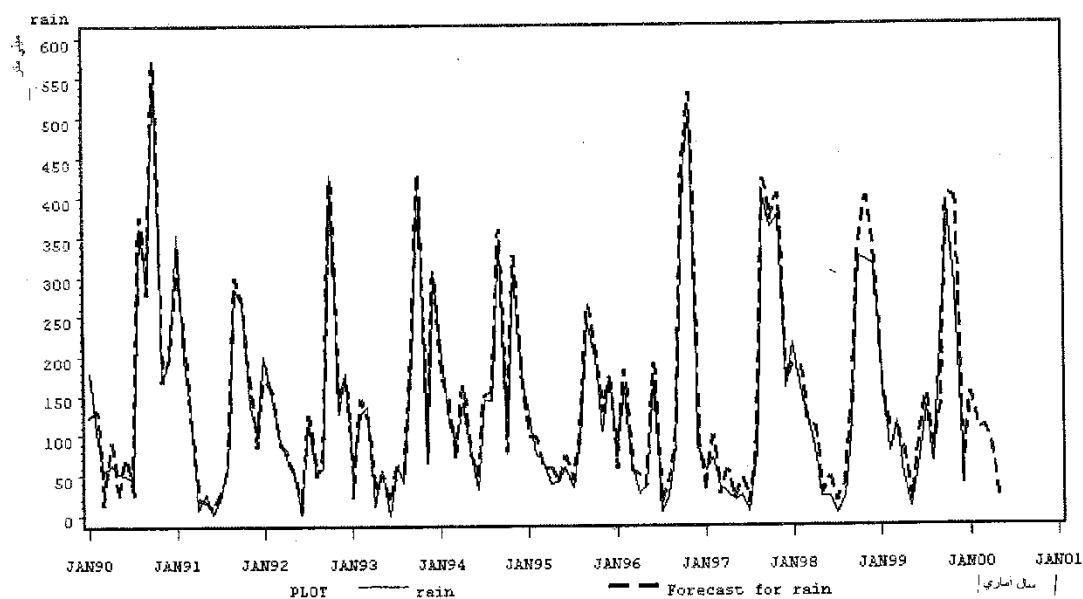
در ادامه مدلی که برای ایستگاه بندر انزلی مناسب به‌نظر می‌رسید، بر داده‌های بارندگی اصفهان برازش داده شد (شکل ۲). مشاهده می‌شود که این برازش به‌خوبی برازش ایستگاه بندر انزلی نیست. علت این امر معمولاً به‌دلیل یک یا چند نقطه (داده) است که از رفتار معمول بارندگی عدول کرده‌اند. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که مدل اصلاً نتوانسته نقاط اوج بارندگی را برازش دهد و لذا قدرت پیش‌بینی بارندگی را ندارد. هم‌چنین، در ماه‌هایی که خشک‌سالی غیرمعمول در ایستگاه اصفهان رخ داده است، مدل نتوانسته رفتار مناسب را تشخیص دهد و لذا برازش مناسب انجام نگرفته است. اما در ایستگاه بندر انزلی که بارندگی رفتار معمول خود را داشته است، در ماه‌هایی که حتی بارندگی صفر نیز وجود داشته، مدل به‌خوبی روند را تشخیص داده و برازش بسیار خوبی انجام گرفته است. این نکته می‌تواند در بررسی خشک‌سالی‌های غیرمعمول کاربرد خوبی داشته باشد.

نکته قابل ذکر دیگر این است که در بین ایستگاه‌های استان اصفهان، ایستگاه‌های اصفهان و کاشان که اطلاعات بارندگی زیادی نیز دارند، برازش نامناسب‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌های منطقه دارند. از سویی، در اکثر موارد در مدل‌های ARIMA غیر از پارامتر اتورگرسیو مرتبه اول، بقیه پارامترها از لحاظ آماری کم‌تر معنی‌دار می‌باشند. حتی ایستگاه‌هایی مانند چادگان با وجود برازش کاملاً مناسب، دارای پارامترهایی هستند که از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. این امر ممکن است به‌دلیل عدم برقراری فرضیات مدل و برآورد نادرست واریانس پارامترها باشد.

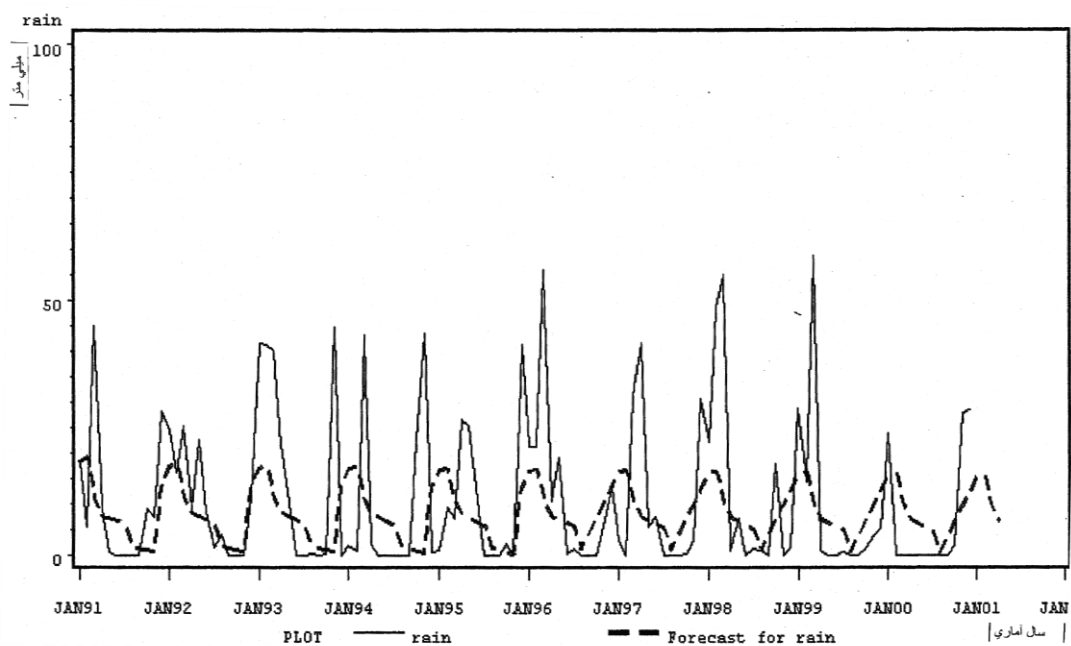
ایستگاه‌های کاشان، شرق اصفهان، میمه، اصفهان و نجف‌آباد که در گروه نامناسب قرار گرفته‌اند، نه تنها رفتار بارندگی ماهانه را دنبال نکرده‌اند، بلکه در طول زمان نیز تغییرات بسیار اندکی را از خود نشان می‌دهند که نمایان‌گر عدم توانایی مدل‌ها در شناسایی رفتار بارندگی ماهانه است.

در مورد ایستگاه‌های متوسط و قابل بحث می‌توان مطرح نمود که در ایستگاه کوه‌پایه در ماه‌های کم باران سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۷ رفتار متفاوتی از خود بروز داده است که باعث نامناسب بودن مدل ARIMA شده است. لذا، به‌نظر

می‌رسد که با افزایش اطلاعات آماری و یا بررسی این مدل در مقاطع زمانی متفاوت به‌توان نتیجه مطمئن‌تری از کارایی یا عدم تناسب مدل مورد نظر برای این ایستگاه به‌دست آورد.



شکل ۱- برازش مدل ARIMA بر داده‌های بارندگی ایستگاه بندرانزلی



شکل ۲- برازش مدل ARIMA بر داده‌های بارندگی ایستگاه اصفهان

همین مسئله در مورد ایستگاه طاد ولی تنها در ماه‌های کم باران سال ۱۹۹۵ اتفاق افتاده است. در ایستگاه امین‌آباد، مدل مورد بررسی توانایی چندانی در پیش‌بینی ماه‌های کم باران از خود نشان نداده است. در ایستگاه کلیشادرخ در ماه دسامبر پیش‌بینی مناسبی از مدل ارائه نشده است، اما در انتهای مقطع زمانی مورد بررسی، پیش‌بینی به‌سمت مقدار مناسب سوق داده شده که به‌نظر می‌رسد با افزایش اطلاعات آماری برای این ایستگاه نیز مشکل تا حدودی بهبود یابد.

برازش مدل های ARIMA به بارندگی فصلی: به الگو در آوردن بارندگی فصلی (زمستان، بهار، تابستان و پائیز) با استفاده از روش های ARIMA از دیگر اهداف این پژوهش در راستای پیش بینی بارندگی بوده است. علی رغم نتایج مناسب در استفاده از مدل های ARIMA در الگوسازی رفتار بارندگی ماهانه، این امر برای رفتار فصلی بارندگی حاصل نشد.

برازش مدل های ARIMA بر بارندگی سالانه: نتایج مطالعه و برازش مدل های ARIMA بر داده های بارندگی سالانه ایستگاه بندر انزلی و تعدادی از ایستگاه های استان اصفهان که آمار طولانی تری نسبت به سایر ایستگاه ها داشتند، نشان داد که استفاده از مدل های ARIMA برای این گونه داده ها برازش مناسبی را نخواهد داشت. حتی با مطالعه باقی مانده ها پس از برازش یک مدل عرض از مبدأ که صرفاً متوسط بارندگی چندساله را نشان می دهد آماره های باکس-لجانگ عدم حضور خود هم بستگی در بین باقی مانده ها را نشان می دهد. این موضوع مؤید عدم کارایی روش های باکس-جنکینس در بررسی و پیش بینی رفتار بارندگی سالانه است.

برازش مدل های ARIMA بر میانگین متحرک بارندگی سالانه: از جمله روش های دیگری که می تواند برای شناسایی روند یک سری زمانی مفید واقع شود، روش میانگین متحرک است. از این رو، در این بخش سعی شده که با استفاده از مدل های ARIMA به بررسی و مدل سازی رفتار میانگین های متحرک سالانه بارندگی ایستگاه های استان اصفهان و نیز مقایسه آن با رفتار ایستگاه بندر انزلی پرداخته شود.

از آن جا که مدل های برازش شده دارای تأخیر اتورگرسیو می باشند، به اطلاعات کافی برای برازش بر داده ها نیاز دارند. لذا، برازش مدل ها به بارندگی ایستگاه هایی که اطلاعات کافی داشتند، امکان پذیر شد. از سویی، رفتار میانگین های متحرک سالانه برای تأخیرهای سه ساله، پنج ساله و هفت ساله یکسان بود. لذا در این پژوهش تنها به مدل سازی میانگین متحرک پنج ساله پرداخته شد.

مدل برازش شده یک مدل ضربی $ARIMA(2, 0, 0)(3, 0, 1)_5$ است. این مدل با استفاده از آزمون و خطا به دست آمده و در مقایسه با بسیاری از مدل های برازش داده شده انتخاب شده است. به همین دلیل، نمی توان به طور یقین آن را بهترین مدل نامید و جای بحث و بررسی بیش تر وجود دارد. از نتایج جالب این بررسی، پیش بینی نسبتاً مناسب (این مدل) برای ایستگاه هایی مانند ایستگاه اصفهان و شرق اصفهان می باشد. در این ایستگاه ها، مدل های ARIMA ماهانه، ماهانه-فصلی و فصلی جواب مناسبی نداده بودند. از سوی دیگر، این مدل دورنمای بهتری از وضعیت خشک سالی و یا ترسالی در سال های مختلف را پیش روی قرار خواهد داد. هم چنین، آماره های باکس-لجانگ در بررسی باقی مانده ها عدم حضور خود هم بستگی را نشان می دهند که از نقاط قوت مدل های برازش شده است.

از بین ایستگاه های انزلی، اصفهان، شرق اصفهان، نجف آباد، میمه، همگین، دامنه و امین آباد که داده های کافی برای برازش مدل میانگین متحرک داشتند، تنها در ایستگاه امین آباد نتایج بسیار نامناسبی از برازش مدل فوق بر اطلاعات اندازه گیری شده حاصل شده است. هم چنین، در ایستگاه های اصفهان، همگین و کاشان روند رو به رشدی در بارندگی تا سال ۲۰۰۰ میلادی مشاهده شده است، ولی در انتهای سال ۲۰۰۰ این روند کاهش یافته است. این امر می تواند به دلیل عقب کشیدن دو گام مقادیر میانگین متحرک باشد، یعنی این پیش بینی و روند مربوط به سال ۲۰۰۲ است که با دو گام به عقب کشیدن آن به سال ۲۰۰۰ میلادی تبدیل شده است. لذا، پیش بینی می شود در ایستگاه های اصفهان، همگین و کاشان در سال های بعدی کاهش بارندگی رخ دهد که با واقعیت منطبق می باشد. در ایستگاه های شرق اصفهان، میمه و نجف آباد دوره کاهش بارندگی زودتر آغاز شده و نتایج حاکی از کاهش بارندگی در طی سال های اخیر در دوره آماری مورد مطالعه نیز می باشد که همگی مؤید آینده توأم با خشک سالی این منطقه است.

با توجه به نتایج حاصل شده در این قسمت، می توان مطرح نمود که استفاده از روش های ARIMA برای مدل سازی میانگین متحرک سالانه می تواند در بررسی روندهای خشک سالی مفید واقع شده و به بیان الگوهایی برای این رفتار منجر شود.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل تصویب و تامین هزینه این طرح پژوهش و آقای مهندس امین‌زاده به دلیل کمک در راستای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. اسلامیان، س.س. و س. چاوشی بروجنی. ۱۳۷۹. بررسی روند خشک‌سالی در ایران. مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی و تخصصی بررسی مسائل خشک‌سالی استان فارس، ۲۸-۲۷ مهر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۴۳-۵۹.
 ۲. اسلامیان، س.س.، ع. زارعی و ا. ابریشم‌چی. ۱۳۷۹. پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی، کرمان، ۱۰-۹ اسفند، ۳۹۰:۱-۳۸۲.
 ۳. امینی، س. ۱۳۷۹. بررسی نمایه‌های خشک‌سالی، مطالعه موردی: باجگاه شیراز. مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی و تخصصی بررسی مسائل خشک‌سالی استان فارس، ۲۸-۲۷ مهر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۱۳-۱.
 ۴. پرهت، ج. ب. ثقفیان و ح. صدقی. ۱۳۷۹. بررسی روند خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها در حوضه کارون با استفاده از آمار دراز مدت. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی، کرمان، ۱۰-۹ اسفند، ۸۹-۸۱.
 ۵. تهران برکلی-زاینده‌آب. ۱۳۶۵. گزارش نیم فاز یک انتقال آب مازاد کوهرنگ به دره زاینده‌رود. سازمان آب منطقه اصفهان.
 ۶. حجازی‌زاده، ز. و م. قهرودی تالی. ۱۳۷۹. مدل پیش‌بینی خشک‌سالی در کرمان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی، کرمان، ۱۰-۹ اسفند، ۱۶-۷.
 ۷. رضایی‌پژند، ح. و م. مهدی‌پور. ۱۳۸۰. تحلیل خشک‌سالی و پیش‌بینی بارندگی چهار سال آینده شهر زابل. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب، ۱۹-۱۸ اسفند، دانشگاه زابل، ۳۹۵-۳۸۳.
 ۸. شهاب‌فر، ع. و ع. قیامی. ۱۳۸۰. ارزیابی روش‌های نکوبی برازش توابع توزیع‌های آماری و استفاده از سری‌های زمانی جهت پیش‌بینی بارندگی سالانه شهر مشهد. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب، ۱۹-۱۸ اسفند، دانشگاه زابل، ۹۳-۸۱.
 ۹. علیزاده، ا.، ف. موسوی، غ. کمالی و م. موسوی بایگی. ۱۳۷۶. هوا و اقلیم‌شناسی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم، ۳۹۸ صفحه.
 ۱۰. غیور، ج. و س.ا. مسعودیان. ۱۳۷۸. بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشک‌سالی‌ها در استان اصفهان. مجموعه مقالات دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور، ۱۴-۱۳ آبان، ۶۴-۵۸.
 ۱۱. کرباسی، پ. ۱۳۸۰. اثرات اقتصادی، اجتماعی خشک‌سالی بر کشاورزی در استان اصفهان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب، ۱۹-۱۸ اسفند، دانشگاه زابل، ۳۹۶-۳۸۵.
1. Box, G.E.P. and G.M. Jenkins. 1976. Time series analysis: forecasting and control, 2nd ed., San Francisco, Holden Day, 784Pages.
 2. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1992. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. Journal of Hydrology, 121: 217 – 238.
 3. Tasker, G.D. 1987. A comparison of methods for estimating low flow characteristics of streams. Water Resources Bulletin, 23(6): 1077- 1083.
 4. Vogel, R.M. and C.N. Kroll. 1990. Generalized low flow frequency relationships for ungauged sites in Massachusetts. Water Resources Bulletin, 26(2):241- 253.

Drought forecasting in Isfahan province using different time series analysis

Seyed Saeed Eslamian, Associate Professor, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

Mohammad Hadi Bazrkar¹, MSc Student, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran

Seyed Farhad Mousavi, Professor, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

Received: 05 June 2011

Accepted: 16 December 2011

Abstract

The most important factor of drought analysis is rainfall. All resources which are supported by rainfall, such as, surface streams; groundwater and lakes, are affected by deficit of rainfall. Analysis of past rainfall statistics indicates a pattern. Forecasting future rainfall can be used in water resources planning. This opportunity can be provided by time series patterns. The aim of this research is drought forecasting of Isfahan Province, by fitness of various models with rainfall data. Studied models are included in monthly, monthly-seasonally, annual-exponential, moving average (3, 5, 7) and sinusoidal. 24 meteorology stations have been studied in the time series analysis. The at-site statistic period ranges between maximum 44 years (1957-2000) to minimum 11 years (1987-1997). By regarding ARIMA model fitness, the results indicate that the studied stations are divided to three groups as high, medium and low quality. These groups are included 9, 5, 4 stations, respectively. Although Isfahan and Kashan have been owned long-term rainfall data, they have less suitable fitness than the other stations. Therefore, by only having long-term rainfall data, it cannot be expected the better fitness of time series. Using ARIMA for annual moving average modeling can be effective in drought pattern analysis and have been presented the good patterns.

Key words: Aridity, Surface stream, Time series, Water crisis, Water resources, Water scarcity

¹ Corresponding author: bazrkar@gmail.com