تحلیل روند گذشته و پیش‌بینی آینده خشک‌سالی در استان اصفهان

مرتضی خداقلی*، راضیه صبوحی و ذبیح الله اسکندری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۸)

چکیده

موقعیت جغرفیایی استان اصفهان به گونه‌ای است که همواره در معرض خشک‌سالی قرار دارد. یکی از راه‌های تعدیل خشک‌سالی، ارزیابی و پایش آن بر اساس شاخص‌هایی است که بتوان میزان شدت و تداوم آن را در یک منطقه تعیین نمود. در پژوهش حاضر به منظور تحلیل خشک‌سالی و روند آن در استان اصفهان به ترتیب از شاخص بارش استاندارد و آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده گردید. هم‌چنین برای پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی در این استان، سری زمانی ماهانه پارامتر بارش در دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۷۰ به کار گرفته شد. به این منظور، رهیافت ارائه شده توسط باکس و جنکینز برای مدل‌سازی مد نظر قرار گرفت که شامل سه مرحله تشخیص مدل، تخمین پارامتر و در نهایت آزمون نکوئی برازش یا آزمون استقلال زمانی و نرمال باقیمانده‌هاست. نتایج بررسی‌ها نشان داد که اکثر نقاط استان اصفهان در سال ۲۰۰۰ با خشک‌سالی شدیدی روبه‌رو بوده و در سال ۲۰۰۸ چنین شرایطی بار دیگر در استان اتفاق افتاده است. هم‌چنین نتایج مدل‌سازی برای تمامی ایستگاه‌ها مدل‌های ضربی به دست آمد. به طوری که در ایستگاه‌های اصفهان، میمه و اردستان بیشترین هم‌بستگی بین داده‌های اصلی و پیش‌بینی شده را مدل ARIMA (1,0,0) × (0,1,1) و در ایستگاه‌های نائین، فریدونشهر، خوانسار و نطنز بیشترین هم‌بستگی را مدل ARIMA (0,0,1) × (0,1,1) ایجاد کرده‌اند و به عنوان بهترین مدل‌ها انتخاب شدند و سپس مقادیر بارش تا سال ۲۰۱۵ پیش‌بینی شد. روند داده‌های پیش‌بینی شده بارش در کل استان اصفهان نشان می‌دهد که در اکثر ماه‌ها روند معنی‌داری وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد، من- کندال، مدل‌سازی، سری‌های زمانی، استان اصفهان

۱. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_khodagholi@yahoo.com

مقدمه

تحقیقات دانشمندان نشان داده است که اقلیم کره زمین ثابت نبوده، لکن علت این تغییرات در گذشته و حال با یکدیگر متفاوت است (۱۵، ۱۷ و ۲۷). در سال‌های اخیر چندین حادثه مهم و بزرگ خسارات زیادی را به زندگی مردم وارد آورده و باعث ایجاد ضررهای اقتصادی مهمی شده است که ناشی از تغییرات اقلیمی می‌باشد (۲۵). از جمله خشک‌سالی که یکی از مزمن‌ترین و از لحاظ اقتصادی زیانبارترین بلایای طبیعی است. خشک‌سالی همواره باعث بسیاری از تحولات اقتصادی، جنگ‌ها، قحطی و مهاجرت‌ها گردیده و به نظر می‌رسد در دهه‌های اخیر فراوانی این پدیده از نظر شدت، مدت، فضای تحت پوشش، تلفات جانی، خسارات اقتصادی و اثرات اجتماعی درازمدت، بیشتر از سایر بلایای طبیعی بوده است. استان اصفهان با مساحتی بالغ بر ۱۰۶۱۷۹۰۰ هکتار و بارش متوسط ۱۵۰ میلی‌متر و حاکمیت اقلیم خشک و نیمه‌خشک در بیش از ۸۰ درصد مساحت آن، شرایط بروز خشک‌سالی را در بیشتر سال‌ها دارد. به همین دلیل، بررسی ویژگی‌ها، نقش و تأثیر خشک‌سالی در این پهنه از ایران زمین علی‌رغم مطالعات و تحقیقات پراکنده موجود، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (۳).

بررسی مدارک تاریخی و اقلیمی و هم‌چنین نوشته‌های اقلیمی نشان می‌دهد که اقلیم کره زمین عمدتاً توسط دما و بارش مشخص می‌شود و با توجه به اهمیت خشک‌سالی و تأثیر آن بر اجتماعات انسانی و موجودات، اخیراً پژوهش‌های بسیاری به این موضوع اختصاص یافته است (۴، ۹، ۲۴ و ۲۶). صبوحی و همکاران (۲۴) با بررسی روند دما در ۳۵ ایستگاه سینوپتیک نتیجه گرفتند که در مقیاس سالانه بیشتر ایستگاه‌ها خصوصا ایستگاه‌هایی که در بخش‌های غربی و جنوبی کشور واقع شده‌اند روند مثبت معنی‌داری داشته و ۷۱، ٦٦ و ۴۰ درصد از ایستگاه‌ها به ترتیب روند معنی‌داری در میانگین دما، میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه دارند. هم‌چنین در فصل تابستان اکثر ایستگاه‌ها روند مثبت معنی‌داری را نشان می‌دهد که این نتایج بیانگر آن می‌باشد که دمای هوا در ایران، خصوصاً در تابستان، در حال گرم شدن است. سلطانی و همکاران (۲٦) در بررسی خود برای کل ایران به این نتیجه رسیدند که اگر چه تغییرات معنی‌داری در میزان بارش در طول ۵۰ سال گذشته رخ نداده است، اما کاهش بارش در ماه آوریل (فروردین) و افزایش بارش در ماه‌های دسامبر (آذر) و ژوئیه (تیر) می‌تواند تغییر احتمالی اقلیم را در ایران در آینده مشخص نماید. محمدی (۹) نشان داد که در سری‌های زمانی میانگین ایستگاهی و یاخته‌ای ایران از سال ۱۳۴۳ تا ۱۳۸۲ روند افزایشی و کاهشی معنی‌داری در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد در بارش وجود ندارد. با این حال، میانگین ایستگاهی بارش ایران به طور متوسط در هر سال در حدود ۰/٦۴ میلی‌متر و میانگین یاخته‌ای بارش ایران نیز در حدود ۰/۵ میلی‌متر کاهش یافته است.

وضعیت خشک‌سالی استان اصفهان با استفاده از شاخص SPI طی بازه‌های زمانی ۳، ۵ و ۸ ماهه در سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۴۹ و با تأکید بر سال آبی ۸۷-۱۳۸٦ توسط خداقلی و همکاران (۴) ارزیابی شد. ایشان نشان دادند که در سال مذکور، خشک‌سالی بهاره (بازه ۳ ماهه) شدت و وسعت بیشتری نسبت به دو بازه دیگر دارد.

هم‌چنین پژوهش‌هایی در رابطه با پیش‌بینی خشک‌سالی در سطح ملی و جهانی انجام گرفته که می‌توان خزانه‌داری و همکاران (۲۰)، زاهدی و همکاران (۵) و میشرا و دسای (۲۳) را نام برد. خزانه‌داری و همکاران (۲۰) داده‌های بارش را در بازه سال‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در ایران با استفاده از مدل LARS-WG شبیه‌سازی نمودند و سپس موقعیت خشک‌سالی را با استفاده از شاخص‌های DI و SPI تخمین زدند. نتایج نشان داد که در طول ۳۰ سال آینده، خشک‌سالی در ایران افزایش می‌یابد و این مسئله تغییر پارامترهای اقلیمی در ایران را تأیید می‌نماید. بعلاوه، بیشتر مناطق ایران در سال‌های ۲۰۲۲، ۲۰۲۵، ۲۰۳۲، ۲۰۳۵ و ۲۰۳۹ خشک‌سالی شدیدی را تجربه خواهند کرد که خشک‌سالی سال ۲۰۳۹ از خشک‌سالی‌های دیگر شدیدتر پیش‌بینی شده است. پیش‌بینی مقادیر بارش در سال‌های

آتی در ایستگاه‌های ارومیه و تبریز با استفاده از Seasonal ARIMA توسط زاهدی و همکاران (۵) بررسی شد. نتایج نشان داد که ضریب هم‌بستگی بالای بارش پیش‌بینی و مشاهده شده برای سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ حاکی از توانایی الگوی انتخابی در برآورد بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه است. میشرا و دسای (23) از مدل‌های آماری خطی ARIMA و SARIMA برای پیش‌بینی خشکسالی رودخانه کانسابات (Kansabat) در هند استفاده نمودند و پیش‌بینی‌ها را با استفاده از داده‌های SPI این رودخانه انجام دادند. نتایج پیش‌بینی‌ها با داده‌های اصلی مقایسه شد و به این نتیجه رسیدند که نتایج پیش‌بینی در موافقت با داده‌های واقعی می‌باشد.

هدف از مطالعه حاضر، تعیین شدت‌های مختلف خشک‌سالی در طول سال‌های آماری در ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان و هم‌چنین پیش‌بینی خشک‌سالی تا سال ۲۰۱۵ و بررسی روند خشک‌سالی در سال‌های گذشته و آینده است.

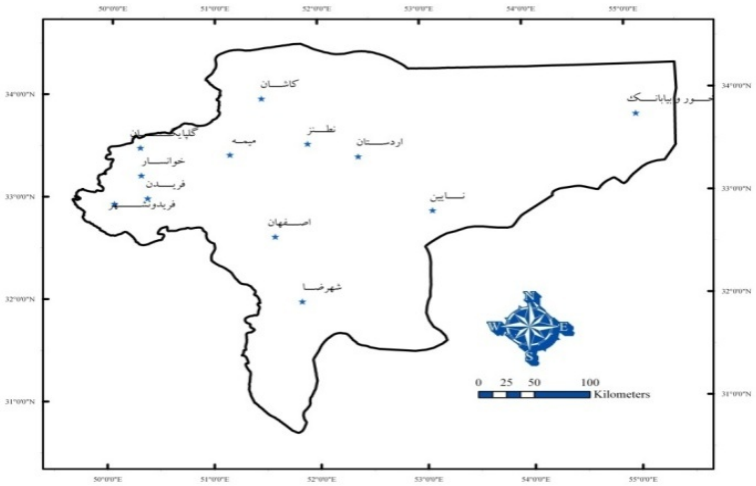
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

استان اصفهان با وسعت ۱۰۶۱۷۹ کیلومتر مربع، حدود ۶/۴۵ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. این استان بین ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه طول شرقی در ایران مرکزی قرار دارد. ارتفاع در منطقه مورد مطالعه از ۷۰۷ تا ۴۳۵۰ متر متغیر می‌باشد. استان اصفهان دارای تنوع آب و هوایی بوده و میزان بارش و دما در این استان تابع وضعیت توپوگرافی منطقه است. به دلیل واقع شدن این استان در دامنه‌های شرقی زاگرس، اکثر سیکلون‌ها در عبور از سیستم پیچیده کوهستانی زاگرس، به دلیل تضعیف در قسمت‌های مرکزی و شرقی استان، بارش کمی را ایجاد می‌کنند و به عنوان یک قاعده کلی در تمام ایران، میزان بارش در این استان نیز از غرب به شرق کاهش می‌یابد. میانگین دمای هوا در استان اصفهان از غرب به شرق افزایش می‌یابد. این میانگین در ارتفاعات حدود ۴ درجه سانتی‌گراد و در نواحی شرقی حدود ۲۲ درجه می‌باشد. میانگین بارش سالانه استان بین ۱۳۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات غربی و ۶۰ میلی‌متر در نواحی پست شرقی و شمال شرقی متغیر است. در مجموع، میانگین بارندگی استان اصفهان حدود ۱۵۰ میلی‌متر است (۳).

در این تحقیق، ۱۲ ایستگاه هواشناسی در مناطق رویشی مختلف استان اصفهان انتخاب شد. این ایستگاه‌ها ضمن داشتن طول آماری قابل توجه (۲۰۰۹-۱۹۷۰) از کمترین داده گمشده نیز برخوردارند. داده‌های اقلیمی مورد بررسی شامل بارندگی‌های ماهانه است. این داده‌ها از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور در محدوده استان اصفهان استخراج گردید. موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. به منظور کنترل کیفی داده‌ها، در ابتدا همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون تام بررسی شدند.

به منظور تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای یک فرایند میانیابی کریجینگ با اندازه شبکه ۰/۵×۰/۵ کیلومتر انجام و استان اصفهان به ۴۲۵۹ سلول هم اندازه تقسیم شد. به‌منظور یکدست کردن داده‌ها در طول سال‌های آماری، برای هر یک از ماه‌های طول آماری یک نقشه با نرم افزار Surfer Ver.8 ترسیم شد. با توجه به ۳۹ سال آماری و ۱۲ ماه سال تعداد ۴۶۸ (۱۲×۳۹) نقشه ترسیم و داده‌های بارش ۴۲۵۹ نقطه محاسبه و ماتریسی با ابعاد ۴۲۵۹ (مکان) در ۴۶۸ (زمان) حاصل شد. این ماتریس که از نظر مکانی (طول و عرض جغرافیایی) و زمانی مشخص است به‌عنوان ورودی داده‌های این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. به منظور ارزیابی پدیده خشک‌سالی در استان اصفهان، از شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه استفاده شد. داده‌های اقلیمی مورد بررسی شامل بارندگی‌های ماهانه است که در محاسبه این شاخص به کار گرفته شد. در این بررسی، بازه زمانی مورد استفاده سال آبی در نظر گرفته شد. بنابراین ۱۲ ماهه مختوم به ماه سپتامبر برای ایستگاه‌های منتخب محاسبه گردید. شاخص بارش استاندارد یکی از شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی است که قادر به



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب

برآورد ویژگی‌های مختلف خشک‌سالی و نیز ترسالی می‌باشد (۲۱). مرحله بعدی تعیین روند است که برای تعیین روند خشک‌سالی، آزمون‌های ناپارامتریک من- کندال به کار برده شد. آزمون من- کندال برای ارزیابی حضور روند معنی‌دار آماری در سری‌های زمانی هیدرولوژیک و اقلیمی استفاده می‌شود (۱۶). سپس برای پیش‌بینی خشک‌سالی استان تا سال ۲۰۱۵ از مدل‌های سری زمانی استفاده شد و روش گام به گام مدل‌سازی سری‌های زمانی با استفاده از برازش یک مدل آماری روی آن، که در این مطالعه مدل‌های باکس- جنکینز مد نظر می‌باشد، شامل موارد زیر است:

۱) آماده سازی اطلاعات

این مرحله شامل ایستا کردن داده‌ها و در صورت نیاز تبدیل آنها به اطلاعات نرمال استاندارد می‌باشد. به منظور بررسی ایستایی داده‌ها از نمودار خودهم‌بستگی استفاده شد (۱۳) که به راحتی در نرم‌افزار SAS قابل دسترسی است. در صورتی‌که داده‌ها ناایستا بودند، ایستا شدند. مهم‌ترین روش‌هایی که برای ایستا کردن استفاده می‌شود، تبدیل به نرمال و تفاضل‌گیری است (۱۹).

۲) انتخاب مدل

مشخصات آماری یک سری زمانی در مقایسه با خواص مدل‌های مختلف تعیین می‌کند که چه نوع مدلی برای بیان رفتار یک سری زمانی مفید است. مدل‌های AR (خودهمبسته)، MA (میانگین متحرک) و خودهمبسته با میانگین متحرک (ARMA) که از جمله مدل‌های باکس- جنکینز می‌باشند، هر یک شامل مجموعه‌ای از پارامترهای گوناگون هستند و می‌توانند به‌عنوان انتخاب‌های ممکن برای مدل‌سازی استفاده شوند (۱۴). در صورتی‌که تغییرات میانگین به صورت دوره‌ای بود، مدل‌های ARIMA فصلی و اگر به صورت دوره‌ای تغییر نکرد از مدل‌های غیر فصلی استفاده شد که به صورت عمومی ARIMA(p,d,q) نوشته می‌شوند. p تعداد پارامترهای اتورگرسیو، q تعداد پارامترهای میانگین متحرک و d بیانگر تفاوت است. وقتی یک سری که رفتار فصلی با دوره تناوب معلوم S (S ممکن است به صورت فصلی و برابر ۱۲ باشد) دارد، به این مفهوم است که مشاهدات مربوط به یک ماه مشخص، مثلاً فروردین، به مشاهدات مربوط به ماه‌های فروردین قبلی وابسته است. در چنین شرایطی از مدل‌های ضربی استفاده شد که به صورت ARIMA(p,d, q)×(P,D, Q) نشان داده می‌شود (۱۰).

۳) تعیین پارامترهای مدل

تخمین پارامتر یکی از مهم‌ترین گام‌ها در مدل‌سازی است. مهم‌ترین روش‌هایی که در آمار و ریاضی برای تخمین پارامترها وجود دارد، روش‌های حداکثر درستنمایی (ml)، حداقل مربعات شرطی (cls) و حداقل مربعات غیر شرطی (uls) است (۱۳). در این تحقیق با استفاده از نرم افزار SAS روش‌های مذکور بررسی شدند.

۴) بررسی معنی‌داری پارامترهای مدل

جهت بررسی معنی‌داری پارامترها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. در این نرم‌افزار، احتمال t محاسبه شده و اگر احتمال t از سطح معنی‌داری ۱٪ کوچک‌تر باشد به احتمال بسیار قوی پارامتر مهم است. اگر از سطح معنی‌داری ۵٪ کوچک‌تر باشد به احتمال قوی پارامتر مهم است و در غیر این صورت فرض صفر مبنی بر معنی‌دار بودن پارامتر رد می‌شود.

۵) صحت‌سنجی مدل

در نرم‌افزار SAS، احتمال آماره Q محاسبه گردید. اگر احتمال Q از سطح معنی‌داری ۱٪ کوچک‌تر باشد، مدل نامناسب است. اگر بین سطوح معنی‌داری ۱٪ و ۵٪ باشد، مدل کفایت نسبی دارد و اگر از سطح ۵٪ بزرگ‌تر باشد، مدل مناسب است. باقیمانده‌های هر مدل بایستی نرمال بوده و استقلال زمانی داشته باشند. به عبارت دیگر، نباید هیچ‌گونه خودهم‌بستگی در باقیمانده‌ها مشاهده شود. برای تشخیص هم‌بستگی در باقیمانده‌ها، بهترین روش رسم تابع خودهم‌بستگی و خودهم‌بستگی جزئی باقیمانده‌هاست (۱۳).

۶) پیش‌بینی اطلاعات

هنگامی که یک مدل ARMA (p,q) روی یک سری زمانی برازش داده شود، پارامترهای مدل می‌تواند هم برای پیش‌بینی و هم برای ساخت اطلاعات مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق، برای ساخت اطلاعات، رابطه زیر به‌طور متوالی مورد استفاده قرار گرفت:

$$Z_t = \sum_{i=1}^{p} \phi_i Z_{t-i} - \sum_{i=1}^{q} \theta_j \varepsilon_{t-j} \qquad [1]$$

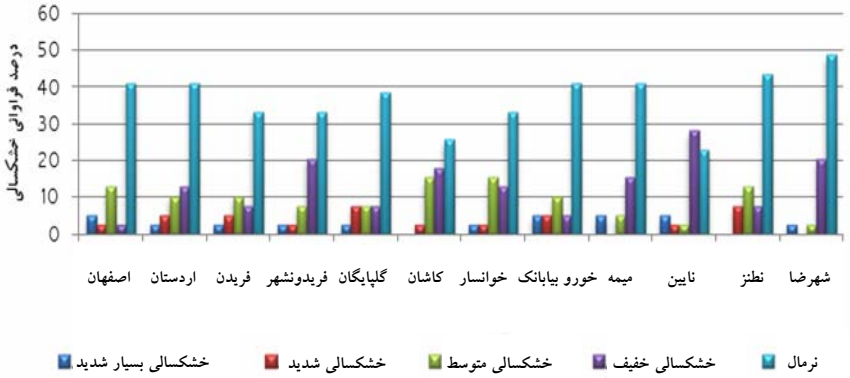
در رابطه فوق، Z_t سری زمانی نرمال استاندارد شده، ε_t مقادیر تصادفی نرمال، ϕ عملگری ایستا و θ عملگری وارون‌پذیری می‌باشند. برای ساخت اطلاعات، تعداد p متغیر از سری زمانی z و تعداد q از باقیمانده‌های مدل در توالی قبلی به‌عنوان اطلاعات اولیه مورد استفاده قرار گرفت. برای از بین بردن اثر اطلاعات اولیه، تعداد ۵۰ الی ۱۰۰ جمله از اولین مقادیر ساخته شده حذف گردید و بقیه سری مورد استفاده قرار گرفت (۱۴).

۷) انتخاب بهترین مدل

در مرحله آخر، هم‌بستگی داده‌های اصلی با داده‌های پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید و مدلی که بیشترین هم‌بستگی را ایجاد کرد، انتخاب شد. در صورت یکسان بودن ضریب هم‌بستگی دو مدل، از شاخص آکائیک که در نرم‌افزار SAS محاسبه شده، جهت انتخاب بهترین مدل استفاده شد (۱۰).

نتایج

با انجام آزمون تام در کلیه موارد، همگنی داده‌های آماری مورد استفاده در سطح ۱٪ تأیید شد. برای بررسی خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد روی ارقام مجموع بارش‌های ۴۰ ساله ۱۲ ایستگاه محاسبه و فراوانی سال‌های خشک‌سالی به تفکیک برای هر یک از آنها به‌دست آمده و درصد آنها به‌صورت نمودار ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود بیشترین فراوانی (۳۸/۴۶ درصد) مربوط به ایستگاه نائین می‌باشد؛ یعنی در کمتر از نیمی از سال‌ها این ایستگاه در خشک‌سالی به سر برده است. ایستگاه‌های خوانسار و فریدونشهر با ۳۳/۳ درصد، اردستان با ۳۰/۸ درصد، نطنز با ۲۸/۲ درصد، میمه، خور و بیابانک، گلپایگان، شهرضا و فریدن با ۲۵/۶ درصد و اصفهان با ۲۳/۰۸ درصد بعد از نائین به ترتیب



شکل۲. درصد فراوانی رخداد خشک‌سالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۲۰۰۹-۱۹۷۰)

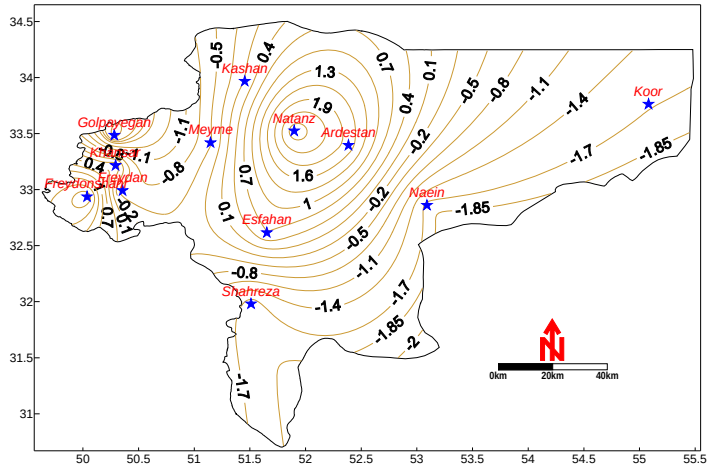
دچار خشک‌سالی شده‌اند. کمترین خشک‌سالی (۱۷/۹ درصد) نیز متعلق به ایستگاه کاشان می‌باشد. شهرهای اردستان، نائین و نطنز در دامنه شرقی رشته کوه کرکس قرار گرفته و این رشته کوه مانعی برای ورود رطوبت به ناحیه شرقی استان شده و باعث گردیده که به عنوان یکی از دلایل افزایش خشک‌سالی در این نواحی نسبت به نقاط دیگر استان باشد.

همان‌طور که گفته شد، برای بررسی روند، از آزمون من-کندال استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که در بخش‌های جنوبی و شرقی استان، روند منفی می‌باشد و به سمت مرکز و غرب استان، روندها بیشتر معنی‌دار می‌شود (شکل ۳). مطالعات روند خشک‌سالی در این ۱۲ ایستگاه نشان می‌دهد که ایستگاه‌های اردستان، اصفهان، فریدونشهر، کاشان، خوانسار و نطنز روند صعودی دارند که این روند در ایستگاه‌های اردستان، فریدونشهر و نطنز معنی‌دار است. ایستگاه‌های دیگر روند منفی نشان می‌دهند که از میان آنها ایستگاه‌های گلپایگان، شهرضا، خور و بیابانک و نائین روند معنی‌دار دارند.

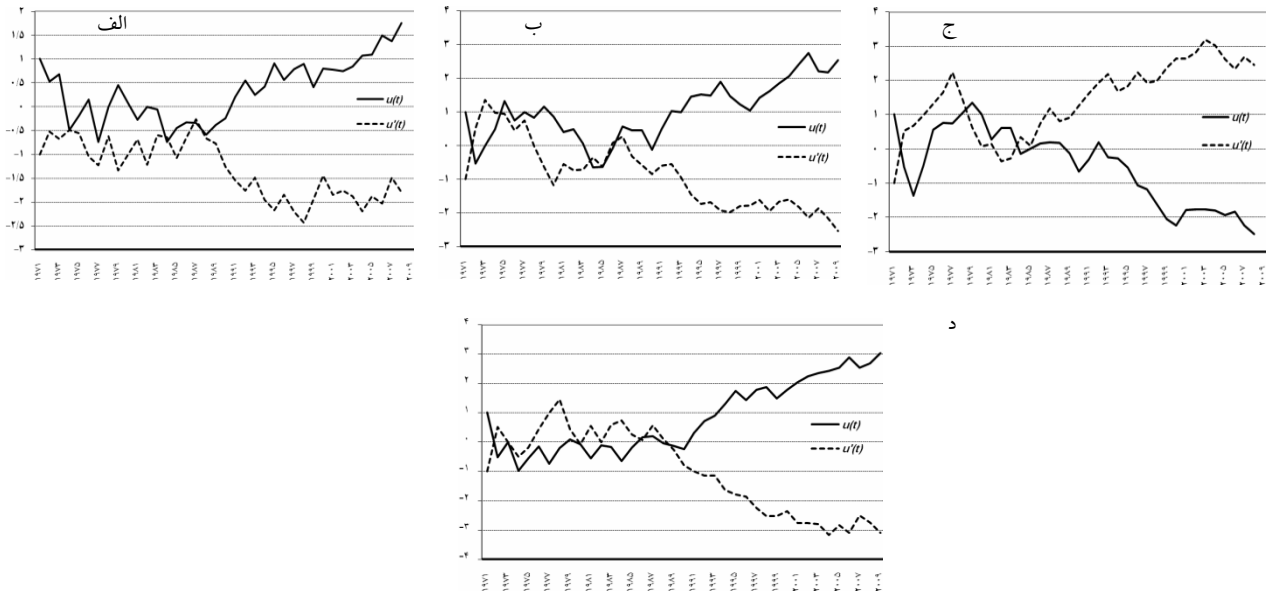
نتایج آزمون توالی من- کندال در ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار نشان می‌دهد که ایستگاه‌های اردستان و فریدون‌شهر روند تغییراتشان از سال ۲۰۰۰ شروع شده و تا سال ۲۰۰۵ ادامه داشته است (شکل ۴ الف و ب). ولی در ایستگاه‌های گلپایگان و نطنز، سال شروع تغییرات از ۱۹۹۰ می‌باشد که در ایستگاه نطنز تا سال ۲۰۰۹ ادامه داشته ولی در ایستگاه گلپایگان در سال ۲۰۰۰ خاتمه یافته است (شکل ۴ ج و د).

بر اساس مطالب ارائه شده، در صورتی که سری زمانی در واریانس ناایستا باشد، باید قبل از هرگونه تحلیلی، پایداری واریانس روی داده‌ها بررسی شود. در سری‌های مورد مطالعه، چون ضریب خودهم‌بستگی در تأخیرهای فصلی با ضریب K= ۱۲ معنی‌دار بود، بنابراین داده‌ها ایستا شدند. به منظور ایستا نمودن داده‌ها از تفاضل‌گیری فصلی (D=۱۲) استفاده گردید و تابع خودهم‌بستگی بجز در تأخیرهای اول و تأخیر K=۱۲ و تابع خودهم‌بستگی جزیی به‌جز در تأخیرهای ۲۴ و K=۱۲ ضرایب خودهم‌بستگی معنی‌دار نبودند. لذا سری یاد شده ایستا فرض شده و وارد مرحله تشخیص مدل شد. همان‌طور که ذکر شد، در تابع خودهم‌بستگی، تأخیر ۱۲ معنی‌دار است و بعد از آن ضریب خودهم‌بستگی معنی‌دار بودن خود را سریعاً از دست می‌دهد. لذا، برای این مدل پارامتر میانگین متحرک فصلی رتبه ۱ در نظر گرفته شد. تابع خودهم‌بستگی جزئی نیز در تأخیر ۱۲ معنی‌دار است. به این ترتیب، دو پارامتر P=۱ و p=۱ به مدل افزوده شدند. با توجه به بررسی منابع انجام شده، به منظور از دست ندادن بهترین مدل، ۵ مدل مورد آزمون قرار گرفت (جدول ۱). به عنوان مثال، مدل اول برگرفته از مطالعات مک کرشار و دولر (۲۲) و هم‌چنین هیپل و همکاران (۱۸) است. مدل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ بر اساس نتایج حاصل از توابع خودهم‌بستگی و خودهم‌بستگی جزئی در نظر گرفته شدند.

مقادیر پارامترها با استفاده از روش‌های حداکثر درستنمایی، حداقل مربعات شرطی و حداقل مربعات غیر شرطی تخمین



شکل ۳. روند خشک‌سالی در استان اصفهان



شکل ۴. روند تغییرات ایستگاه اردستان (الف)، فریدونشهر (ب)، گلپایگان (ج) و نطنز (د) از ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۹

جدول۱. مدل‌های منتخب در ایستگاه اصفهان

شماره مدل	رتبه مدل	مدل
۱	q=(1) Q=(12)	ARIMA (0,0,1)×(0,1,1)
۲	p=(1)q=(1) Q=(12)	ARIMA (1,0,1)×(0,1,1)
۳	p=(1)q=(1) P=(12)Q=(12)	ARIMA (1,0,1)×(1,1,1)
۴	p=(1)Q=(12)	ARIMA (1,0,0)×(0,1,1)
۵	P=(12)Q=(12)	ARIMA(1,1,1)

زده شد و رد و قبول پارامترها و مدل‌ها بر اساس شرط‌های ایستایی و وارون‌پذیری نشان داد که مدل اول در ایستگاه‌های اردستان، گلپایگان، نطنز، خور و بیابانک و فریدونشهر با استفاده از سه روش cls، ml و uls، در ایستگاه‌های خوانسار، کاشان، شهرضا، میمه و فریدن با استفاده از روش‌های cls و uls، ایستگاه نائین به روش cls و ایستگاه اصفهان با روش‌های cls و ml دارای شرط‌های ایستایی هستند و مقادیر t آنها معنی‌دار می‌باشد و مقادیر احتمال Q در تمام تأخیرها از دو مقدار ۰/۰۱ و ۰/۰۵ بزرگ‌تر بوده و مدل کاملاً کفایت دارد.

هم‌چنین مدل چهارم در ایستگاه‌های اصفهان، فریدونشهر، گلپایگان و نطنز با هر سه روش cls، ml و uls، در ایستگاه‌های نائین، فریدن، خوانسار، شهرضا و میمه با روش cls و uls و در ایستگاه‌های اردستان، خور و بیابانک و کاشان با روش‌های cls و ml از شرط‌های ایستایی و وارون‌پذیری برخوردارند و مقادیر t آنها معنی‌دار است و مقادیر احتمال Q نشان می‌دهد که مدل چهارم با روش‌های ذکر شده کفایت لازم برای مدل‌سازی را دارا می‌باشد. در نتیجه، این دو مدل با روش‌های ذکر شده به عنوان گزینه‌های مورد قبول در نظر گرفته شدند (جدول ۲). هم‌چنین تابع خودهم‌بستگی نشان داد که این دو مدل در هیچ‌کدام از تأخیرها معنی‌دار نمی‌باشند و لذا باقیمانده‌های این مدل‌ها دارای استقلال زمانی هستند. بنابراین باقیمانده‌ها مورد آزمون نرمال قرار گرفتند. در پایان، بررسی باقیمانده‌های مدل‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف- اسمیرنوف نشان داد که باقیمانده‌های مدل‌های منتخب نرمال هستند. به این ترتیب تنها راه انتخاب مدل مناسب پیروی از اصل امساک و محاسبه شاخص آکائیک و بررسی ضرایب هم‌بستگی می‌باشد. در ایستگاه‌های اصفهان، میمه و اردستان بیشترین هم‌بستگی بین داده‌های اصلی و پیش‌بینی شده را مدل ARIMA (0,1,1)×(1,0,0) (مدل چهارم) و در ایستگاه‌های نائین، فریدونشهر، خوانسار و نطنز بیشترین هم‌بستگی را مدل ARIMA (0,1,1)×(0,0,1) (مدل اول) ایجاد کرده است که در میان مدل‌های منتخب، بیشترین مقدار هم‌بستگی و کمترین مقدار ضریب آکائیک را دارند و به عنوان بهترین مدل‌ها جهت پیش‌بینی در ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شدند. اما پس از بررسی ضرایب هم‌بستگی مدل‌های منتخب در ایستگاه‌های کاشان، فریدن، خور و بیابانک و گلپایگان مشخص گردید که در این ایستگاه‌ها در هیچکدام از مدل‌ها ضرایب هم‌بستگی معنی‌دار نمی‌باشند و در نتیجه امکان پیش‌بینی برای این ایستگاه‌ها میسر نشد.

پس از تعیین بهترین مدل، روند مقادیر پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۱۵ تعیین گردید. همانطور که از جدول ۳ مشخص است در اکثر ماه‌های سال روند بارش تغییر معنی‌داری ندارد. به طوری که در ایستگاه اردستان در تمام ماه‌ها دارای روند صعودی بوده و در ماه‌های ژانویه، مه و سپتامبر این روند معنی‌دار می‌باشد. در ایستگاه اصفهان در تمام ماه‌ها، بجز ماه مه، روند مثبت است و در ماه سپتامبر روند معنی‌داری را نشان می‌دهد. ایستگاه فریدونشهر و خوانسار تقریباً دارای شرایط یکسانی هستند و در ماه‌های سپتامبر و اکتبر روند مثبت معنی‌دار است. در ایستگاه میمه روندهای معنی‌دار مشاهده نگردید و در فصل زمستان روند منفی می‌باشد که تأییدی بر کاهش بارش زمستانه است. در ایستگاه نائین نیز بارندگی در اکثر ماه‌های سال منفی است که بیشتر روندهای منفی در فصل زمستان بوده، هم‌چنین در این ایستگاه در ماه سپتامبر که شروع بارش‌های پاییزه است، روند صعودی معنی‌دار می‌باشد. در ایستگاه شهرضا نیز شرایطی مشابه با ایستگاه‌های میمه و نائین دیده شد.

به طوری که در فصل زمستان، بارش روند منفی غیرمعنی‌داری را نشان داده و در ماه سپتامبر روند مثبت معنی‌دار است.

در ایستگاه نطنز، شرایطی متفاوت با شرایط دیگر ایستگاه‌های منتخب در استان اصفهان پیش‌بینی شده و در این ایستگاه روند بارش در تمام ماه‌های سال مثبت بوده و در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل و سپتامبر روند صعودی معنی‌دار است. به طور کلی می‌توان گفت در استان اصفهان مقدار بارش تا سال ۲۰۱۵ در ماه سپتامبر در حال افزایش است.

جدول ۲. پارامترهای مدل‌های اول و چهارم و نتایج آزمون ایستایی و وارون‌پذیری

ایستگاه	روش تخمین پارامتر	نوع پارامتر	مقدار پارامترهای مدل	خطای استاندارد	مقدار t	احتمال t	شرط وارون‌پذیری و ایستایی
اصفهان	حداقل مربعات شرطی	میانگین متحرک رتبه ۱۲	۰/۸۹	۰/۰۲	۴۱/۹۷	<۰/۰۰۰۱	قبول وارون‌پذیری
		اتورگرسیو رتبه ۱	۰/۰۹	۰/۰۴	۲/۱۰	۰/۰۳	قبول ایستایی
نائین	حداقل مربعات شرطی	میانگین متحرک رتبه ۱	−۰/۰۹	۰/۰۴	−۲/۰۸	۰/۰۴	قبول وارون‌پذیری
		میانگین متحرک رتبه ۱۲	۰/۸۹	۰/۰۲	۴۲/۱۵	<۰/۰۰۰۱	
فریدونشهر	حداقل مربعات شرطی	میانگین متحرک رتبه ۱	−۰/۰۹	۰/۰۴	−۲/۰۲	۰/۰۴	قبول وارون‌پذیری
		میانگین متحرک رتبه ۱۲	۰/۸۷	۰/۰۲	۳۷/۲۸	<۰/۰۰۰۱	
خوانسار	حداقل مربعات غیر شرطی	میانگین متحرک رتبه ۱۲	۰/۹۹	۰/۰۹	۱۰/۷۹	<۰/۰۰۰۱	قبول وارون‌پذیری
		اتورگرسیو رتبه ۱	۰/۱۲	۰/۰۴	۲/۸۰	۰/۰۰۵۳	قبول ایستایی
اردستان	حداقل مربعات شرطی	میانگین متحرک رتبه ۱۲	۰/۸۷	۰/۰۲	۳۴/۳۰	<۰/۰۰۰۱	قبول وارون‌پذیری
		اتورگرسیو رتبه ۱	۰/۲۱	۰/۰۴	۴/۷۱	<۰/۰۰۰۱	قبول ایستایی
نطنز	حداقل مربعات شرطی	میانگین متحرک رتبه ۱	−۰/۲۱	۰/۰۴	−۴/۶۹	<۰/۰۰۰۱	قبول وارون‌پذیری
		میانگین متحرک رتبه ۱۲	۰/۸۸	۰/۰۲	۳۷/۷۱	<۰/۰۰۰۱	
شهرضا	حداقل مربعات شرطی	میانگین متحرک رتبه ۱۲	۰/۸۸	۰/۰۲	۳۹/۱۳	<۰/۰۰۰۱	قبول وارون‌پذیری
		اتورگرسیو رتبه ۱	۰/۱۶	۰/۰۴	۳/۶۲	۰/۰۰۰۳	قبول ایستایی
میمه	حداقل مربعات غیر شرطی	میانگین متحرک رتبه ۱۲	۰/۹۹	۰/۰۹	۱۰/۷۹	<۰/۰۰۰۱	قبول وارون‌پذیری
		اتورگرسیو رتبه ۱	۰/۱۴	۰/۰۴	۳/۲۴	۰/۰۰۱۳	قبول ایستایی

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به این نکته که خشکسالی بر کلیه جنبه‌های زندگی و بخش‌های مختلف جامعه، خصوصاً تغییر محیط طبیعی، تأثیر مستقیم و غیرمستقیم دارد و عدم درک مفهوم آن موجب تردید و رکود در بخش‌های مختلف اقتصادی، مدیریتی و سیاست‌گذاری می‌شود، بنابراین این مطالعه به بررسی خشک‌سالی و روند آن در تعدادی از ایستگاه‌های استان اصفهان در طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۷۰ می‌پردازد. برای بررسی خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد روی ارقام مجموع بارش‌های ۴۰ ساله ۱۲ ایستگاه محاسبه و فراوانی سال‌های خشک‌سالی به تفکیک برای هر یک از آنها بدست آمد. نتایج نشان داد که بیشترین درصد خشک‌سالی در قسمت‌های جنوبی و شمالی استان دیده می‌شود که با نتایج خداقلی (۳) و بهیار و پرنده خوزانی (۲) مطابقت دارد. خداقلی (۳) در مطالعه‌ای در سطح استان اصفهان نشان داد که خشک‌سالی در بازه‌های ۳، ۵ و ۸ ماهه در بخش شمالی استان از بیشترین درصد فراوانی برخوردار است و بهیار و پرنده خوزانی (۲) نیز به نتیجه مشابهی رسیدند. به طوری که در بررسی آمار سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۴ استان اصفهان نتیجه

جدول ۳. آماره مقادیر روند داده‌های پیش‌بینی شده در مقیاس ماهانه از ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اردستان	۲/۵۶**	۰/۹۵	۰/۵۷	۱/۴۶	۲/۳۰*	۱/۲۹	۱/۱۲	۱/۸۰	۳/۳۹**	۱/۰۳	۱/۳	۱/۱
اصفهان	۰/۷۴	۰/۰۰۹	۰/۷۲	۰/۳۳	-۰/۴	۱/۶۲	۰/۴۰	۰/۶۲	۳/۰۸**	۰/۷۵	۱/۰۷	۰/۵۹
فریدون شهر	۱/۵۲	۱/۴۱	۱/۲۵	۱/۷۱	۰/۳۴	۱/۶۷	۰/۷۹	۱/۴	۲/۱۷**	۲/۰۶*	۰/۷۷	۰/۴۶
خوانسار	۰/۰۰۹	۰/۱۸	۰/۷	۱/۴۴	-۰/۶۹	۰/۵۶	۱/۲	۱/۶	۳/۷**	۳/۱۰**	۰/۶۵	-۰/۱۹
میمه	-۰/۱۷	-۰/۸۴	۰/۰۶	۰/۳۳	۰/۵۳	۰/۸۵	۰/۴۶	۱/۲۹	۲/۲۳	۰/۵۴	۰/۹۳	-۰/۵۳
نائین	-۰/۵۸	-۰/۹	۰/۰۶	-۰/۴	۰/۳	-۰/۲۳	-۰/۵۵	۱/۲۳	۲/۰۱**	-۰/۲۵	۱/۲۰	-۱/۲۳
شهرضا	-۰/۰۴	-۱/۱۲	-۰/۵	-۰/۵۸	۰/۳۹	۱/۳۷	۰/۸۷	۱/۱	۳/۸**	۱/۷	۰/۷۱	۰/۹۲
نطنز	۳/۱**	۱/۴۱	۲/۰۳*	۲/۱۱**	۱/۳۲	۱/۱۳	۰/۸۳	۱/۵۳	۳/۷۸**	۱/۰۷	۱/۵۶	۱/۱۴

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد

*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد

گرفتند که بیشترین درصد خشک‌سالی در قسمت‌های شمالی استان می‌باشد و در درجه دوم قسمت‌های شمال شرقی، شرق و غرب استان از بیشترین درصد خشک‌سالی برخوردار می‌باشد. هم‌چنین بررسی روند خشک‌سالی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۹ نشان می‌دهد که اکثر نقاط استان اصفهان در سال ۲۰۰۰ با خشک‌سالی شدیدی روبه‌رو بوده و در سال ۲۰۰۸ نیز چنین شرایطی بار دیگر در استان اتفاق افتاده است. به طوری که ایستگاه شهرضا شدیدترین خشک‌سالی را در سال ۲۰۰۸ تجربه کرد، که از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸ بی‌سابقه بوده است. در ایستگاه‌های اردستان، فریدونشهر و نطنز، روند خشک‌سالی در حال کاهش و شرایط ترسالی در حال افزایش می‌باشد. در حالی که ایستگاه‌های گلپایگان، خور و بیابانک، شهرضا و نائین به سمت خشک‌سالی پیش می‌روند. هم‌چنین در ایستگاه‌های فریدن، گلپایگان، خور و بیابانک، میمه، نائین و شهرضا مقدار بارش زمستانه روند کاهشی دارد و خشک‌سالی در حال افزایش می‌باشد. به طور کلی، موانع کوهستانی باعث شده که مقدار بارش از شمال به جنوب و از غرب به شرق استان کاهش یابد و با توجه به افزایش روند دما، خصوصاً در بخش شرقی استان اصفهان، به همراه کاهش بارش، خود دلیلی بر افزایش روند خشک‌سالی، به ویژه در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی استان شده است. مطالعات مدرس و خداقلی(۱۱) نیز این مسئله را تأیید می‌نماید. آنها نشان دادند که در بخش بزرگی از استان اصفهان، به ویژه در شرق استان، روند بارش منفی است. بهیار و پرنده خوزانی (۲) معتقدند که به دلیل نوسانات منفی شدید مقادیر بارندگی، رخداد خشک‌سالی یکی از ویژگی‌های اصلی آب و هوای استان اصفهان محسوب شده که در بخش‌های مرکزی و شرقی از فراوانی بیشتر، دوره تداوم طولانی‌تر، شدت زیادتر و گسترش وسیعتر برخوردار است. هم‌چنین، نتیجه بررسی حاضر نشان می‌دهد که تغییرات روند در بیشتر ایستگاه‌ها تقریباً از سال ۲۰۰۰ به بعد می‌باشد و در واقع می‌توان گفت سال ۲۰۰۰ سرآغازی بر تغییر پارامترهای اقلیمی در استان اصفهان است.

در این مطالعه، سری زمانی بارش ماهانه استان اصفهان به منظور پیش‌بینی خشک‌سالی در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. با تعیین روابط زمانی تغییرات پارامترهای آماری سری مورد مطالعه مشخص شد که رفتار سری مورد نظر به طور فصلی تغییر می‌کند. در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه و در تمامی پارامترهای مدل شده، مدل SARIMA (آریما فصلی) با درجات مختلف به دست آمده که حاکی از انعطاف‌پذیری بالای این مدل می‌باشد. زیرا پارامترهای خودهمبسته و میانگین متحرک را به طور همزمان داراست. در ایستگاه‌های اصفهان، میمه و اردستان بیشترین هم‌بستگی بین داده‌های اصلی و پیش‌بینی شده را مدل ARIMA (1,0,0)×(0,1,1) و در ایستگاه‌های نائین، فریدونشهر، خوانسار و نطنز بیشترین هم‌بستگی را مدل ARIMA (0,0,1)×(0,1,1) ایجاد کرده است که باز هم انعطاف‌پذیری بالای این مدل‌ها را نشان می‌دهد که با نتایج طوفانی و همکاران (۷) و شفیعی و همکاران (۶) مطابقت دارد. یکی از دلایل وجود پارامتر میانگین متحرک فصلی در مدل‌های منتخب، ویژگی‌های فصلی بارندگی است و گسترش صنایع در شهرهای اصفهان و میمه و افزایش گازهای گلخانه‌ای (۸) در این مناطق می‌تواند باعث ایجاد کاهش و تأخیر در ریزش بارش (۱۲) و معنی‌دار شدن پارامتر اتورگرسیو غیرفصلی شود.

هم‌بستگی بیش از ۸۵ درصد داده‌های اصلی و داده‌های پیش‌بینی شده حکایت از دقت و نیکوئی برازش مدل انتخاب شده دارد. هم‌چنین از بین سایر روش‌های تخمین پارامتر، روش حداقل مربعات شرطی در شش ایستگاه و تنها در ایستگاه‌های خوانسار و میمه روش حداقل مربعات غیرشرطی بیشترین هم‌بستگی را بین داده‌های اصلی و پیش‌بینی شده ایجاد نموده است. در ایستگاه‌های فریدن، خور و بیابانک، گلپایگان و کاشان، ضریب هم‌بستگی بین داده‌های بارندگی و پیش‌بینی شده قوی نمی‌باشد. علت این ضعف در پیش‌بینی را باید در آنومالی‌های زیاد بارندگی این ایستگاه‌ها و به طور کلی نوسان زیاد پارامتر بارش دانست که باعث شده مدل‌های ARIMA با تمام قابلیت‌ها نتوانند پیش‌بینی درستی را ارائه دهند. امیری (۱) هم‌بستگی ضعیف بین داده‌های اصلی و پیش‌بینی شده بارندگی را ناشی از نوسان زیاد بارندگی در شهر رشت دانسته و جهت دست یافتن به نتایج دقیق‌تر برای پیش‌بینی بارندگی، استفاده از مدل‌های خطی که عوامل دیگری نیز در آن لحاظ شده باشد را پیشنهاد می‌نماید. در پایان، جهت آگاهی از صحت داده‌های پیش‌بینی شده، درصد خطا محاسبه گردید که در تمام ایستگاه‌های منتخب کمتر از ۱۰ درصد بود.

پس از پیش‌بینی مقدار بارش تا سال ۲۰۱۵، روند خشک‌سالی از ۲۰۱۵-۱۹۷۰ با استفاده از آزمون من- کندال محاسبه شد. در مجموع، نتایج روند داده‌های پیش‌بینی شده بارش در کل استان اصفهان نشان می‌دهد که در اکثر ماه‌ها روند معنی‌داری وجود ندارد. ایستگاه‌های شهرضا، نائین و میمه تا سال ۲۰۱۵ با کاهش بارش زمستانه و در کلیه ایستگاه‌های منتخب شامل اردستان، اصفهان، فریدن‌شهر، خوانسار، نائین و شهرضا به‌جز ایستگاه میمه، افزایش معنی‌دار در بارش ابتدای فصل پاییز را شاهد خواهند بود و در ایستگاه‌های اردستان و نطنز در تمامی ماه‌ها با افزایش بارش تا سال ۲۰۱۵ روبرو می‌شوند که این بارش در ابتدای دو فصل بهار و پاییز معنی‌دار است. هم‌چنین همانطور که اشاره شد خشک‌سالی در ایستگاه-های گلپایگان، خور و بیابانک، شهرضا و نائین از ۲۰۰۹-۱۹۷۰ در حال افزایش است که نتایج پیش‌بینی نیز ادامه روند خشک‌سالی تا سال ۲۰۱۵ را در ایستگاه‌های شهرضا و نائین تأیید می‌نماید. این روند افزایشی در مقدار بارش می‌تواند در بخش کشاورزی تأثیر گذارد و خسارات اقتصادی به این بخش وارد سازد و ادامه یافتن چنین وضعیتی بر میزان آب در دسترس و منابع آب منطقه تأثیرگذار خواهد بود. به طوری‌که در ایستگاه‌های خور و بیابانک و نائین رشد جمعیت انسانی به موازات توسعه تکنولوژی و در نتیجه توسعه شهرسازی و حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، گسترش صنایع با مسائلی از قبیل کاهش جریان و پایین افتادن آب‌های زیرزمینی ممکن است با کمبود آب شرب، کشاورزی و صنایع در این مناطق همراه شود و در بسیاری از مناطق، خشک‌سالی هیدرولوژیک را به یک

مسئله بغرنج تبدیل نماید. بنابراین، بررسی پارامترها و شاخص‌های اقلیمی در پایش زود هنگام خشک‌سالی و تعیین زمان آن اهمیت زیادی دارد. اگرچه افزایش مقدار بارش در مناطقی با بارش زیاد مانند فریدون‌شهر و خوانسار به استحصال آب بیشتر از این مناطق و هم‌چنین مشکلات کمتر در وقوع پدیده خشک‌سالی تعبیر می‌شود. اما متأسفانه افزایش دام و شدت بسیار زیاد چرای دام باعث کاهش پوشش‌گیاهی در این مناطق شده است و در نتیجه در این مناطق باید با کاهش تعداد دام و رسیدن به تعادل دام و مرتع جهت استفاده بهینه از افزایش بارش در سال‌های آتی برنامه‌ریزی نمود.

منابع مورد استفاده

۱. امیری، آ. ۱۳۸۴. بررسی و پیش‌بینی تغییر اقلیم در شهر رشت. مجله خشکی و خشک‌سالی کشاورزی ۱۵: ۱-۱۱.

۲. بهیار، م.ب. و ا. پرنده خوزانی. ۱۳۸۶. بررسی آماری خشک‌سالی استان اصفهان. مجله علوم انسانی ۲۷(۶): ۱۰۵-۱۲۸.

۳. خداقلی، م. ۱۳۸۷. گزارش بررسی و پهنه‌بندی خشک‌سالی‌های استان اصفهان با شاخص بارش استاندارد. اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان، ۱۵۹ صفحه.

۴. خداقلی، م.، س. سلطانی، ع. ر. میرسعیدی، ع. محمودزاده، ف. شیروانی و ن. غضنفرپور. ۱۳۸۸. بررسی خشک‌سالی استان اصفهان در بازه‌های زمانی ۳، ۵ و ۸ ماهه با استفاده از شاخص SPI (سال آبی ۱۳۸۷- ۱۳۸۶). دومین همایش ملی آثار خشک‌سالی و راهکارهای مدیریتی، اصفهان.

۵. زاهدی، م.، ب. صراف و ج. جامعی. ۱۳۸۵. الگوسازی بارش ایستگاه‌های ارومیه و تبریز. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای ۷: ۱-۱۶.

۶. شفیعی، م.، ب. قهرمان، ح. انصاری و م. ب. شیفی. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی تصادفی شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص پالمر. مجله مدیریت آب و آبیاری ۱: ۱-۱۲.

۷. طوفانی، پ.، ا. مساعدی، ا. فاخری فرد، ا. دهقانی و م. حسام. ۱۳۸۹. پیش‌بینی بارش‌های ماهانه با استفاده از تئوری موجک و سری زمانی. اولین همایش ملی توسعه منابع آب، اهواز.

۸. صبوحی، ر. و س. سلطانی. ۱۳۸۷. تحلیل روند عوامل اقلیمی در شهرهای بزرگ ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۶: ۳۰۳-۳۲۱.

۹. محمدی، ب. ۱۳۹۰. تحلیل روند بارش سالانه ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی ۳: ۹۵-۱۰۶.

۱۰. مدرس، ر. ۱۳۸۲. پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی در یکی از سرشاخه‌های زاینده‌رود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۰۶ صفحه.

۱۱. مدرس، ر. و م. خداقلی. ۱۳۸۸. تحلیل منطقه‌ای روند بارندگی در استان اصفهان. دومین همایش ملی آثار خشک‌سالی و راهکارهای مدیریتی، اصفهان.

۱۲. نوروزی، ر. و م. خسروی. ۱۳۸۹. چشمه‌ها و چاهک‌های انتشار گاز گلخانه‌ای متان و نقش آن در پدیده گرمایش جهانی. چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان.

13. Bowerman, B. L. and R. T. Connel. 1993. Forecasting and time series. Duxbury, Pacific Grove, pp. 470-511.

14. Brockwell, P. J. and D. A. Richard. 1987. Time Series: Theory and Methods. Library of Congress Cataloging Pub. Data, pp. 325-339.

15. Chung, Y. S. and M. B. Yoon. 2000. Interpretation of recent temperature and precipitation trends observed in Korea. Theor. Appl. Climatol. 67: 171-180.

16. Helsel, D. R. and R. M. Hirsch. 2002. Statistical Methods in Water Resources. US Geological Survey.

17. Herath, S. and U. Ratnayake. 2004. Monitoring rainfall trends to predict adverse impacts- A case study from Sri Lanka 1964-1993. Global Environ. Change 14: 71-79.
18. Hipel, K.W., Mcleod and Lennox, W.C. 1977. Advances in Box-Jenkins modeling, 1- Model construction. Water Resour. Res. 13(3): 567-575.
19. Hollander, M. and D. A. Wolfe. 1999. Nonparametric Statistical Methods. New York.
20. Khazanedari, L., F. Zabol Abbasi, SH. Ghandhari, M. Kouhi and SH. Malbousi. 2009. Drought prediction in Iran during next 30 Years. Hydrol. Earth Sys. Sci. 13: 1519-1530.
21. McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proc. 8th Conf. on Appl. Climatol., Anaheim, CA, USA.
22. McKerchar, A. I. and L.W. Delleur. 1974. Application of seasonal parametric linear stochastic models to monthly flow data. Water Resour. Res. 10(2): 246-255.
23. Mishra, A. K. and V. R. Desai. 2005. Spatial and temporal drought analysis in the Kansabati river basin, India. Intl. J. River Basin Manage. 3(1):31-41.
24. Saboohi, R., S. Soltani and M. Khodagholi. 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. Theor. Appl. Climatol. 109: 529-547.
25. Santer, B. D., K. E. Taylor and T. M. Wigley. 1996. A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere. Nature 382: 39-46.
26. Soltani, S. and R. Saboohi. 2011. Rainfall and rainy days trend in Iran. Climatic Change. DOI 10.1007/s10584-011-0146-1.
27. Yu, P.S., T. C. Yang and C. C. Kuo. 2006. Evaluating long-term trends in annual and seasonal precipitation in Taiwan. Water Resour. Manage. 20: 1007-1023.