

مدیریت منابع آبی، تغییرات اقلیمی.  
 مقدمه

خشک‌سالی پدیده آب‌وهوایی طبیعی است که به‌طور گسترده به‌عنوان پیچیده‌ترین و پرهزینه‌ترین بلای طبیعی در نظر گرفته می‌شود، اما هنوز شناخت کاملی از این فرآیند صورت نگرفته است [۲۰ و ۲۴]. خشک‌سالی بر خلاف سایر بلاایای طبیعی مانند طوفان، سیل و گردباد، به‌کندی در مناطق توسعه می‌یابد و سال‌ها طول می‌کشد که به منابع طبیعی، محیط زیست و مردم آسیب برساند [۲۱]، و معمولاً شناسایی آن‌ها تا زمانی که آسیب قابل‌توجهی ایجاد کرده باشند دشوار است [۱۷]. چنین پدیده‌هایی با کمبود بارندگی شروع می‌شود و بر جریان رودخانه و رطوبت خاک تأثیر می‌گذارد و می‌تواند به‌وسیله متغیرهای هواشناسی و فعالیت‌های انسانی ایجاد یا تشدید شود [۲۳]. ویلهایت و گلانتز [۲۵]، خشک‌سالی را به چهار عمده هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی تقسیم کرده‌اند. چنانچه بارندگی از حد آستانه از پیش تعیین شده کم‌تر شود، سبب بروز خشک‌سالی هواشناسی می‌شود. خشک‌سالی هیدرولوژی، با ادامه خشک‌سالی هواشناسی و کاهش جریان زیرزمینی رخ می‌دهد. به‌دنبال کاهش محتوای آب خاک و در تولید محصول خشک‌سالی کشاورزی و در نهایت با افزایش نامالیقات و ناهنجاری‌های بین جوامع بشری، خشک‌سالی اجتماعی-اقتصادی رخ می‌دهد [۱۰]. هر چند واکنش هنگام مواجهه با پدیده خشک‌سالی عمدتاً سنتی بوده و تا حد زیادی توسط مدیریت بحران کنترل می‌شود، اما امروزه افزایش میزان آسیب‌پذیری خشک‌سالی به‌همراه صرف هزینه‌های زیاد برای جبران خسارات‌های ناشی از آن سبب شده که رویکردهای جدید و نوین جایگزین روش‌های سنتی شود. در این بین، سیاست مدیریت ریسک در قالب مجموعه اقداماتی قبل از وقوع خشک‌سالی می‌تواند در نظر گرفت تا غافل‌گیری، هنگام وقوع سیل را به کم‌ترین حد رساند [۲۷]. پیش‌بینی وقوع پدیده خشک‌سالی، یکی از راهکارهای مؤثر و مهم در امر مدیریت ریسک است، ولی مطالعات مختلف نشان داده که خشک‌سالی اقلیمی و کشاورزی، نتیجه یک عامل منفرد و مشخصی نیست که بتوان آن را از قبل از وقوع و به‌طور دقیق پیش‌بینی کرد. با وجود این، در مقیاس زمانی ماهانه یا فصلی، با توجه به روند وقوع خشک‌سالی و نشانه‌هایی از شروع و خاتمه آن در طول دوره‌های قبل، می‌توان وقایع آتی خشک‌سالی را پیش‌بینی کرد [۵]. با توجه به تصادفی بودن وقایع اقلیمی از جمله بارش، به‌منظور دستیابی به نتایج مناسب با مدل‌های

 به‌کارگیری مدل‌های سری زمانی ARIMA در  
 پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی استان تهران

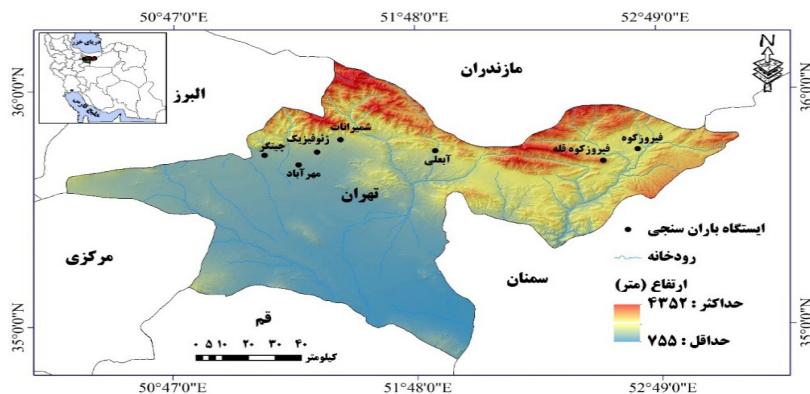
مرتضی قیصری<sup>۱</sup>، مهین کله‌هویی<sup>۲\*</sup>، عارف صابری<sup>۳</sup>، پروین محمدی<sup>۱</sup>  
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲

## چکیده

امروزه منابع آب به یکی از نگرانی‌های عمده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تبدیل شده است. بارش کم و توزیع نامنظم آن در کشور ایران همراه با جمعیت سریع و افزایش فعالیت‌های کشاورزی، سبب خشک‌سالی‌های اخیر شده است. مطالعه حاضر با هدف بررسی و پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی در استان تهران با استفاده از مدل ARIMA انجام شده است. برای ارزیابی شاخص بارش استاندارد (SPI) داده‌ها از هفت ایستگاه بارشی برای دوره ۲۰۲۰ - ۲۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. سپس مدل ARIMA برای پیش‌بینی خشک‌سالی بر مبنای SPI اجرا، و برای هر ایستگاه بهترین مدل برای پیش‌بینی خشک‌سالی استخراج شد. نتایج نشان داد مدل‌های سری زمانی ARIMA قادر است به درستی تغییرات اقلیمی را مورد ارزیابی قرار دهد. هم‌چنین مطابق نتایج شاخص خشک‌سالی SPI برای دوره پیش‌بینی شده، مشخص شد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه وضعیت نزدیک به نرمال را داشته و در سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۴ شرایط به سمت بهبود وضعیت بارش پیش‌رفته است که با توجه به بارش‌های اخیر در سطح ایران این مدل توانسته به خوبی به مدل‌سازی تغییرات اقلیمی بپردازد. با توجه شاخص SPI خشک‌سالی در منطقه مورد نظر در وضعیت نزدیک به نرمال قرار دارد، می‌تواند برای مدیریت منابع آبی، حفظ بوم‌سازگان طبیعی و بهبود وضعیت اقلیمی آینده ابزار مناسبی باشد.

## واژه‌های کلیدی: استان تهران، شاخص SPI، مدل‌سازی،

- ۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس و نویسنده مسئول، Email: K.mahin@modares.ac.ir
- ۳- دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری



شکل ۱: معرفی منطقه مورد مطالعه

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

استان تهران در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز تا حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران واقع شده است. حداقل ارتفاع در منطقه مورد مطالعه ۷۵۵ متر و حداکثر ارتفاع ۴۳۵۲ متر از سطح دریا است. اقلیم استان تهران در نواحی کویری و جنوب گرم و خشک، در نواحی پایکوهی سرد و نیمه مرطوب، و در نواحی مرتفع سرد همراه با زمستان‌های طولانی است. گرم‌ترین ماه‌های سال در مرداد و شهریور با دمای متوسط ۳۵ تا ۴۵ درجه و سردترین ماه‌های سال دی و بهمن با دمای ۵- درجه‌ی سانتی‌گراد ثبت شده است. میزان بارندگی در سطح شهر تهران عمدتاً کم بوده و به مقدار ۲۴۵/۸ میلی‌متر در طی سال اندازه‌گیری و تعداد روزهای یخبندان (با دمای زیر صفر) آن نیز ۳۶ روز در سال بوده است [۱۲].

#### روش تحقیق

در این مطالعه به منظور بررسی و مدیریت منابع آبی در آینده، با استفاده از مدل‌های سری زمانی تغییرات اقلیمی (خشک‌سالی) برای یک دوره پنج ساله با استفاده از داده‌های ۲۱ ساله استخراج شد. در این روش با استفاده از داده‌های اقلیمی بارش با در نظر گرفتن ۸۰ درصد داده‌ها جهت آموزش و ۲۰ درصد برای صحت‌سنجی، مدل سری زمانی آریما فصلی برای پنج سال آینده (سال ۲۰۲۵) هشت ایستگاه آبعلی، شمیرانات، چیتگر، فیروزکوه، فیروزکوه قله، ژئوفیزیک، مهرآباد و شمیرانات واقع در استان تهران اجرا شد. سپس با استفاده از داده‌های استخراجی، شاخص خشک‌سالی SPI برای منطقه مورد مطالعه بدست آمد که در مراحل بعدی روند تغییرات در بخش نتایج بررسی شد.

#### مدل‌سازی سری زمانی

مدل خود همبسته- میانگین متحرک تلفیق شده  $ARIMA(p,d,q)$  در این مرحله با استفاده از توابع خودهم‌بستگی  $ACF^3$  و خودهم‌بستگی جزئی  $PACF^4$  مدل‌های سری زمانی مناسب به

مختلف از جمله مدل‌های ناپارامتریک سعی می‌شود پارامترهای اقلیمی برای آینده پیش‌بینی شود [۱۳]. شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و رگرسیون بردار پشتیبان (ANN) رایج‌ترین تکنیک‌ها برای مدل‌سازی و پیش‌بینی خشک‌سالی و دیگر متغیرهای کشاورزی است [۲۹]. اما مدل میانگین متحرک یکپارچه اتورگرسیون (ARIMA) یکی از پرکاربردترین مدل‌های سری زمانی می‌باشد [۲۲]. استفاده گسترده از مدل ARIMA به دلیل انعطاف‌پذیری و امکان جستجوی سیستماتیک (شناسایی و تخمین) در هر مرحله از یک مدل می‌باشد [۲۶]. مدل ARIMA چندین مزیت نسبت به مدل‌های دیگر دارد، به‌ویژه قابل پیش‌بینی بودن و اطلاعات غنی‌تر در مورد تغییرات در طول زمان برای تحلیل و مدل‌سازی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی است [۱۸]. در زمینه مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی با ARIMA مطالعات متعددی انجام شده است که می‌توان به بررسی آبابا و فورچه [۱]، در پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیکی با SARIMA اشاره کرد. نتایج آن‌ها نشان داد که  $ARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)$  در تمامی مدل‌های مورد بررسی بهینه بود. دوردو [۱۱]، از مدل‌های ARIMA و SARIMA برای پیش‌بینی شاخص بارش استاندارد  $(SPI^2)$  استفاده کرد و گزارش داد که این مدل‌ها ممکن است برای پیش‌بینی SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با دقت معقول مورد استفاده قرار گیرند. به طور خاص، بررسی هر دو خشک‌سالی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی برای مدیریت آب و هشدار زود هنگام در مقیاس حوضه بسیار مهم است [۲۸]. در نهایت، این روش می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای کاهش تغییرات آب‌وهوای فعال یا برنامه‌های تطبیق خدمت کند. با توجه به تغییرات اقلیمی در چند سال اخیر و کاهش بارندگی در سطح کشور، پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات اقلیمی می‌تواند به مدیران برای تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آبی کمک کند. بنابراین در این پژوهش سعی خواهد شد با مدل‌سازی خشک‌سالی در استان تهران، به بررسی این شاخص در چهار سال آینده پرداخته شود.

3- Autocorrelation Function  
4- Partial Autocorrelation Function

1- Auto regressive moving average  
2- Standardized Precipitation Index

نرمال بودن داده‌ها و همگنی استفاده شد، هم‌چنین جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد میانگین خطای قدر مطلق (MAE) و میانگین خطای مطلق (MAPE و BIC) برای بررسی ارتباط داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### شاخص بارش استاندارد

این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلند مدت بارندگی برازش داده می‌شود؛ معمولاً برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود [۱۶ و ۹] شدت و تداوم خشک‌سالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت و خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی در مقیاس‌های بلندمدت توسط این شاخص برآورد می‌شود. چنانچه سری‌های زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه‌های منطقه به صورت  $P_{ij}$  معرفی شوند که در آن اندیس  $i$  سال هیدرولوژیکی و اندیس  $j$  ماه مربوط به سال هیدرولوژیکی را مشخص کند ( $j=1$  مهر و  $j=12$  شهریور) سری‌های زمانی بارندگی با مدت‌های مختلف را می‌توان با استفاده از رابطه (۴) به دست آورد.

$$R_{ik} = \sum_{j=1}^k P_{ij} \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots$$

$$j = 1, 2, \dots, 12$$

$$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

شاخص SPI بر اساس ارتفاع بارش تجمعی ( $R_{ik}$ ) برای دوره مبنا ( $k$ ) مربوط به ( $i$ ) سال هیدرولوژیکی به صورت رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$SPI_{ik} = \frac{R_{ik} - \overline{R}_k}{S_k} \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots$$

$$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$\overline{R}_k$  و  $S_k$  به ترتیب میانگین ارتفاع بارش تجمعی و انحراف معیار ارتفاع بارش تجمعی و انحراف معیار ارتفاع بارش تجمعی برای دوره مبنا ( $K$ ) می‌باشد. طبقات مختلف SPI بر اساس نتایج مککی و همکاران [۱۶] در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص خشکسالی SPI [۱۶]

مقادیر SPI	طبقه
< ۲	شدیداً مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم
-۰/۴۹ تا -۰/۹۹	تقریباً نرمال
-۰/۹۹ تا -۱/۵	خشک ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشک متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خیلی خشک

داده‌ها برازش داده شد و با استفاده از رفتار این دو تابع خواص ایستایی و فصلی بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت [۷]. امروزه مدل  $ARIMA^1$  به فراوانی استفاده می‌شود. شکل کلی مدل‌های  $ARIMA$  عبارتند از  $ARIMA(p,d,q)$  غیرفصلی و  $ARIMA(P,D,Q) \times (p,d,q)$  فصلی است. در این رابطه  $p$  و  $q$  به ترتیب، پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک غیرفصلی،  $P$  و  $Q$  پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی است. دو پارامتر دیگر یعنی  $d$  و  $D$  نیز پارامترهای تفاضلی برای ایستاد کردن سری زمانی می‌باشد. عملگر تفاضلی مورد استفاده برای سری‌های زمانی پویا عبارتند از  $B(\Delta) = 1 - B$  عملگر جهش به عقب است) و  $\Delta^d = (1 - B)^d$  برای تفاضل‌گیری فصلی است. این شکل از مدل‌های  $ARIMA$  غیرفصلی به صورت رابطه (۱) می‌باشد [۸]:

$$\Phi(B)Z_t = \Phi(B)(1-B)Z_t = \theta(B)at \quad (1)$$

که  $Z_t$ ، سری‌های مشاهده شده،  $\Phi(B)$  رتبه چند جمله‌ای  $p$  و  $\theta(B)$  رتبه چند جمله‌ای  $q$  است. برای سری‌های زمانی فصلی که اغلب به صورت چرخه‌ای هستند، تفاضل‌گیری فصلی به کار برده می‌شود که در این جا مدل فصلی - ضربی به صورت رابطه (۲) است.

$$\varphi_p(B)\Phi_p(B^s)\Delta^d\Delta_s^D(z_t - \bar{z}) = \theta_q(B)\Theta_q(B^s)a_t^{(2)}$$

که  $\Phi_p$  و  $\Theta_q$  به ترتیب چند جمله‌ای‌های فصلی  $P$  و  $Q$  هستند. رتبه مدل‌های  $ARIMA$  فصلی - ضربی به شکل  $(P,D,Q) \times (p,d,q)$  می‌باشد.

#### برآورد پارامتر

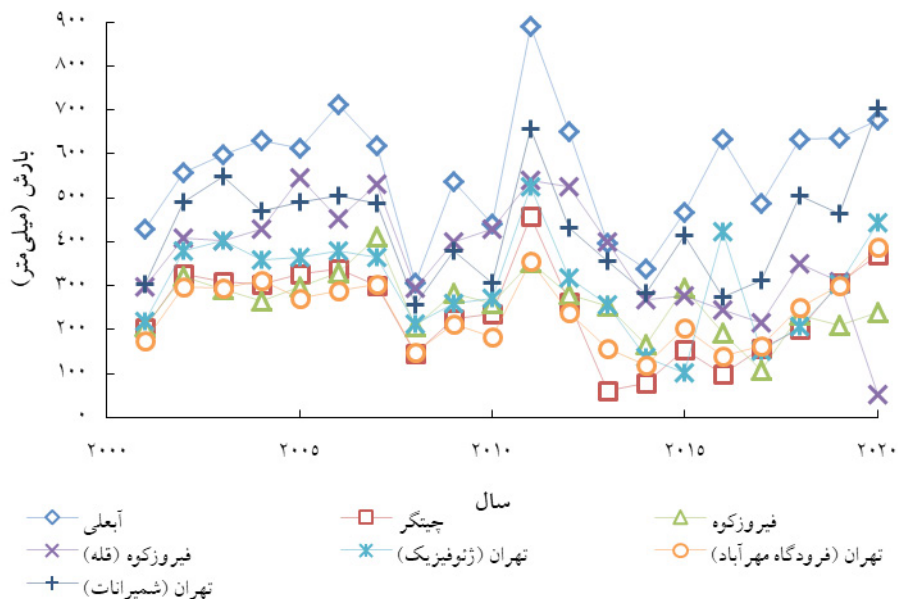
پس از مشخص شدن مدل، باید برآورد مؤثر از پارامترها صورت گیرد، و پارامترها باید دو شرط ایستایی و معکوس‌پذیری را برای اتورگرسیو و میانگین متحرک داشته باشند. پارامترها باید از نظر معنی‌داری مورد آزمون قرار گیرند که در ارتباط با مقادیر خطای برآوردها و برآورد مقادیر  $t$  می‌باشد [۷]. اگر  $\theta$  برآورد نقطه‌ای از پارامتر مورد نظر  $S_0$  خطای برآورد باشد، مقدار  $t$  به صورت زیر خواهد بود (رابطه ۳):

$$t = \frac{\theta}{S_0} \quad (3)$$

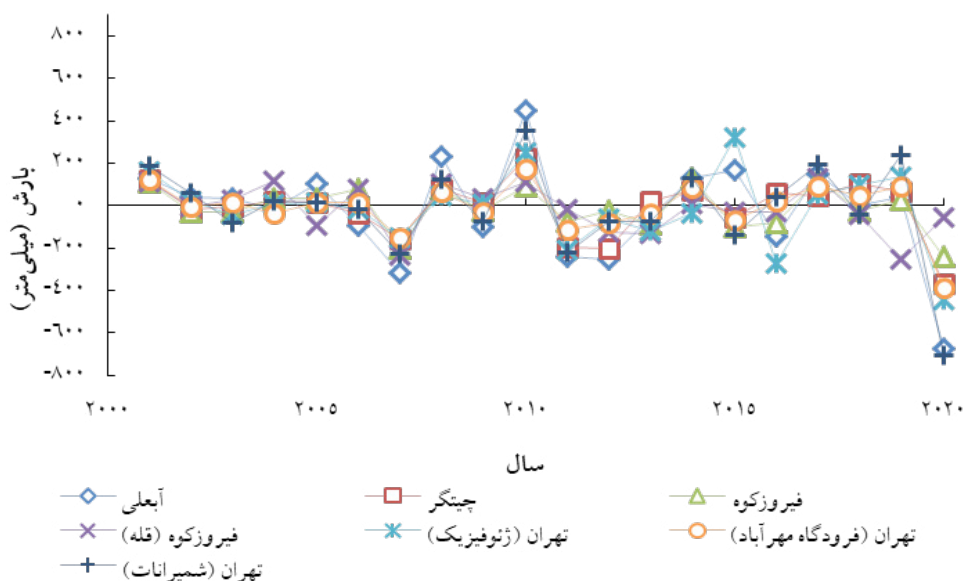
اگر فرض صفر ( $H_0^0 = 0$ ) با در نظر گرفتن احتمال خطای برابر یا بیش‌تر از  $a = 0/05$  شود در این صورت پارامتر، معنی‌دار خواهد بود و در مدل باقی می‌ماند.

#### آزمون نکوتی برازش

آزمون‌های نکوتی برازش صحت مدل‌ها را با استفاده از ابزارهایی بررسی می‌کند. به منظور بررسی صحت مدل‌های برازش داده شده به داده‌ها باقیمانده‌های مدل از نظر نرمال بودن خودهم‌بستگی مورد بررسی قرار گرفت. در این از نرم افزار SPSS برای بررسی



شکل ۲- داده‌های ایستگاهی قبل از تفاضل‌گیری



شکل ۳- حذف روند از داده‌ها با استفاده از تفاضل‌گیری درجه اول

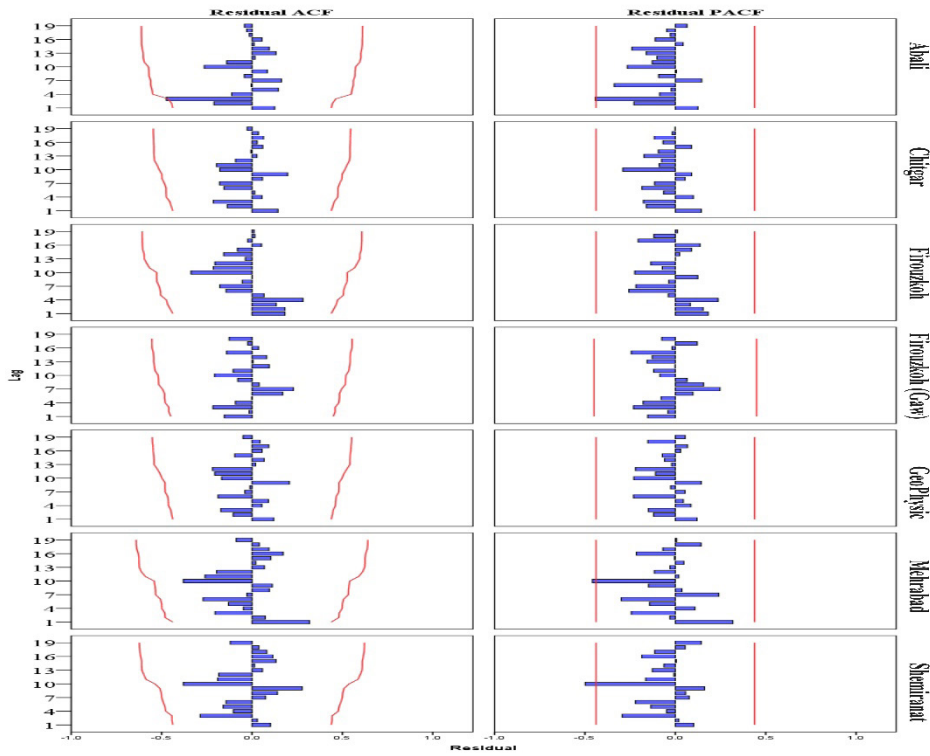
۳). نمودارهای هم‌بستگی نگار ( $ACF^1$ ) و خود هم‌بستگی جزئی نگار ( $PACF^2$ ) برای بارش قبل و بعد از تفاضل‌گیری در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده‌است، که می‌توان از طرق آن‌ها ضرایبی مناسب برای استخراج کرد.

جدول ۱ مقایسه مدل‌های مختلف سری‌های زمانی برای داده‌های ایستا شده بارش سالانه هر ایستگاه در طول دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۰) استان تهران را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۱

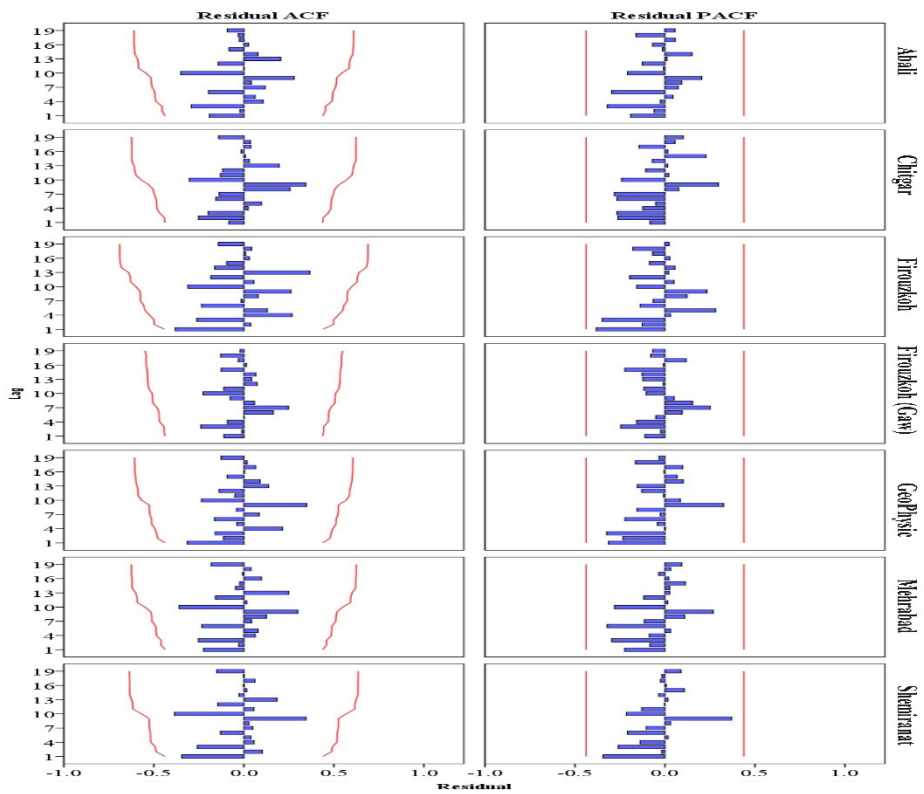
### نتایج

یکی از اصلی‌ترین مراحل در مدل‌سازی تغییرات اقلیمی حذف روند در داده‌های بارشی می‌باشد [۲]. ابتدا با ترسیم نمودار داده‌های برداشتی روند دار بودن یا فاقد روند بدن داده‌ها مشخص شد (شکل ۲). حذف روند داده‌ها، به منظور بررسی و مدل‌سازی تغییرات اقلیمی با استفاده از تفاضل‌گیری درجه اول انجام شد (شکل ۳). در اولین قدم باید نایستایی میانگین (روند) را حذف کرد که این کار از طریق معادله‌ی تفاضلی درجه‌ی اول انجام شد. (شکل

1- Autocorrelation Function  
2-Partial Autocorrelation Function



شکل ۴- نمودار خودهم‌بستگی ACF و خودهم‌بستگی جزئی PACF قبل از تفاضل‌گیری



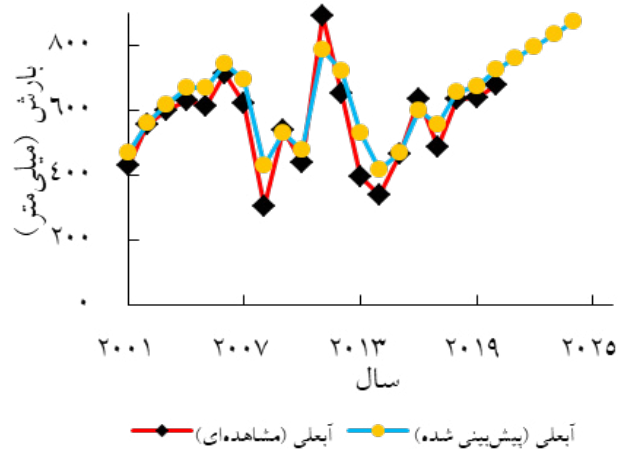
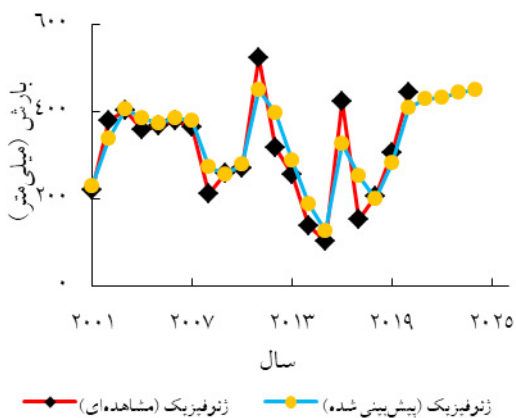
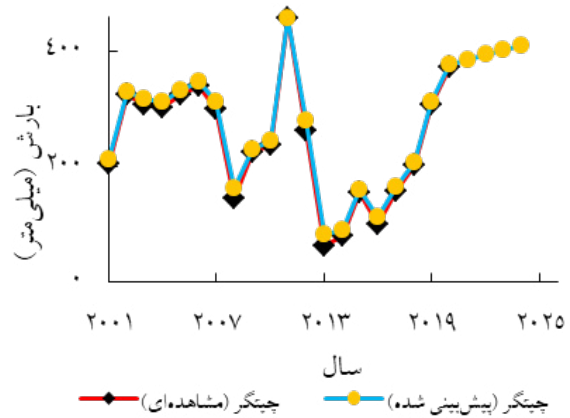
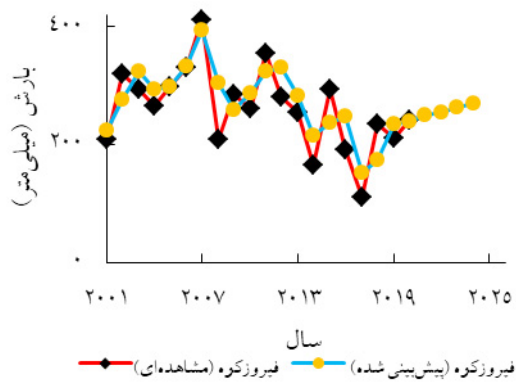
شکل ۵- نمودار خودهم‌بستگی ACF و خودهم‌بستگی جزئی PACF بعد از تفاضل‌گیری

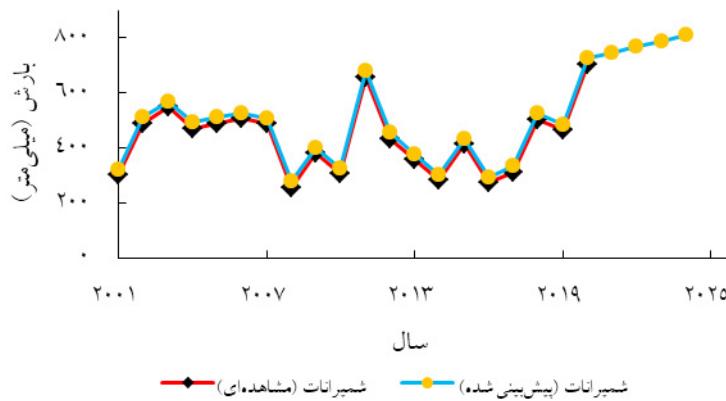
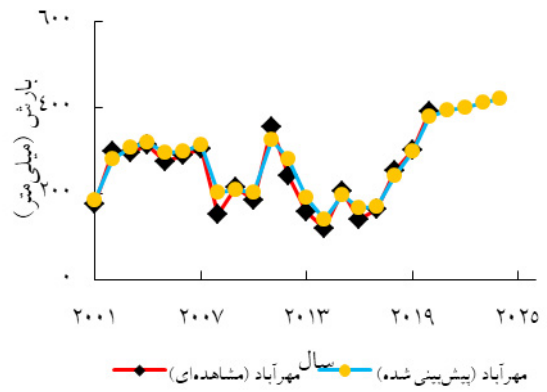
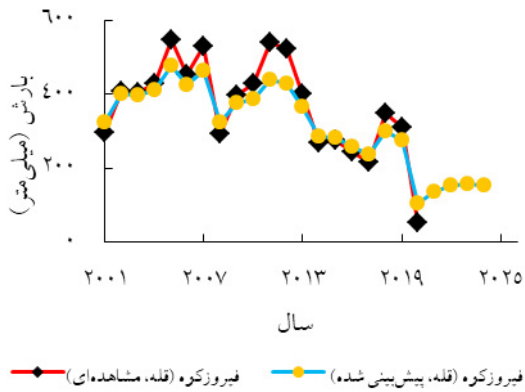
باشد و حداکثر هم پوشانی را با داده‌های واقعی داشته باشد (شکل ۶).

سعی شد از مدل‌هایی استفاده شود که برای هر ایستگاه مقدار سه خطای RMSE، MAE و MAPE و معیار اطلاعات بیزی (BIC) کم

جدول ۲- برازش مدل‌های تصادفی برای سری داده‌های ایستای شده میانگین ماهانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه

BIC	RMSE (%)	MAE (%)	MAPE (%)	T-value	P-value	پارامتر	مدل	ایستگاه
۱۰/۲۳	۱/۵۴	۱/۲۱	۰/۲۹	۰/۶	۰/۵۵	-	ARIMA (۰,۱,۰)	شمیرانات
۹/۱۶	۰/۸۳	۰/۶۲	۰/۲۹	-۱/۰۵	۰/۳	AR	ARIMA (۱,۱,۰)	مهرآباد
۱۰/۲۲	۱/۴۲	۱/۰۷	۰/۴۱	-۱/۴۲	۰/۱۷	AR	ARIMA (۱,۱,۰)	تهران (ژئوفیزیک)
۹/۸۰	۱/۰۶	۰/۷۷	۰/۳۹	۰/۸۹	۰/۳۸	AR	ARIMA (۱,۱,۱)	فیروزکوه قله
۹/۱۴	۰/۸۲	۰/۶۲	۰/۲۹	-۲/۲۲	۰/۰۴	AR	ARIMA (۱,۱,۰)	فیروزکوه
۹/۷۰	۱/۰۹	۰/۷۶	۰/۴۶	۰/۲۰	۰/۸۴	MA	ARIMA (۰,۱,۱)	چیتگر
۱۰/۳۴	۱/۹۰	۱/۲۸	۰/۲۶	-۱/۳۴	۰/۱۹	AR1	ARIMA (۲,۲,۰)	آبعلی
				-۰/۵۱	۰/۶۲	AR2		



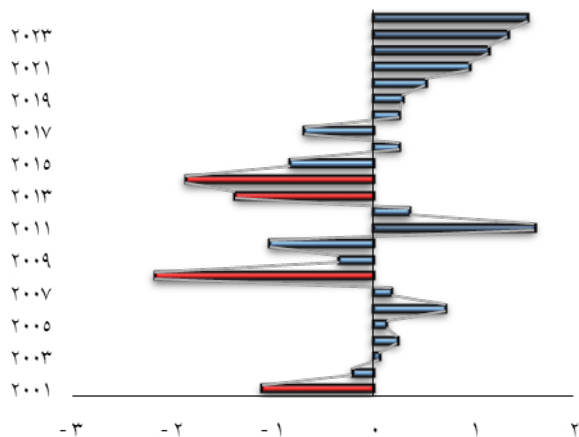


شکل ۶: بررسی مناسبیت مدل‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه

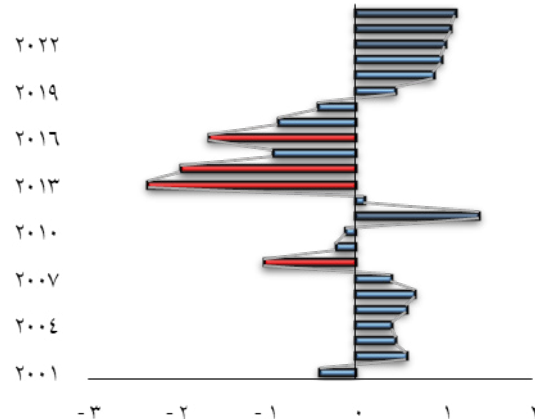
ژئوفیزیک تهران در نقاط پیک میزان پیش‌بینی دارای اندکی اختلاف می‌باشد. بعد از تعیین مدل مناسب برای هر ایستگاه و شبیه‌سازی بارش به مدت چهار سال (۲۰۲۰-۲۰۲۴)، با استفاده از نرم افزار DrinC شاخص سالانه SPI برای هر ایستگاه استخراج شد (شکل ۷).

با توجه به مدل‌های پیش‌بینی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه مدل سری زمانی ARIMA توانسته است به مدل‌سازی بارش برای پنج سال بعد از سال ۲۰۲۰ بپردازد. در ایستگاه‌های چیتگر، مهرآباد و شمیرانات حداکثر هم‌پوشانی بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده وجود دارد و در ایستگاه‌های آبعلی، فیروزکوه و

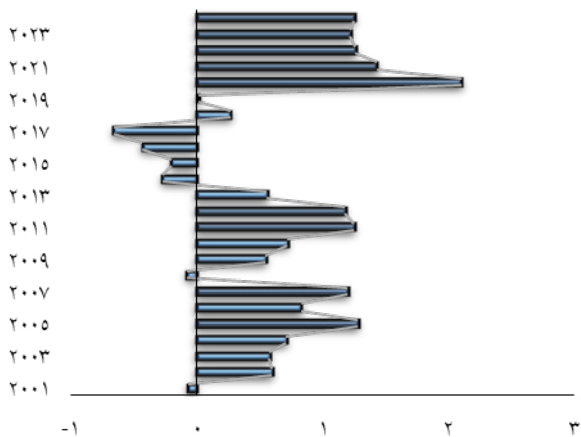
آبعلی



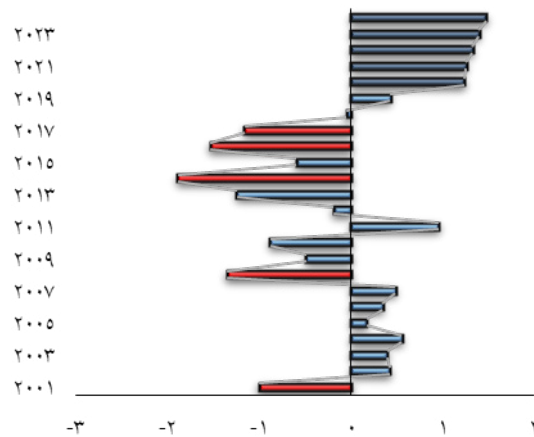
چیتگر



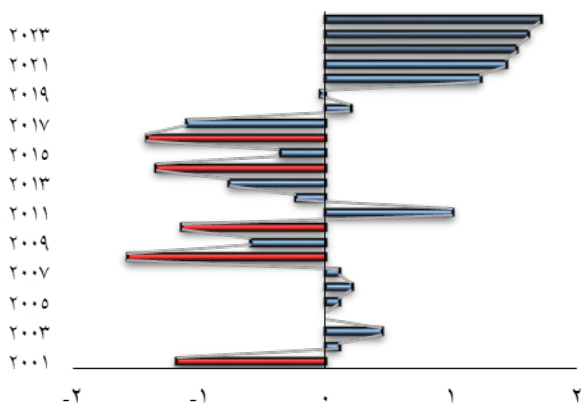
فیروزکوه قلّه



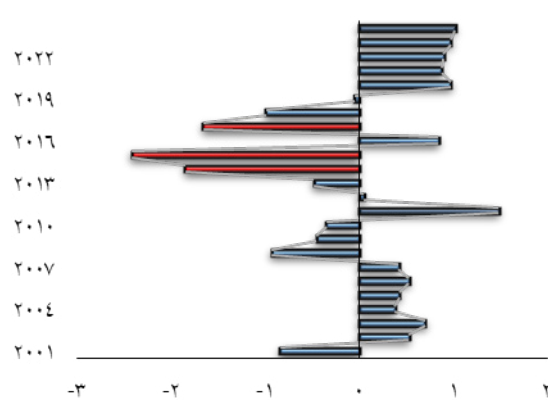
فیروزکوه



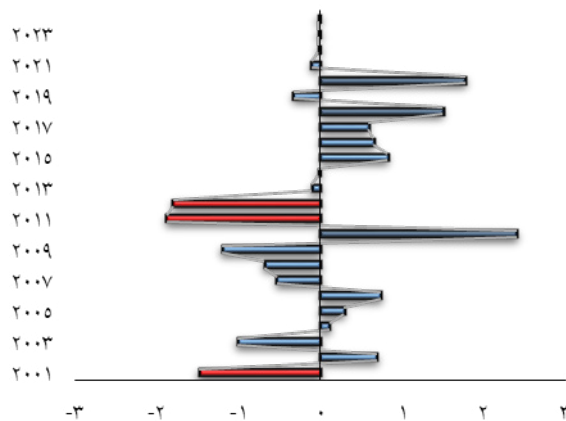
شمیرانات



ژئوفیزیک



مهرآباد



شکل ۷- شاخص SPI سالانه پیش‌بینی شده

داشته‌است ولی میزان آن به صورت کاهشی و حرکت به سمت وضعیت نرمال بوده‌است شروع روند تغییرات دمایی از سال ۲۰۰۶ با یک ترسالی بوده که در سال بعد خشک‌سالی شدید رخ داده و این روند در بیش‌تر ایستگاه‌های مورد بررسی قابل لمس است، ولی

براساس شکل (۷)، در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ خشک‌سالی در وضعیت نزدیک به نرمال و مرطوب قرار دارد ولی در سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ یک خشک‌سالی شدید در تمام ایستگاه‌ها رخ داده‌است که در سال‌های بعد ادامه



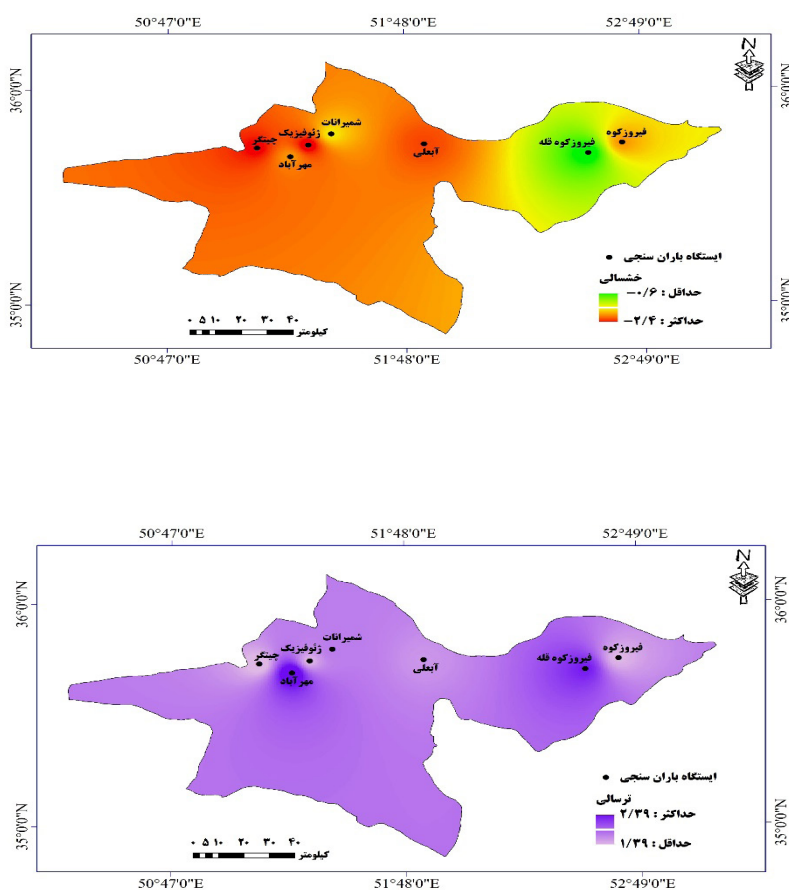
روشی کارآمد برای پیش‌بینی مناسب از آورد رودخانه‌ها می‌تواند در مدیریت بهینه آب دارای اهمیت باشد. مدل‌های سری زمانی می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی‌های کوتاه مدت سری‌های زمانی داده‌های منابع آب سطحی داشته باشد. در این تحقیق از مدل ARIMA برای پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی استفاده شد و مطابق نتایج، خشک‌سالی هواشناسی در این منطقه با تغییرپذیری زیاد بارش به‌همراه بوده که تحت تأثیر نوسان جنوبی البرز قرار گرفته‌است. با توجه به شاخص خشک‌سالی SPI در بیش‌تر ایستگاه‌های مورد بررسی مدل ARIMA توانسته به درستی به پیش‌بینی خشک‌سالی بپردازد [۳]، به‌طوری که تغییرات خشک‌سالی از دهه اول ۲۰۱۰-۲۰۰۰ بوده و با ایجاد یک دوره ترسالی در سال ۲۰۰۶ و بعد شروع دوره‌های خشک‌سالی در سال‌های بعد خود را نشان داده‌است. هرچند این روند ثابت نبوده، ولی در سال ۲۰۱۳ منطقه مجدد شاهد ترسالی بوده و در سال‌های بعد خشک‌سالی جایگزین آن شده‌است. بر این اساس در سال ۲۰۲۰، نیز یک خشک‌سالی شدید در منطقه مورد مطالعه رخ داده‌است و در سال بعد وضعیت منطقه

در ایستگاه‌هایی که در شمال استان تهران بوده‌اند مانند فیروزکوه و ژئوفیزیک به دلیل بالا بودن میزان رطوبت و بارش روند خشک‌سالی جای خود را به دوره‌های ترسالی متوسط داده‌است. با توجه به این که استان تهران در دامنه جنوبی البرز قرار دارد و همواره ریزش‌های جوی در آن وجود دارد در نتیجه مدل‌های سری زمانی به درستی توانسته‌اند وضعیت اقلیمی را برای منطقه مورد مطالعه نشان دهند. در شکل ۸ وضعیت خشک‌سالی و ترسالی براساس بالاترین میزان شاخص SPI برای استان تهران نشان داده شده‌است.

با توجه به نقشه خشک‌سالی در ایستگاه‌های چیتگر، ژئوفیزیک، فیروزکوه و آبعلی در دوره مطالعاتی و پیش‌بینی شده دارای خشک‌سالی شدید بوده ولی در سایر ایستگاه‌ها برای این بازه زمانی (۲۰۰۰-۲۰۲۴) منطقه مورد مطالعه در وضعیت نرمال و مرطوب قرار دارد.

### بحث و نتیجه‌گیری

کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک یک عامل بازدارنده مهم در توسعه پایدار این مناطق محسوب می‌شود و در نتیجه ارائه یک



شکل ۸: خشک‌سالی و ترسالی در ایستگاه‌های مطالعاتی

Meteorological Drought Forecasting. Sustainability, 13(22), p.12576.

3. Achite, M., Bazrafshan, O., Azhdari, Z., Wałęga, A., Krakauer, N., Caloiero, T. 2022. Forecasting of SPI and SRI Using Multiplicative ARIMA under Climate Variability in a Mediterranean Region: Wadi Ouahrane Basin, Algeria. Climate, 10(3):36.

4. Arab solghar, A., & Sedghi, H., & Maleki, M. (2011). Meteorological drought analysis in the province of tehran based on the artificial neural networks. Water engineering, 4(9), 17-27.

5. Band, S.S., Karami, H., Jeong, Y.W., Moslemzadeh, M., Farzin, S., Chau, K.W., Bateni, S.M., Mosavi, A. 2022. Evaluation of Time Series Models in Simulating Different Monthly Scales of Drought Index for Improving Their Forecast Accuracy. Frontiers in Earth Science, 10, p.839527.

6. Bashari, M., Vafakhah, M. 2011. Comparison of Different Time Series Analysis Methods for Forecasting Monthly Discharge in Karkkeh Watershed. Irrigation & Water Engineering, 1(2):75-86.

7. Box, G.E., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C., Ljung, G.M. 2015. Time series analysis: forecasting and control. John Wiley & Sons.

8. Bucher, B., Rybach, L. and Schwarz, G. 2008. Search for long-term radiation trends in the environs of Swiss nuclear power plants. Journal of environmental radioactivity, 99(8):1311-1318.

9. Cohen, S., Ianetz, A., Stanhill, G. 2002. Evaporative climate changes at bet Dagan, Israel, 1964–1998. Agricultural and Forest Meteorology, 111(2):83-91.

10. Dikshit, A., Pradhan, B., Huete, A. 2021. An improved SPEI drought forecasting approach using the long short-term memory neural network. Journal of environmental management, 283, 111979.

11. Durdu, Ö.F. 2010. Application of linear stochastic models for drought forecasting in the Büyük Menderes river basin, western Turkey. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 24(8):1145-1162.

12. Eskandari, H., Borji, M., Khosravi, H., Mesbahzadeh, T. 2016. Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. Solid Earth, 7(3): 905-915.

13. Gheisoori, M., & Soltani gerdefamarzi, S., & Ghasemi, M. 2018. Investigation and prediction of the

به حالت نزدیک به نرمال درآمده است. با مدل‌سازی‌های صورت گرفت مشخص شد که وضعیت نرمال تا سال‌های بعد ادامه دارد. در مناطق مرطوب استان، از میزان تخییر و تعرق به علت بارش زیاد کاسته شده است و در این مناطق شدت خشک‌سالی نسبت به سایر ایستگاه‌ها کم بوده و از لحاظ ترسالی نیز در موقعیت بهتری قرار داشته است (شکل ۸). به طور مثال در ایستگاه فیروزکوه قله، به دلیل مرتفع بودن و بهره‌گیری از رطوبت بالا در شرایط مساعد و بهتری قرار گرفته است. در همین راستا عرب‌سغار و همکاران [۴]، نیز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در استان تهران تأیید نمودند که وضعیت خشک‌سالی در استان تهران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در محدوده نرمال قرار گرفته است.

علاوه بر این، نتایج مطالعه حاضر با نتایج تحقیقات کریمی و همکاران [۱۵] کاربرد مدل ARIMA به منظور پیش‌بینی شاخص SPI در حوزه آبخیز کرخه، هان و همکاران [۱۴] کاربرد مدل ARIMA با سنجش از راه دور برای تجزیه و تحلیل تغییر شاخص شرایط دمایی گیاهی در دشت Guanzhong، بشری و همکاران [۶]، مقایسه روش‌های مختلف تحلیل سری‌های زمانی در پیش‌بینی دبی ماهانه حوضه آبریز کرخه، مونجشیری و همکاران [۱۹]، مدل‌های سری زمانی ARIMA را برای پیش‌بینی دبی ماهانه رودخانه کنگ ساباتی در هند هم‌خوانی و مطابقت دارد. در این پژوهش نیز با توجه به نتایج به دست آمده مدل ARIMA برای پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی در استان تهران به عنوان بهترین مدل انتخاب شده است که با نتایج سایر پژوهشگران برای مدل‌سازی جریان در سایر ایستگاه‌ها مطابقت دارد. خشک‌سالی با کاهش رطوبت بر میزان پوشش گیاهی و محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارد. همراه با کاهش پوشش گیاهی و به دنبال آن کاهش نفوذپذیری خاک این انتظار وجود دارد که در سال‌های ترسالی حجم وسیعی از رواناب‌ها توسط پوشش گیاهی تنک کنترل نشود و به صورت سیلاب‌های ناگهانی آسیب‌های جانی و مالی فراوانی را به ساکنین حوزه آبخیز وارد کند. به همین منظور مطالعه حاضر دستاوردی روشن برای مدیران و مسئولین است که بتوانند بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده، تحلیل و درک روشنی از منطقه تحت مدیریت داشته باشند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های مشابه با استفاده از مدل‌های مختلف سری زمانی و در نظر گرفتن پارامترهای اقلیمی و اداپتیکی، وضعیت منابع آب سطحی و زیر زمینی بررسی شود.

## منابع

1. Abebe, A., Foerch, G. 2008. Stochastic simulation of the severity of hydrological drought. Water and Environment Journal, 22(1): 2-10.

2. Alquraish, M., Ali, Abuhasel, K., S. Alqahtani, A. and Khadr, M., 2021. SPI-Based Hybrid Hidden Markov-GA, ARIMA-GA, and ARIMA-GA-ANN Models for

23. Van Loon, A.F., Gleeson, T., Clark, J., Van Dijk, A.I.J.M., Stahl, K., Hannaford, J., Di Baldassarre, G., Teuling, A.J., Tallaksen, L.M., Uijlenhoet, R. and Hannah, D.M. 2016. Drought in the Anthropocene, *Nat. Geosci.*, 9, 89–91.
24. Wang, J., Rong, G., Li, K., Zhang, J. 2021. Analysis of Drought Characteristics in Northern Shaanxi Based on Copula Function. *Water*, 13(11):1445.
25. Wilhite, D. A., Glantz, M. H. 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3): 111-120.
26. Xu, D., Zhang, Q., Ding, Y., Huang, H. 2020. Application of a hybrid ARIMA–SVR model based on the SPI for the forecast of drought—a case study in Henan Province, China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 59(7): 1239-1259.
27. Zeynolabedin, A., Olyaei, M.A., Zahmatkesh, Z. 2022. Application of meteorological, hydrological and remote sensing data to develop a hybrid index for drought assessment. *Hydrological Sciences Journal*, 67(5): 703-724.
28. Zhu, B. and Chevallier, J., 2017. Carbon price forecasting with a hybrid Arima and least squares support vector machines methodology. In *Pricing and forecasting carbon markets* (pp. 87-107). Springer, Cham.
29. Zhang, Y.; Yang, H.; Cui, H.; Chen, Q. Comparison of the Ability of ARIMA, WNN and SVM Models for Drought Forecasting in the Sanjiang Plain, China. *Nat. Reso. Rese.* 2019, 29, 1447–1464
- changing trend of climate parameters on discharge (case study: godarkhosh subbasin). *Journal of natural environment hazards*, 7(17), 137-154.
14. Han, P., Wang, P.X., Zhang, S.Y. 2010. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models. *Mathematical and computer modelling*, 51(11-12):1398-1403.
15. Karimi, M., Melesse, A.M., Khosravi, K., Mamuye, M. and Zhang, J. 2019. Analysis and prediction of meteorological drought using SPI index and ARIMA model in the Karkheh River Basin, Iran. In *Extreme Hydrology and Climate Variability* (pp. 343-353). Elsevier.
16. McKee, T. B. Doesken, N. J. and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In *Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology*, Dallas, Boston, MA: American Meteorological Society, 233-236..
17. Mishra, A.K., Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2): 202-216.
18. Modarres, R. 2007. Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21(3): 223-233.
19. Manjushree, R., Shinde, V. 2011. Application of software packages for monthly stream flow forecasting of Kangsabati River in India. *International Journal of Computer Applications*, 20(3): 7-14
20. Nguyen, V., Li, Q. and Nguyen, L. 2017. Drought forecasting using ANFIS-a case study in drought prone area of Vietnam. *Paddy and water environment*, 15(3): 605-616.
21. Roushangar, K., Ghasempour, R., Nourani, V. 2021. The potential of integrated hybrid pre-post-processing techniques for short-to long-term drought forecasting. *Journal of Hydroinformatics*, 23(1):117-135.
22. Soltani Gord Faramarzi, S., & Saberi, A., & Gheysouri, M. 2017. Determination of the best time series model for forecasting annual rainfall of selected stations of western azerbaijan province. *Journal of geographical sciences*, 17(44), 65-86.



## Abstract

## Application of ARIMA time Series Models for Forecasting Meteorological Drought in Tehran Province

M. Gheysouri<sup>1</sup>, M. Kalehhouei<sup>2</sup>, A. Saberi<sup>3</sup> and P. Mohammadi<sup>1</sup>

Received: 2022/04/01 Accepted: 2022/09/12

Today, water resources have become one of the major concerns in arid and semi-arid regions of the world. Low rainfall and its irregular distribution in Iran, along with rapid population growth and increased agricultural activities, have caused recent droughts. The present study was conducted with the aim of investigating and forecasting meteorological drought in Tehran province using the ARIMA model. Data from seven rainfall stations for the period 2000-2020 were used to evaluate the Standardized Precipitation Index (SPI). Then, the ARIMA model for drought prediction was implemented based on SPI, and the best model for drought prediction was extracted for each station. The results showed that ARIMA time series models can correctly evaluate climate change. Also, according to the results of the SPI drought index for the forecasted period, it was found that the situation was close to normal in all the studied stations, and from 2022 to 2024, the conditions have progressed towards improving the rainfall situation, which according to the recent rainfall in Iran, this model It has been able to model climate changes well. According to the SPI index, the drought in the target area is close to normal, it can be a suitable tool for managing water resources, preserving natural ecosystems, and improving the future climate.

**Keywords:** SPI index, Tehran province, Time series, Water resources management, Climate change.

1. Ph.D. student, Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

2. Ph.D. student, Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University (TMU), Nour, Mazandaran, Iran, and correspond Author, k.mahin@modarec.ac.ir

3. Ph.D. student, Watershed Management and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources