

## مدل سازی و پیش بینی خشکسالی فصلی با استفاده از شاخص RDI و مدل های سری زمانی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تهران)

عبدالرسول زارعی<sup>۱\*</sup>، محمد مهدی مقیمی<sup>۲</sup>، محمدرضا محمودی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۳۰

### چکیده

خشکسالی از مهم ترین بلاهای طبیعی تأثیرگذار در بخش کشاورزی و منابع آب می باشد که فراوانی وقوع آن به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار زیاد است؛ بنابراین اهمیت توجه به شبیه سازی و پیش بینی خشکسالی، بیش از پیش ضروری می نماید. در این مطالعه، با استفاده از شاخص خشکسالی RDI و مدل های سری زمانی اقدام به بررسی و پیش بینی خشکسالی فصلی طی ۵ سال آینده (زمستان ۲۰۱۵ تا پاییز ۲۰۱۹) برای ایستگاه تهران در نرم افزار ITSM شد. در این مطالعه، از داده های ۴۸ ساله (۱۹۶۷-۲۰۱۴) ایستگاه تهران با متوسط بارندگی سالانه ۲۳۹/۷۶ میلی متر استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده، بهترین مدل برازش شده بر داده ها، مدل MA(5) برگرفته از روش Hannan-Rissanen بود. براساس نتایج ضرایب  $Z_{(t-1)}$  در تأخیرهای ۳ و ۴ در سطح ۹۵ درصد معنی دار نیستند که در مدل صفر در نظر گرفته شدند. با توجه به P-value آزمون Ljung-Box در تأخیرهای مختلف که برابر با ۰/۸۹۴ بود، می توان قابل اطمینان بودن پیش بینی را استنباط کرد. نتایج نشان داد که خشکسالی فصلی در ۵۰ درصد فصول پیش بینی شده، دارای شرایط نرمال، در ۴۵ درصد فصول دارای شرایط نسبتاً نرمال و در ۵ درصد فصول شرایط خشکسالی متوسط را خواهد داشت.

**کلمات کلیدی:** سری زمانی، پیش بینی، خشکسالی، شاخص RDI، ایستگاه تهران.

۱. استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا/ Email: Ar\_Zareiee@fasau.ac.ir

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا

۳. استادیار گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فسا

## مقدمه

خشکسالی از جمله بلاای اقلیمی طبیعی است که می‌تواند اثرات مخرب و زیان‌باری در زمینه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌جای گذارد. آثار خشکسالی در صورت عدم اجرای راهکارهای مناسب، تا سال‌ها پس از آن در منطقه وقوع باقی می‌ماند. تمامی نظریات بر این نکته توافق دارند که پدیده خشکسالی به دلیل عدم کفایت رطوبت هوا اتفاق می‌افتد که از طریق کمبود بارندگی در طول چند دوره زمانی به وجود می‌آید (مک کی<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۳).

مدیریت بحران رویکرد مقابله با خشکسالی است که از طریق آن، اقدامات و واکنش‌های بدون برنامه‌ریزی قبلی انجام می‌پذیرد و گاه به ابتکار عمل‌های بی‌اثر، هماهنگ نشده و نابهنگام از سوی افراد و دولت‌ها منجر می‌شود. مدیریت ریسک نقطه مقابل مدیریت بحران است که به عنوان روش احتیاطی، قبل از وقوع خشکسالی به کار گرفته می‌شود تا تأثیرات خشکسالی کاهش یافته و تصمیمات لازم برای کاهش خسارات در طول دوره خشکسالی، به صورت هماهنگ و مؤثر اتخاذ شود. از این رو استفاده از روش‌های مختلف شبیه‌سازی، مدل‌سازی و تهیه مقدمات احتمال وقوع خشکسالی، به ارائه طرح‌هایی جهت آماده‌سازی در مقابل خشکسالی و کاهش خسارات ناشی از آن منجر می‌شود. در راستای شبیه‌سازی و مدل‌سازی وقوع خشکسالی الگوهای سری زمانی به منظور شناسایی رفتار این پدیده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (بذرافشان و خلیلی، ۲۰۱۳).

امروزه تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی به‌طور وسیعی در بسیاری از شاخه‌های مهندسی، علوم فیزیک و اقتصاد مورد استفاده واقع می‌شود و می‌توان گفت که بیشتر شاخه‌های علوم منجر به مطالعه داده‌هایی می‌شوند که به شکل سری‌های زمانی رخ می‌دهند (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۹۹۳). منظور از یک سری زمانی مجموعه‌ای از داده‌های آماری است که در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع‌آوری شده باشند. روش‌های آماری که این گونه داده‌های آماری را مورد استفاده قرار می‌دهد، تحلیل سری‌های زمانی نامیده می‌شود. هدف از سری زمانی، تعیین

قانونمندی و شناسایی رفتار آن برای پیش‌بینی در آینده است. سری‌های زمانی به لحاظ نوع متغیرها می‌توانند به دو صورت پیوسته و گسسته باشند (بوورمن و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۷۹؛ سالاس<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶). اساس بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فرایندهای هیدرولوژیکی و تصمیمات بهره‌برداری از منابع آب بر پایه پیش‌بینی و تحلیل سری‌های زمانی است.

برای بررسی خشکسالی شاخص‌های مختلفی از جمله SPI، PDSI، PNI، RDI و... ارائه شده است. شاخص RDI از برازش توزیع لوگ نرمال بر مقادیر نسبت بارندگی (P) به تبخیر و تعرق پتانسیل (ETo) در هر بازه زمانی دلخواه به دست می‌آید (تساکیریس و ونگلیس<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵). محققان زیادی در ایران و جهان برای بررسی خشکسالی از شاخص RDI استفاده کرده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان تساکیریس<sup>۵</sup> (۲۰۱۳)، ونگلیس<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، زهتابیان و همکاران (۲۰۱۳)، تساکیریس و همکاران (۲۰۱۱)، تساکیریس و همکاران (۲۰۰۷a و ۲۰۰۷b)، مرید<sup>۷</sup> (۲۰۰۷) را نام برد. در رابطه با سری زمانی مطالعات مختلفی در سطح جهان ارائه شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به کارهای جونز<sup>۸</sup> و همکاران (۱۹۸۶)، هانسن و لیبدف<sup>۹</sup> (۱۹۸۸)، بلومفیلد و نیچکا<sup>۱۰</sup> (۱۹۹۲) و فولاند<sup>۱۱</sup> (۱۹۹۰) اشاره کرد.

نواکز<sup>۱۲</sup> و همکاران (۱۹۸۵) قدرت پیش‌بینی کوتاه‌مدت الگوهای SARIMA، ARIMA و الگوهای خودهمبسته دوره‌ای (PAR) را بر روی سری سی‌ماهه جریان مقایسه کردند و نشان دادند که الگوهای خودهمبسته دوره‌ای دقیق‌ترین پیش‌بینی را دارند.

در کشور ایران، به لحاظ سابقه کوتاه در بهره‌گیری از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم داده‌های جوی، از این روش‌ها کمتر استفاده شده است (خردمندیا و عساکره، ۱۳۸۰). در

2. Bowerman et al
3. Salas
4. Tsakiris and Vangelis
5. Tsakiris
6. Vangelis
7. Morid
8. Jones
9. Hansen and Lebedeff
10. Bloomfield and Nychka
11. Folland
12. Noakes

1. Mckee

سینوپتیک کشور) با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی است. متوسط بارندگی سالانه این ایستگاه ۲۳۱/۰۸ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۱۷/۳۷ درجه سانتی‌گراد است. این ایستگاه ۱۱۹۰/۸ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. براساس شاخص دمارتن اصلاح‌شده، اقلیم این ایستگاه نیمه‌خشک است. در این مطالعه، از آمار هواشناسی ماهانه این ایستگاه اعم از بارندگی، متوسط دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و متوسط سرعت باد به مدت ۴۸ سال (از سال ۱۹۶۷ تا ۲۰۱۴) که از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد، استفاده گردید.

### کنترل کیفی داده‌ها

به منظور کنترل کیفی داده‌ها اقدام به بررسی نرمال بودن داده‌ها (با استفاده از روش کولوموگراف-اسمیرنوف)، همگنی داده‌ها (با استفاده از آزمون توالی دنباله‌ها)، تصادفی بودن داده‌ها (با استفاده از روش ران تست) و همچنین بررسی وجود داده‌ها پرت (با استفاده از روش انجمن منابع آب آمریکا) شد.

### محاسبه شاخص RDI

این شاخص نسبتاً جدید، نخستین بار در سال ۲۰۰۴ توسط تساکریس ارائه شد. مزیت این شاخص در مقایسه با دیگر شاخص‌هایی که پیش از این ارائه شده‌اند، این است که در محاسبه شدت خشکسالی، علاوه بر بارندگی به تبخیر و تعرق نیز توجه کرده است. در محاسبه این شاخص نخست با استفاده از نسبت بارندگی (P) به تبخیر و تعرق پتانسیل (ETO) مقادیر اولیه  $\alpha_0^i$  برای بازه زمانی دلخواه براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\alpha_0^i = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}, i = 1: N \text{ و } j = 1: 12 \quad (1)$$

که در آن،  $P_{ij}$  و  $PET_{ij}$  به ترتیب مقادیر باران و تبخیر و تعرق پتانسیل ماه  $j$  ام از سال  $i$  ام است. پارامتر  $N$  تعداد سال‌های آماری است. روش مناسب برای محاسبه تبخیر و تعرق روش پنمن مانیتث فائو می‌باشد.

در مرحله بعد برای محاسبه مقادیر RDI نرمال‌شده (RDIn)

این رابطه می‌توان به کارهای (مالکی، ۱۹۸۹) در الگوسازی دما و بارش غرب کشور (رسولی، ۲۰۰۲) در پیش‌بینی دمای ماهانه شهر تبریز و (جمشیدی، ۲۰۰۷) در الگوسازی دما و بارش تهران اشاره کرد. خردمندی و عساکره در سال ۱۳۸۰ برای پیش‌بینی درجه حرارت متوسط ماهانه منطقه جاسک از الگوسازی SARIMA استفاده کردند.

کمالی و همکاران (۲۰۰۷) از طریق الگوسازی سری زمانی به روش باکس و جنکینس، جریان ماهانه ورودی به سد شهید عباسپور را پیش‌بینی کردند. جهان‌دیده و شیروانی (۲۰۱۱) برای پیش‌بینی خشکسالی در استان فارس الگوی ARIMA را برای سری‌های زمانی شاخص SPI دوازده‌ماهه مناسب تشخیص دادند. میرموسوی و همکاران (۲۰۱۴) به تحلیل الگوهای سری زمانی بارش در ایستگاه هواشناسی خوی پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که از میان سه الگوی برازش داده‌شده، الگوی (۱، ۱، ۰) ARIMA، الگوی برتری برای بارش سالانه است که براساس آن تا سال ۲۰۱۵ میلادی با اطمینان ۹۵ درصد، بارش خوی پیش‌بینی شد.

خردمندی و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی و مدل‌سازی خشکسالی در استان فارس با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی و شاخص SPI پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که مدل ARIMA مناسب‌ترین مدل برای شبیه‌سازی خشکسالی در این منطقه است.

با توجه به موارد مذکور، اهداف تحقیق حاضر عبارت‌اند از: ۱. بررسی و مدل‌سازی خشکسالی فصلی در ایستگاه تهران با استفاده از شاخص خشکسالی RDI؛ ۲. مدل‌سازی تغییرات خشکسالی در بستر زمان و تعیین بهترین مدل سری زمانی برازش‌شده بر داده‌ها؛ ۳. پیش‌بینی شاخص خشکسالی طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه مورد بررسی با استفاده از مدل ARAR و بررسی تغییرات آن.

### مواد و روش‌ها

#### ایستگاه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، ایستگاه سینوپتیک تهران (به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و پر داده‌ترین ایستگاه‌های

پنمن مانیتیت فائو، تبخیر و تعرق چمن فرضی را تعیین می‌کند، به طوری که این چمن دارای ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر، مقاومت سطحی ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب بازتابش (آلبیدو) ۰.۲۳ درصد باشد. در این مطالعه، به منظور برآورد مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل از روش فائو پنمن مانیتیت استفاده شد (رابطه ۵):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (5)$$

که در آن  $ET_0$ : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)،  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار در دمای  $T$  (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)،  $R_n$ : تابش خالص در سطح گیاه (مگاژول بر مترمربع در روز)،  $G$ : شار گرمای خاک (مگاژول بر مترمربع در روز)،  $T$ : دمای هوا در ارتفاع ۲ متری (سلسیوس)،  $u_2$ : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)،  $e^0(T) = e_s$ : فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)،  $e_a = e^0(T_{dew})$ : فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)،  $(e_s - e_a)$ : کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)،  $\gamma$ : ضریب ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد) است.

### مانا کردن داده‌ها و تبدیل سری آن‌ها به سری خوش‌فرم

پس از محاسبه شاخص RDI در دوره زمانی مورد بررسی نامانایی در واریانس داده‌ها را با استفاده از تبدیل توانی باکس-کاکس (رابطه ۶) و نامانایی در میانگین داده‌ها با استفاده از تفاضلی کردن داده‌ها برطرف شد. برای انجام موارد مذکور از نرم‌افزار ITSM استفاده شد.

$$T(Z_i) = Z_i^\lambda = \frac{Z_i^\lambda - 1}{\lambda} \quad (6)$$

که در آن،  $Z_i$  مقدار اولیه در زمان  $t_i$ ،  $\lambda$  پارامتر تبدیل و  $Z_i^\lambda$  مقدار تبدیل یافته است.

در مرحله بعد، اقدام به تعیین مؤلفه روند در سری زمانی و همچنین حذف آن در جهت ایستاد کردن داده‌ها شد. برای تعیین مؤلفه روند، یک خط را بر داده‌ها برازش می‌دهیم، شیب این خط برابر با مؤلفه روند است. بدیهی است در صورتی که شیب این خط صفر باشد و خط افقی باشد، داده‌ها فاقد مؤلفه روند بوده و ایستا می‌باشند. در این راستا به

در مقیاس زمانی مد نظر، از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

$$RDI_n^i = \frac{\alpha_0^i}{\alpha_0} - 1 \quad (2)$$

که در آن،  $\alpha_0$  میانگین حسابی مقادیر  $\alpha_0^i$  در سال‌های مورد بررسی است که برابر با نسبت شاخص خشکی ارائه شده از سوی سازمان FAO می‌باشد.

در مرحله بعد، اقدام به محاسبه RDI استاندارد شده (RDIST) می‌شود. در اینجا فرض بر این است که  $\alpha_0^i$  از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. برای محاسبه این پارامتر از روابط (۳) و (۴) استفاده می‌شود.

$$RDI_{st}^i = \frac{y_i - \bar{y}}{\hat{\sigma}_y} \quad (3)$$

$$y_i = \ln(\alpha_0^i) \quad (4)$$

که در آن  $\bar{y}$  و  $\hat{\sigma}_y$  به ترتیب میانگین حسابی و انحراف معیار مقادیر  $y_i$  هستند. در توسعه شاخص RDI استاندارد شده (RDIST) از مفاهیم شاخص SPI استفاده شده است؛ بنابراین مقادیر طبقه‌های مختلف خشکسالی در شاخص RDI مشابه شاخص SPI است (جدول ۱).

جدول (۱): طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص RDI

مقدار RDI	کلاس خشکسالی
بزرگ‌تر مساوی ۲	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰ تا ۰/۹۹	نرمال
۰ تا -۰/۹۹	نسبتاً نرمال
تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
کوچک‌تر مساوی -۲	خشکسالی بسیار شدید

### برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل

روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل پیشنهاد شده است که ه کدام از نظر داده‌های مورد نیاز تا حدودی با یکدیگر تفاوت دارند. فائو در سال ۱۹۹۸، روش فائو پنمن مانیتیت را به‌عنوان روش استاندارد برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل معرفی کرد (آلن<sup>۱</sup>، ۱۹۸۶ و ۱۹۹۸). معادله

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad (9)$$

که در آن،  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$  ضرایب و پارامترهای مدل AR و  $a_t$  مقدار تصادفی و مستقل از زمان باقی‌مانده است که از توزیع نرمال با میانگین صفر تبعیت می‌کند.

### مدل (Moving Average) MA

ساختار اصلی این مدل با مرتبه  $q$  عبارت است از (رابطه ۱۰):

$$Z_t = \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + \dots + \theta_q a_{t-q} + a_t \quad (10)$$

که در آن،  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$  ضرایب و پارامترهای مدل MA و  $a_t$  مقدار تصادفی و مستقل از زمان باقی‌مانده است که از توزیع نرمال با میانگین صفر تبعیت می‌کند.

### مدل (Auto Regressive-Moving Average) ARMA

این مدل از ترکیب نمودن مدل‌های AR با مرتبه  $p$  و مدل MA با مرتبه  $q$  ایجاد می‌شود و به صورت مدل ARMA با مرتبه  $(p, q)$  ارائه می‌شود. ساختار کلی این مدل عبارت است از (رابطه ۱۱):

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t + \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + \dots + \theta_q a_{t-q} \quad (11)$$

که در آن،  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$  ضرایب و پارامترهای مدل MA،  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$  ضرایب و پارامترهای مدل AR و  $a_t$  مقدار تصادفی و مستقل از زمان باقیمانده است که از توزیع نرمال با میانگین صفر تبعیت می‌کند.

### پیش‌بینی

در این مرحله، براساس شاخص آکائیکی (AICC) در مدل‌های مختلف (رابطه ۱۲)، بهترین مدل (دارای حداکثر برآزش بر روی داده‌ها) انتخاب و مدل سری زمانی بر آن برآزش داده شد.

$$AICC = 2k - 2\ln(L) \quad (12)$$

که در آن،  $k$  تعداد پارامترهای مدل آماری است و  $L$  مقدار حداکثر تابع درست‌نمایی برای مدل برآورد شده است.

شایان ذکر است هرچه مقدار شاخص آکائیکی کمتر باشد، مدل برآزش بیشتری بر روی داده‌ها دارد. سپس با استفاده از مدل ARAR اقدام به پیش‌بینی شاخص خشکسالی

کمک نرم‌افزار ITSM اقدام به اعمال یک بار Difference بر داده‌ها شد. سپس با توجه به ماهانه بودن داده‌ها اقدام به حذف اثر تناوب گردید. به این ترتیب داده‌ها به صورت سری خوش‌فرم درآمده و آماده استفاده برای مدل‌سازی و همچنین پیش‌بینی داده‌ها شدند.

### شناسایی نوع و مرتبه مدل

برای تعیین و شناسایی نوع و مرتبه مدل از توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی و به ترتیب نمودارهای ACF و PACF استفاده شد. تابع خودهمبستگی (ACF) با تأخیر  $k$  به عنوان تابعی برای بیان وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی به شرح زیر است (رابطه ۷):

$$\rho_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (Z_i - \bar{Z})(Z_{i+k} - \bar{Z})}{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (7)$$

که در آن،  $\rho_k$  مقدار تابع خودهمبستگی سری زمانی با تأخیر  $k$ ،  $Z_i$  و  $Z_{i+k}$  مقادیر متغیرها یا داده‌های سری زمانی در مرحله زمانی  $i$  و مرحله با تأخیر زمانی  $k$  و  $\bar{Z}$  مقدار میانگین مربوط به متغیرهاست.

روش دیگر برای عنوان نمودن وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی، تعریف تابع خودهمبستگی جزئی است (رابطه ۸). اگر  $\phi_k$  تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیر  $k$  باشد، رابطه تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) عبارت است از:

$$\phi_k(K) = \frac{\rho_k - \sum_{i=1}^{k-1} \phi_i(k-1)\rho_{k-i}}{1 - \sum_{i=1}^{k-1} \phi_i(k-1)\rho_i} \quad (8)$$

که در آن،  $\phi_k$  مقدار تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیر  $k$  است.

### بررسی نوع مدل‌ها

به‌طور کلی، سه مدل با مرتبه‌های مختلف می‌توانند بر داده‌ها برآزش داده شوند که در آزمون‌های انتخاب مدل مورد بررسی قرار گرفتند:

### مدل (Auto Regressive) AR

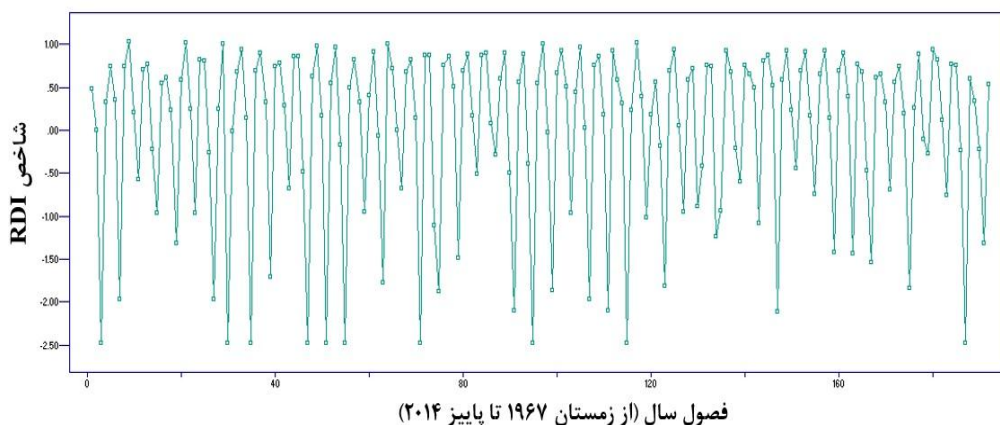
این مدل بر روی جملات خود رگرسیون‌گیری را اعمال می‌کند؛ البته این رگرسیون‌گیری روی مقادیر گذشته  $Z_t$  انجام می‌گیرد (رابطه ۹). ساختار اصلی آن مدل با مرتبه  $p$  عبارت است از:

فصلی برای ۵ سال آینده در ایستگاه مورد بررسی شد. به تعیین شاخص RDI فصلی گردید. مقادیر شاخص RDI فصلی و تغییرات آن به ترتیب در جدول (۲) و شکل (۱) ارائه شده است.

## نتایج

### تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص RDI

در بررسی حاضر با استفاده از روش پنمن مانیتث فائو تبخیر و تعرق پتانسیل فصلی ایستگاه تهران برآورد شد، سپس اقدام

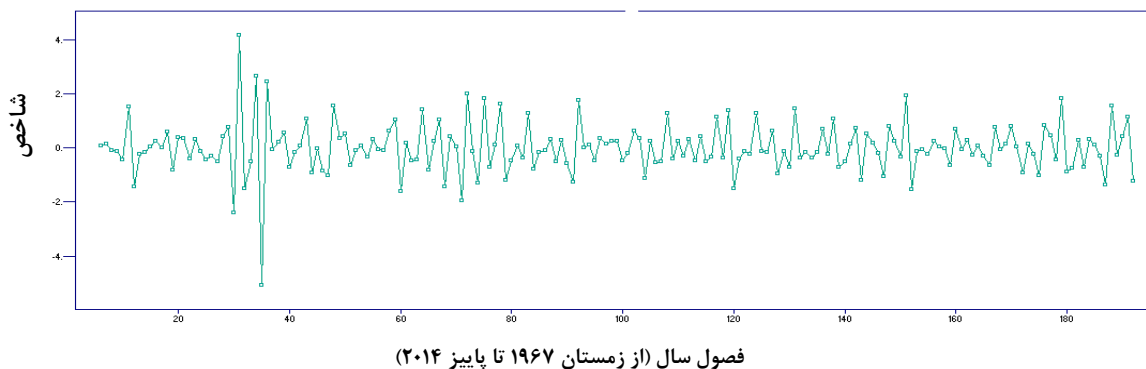


شکل (۱): شاخص فصلی و تغییرات آن در ایستگاه تهران

جدول (۲): شاخص فصلی در ایستگاه تهران

زمان	شاخص RDI	زمان	شاخص RDI	زمان	شاخص RDI	زمان	شاخص RDI
زمستان ۱۹۶۷	۰/۴۹	زمستان ۱۹۶۸	۰/۷۳	...	...	زمستان ۲۰۱۴	۰/۳۳
بهار ۱۹۶۷	۰/۰۰	بهار ۱۹۶۸	۰/۳۵	...	...	بهار ۲۰۱۴	-۰/۲۲
تابستان ۱۹۶۷	-۲/۴۷	تابستان ۱۹۶۸	-۱/۹۷	...	...	تابستان ۲۰۱۴	-۱/۳۲
پاییز ۱۹۶۷	۰/۳۳	پاییز ۱۹۶۸	۰/۷۴	...	...	زمستان ۲۰۱۴	۰/۵۳

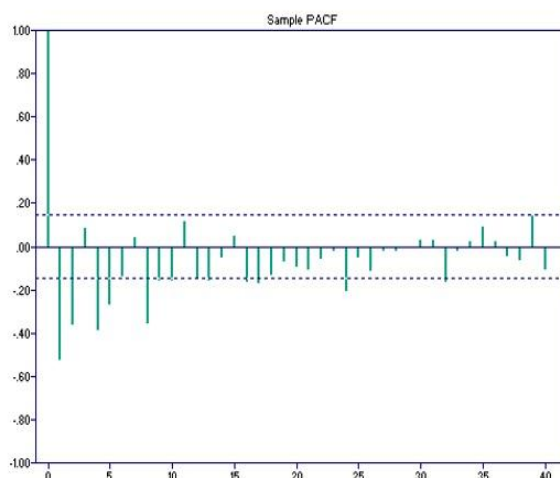
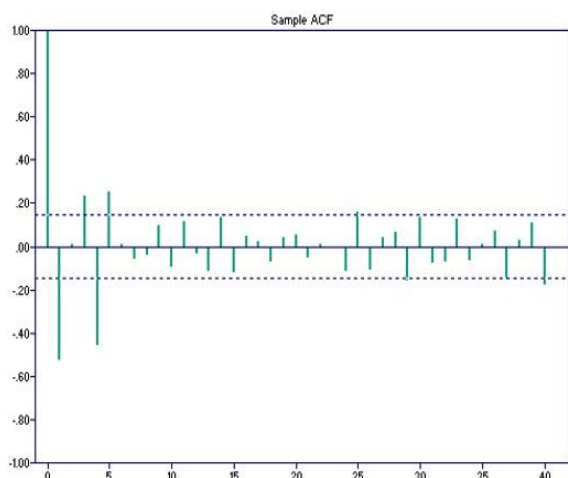
به منظور حذف نامانایی در واریانس داده‌ها از تبدیل توانی باکس-کاکس استفاده شد. به منظور حذف روند در داده‌ها از عملگر تفاضلی استفاده شد و به اندازه  $k$  برابر با ۱ بار از داده‌ها نابلا گرفته شد. در انتها به منظور خوش‌فرم کردن سری داده‌ها اقدام به حذف تناوب در داده‌ها شد،



شکل (۲): سری داده‌های فصلی پس از تبدیل توانی باکس-کاکس، حذف تناوب و روند

خودهمبستگی جزئی (PACF) استفاده شد (شکل ۳).

در ادامه به منظور مشخص کردن مرتبه  $q$  و  $p$  در مدل‌های  $AR$ ،  $MA$  و  $ARMA$  از نمودارهای خودهمبستگی (ACF) و



شکل (۳): نمودارهای خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) در سری داده‌ها

$$X(t) = Z(t) - .8922 Z(t-1) - .03016 Z(t-2) - .1207 Z(t-3) - .6547 Z(t-4) + .6323 Z(t-5) \quad (13)$$

با توجه به اینکه ضرایب  $Z(t-1)$  در تأخیرهای ۳ و ۴ معنی‌دار نبودند که در مدل صفر در نظر گرفته شدند و مدل به شکل رابطه (۱۴) تغییر کرد:

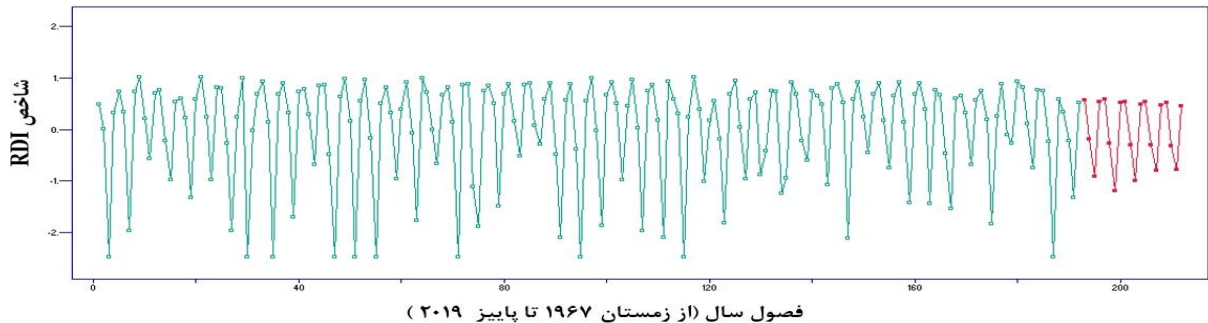
$$X(t) = Z(t) - 1.065 Z(t-1) - .9559 Z(t-4) + 1.047 Z(t-5) \quad (14)$$

در مرحله بعد، اقدام به برازش مدل‌های مختلف سری زمانی بر روی داده‌ها شد و از بین مدل‌های مورد بررسی مدل  $MA(5)$  بر مبنای روش Hannan-Rissanen با کمترین مقدار شاخص آکائیگی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد (جدول ۳). مدل  $MA(5)$  اولیه برازش شده بر داده به‌صورت زیر به‌دست آمد:

جدول (۳): مدل‌های مختلف سری زمانی برازش داده‌شده بر داده‌ها

نام مدل	روش	شاخص آکائیگی	نام مدل	روش	شاخص آکائیگی
MA (1)	Hannan-Rissanen	۳۸۲/۴۴۱	AR(5)	Yule-Walker	۳۸۷/۷۴۲
MA (1)	Innovations	۳۹۹/۷۱۶	AR(5)	Burg	۳۸۷/۷۵۰
MA (3)	Hannan-Rissanen	۳۸۲/۵۳۵	AR(8)	Yule-Walker	۳۶۴/۱۶۲
MA (3)	Innovations	۳۸۲/۴۴۳	AR(8)	Burg	۳۶۴/۱۵۹
MA (4)	Hannan-Rissanen	۳۸۴/۰۲۷	AR(16)	Yule-Walker	۳۴۸/۷۳۲
MA (4)	Innovations	۳۸۴/۰۱۹	AR(16)	Burg	۳۴۸/۷۱۹
<b>MA (5)</b>	<b>Hannan-Rissanen</b>	<b>۲۹۲/۸۵۴</b>	AR(17)	Yule-Walker	۳۱۴/۸۸۹
MA (5)	Innovations	۲۹۲/۸۸۶	AR(17)	Burg	۳۵۰/۱۷۸
MA (25)	Hannan-Rissanen	۲۹۶/۵۲۳	AR(24)	Yule-Walker	۳۵۰/۲۵۲
MA (25)	Innovations	۲۹۲/۹۶۷	AR(24)	Burg	۳۴۹/۴۷۲
AR(1)	Yule-Walker	۴۵۱/۷۴۴	ARMA(24,1)	Hannan-Rissanen	۳۵۶/۶۹۱
AR(1)	Burg	۴۵۱/۷۴۳	ARMA(24,3)	Hannan-Rissanen	۳۸۲/۰۸۳
AR(2)	Yule-Walker	۴۲۷/۱۰۵	ARMA(24,4)	Hannan-Rissanen	۳۷۰/۱۷۹
AR(2)	Burg	۴۲۷/۱۰۵	ARMA(24,5)	Hannan-Rissanen	۳۷۳/۲۷۶
AR(4)	Yule-Walker	۳۹۹/۶۷۰	ARMA(24,25)	Hannan-Rissanen	۶۴۶/۵۴۵
AR(4)	Burg	۳۹۹/۶۶۹			

پس از این مرحله، اقدام به برازش دادن بهترین مدل سری زمانی بر داده‌های مورد بررسی شد و در نهایت، با استفاده از روش ARAR اقدام به پیش‌بینی شاخص فصلی RDI از زمستان ۲۰۱۵ تا پاییز ۲۰۱۹ (۱۰ درصد طول دوره آماری مورد بررسی) در ایستگاه تهران شد (شکل ۴ و جدول ۴).



شکل (۴): پیش‌بینی شاخص فصلی RDI در ایستگاه تهران از زمستان ۲۰۱۵ تا پاییز ۲۰۱۹

جدول (۴): مقادیر پیش‌بینی شده شاخص فصلی RDI از زمستان ۲۰۱۵ تا پاییز ۲۰۱۹ در ایستگاه تهران

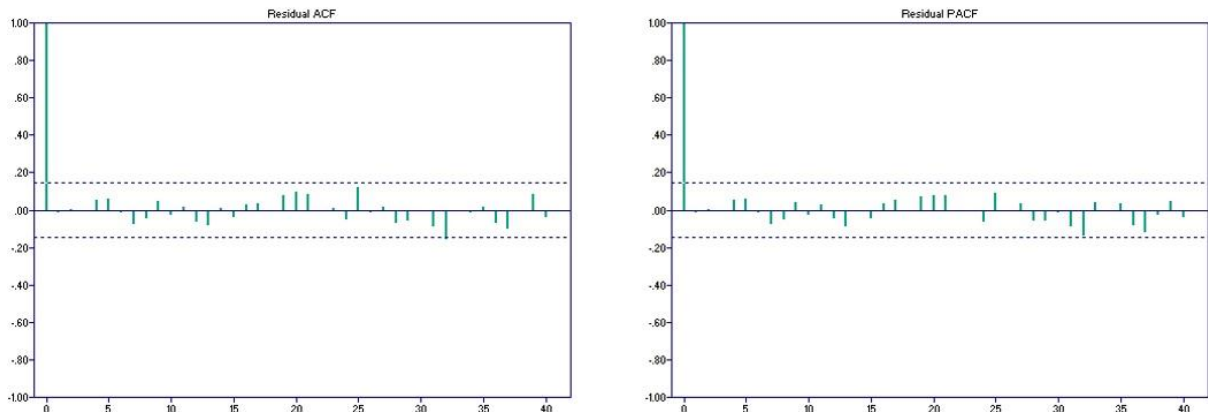
دوره زمانی	مقدار پیش‌بینی شده RDI	دوره زمانی	مقدار پیش‌بینی شده RDI
زمستان ۲۰۱۵	۰/۵۷	تابستان ۲۰۱۷	-۰/۹۹
بهار ۲۰۱۵	-۰/۱۹	پاییز ۲۰۱۷	۰/۴۹
تابستان ۲۰۱۵	-۰/۹۱	زمستان ۲۰۱۸	۰/۵۴
پاییز ۲۰۱۵	۰/۵۴	بهار ۲۰۱۸	-۰/۳۰
زمستان ۲۰۱۶	۰/۵۹	تابستان ۲۰۱۸	-۰/۷۹
بهار ۲۰۱۶	-۰/۲۷	پاییز ۲۰۱۸	۰/۴۷
تابستان ۲۰۱۶	-۱/۱۹	زمستان ۲۰۱۹	۰/۵۲
پاییز ۲۰۱۶	۰/۵۲	بهار ۲۰۱۹	-۰/۳۲
زمستان ۲۰۱۷	۰/۵۴	تابستان ۲۰۱۹	-۰/۷۷
بهار ۲۰۱۷	-۰/۳۰	پاییز ۲۰۱۹	۰/۴۶

تعداد Lag Time های خارج از محدوده صفر کمتر از ۵ درصد کل تعداد Lag Time ها باشد، می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌بینی انجام شده قابل اطمینان است (شکل ۵).

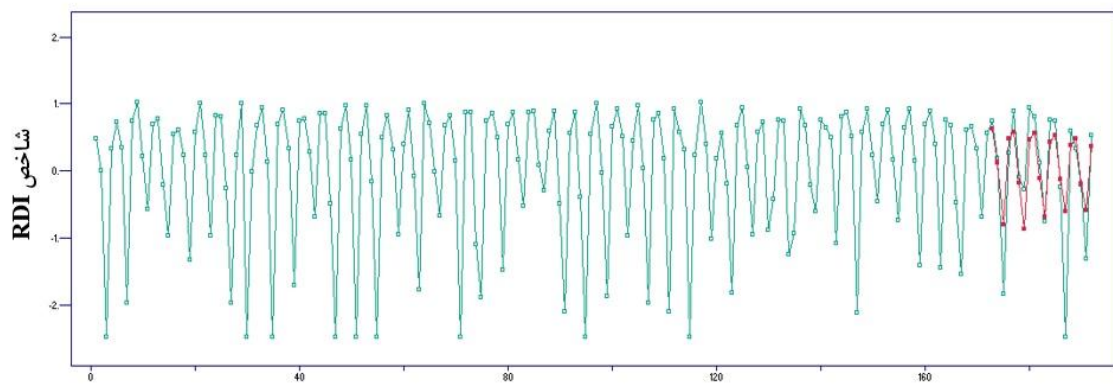
در این مطالعه، به منظور بررسی دقیق‌تر اعتبار و صحت عملکرد مدل برازش شده به داده‌ها و پیش‌بینی انجام شده اقدام به پیش‌بینی شاخص فصلی RDI مربوط به ۲۰ فصل (از زمستان ۲۰۱۰ تا پاییز ۲۰۱۴) شد و نسبت به مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده در این دوره با مقادیر واقعی مشاهده شده گردید (شکل ۶ و جدول ۵). نتایج این مقایسه نشان داده که ضریب همبستگی بین داده‌ها پیش‌بینی شده و داده‌های واقعی مشاهده شده ۰/۷۳ است که در سطح ۰/۹۹ معنی دار است. این سطح از معنی‌داری مبین دقت مناسب و قابل قبول مدل است (شکل ۷).

سرانجام به منظور بررسی میزان قابلیت اطمینان به مدل پیش‌بینی داده‌ها از سه آزمون استفاده شد که عبارت‌اند از: ۱. تصادفی بودن داده‌ها بعد از برازش مدل و پیش‌بینی آن‌ها بر اساس روش Ljung - Box statistic، بر این اساس با توجه به اینکه p-value معادل ۰/۸۹۴ به دست آمد، مشخص شد که داده‌ها دارای نزدیکی زیادی به سطح ۱ هستند که این موضوع نشان‌دهنده تصادفی بودن داده‌ها و قابل اطمینان بودن مدل است؛ ۲. استفاده از مرتبه white noise (مقدار تصادفی و مستقل از زمان باقی‌مانده است که از توزیع نرمال با میانگین صفر تبعیت می‌کند) مدل است که مرتبه به دست آمده در این مدل برابر صفر شد که خود مبین قابل اطمینان بودن مدل است؛ ۳) استفاده از Residual ACF و Residual PACF داده‌ها پس از پیش‌بینی است. با توجه به اینکه در هر دو مورد





شکل (۵): نمودارهای Residual ACF و Residual PACF در سری داده‌ها پس از پیش‌بینی

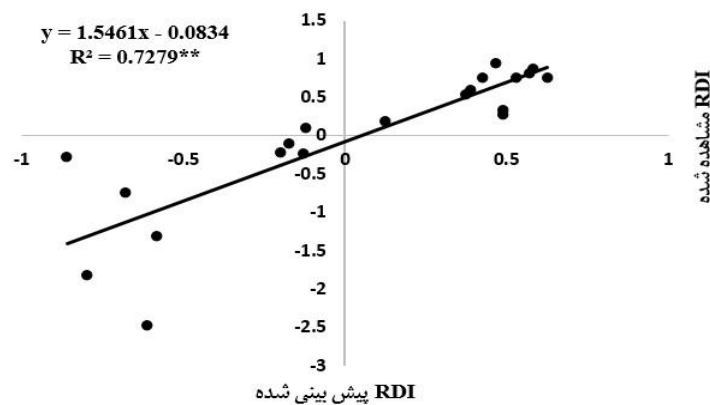


فصول سال (از زمستان ۱۹۶۷ تا پاییز ۲۰۱۴)

شکل (۶): پیش‌بینی شاخص RDI فصلی در ایستگاه تهران از زمستان ۲۰۱۰ تا پاییز ۲۰۱۴

جدول (۵): مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده RDI برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴

دوره زمانی	مقدار مشاهده شده	مقدار مشاهده شده	دوره زمانی	مقدار پیش‌بینی شده	مقدار مشاهده شده
زمستان ۲۰۱۰	۰/۶۳	۰/۷۵	تابستان ۲۰۱۲	-۰/۶۸	-۰/۷۵
بهار ۲۰۱۰	۰/۱۲	۰/۱۹	پاییز ۲۰۱۲	۰/۴۳	۰/۷۶
تابستان ۲۰۱۰	-۰/۸۰	-۱/۸۳	زمستان ۲۰۱۳	۰/۵۳	۰/۷۵
پاییز ۲۰۱۰	۰/۴۹	۰/۲۶	بهار ۲۰۱۳	-۰/۱۳	-۰/۲۴
زمستان ۲۰۱۱	۰/۵۸	۰/۸۸	تابستان ۲۰۱۳	-۰/۶۱	-۲/۴۷
بهار ۲۰۱۱	-۰/۱۷	-۰/۱	پاییز ۲۰۱۳	۰/۳۹	۰/۶۰
تابستان ۲۰۱۱	-۰/۸۶	-۰/۲۷	زمستان ۲۰۱۴	۰/۴۸	۰/۳۳
پاییز ۲۰۱۱	۰/۴۷	۰/۹۴	بهار ۲۰۱۴	-۰/۲۰	-۰/۲۲
زمستان ۲۰۱۲	۰/۵۷	۰/۸۱	تابستان ۲۰۱۴	-۰/۵۸	-۱/۳۱
بهار ۲۰۱۲	-۰/۱۲	۰/۱۱	پاییز ۲۰۱۴	۰/۳۷	۰/۵۳



شکل (۷): ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده شاخص RDI (\*\*: همبستگی در سطح ۰/۹۹ معنی دار)

## بحث و نتیجه گیری

تحلیل پدیده های تصادفی در قلمرو علم آمار و احتمال از زیر مجموعه های علم هیدرولوژی و هواشناسی قرار می گیرد. به دلیل اینکه فرایندهای مربوط به هواشناسی تصادفی هستند، آمار و احتمال اساس تجزیه و تحلیل پدیده های مذکور است. بر این اساس، سری های زمانی مورد استفاده قرار می گیرند. سری زمانی به طور ساده عبارت از یک متغیر وابسته به زمان است. با توجه به ماهیت اتفاقی و غیرقطعی مسائل اقلیمی و هواشناسی، استفاده از مدل های اتفاقی و سری های زمانی به عنوان یکی از روش های توصیه شده در پیش بینی ها می تواند مورد استفاده قرار گیرد. طبیعی است وجود داده های آماری مناسب در منطقه مورد مطالعه به عنوان ورودی مدل ها در پردازش مسائل و دریافت خروجی ها قابل اعتماد، امری بسیار مهم و تأثیرگذارند. در بررسی حاضر با استفاده از داده های ۴۸ ساله (۱۹۶۷-۲۰۱۴) ایستگاه تهران و همچنین مدل های سری زمانی اقدام به مدل سازی و پیش بینی خشکسالی در نرم افزار ITSM شد. براساس نتایج به دست آمده از نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی بهترین مدل برازش شده بر داده ها مدل MA (5) برگرفته از روش Hannan-Rissanen بود. در مدل برازش شده ضرایب  $Z(t-1)$  در تأخیرهای ۳ و ۴ در سطح ۹۵ درصد معنی دار نبودند که در مدل صفر در نظر گرفته شدند. با توجه به P-value آزمون Ljung - Box در تأخیرهای مختلف که برابر با

۰/۸۹۴ بود، می توان قابل اطمینان بودن پیش بینی را استنباط کرد. نتایج نشان داد که خشکسالی فصلی در ۵۰ درصد فصول پیش بینی شده دارای شرایط نرمال، در ۴۵ درصد فصول دارای شرایط نسبتاً نرمال و در ۵ درصد فصول شرایط خشکسالی متوسط را خواهد داشت. باری و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی روند تغییرات خشکسالی (بر مبنای شاخص SPI) در ایران با استفاده از داده های ۴۲ ایستگاه سینوپتیکی پرداختند، نتایج بررسی آن ها نشان داد که خشکسالی در قسمت های شمالی ایران دارای روند نزولی است که این موضوع با نتیجه حاصل از این بررسی تطابق ندارد. این موضوع می تواند ناشی از تفاوت در نوع شاخص مورد بررسی در این دو تحقیق باشد. بر مبنای نتایج حاصل از این بررسی، می توان استنباط نمود که وضعیت خشکسالی در ایستگاه مورد بررسی طی مدت پیش بینی شده تغییرات چندانی را در روند خود نخواهد داشت. طبیعی است با وجود اینکه روند تغییرات خشکسالی در ایستگاه تهران به شکل معنی داری تغییر نخواهد کرد، به دلیل تغییر در سبک زندگی مردم و همچنین برداشت از آب های زیرزمینی در رابطه با مصارف کشاورزی، بحث مدیریت مناسب و کارآمد مصرف آب بسیار مهم و ضروری است.

## منابع

1. Allen, R.G and W.D. pruit. 1986. Rational use of the FAO Blaneyridgde Formula. *J. Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE. vol. 112, NO. 2:139-155.
2. Allen, R. G, L. S. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, NO. 56, FAO, Rome, Italy. 301P.
3. Bari Abarghouei, H., Asadi Zarch, M, A., Dastorani, M, T., Kousari, M, R., Safari Zarch, M. 2011. The survey of climatic drought trend in Iran, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. DOI: 10.1007/s00477-011-0491-7.
4. Bazrafshan, J., A. Khalili .2013. Spatial Analysis of Meteorological Drought in Iran from 1965 to 2003. *Desert*, 18; 63-71.
5. Bloomfield, P., and Nychka, D. 1992. Climate spectra and detecting climate change. *Climatic Change*, 21(3):275-287. (In Persian)
6. Bowerman, B.L., and O, Connel, R.T. 1979. Time series and forecasting, PWS Publisher. 481p.
7. Folland, C.K. 1990. Observed Climatic Variation and Change, *Climate Change*, Cambridge University Press, 195-238.
8. Hansen, J., and Lebedeff, S. 1988. Global surface air temperatures: Update through 1987. *Geophysical Research Letters*, 15(4): 323-326.
9. Jahandideh, M., and Shirvani, A. 2011. Forecasting of drought based Standardized index using time series models in Fars province. *Journal of Iran Water Research*, 5(9): 19-28. (In Persian)
10. Jamshidi, V. 2007. Analysis of temperature and precipitation in Tehran city by time series. M.Sc Thesis of Tarbiat Modares University, 263 pp. (In Persian)
11. Jones, P.D., Raper, S.C.B., Bradley, R.S., Diaz, H.F., Kellyo, P.M., and Wigley, T. M. L. 1986. Northern hemisphere surface air temperature variations: 1851–1984. *Journal of Climate and Applied. Meteorology*, 25(2): 161-179.
12. McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J .1993. the relationship of drought frequency and duration to time scales. In: 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January, Anaheim, California, pp. 179–184.
13. Kamali, A., Mahmoudian Shushtari, M., and Kamali, I.N. 2006. The forecast monthly inpu Abbaspour reservoir using time series Box-Jenkins. 7th International seminar on river engineering. January, Ahvaz, Iran.
14. Kheradmand-Nia, M., and Asakereh, H. 2001. Pattering of ARIMA for annual average temperature in Jask (Iran). 3th Conference of Stochastic Process. Isfahan University. (In Persian)
15. Maleki, M. 1989. Investigation and modeling of temperature and precipitation in Western country. M.Sc.Thesis of Beheshti University, Statistic Dep, 184pp. (In Persian)
16. Mir mosavi. H. Jalali. M. Abakhti Garosi. H. Khaefi. N. 2014. Time Series Analysis of Rainfall in the Khoi Meteorology Station. *Geographical Space*. Vol 4 (47):1-17. (In Persian).
17. Morid, S., V. Smakhtin, K. Bagherzadeh. 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal of Climatology*, 27; 2103–2111.
18. Nirumand, H.A., and Bozorgnia A. (translator). 1993. Introduction to Time Series Analysis. C. Chetfield, Mashhad, Ferdowsi University, 290 pp. (In Persian)
19. Noakes, D.J., Mcleod, A.I., and Hipel, W. 1985. Forecasting monthly river flow time series. *International Journal of Forecasting*, 1(2):179–190.
20. Rasuli, A.A. 2002. Modeling of climate parameters in north-west country. Forecasting monthly temperature of Tabriz city (Iran) by ARIMA model. *Journal of Sociology Science*, (8).
21. Salas, 1996. ” Applied Time Series in Hydrology”, Mc Grew Hill.
22. Tsakiris G, Vangelis H .2005. Establishing a Drought Index incorporating evapotranspiration. *European Water* 9/10:3–11.
23. Tsakiris G, Pangalou D, Tigkas D, Vangelis H .2007a. Assessing the areal extent of drought. *Water resources management: new approaches and technologies*, European water resources association, Chania, Crete -Greece, 14–16 June.
24. Tsakiris G, Pangalou D, Vangelis H .2007b. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resour Manag* 21(5):821–833.
25. Tsakiris G, Nalbantis I, Cavadias G .2011.

- Regionalization of low flows based on canonical correlation analysis. *Adv Water Resour* 34:865–872.
26. Tsakiris G, Nalbantis I, Vangelis H, Verbeiren B, Huysmans M, Tychon B, Jacquemin I, Canters F, Vanderhaegen S, Engelen G, Poelmans L, Becker P, Batelaan O .2013. A system-based paradigm of drought analysis for operational management. *Water Resour Manag* 27:5281–5297.
27. Vangelis H, Tigkas D, Tsakiris G .2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *J Arid Environ* 88:130–140.
28. Zehtabian, Gh.R., K. Karimi, S. Nakhaee Nezhadfad, M. Mirdashtvan, H. Khosravi .2013. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in South Khorasan province in Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 9: 981-992.

## Modeling and prediction of seasonal drought, using RDI index and time series models (Case study: Tehran synoptic station)

Abdol Rassoul Zarei<sup>1</sup>, Mohammad Mehdi Moghimi<sup>2</sup>, Mohamad Reza Mahmoodi<sup>3</sup>

Received: 20/4/2016

Accepted: 20/8/2016

### Abstract

Drought is one of the most important natural hazards that should affect Agriculture and water resources. The frequency of its occurrence, especially in arid and semi-arid areas of Iran is very high. Therefore simulation and drought forecasting is necessary more than ever. This factor is importance in the planning and management of natural resources and water resources. In this study seasonal drought over the 5 next years (from winter of 2015 to autumn of 2019) in Tehran station was evaluated using RDI drought index, time series models and ITSM software. In this research climate data of Tehran station from 1967 to 2014 was analyzed (with average precipitation of 239.67 mm/year). Based on Hannan-Rissanen MA (5) model method was the best model fitted to the data. According to results coefficients of model ( $Z(t-1)$ ) at 3 and 4 lags are insignificant (at the 95% level), therefore this coefficients set zero. According to p-value of Ljung - Box test (0.894) in different lags that is significant in 95% level can be said that the prediction is Reliable. Based on results seasonal drought condition in 50% of predicted seasons will be normal, in 45% of predicted seasons will be near normal and in 5% of predicted seasons will be moderately drought.

**Key words:** Time series, prediction, Drought, RDI index, Tehran station.

1. Department of Range and watershed management, College of Agricultural Science, Fasa University. Email: Ar\_Zareiee@fasau.ac.ir

2. Department of water science and engineering, College of Agriculture, Fasa University.

3. Department of statistical science. Faculty of Science. Fasa University