

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره یازدهم، شماره چهل و چهارم، تابستان ۱۴۰۰

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۳۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹

صص ۸۴-۹۸

بررسی روند، تجزیه و تحلیل، مدل سازی و پیش بینی بارش ماهانه با استفاده از مدل های تصادفی سری زمانی (مطالعه ی موردی: ایستگاه سینوپتیک اردبیل)

رسول ایمانی، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری-دانشگاه کاشان

رضا قضاوی*، استادتمام علوم و مهندسی آبخیزداری-دانشگاه کاشان

اباذر اسماعیلی اوری، دانشیار علوم و مهندسی آبخیزداری-دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

اطلاع از مقدار آب در دسترس آینده، یک گام بسیار مفید در تصمیم گیری های مدیریتی است که کمک بالقوه ای در بهره برداری بهینه و پایدار از منابع آبی موجود خواهد نمود. هدف از انجام این مطالعه، بررسی روند و پیش بینی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک منتخب استان اردبیل با استفاده از بهترین مدل های سری های زمانی است. در این مطالعه، بارندگی ماهانه ی ۵ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ میلادی) در منطقه ی مورد مطالعه با استفاده از مدل های مختلف سری های زمانی خانواده ی ARIMA پیش بینی شد. در این پژوهش، از آزمون ناپارامتریک من-کندال به منظور اطمینان از وجود روند و از نمودار خودهمبستگی (ACF) نیز به منظور اطمینان از وجود تغییرات فصلی در سری زمانی استفاده گردید. پس از انتخاب بهترین مدل پیش بینی کننده بر اساس مقادیر پارامترهای مدل، معیار آکائیک و ضریب همبستگی مقادیر بارندگی ماهانه ی ۵ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ میلادی) با استفاده از بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل پیش بینی کننده ی مربوط به آن، پیش بینی گردید. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان داد که داده های بارندگی ماهانه ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره ی آماری مورد مطالعه دارای روند کاهشی ($Z=-0/6119$) بوده، اما این روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار نیست. بررسی داده های بارندگی ماهانه ی مورد مطالعه نشان داد که خودهمبستگی معنی داری در تأخیرهای ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه وجود دارد. نتایج مربوط به بارندگی ماهانه ی پیش بینی شده در ۵ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴) با استفاده از بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل سری های زمانی در ایستگاه سینوپتیک اردبیل نشان داد که مقدار بارندگی سالانه در ۴ سال از ۵ سال آینده نسبت به میانگین بارندگی ۲۰ سال گذشته، بین ۳ تا ۱۷ درصد کاهش خواهد یافت که بیش ترین کاهش مربوط به سال ۲۰۲۲ میلادی است. مقدار بارندگی فقط در سال ۲۰۲۳ معادل ۰/۳ درصد افزایش خواهد یافت.

واژگان کلیدی: سری زمانی بارش، خودهمبستگی، ایستاسازی، مدل های ARIMA، شهر اردبیل.

* Email: ghazavi@kashanu.ac.ir

نویسنده ی مسئول:

مقاله مستخرج از رساله ی دکتری رسول ایمانی است.

۱- مقدمه

به عقیده‌ی بسیاری از کارشناسان، بحران آب یکی از چالش‌های بسیار مهم سال‌های آینده در کره‌ی زمین خواهد بود. منابع آب مطمئن و باکیفیت یکی از مهم‌ترین چالش‌های دولت‌ها و ملتهاست؛ چراکه با افزایش جمعیت و فعالیت انسان‌ها مصرف آب نیز زیادتر می‌شود. افزایش چشم‌گیر جمعیت جهان طی ۱۵۰ سال گذشته و تداوم این روند افزایشی تا به امروز تبعات متعددی به دنبال داشته و خواهد داشت (Du et al, 2012: 127). بحران آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی بوده (Falkenmark and Widstrand, 1992: 1136; Taffere et al, 2016; Mays, 2009: 45; 2) و با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش چشم‌گیر جمعیت، شدت آن روبه افزایش است؛ به‌گونه‌ای که پیش‌بینی شده است که در سال ۲۰۲۵ بیش از ۶۰ درصد جمعیت جهانی با چالش آب مواجه باشند (Arnell, 1999: 32; Hadadin et al, 2010; 197).

کشور ایران نیز به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و دریافت بارندگی سالانه کم‌تر از یک‌سوم متوسط جهانی، همواره از این بحران رنج می‌برده است؛ اما وقوع خشک‌سالی‌های شدید و پی‌درپی اخیر و افزایش بهره‌برداری‌ها از منابع آبی به واسطه‌ی افزایش چشم‌گیر جمعیت و تقاضای آبی، باعث افزایش بیش‌ازحد شدت این بحران در سال‌های اخیر شده است؛ به‌گونه‌ای که طبق آمار اعلامی از سوی معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت مدیریت منابع آب ایران در سال ۱۳۹۷، بارندگی متوسط سالانه‌ی کشور نسبت به میانگین بلندمدت، حدود ۳۳ درصد کاهش یافته و حجم آب ذخیره‌شده در مخزن سدهای ذخیره‌ای کشور نیز در مقایسه با سال قبل، حدود ۱۶ درصد کاهش یافته است. همچنین از میان ۶۰۹ دشت کشور، تعداد ۳۸۸ مورد آن در وضعیت ممنوعه و ممنوعه‌ی بحرانی قرار گرفته و سرانه‌ی آب شیرین تجدیدپذیر نیز به شدت کاهش یافته و بر اساس شاخص فالکن مارک^۱ (۱۹۹۲) مقدار آن (۱۰۰۰ مترمکعب) به حد تنش دائمی رسیده است. در میان عوامل مختلف اقلیمی، بارندگی از اهمیت ویژه‌ی برخوردار است؛ چراکه اصلی‌ترین منبع تأمین آب در دسترس بشر بوده و کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی و امنیت غذایی، صنعتی و اقتصادی، حوادث طبیعی از جمله سیل و خشک‌سالی، حمل‌ونقل و مدیریت منابع آب دارد (Murthy et al, 2017: 1; Rahman et al, 2016: 2). از این‌رو پیش‌بینی مقدار بارندگی آینده و به‌عبارت‌دیگر مقدار آب در دسترس آینده، یک گام مفید در راستای سیاست‌گذاری‌های آگاهانه، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بوده و کمک بالقوه‌ای در بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آبی موجود خواهد نمود (Bagirov, 2017: 20). مدل‌های مختلف پیش‌بینی بارندگی به دو دسته‌ی اصلی تقسیم می‌شوند؛ مدل‌های فیزیکی که مبتنی بر مدل‌سازی فرآیندهای فیزیکی مؤثر در بارندگی بوده و مدل‌های مبتنی بر داده که با استفاده از داده‌های مشاهده‌شده‌ی تاریخی، مقدار بارندگی آینده را پیش‌بینی می‌کنند و مدل‌های تحلیل سری‌های زمانی نامیده می‌شوند (Abbot and Marohas, 2014: 169). سری زمانی؛ به مجموعه‌ای از مشاهدات کمی گفته می‌شود که در فواصل زمانی مشخص و به صورت متوالی اندازه‌گیری می‌شود. به‌بیان‌دیگر، سری زمانی؛ مجموعه‌ای از مشاهدات یک متغیر است که در نقاط گسسته‌ای از زمان که معمولاً فاصله‌های مساوی دارند، اندازه‌گیری شده و بر حسب زمان مرتب شده‌اند؛ بنابراین یک سری زمانی از مشاهده‌ی یک پدیده در طول زمان به دست می‌آید (بزرگ‌نیا و نیرومند، ۱۳۹۰: ۸۶). از جمله مدل‌های تحلیل سری‌های زمانی که به منظور پیش‌بینی بارندگی مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN)، K نزدیک‌ترین همسایگی (K-NN)، رگرسیون خطی چندگانه (MLR)، ماشین‌های بردار پشتیبان رگرسیونی (SVMReg) و مدل‌های خانواده اتورگرسیو میانگین متحرک یکپارچه (ARIMA) اشاره کرد. در این میان، مدل‌های خانواده ARIMA از پرکاربردترین مدل‌های تحلیل سری‌های زمانی در پیش‌بینی بارندگی است. تاکنون در مطالعات متعددی کارایی مدل‌های مختلف خانواده ARIMA در پیش‌بینی بارندگی مورد آزمون قرار

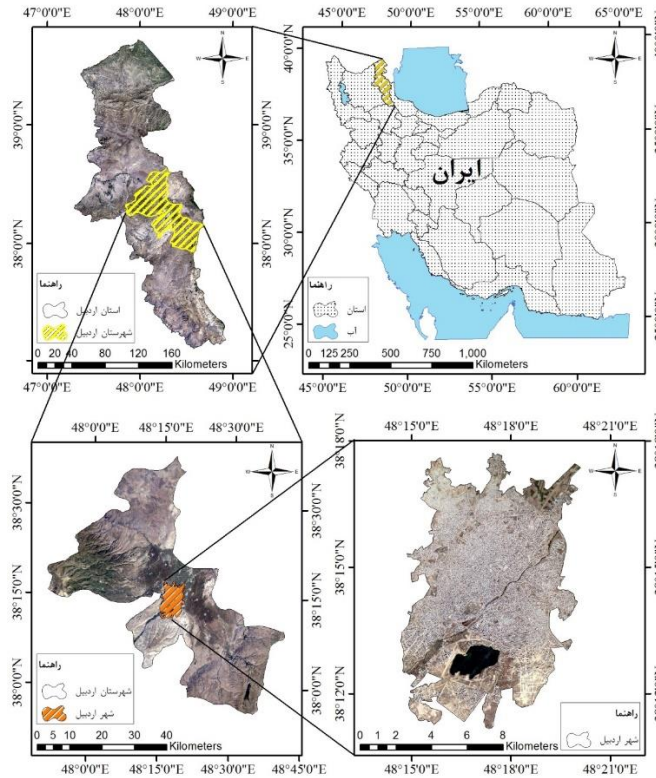
گرفته است که از آن جمله می توان به مطالعات دلنور و کاوواس^۲(۱۹۷۸)، الناصری و بابان^۳(۲۰۰۵)، سوموانشی^۴ و همکاران (۲۰۰۶)، ونگ^۵ و همکاران (۲۰۱۴)، پاساریبو^۶ و همکاران (۲۰۱۸) در خارج از کشور و به مطالعات داخلی از جمله رضانی (۱۳۸۶)، ویسی پور و همکاران (۱۳۸۹)، حسینعلی زاده و همکاران (۱۳۹۳)، عبداله نژاد (۱۳۹۴)، بایزدی و همکاران (۱۳۹۵)، بابایی حصار و قضاوی (۱۳۹۸) اشاره کرد. هدف از انجام این مطالعه، پیش بینی بارندگی ماهانه در ایستگاه سینوپتیک منتخب استان اردبیل با استفاده از بهترین مدل های سری های زمانی است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- محدوده ی مورد مطالعه

شهر اردبیل مرکز استان اردبیل بوده و در بخش مرکزی استان و شهرستان اردبیل و شمال غربی ایران واقع شده است. این شهر جزو شهرهای کوهستانی کشور بوده و در دامنه ی شرقی کوه سبلان واقع شده است. مساحت این شهر در سال ۱۳۹۸ حدود ۶۳۰۰ هکتار بوده و از ۵ منطقه ی شهری تشکیل شده است. ایستگاه سینوپتیک اردبیل نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی به شهر اردبیل بوده و موقعیت آن نسبت به محدوده ی مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه شده است. با توجه به داده های طولانی مدت ثبت شده در این ایستگاه، بارندگی و تبخیر متوسط سالانه ی محدوده ی مورد مطالعه به ترتیب حدود ۲۹۲ و ۱۱۶۶ میلی متر است. حداکثر بارندگی ها در ماه های اسفند، فروردین و اردیبهشت و حداقل بارندگی ها در ماه های تیر، مرداد و شهریور رخ می دهد. به دلیل ارتفاع بالای منطقه، شکل غالب نزولات جوی به صورت برف است. میانگین دماهای حداکثر ماهانه حدود ۲۵ درجه ی سانتی گراد و مربوط به ماه مرداد و میانگین دماهای حداقل ماهانه حدود ۴/۵- درجه ی سانتی گراد و مربوط به ماه دی است. همچنین حداکثر، حداقل و میانگین دمای سالانه به ترتیب برابر با ۱۵/۶، ۳/۳ و ۹/۵ درجه ی سانتی گراد است. میانگین حداکثر سرعت باد در محدوده ی مورد مطالعه حدود ۹/۵ گره و میانگین سرعت باد منطقه نیز حدود ۳/۷ گره است. همچنین میانگین سالانه بیشترین و کمترین رطوبت نسبی به ترتیب برابر با ۷۴ درصد (در ماه های دی و بهمن) و ۶۷ درصد (در ماه فروردین) است.

-
- 2- Delleur and Kavvas
 - 3- Al-Ansari and Baban
 - 4- Somvanshi
 - 5- Wang
 - 6- Pasaribu



شکل ۱: موقعیت کشوری، استانی و شهرستانی شهر اردبیل

۲-۲- روش تحقیق

در این مطالعه، بارندگی ماهانه ۵ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ میلادی) در منطقه‌ی مورد مطالعه (ایستگاه سینوپتیک اردبیل) با استفاده از مدل‌های مختلف سری‌های زمانی خانواده‌ی ARIMA پیش‌بینی گردید. مدل‌های خانواده‌ی ARIMA در حالت کلی به دو دسته مدل‌های غیرفصلی یا ARIMA و مدل‌های فصلی یا SARIMA تقسیم می‌شوند. مدل‌های غیرفصلی یا ARIMA(p,q,d) با مرتبه‌های p، d و q مشخص می‌شوند و شامل مدل‌های زیر است:

الف: مدل اتورگرسیو (AR)

این مدل به صورت AR(p) بیان می‌شود که در آن p، مرتبه‌ی اتورگرسیو بوده و ساختار آن مطابق رابطه‌ی ۱ است:

$$Y_t = C + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + e_t \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

ب: مدل میانگین متحرک (MA)

این مدل به صورت MA(q) بیان می‌شود که در آن q، مرتبه‌ی میانگین متحرک بوده و ساختار آن مطابق رابطه‌ی ۲ است:

$$Y_t = C + \theta_1 Y_{t-1} + \theta_2 Y_{t-2} + \dots + \theta_q Y_{t-q} + e_t \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

ج: مدل اتورگرسیو میانگین متحرک (ARMA)

این مدل به صورت ARMA(p,q) بیان می‌شود که در آن p و q به ترتیب مرتبه‌ی اتورگرسیو و میانگین متحرک بوده و ساختار آن مطابق رابطه‌ی ۳ است:

رابطه‌ی ۳ $Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + e_t - \theta_1 Y_{t-1} - \theta_2 Y_{t-2} - \dots - \theta_q Y_{t-q}$
 در روابط ۱، ۲ و ۳، Y_t متغیر پیش‌بینی شده در زمان t ام، $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$ پارامترهای مدل AR، $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ پارامترهای مدل MA، C مقدار ثابت مدل و e_t مقدار باقیمانده تصادفی (مستقل از زمان که از توزیع نرمال با میانگین صفر تبعیت می‌کند) در زمان t ام است (حسینعلی‌زاده و همکاران ۱۳۹۳، ونگ و همکاران ۲۰۱۴، پاپالاسکاریس و همکاران ۲۰۱۶).

د: مدل اتورگرسیو میانگین متحرک یکپارچه (ARIMA)

این مدل به صورت $ARIMA(p,d,q)$ بیان می‌شود که در آن p, d و q به ترتیب مرتبه‌ی اتورگرسیو، تفاضل‌گیری غیرفصلی و میانگین متحرک بوده و ساختار آن مطابق رابطه‌ی ۴ است:

$$\varphi_p(B) \nabla^d Y_t = \mu + \theta_q(B) e_t \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

که در آن، Y_t متغیر پیش‌بینی شده در زمان t ام، μ میانگین داده‌ها، e_t مقدار باقیمانده‌ی تصادفی در زمان t ام، ∇ عملگر تفاضل و B عملگر پس‌رو بوده و مقادیر $\varphi_p(B)$ و $\theta_q(B)$ نیز به ترتیب با استفاده از روابط ۵ و ۶ تعیین می‌شوند (سوموانشی و همکاران ۲۰۰۶، مورتی و همکاران ۲۰۱۷).

$$\varphi_p(B) = 1 - \varphi_1 B^1 - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B^1 - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

مدل فصلی

این مدل، اتورگرسیو میانگین متحرک یکپارچه‌ی فصلی نامیده شده و به صورت $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)$ بیان می‌شود که در آن p, d, q به ترتیب مرتبه‌ی اتورگرسیو، تفاضل‌گیری و میانگین متحرک بخش غیرفصلی، P, D, Q و به ترتیب مرتبه‌ی اتورگرسیو، تفاضل‌گیری و میانگین متحرک بخش فصلی و s طول فصل بوده و ساختار آن مطابق رابطه‌ی ۷ است:

$$\Phi_P(B^s) \varphi_p(B) \nabla_s^D \nabla^d Y_t = \mu + \theta_Q(B^s) \theta_q(B) e_t \quad \text{رابطه‌ی ۷}$$

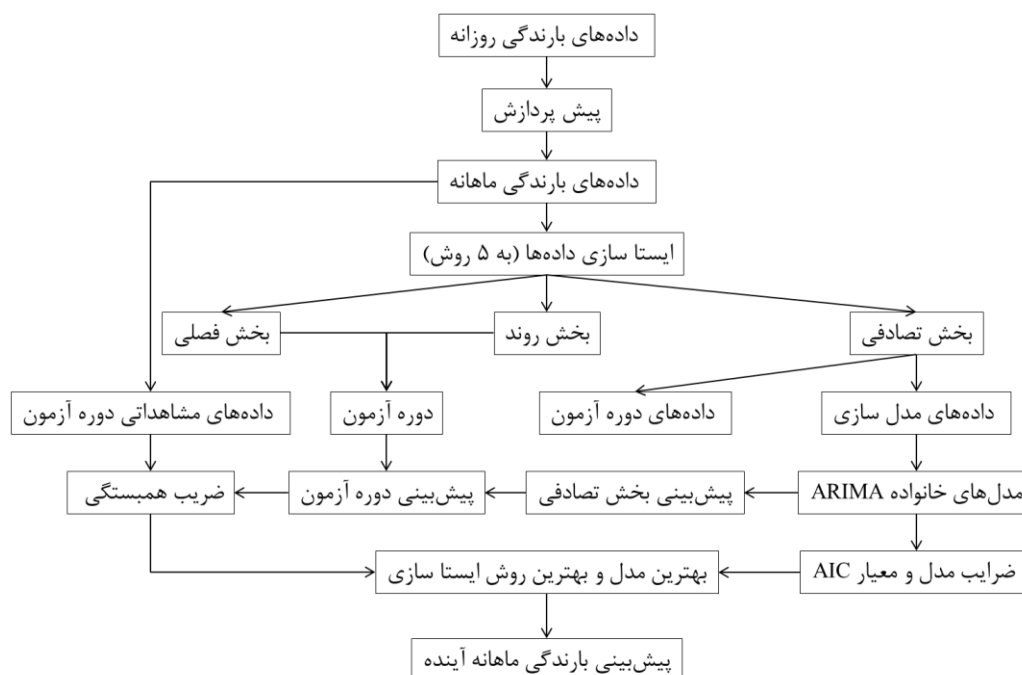
که در آن، Y_t, μ, e_t, ∇, B مطابق رابطه‌ی ۳-۴ و مقادیر $\varphi_p(B)$ و $\theta_q(B)$ به ترتیب مطابق روابط ۵ و ۶ بوده و مقادیر $\Phi_P(B^s)$ و $\theta_Q(B^s)$ نیز به ترتیب با استفاده از روابط ۸ و ۹ تعیین می‌شوند (مورتی و همکاران، ۲۰۱۷).

$$\Phi_P(B^s) = 1 - \Phi_1 B^{1s} - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_P B^{Ps} \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

$$\theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^{1s} - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs} \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

۲-۳- مراحل پیش‌بینی بارندگی

نموگراف خلاصه مراحل پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک اردبیل با استفاده از مدل‌های سری‌های زمانی در شکل (۲) ارائه شده است. جزئیات هر بخش به شرح زیر است.



شکل ۲: خلاصه‌ی مراحل پیش‌بینی بارندگی ماهانه

۲-۴- انتخاب و پیش‌پردازش داده‌ها

داده‌های بارندگی روزانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ میلادی به‌عنوان سری زمانی بارندگی موردبررسی، از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. داده‌های تهیه‌شده پس از بررسی و تکمیل داده‌های مفقود، بررسی و اصلاح داده‌های پرت با استفاده از نمودار جعبه‌ای، از نظر همگنی نیز با استفاده از آزمون ران-تست موردبررسی قرار گرفت. درنهایت بارندگی ماهانه‌ی ایستگاه مذکور در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ میلادی محاسبه و به عنوان سری زمانی بارندگی در پیش‌بینی بارندگی ماهانه‌ی ۵ سال آینده مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۵- آماده‌سازی داده‌ها

اولین گام در مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌ها با استفاده از مدل‌های خانواده‌ی ARIMA، آماده‌سازی داده‌ها و به‌عبارت‌دیگر، حذف عوامل نایستایی و به دست آوردن بخش تصادفی داده‌هاست (خلیلی و ناظری تهرودی، ۱۳۹۳). سری‌های زمانی هیدرولوژیکی به‌طور عمده نایستا بوده و از سه بخش اصلی شامل بخش روند (تغییرات افزایشی و یا کاهش خطی و یا (اغلب) غیرخطی در کل داده‌ها)؛ بخش فصلی (تغییرات افزایشی و کاهش خطی که با فواصل منظم تکرار می‌شوند) و بخش تصادفی (داده‌های باقیمانده پس از حذف روند و تغییرات فصلی) تشکیل می‌شود. دو بخش اول داده‌ها، ترم قطعی داده‌ها و یا عوامل نایستایی بوده و بخش سوم، ترم تصادفی و یا بخش ایستای داده‌هاست (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۹۳). در این پژوهش از آزمون ناپارامتریک من-کندال به منظور اطمینان از وجود روند و از نمودار خودهمبستگی (ACF) نیز به منظور اطمینان از وجود تغییرات فصلی در سری زمانی استفاده گردید. آزمون من-کندال و رسم نمودار خودهمبستگی سری زمانی بارندگی ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در محیط نرم‌افزار SPSS.16 انجام گردید. در تحقیقات مختلف، روش‌های متفاوتی به منظور ایستای سازی داده‌ها به کار برده شده است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به روش‌های تفاضل‌گیری، حداقل مربعات، تبدیل باکس-کاکسو میانگین متحرک در حذف بخش روند و روش‌های تفاضل‌گیری و میانگین فصلی در حذف تغییرات فصلی اشاره نمود (حسینعلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۶؛ عبداله‌نژاد، ۱۳۹۴: ۱۸؛ ۱۳۱۴؛ Mirzavand and Ghazavi, 2015: 1314؛ Dastorani et al, 2016: 1814) که

هر کدام به روش خاصی عوامل نایستایی را حذف می کنند. در این پژوهش، ترکیبی از روش های مختلف مطابق جدول (۲-۳) به منظور حذف عوامل نایستایی (روند و تغییرات فصلی) از سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک اردبیل و ایجاد سری زمانی ایستا استفاده گردید.

جدول ۱: روش های ایستاسازی (حذف روند و تغییرات فصلی) سری زمانی بارندگی ماهانه

روش ایستاسازی	حذف روند	حذف تغییرات فصلی	رابطه
۱	تبدیل باکس-کاکس	تفاضل مرتبه ۱۲	$Z_t = \begin{cases} \frac{(X_t^\lambda - 1)}{\lambda} & \lambda \neq 0 \\ \log X_t & \lambda = 0 \end{cases}$
۲	تفاضل مرتبه ۱	تفاضل مرتبه ۱۲	$Z_t = \nabla(n)X_t = X_t - X_{t-n}$
۳	حداقل مربعات	تفاضل مرتبه ۱۲	$Z_t = \alpha t + \beta$
۴	حداقل مربعات	میانگین فصلی	$\beta = \bar{X} - \alpha \bar{t}$ و $Z_{tm} = \frac{\sum_{i=-k}^k X_{t+i}}{m}$
۵	میانگین متحرک	میانگین فصلی	$Z_{tm} = \frac{\sum_{i=-k}^k X_{t+i}}{m}$

در روش تبدیل باکس-کاکس، Z_t داده ی تبدیل شده (بخش فصلی و تصادفی) در زمان t ام، X_t داده ی مشاهده شده در زمان t ام و λ پارامتر مدل است (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۳). در این تبدیل مقدار λ به صورتی تعیین می شود که میانگین داده ها برابر با صفر شده و لذا داده ها فاقد روند شوند. در این پژوهش، تبدیل سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک اردبیل با استفاده از ابزار Transform در محیط نرم افزار آماری SPSS.23 انجام شد و سری زمانی فاقد روند حاصل گردید.

در روش تفاضل گیری، Z_t داده فاقد عامل نایستایی در زمان t ام، X_t داده ی مشاهده شده در زمان t ام، ∇ عملگر تفاضل و n مرتبه تفاضل است (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۹۳). در این پژوهش از تفاضل گیری مرتبه ی ۱ ($n=1$) به منظور حذف روند و به دلیل استفاده از داده های ماهانه از تفاضل گیری مرتبه ی ۱۲ ($n=12$) نیز به منظور حذف تغییرات فصلی از سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک اردبیل استفاده گردید.

در روش حداقل مربعات که یک روش به منظور حذف روند خطی از داده های سری زمانی است؛ Z_t بخش روند داده در زمان t ام، α شیب خط روند و β عرض از مبدأ خط روند، X_t داده ی مشاهده شده در زمان t ام، n تعداد مشاهدات سری زمانی، \bar{X} میانگین مشاهدات و \bar{t} میانگین شماره ی مشاهدات سری زمانی است (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۹۳). در این پژوهش، معادله ی روند خطی سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک اردبیل در محیط نرم افزار اکسل محاسبه گردید و پس از کسر آن از سری مشاهده شده، سری بارندگی ماهانه فاقد روند خطی حاصل گردید.

روش میانگین متحرک یکی از روش های تعیین روند تغییرات سری های زمانی است که در آن Z_{tm} میانگین متحرک (روند) مرتبه ی m در زمان t ام، m مرتبه و یا دوره ی میانگین متحرک (1) و X_t مقدار مشاهده شده در زمان t ام است. در این پژوهش به دلیل استفاده از داده های ماهانه، بخش روند داده ها بر اساس میانگین متحرک مرکزی مرتبه ی ۱۲ تعیین گردید. بدین منظور از دستور "Decompose" در محیط نرم افزار آماری R.3.3.1 استفاده گردید که به طور پیش فرض بر اساس میانگین متحرک مرکزی مرتبه ی ۱۲، بخش روند داده ها را جداسازی می کند.

در روش میانگین فصلی، پس از حذف روند داده ها، ماتریس باقیمانده (بخش های فصلی و تصادفی) داده ها تشکیل می شود. ماتریسی که ردیف های آن را واحدهای زمانی تکرار تغییرات فصلی (سالها) و ستون های آن را واحدهای زمانی ایجادکننده ی تغییرات فصلی (ماهها) تشکیل می دهد. در نهایت بخش فصلی در هر یک از واحدهای زمانی

ایجادکننده تغییرات فصلی (ماه‌ها) از میانگین ستون‌های ماتریس مذکور به دست می‌آید. تغییرات فصلی به دست آمده، در تمامی واحدهای زمانی دربرگیرنده تغییرات فصلی (سال‌ها) تکرار می‌شود. در رابطه‌ی ارائه شده برای آن Z_t بخش فصلی ستون Z (ماه Z ام)، n تعداد ردیف‌ها (داده‌ی سال‌ها) و X_{ij} مقدار مشاهده شده در ردیف i ام و ستون j ام در ماتریس ذکر شده است. در این درپژوهش از دستور "Decompose" در محیط نرم‌افزار آماری R.3.3.1 که به طور پیش فرض بر اساس میانگین فصلی، بخش فصلی داده‌ها را جداسازی می‌کند، استفاده گردید. پس از ایستاسازی، سری زمانی بارندگی ماهانه بر اساس هر یک از ۵ روش ایستاسازی اشاره شده در جدول (۱)، به منظور بررسی چگونگی حذف روند، معادله‌ی خطی سری‌های زمانی ایستاشده (بخش تصادفی) در محیط نرم‌افزار اکسل محاسبه و نیز به منظور بررسی عدم وجود همبستگی در تأخیرهای مختلف (عدم وجود تغییرات فصلی)، نمودار خودهمبستگی (ACF) سری‌های زمانی ایستاشده در محیط نرم‌افزار SPSS.16 رسم گردید. همچنین به منظور ارزیابی نرمال بودن توزیع آماری داده‌های ایستاشده در هر یک از ۵ روش ایستاسازی، از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد در محیط SPSS.16 استفاده گردید. سری‌های تصادفی غیر نرمال نیز با استفاده از مناسب‌ترین نوع تبدیل تعیین شده از میان تبدیل‌های رایج نرمال‌ساز (تبدیل‌های لگاریتمی، جذری، نمایی، معکوس، توانی و سینوسی) (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۳) نرمال شدند.

۲-۶- مدل سازی

پس از آماده‌سازی داده‌ها و تولید سری‌های زمانی ایستا، داده‌های سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ میلادی جهت مدل‌سازی و داده‌های سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ میلادی جهت آزمون مدل‌ها انتخاب شدند؛ بنابراین داده‌های تصادفی ماهانه دوره‌ی مدل‌سازی حاصل از هر یک از روش‌های ایستاسازی، به منظور ایجاد و ارزیابی عملکرد انواع مدل‌های مختلف خانواده‌ی ARIMA در پیش‌بینی بارندگی ماهانه، وارد محیط نرم‌افزار آماری R.3.3.1 شدند. در گام اول، مدل‌های غیرفصلی مورد ارزیابی قرار گرفته و مدل‌های مختلف به صورت آزمون و خطا و با مرتبه‌های متغیر از بین صفر، ۱ و ۲ اجرا شدند؛ بنابراین، در این گام برای هر یک از روش‌های ایستاسازی، تعداد ۲۶ نوع مدل غیرفصلی تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. این مدل‌ها شامل ۲ مدل $AR(p=1 \text{ و } 2)$ ، ۲ مدل $MA(q=1 \text{ و } 2)$ ، ۴ مدل $(q=1 \text{ و } 2)$ و ۲ مدل $ARMA(p=1 \text{ و } 2 \text{ و } q=0 \text{ و } 1 \text{ و } d=1 \text{ و } 2)$ و ۱۸ مدل $ARIMA(p=0 \text{ و } 1 \text{ و } 2 \text{ و } d=0 \text{ و } 1 \text{ و } 2)$ بودند. در گام دوم نیز مدل‌های فصلی مورد ارزیابی قرار گرفته و مدل‌های مختلف به صورت آزمون و خطا و با مرتبه‌های متغیر از بین صفر و ۱، اجرا شدند؛ بنابراین، در این گام نیز برای هر یک از روش‌های ایستاسازی، تعداد ۶۴ مدل $(P=0 \text{ و } 1 \text{ و } Q=0 \text{ و } 1 \text{ و } d=0 \text{ و } 1 \text{ و } 2)$ و ۱۲ مدل $(P=0 \text{ و } 1 \text{ و } Q=0 \text{ و } 1 \text{ و } d=0 \text{ و } 1 \text{ و } 2)$ و ۹۰ نوع مدل برای هر یک از ۵ روش ایستاسازی (در مجموع ۴۵۰ مدل)، مقادیر مربوط به پارامترهای مدل‌ها $(\Phi, \theta, \Theta, \varphi, D, d)$ و معیار آکائیک (AIC) (رابطه‌ی ۱۰)، بخش تصادفی پیش‌بینی شده برای ۵ سال آزمون (۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹) و همچنین مقادیر باقیمانده برای هر مدل یادداشت گردید. مقادیر مذکور به طور اتوماتیک پس از اجرای هر مدل در محیط نرم‌افزار R محاسبه می‌شوند.

$$AIC = 2K - 2\ln(\hat{L})$$

رابطه‌ی ۱۰

که در آن AIC : معیار آکائیک، K : تعداد پارامترها در مدل آماری و \hat{L} : حداکثر تابع درست‌نمایی است.

۲-۷- انتخاب بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل

سری‌های تصادفی پیش‌بینی شده‌ی هر مدل (پس از اعمال عکس تبدیل نرمال‌سازی در صورت لزوم)، با بخش‌های روند و تغییرات فصلی مربوط به روش ایستاسازی خود جمع و مقادیر بارندگی ماهانه برای ۵ سال آزمون پیش‌بینی گردید. مقدار ضریب همبستگی (R) بین مقادیر بارندگی ماهانه‌ی پیش‌بینی شده و مشاهده شده در دوره‌ی آزمون محاسبه گردید. بهترین مدل پیش‌بینی کننده‌ی بارندگی در هر یک از روش‌های ایستاسازی بر اساس مقادیر پارامترهای

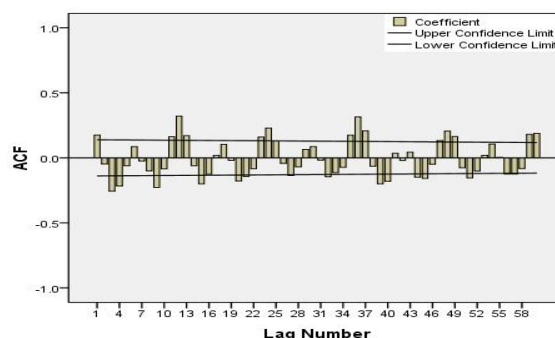
مدل، معیار آکائیک و ضریب همبستگی تعیین شد؛ به این ترتیب که بهترین مدل دارای پارامترهای برابر و یا کم تر از قدر مطلق یک، کم ترین معیار آکائیک و بیش ترین ضریب همبستگی است.

در نهایت، روش ایستاسازی و مدلی که در آن بیش ترین ضریب همبستگی بین مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده در دوره ی آزمون وجود داشت، به عنوان بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل پیش بینی کننده ی بارندگی ماهانه در ایستگاه سینوپتیک اردبیل انتخاب گردید. به منظور اطمینان از مناسب بودن بهترین مدل انتخاب شده، مقادیر باقیمانده ی حاصل از برازش مدل به سری تصادفی مشاهده شده، از نظر عدم وجود همبستگی در تأخیرهای مختلف و همچنین نرمال بودن توزیع آماری آن، به ترتیب با استفاده از نمودار خودهمبستگی (ACF) و آزمون کلمورگروف-اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفت (عبداله نژاد، ۱۳۹۴). مقادیر بارندگی ماهانه ی ۵ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ میلادی) در ایستگاه سینوپتیک اردبیل با استفاده از بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل پیش بینی کننده ی مربوط به آن، پیش بینی گردید.

۳- بحث و نتیجه گیری

۳-۱- روند و تغییرات فصلی

بر اساس نتایج حاصل از آزمون من-کندال برای دوره ی آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹، آماره ی S برابر ۱۰- و آماره ی استاندارد Z برابر ۰/۶۱۲- به دست آمد. نمودار خودهمبستگی مقادیر بارندگی ماهانه ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره ی آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳: نمودار ACF داده های بارندگی ماهانه ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل

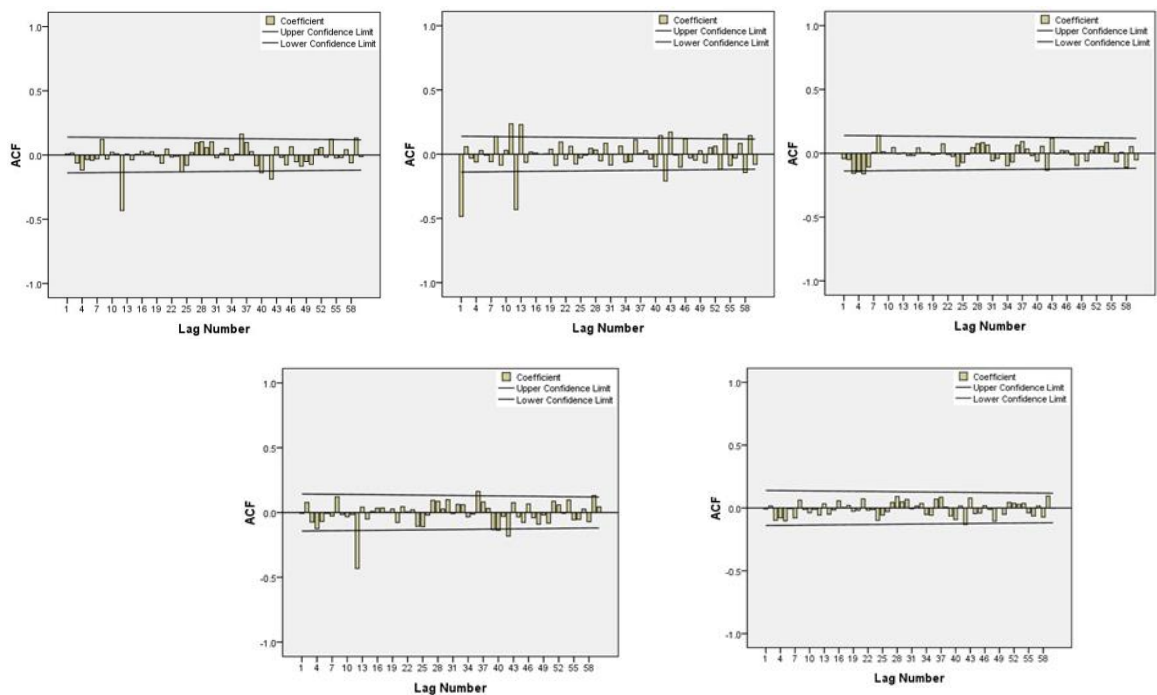
با توجه به نتایج حاصل از آزمون من-کندال، داده های بارندگی ماهانه ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره ی آماری مورد مطالعه دارای روند کاهشی ($Z = -0/6119$) بوده، اما این روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار نیست. با توجه شکل (۲)، داده های بارندگی ماهانه ی مورد مطالعه دارای خودهمبستگی معنی داری در تأخیرهای ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه است که نشان دهنده ی تکرار تغییرات فصلی در فاصله های ۱۲ ماهه است.

۳-۲- ایستاسازی داده ها

نتایج مربوط به معادله ی خطی (که در آن ها x شماره ی زمان و y مقدار سری ایستاسازی شده است). آماره ی آزمون نرمال بودن (آزمون کلمورگروف-اسمیرنوف) در قبل و بعد از اعمال تبدیل نرمال سازی و مناسب ترین تبدیل نرمال ساز برای سری زمانی ایستای ایجاد شده در هر یک از ۵ روش ایستاسازی در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین نمودار ACF مربوط به سری تصادفی حاصل از هر یک از ۵ روش ایستاسازی در شکل (۴) ارائه شده است.

جدول ۲: معادله‌ی خط و مناسب‌ترین تبدیل نرمال‌ساز سری تصادفی حاصل از روش‌های ایستاسازی مورد استفاده

روش ایستاسازی	معادله‌ی خط	آماره‌ی آزمون نرمال‌یته قبل از تبدیل	مناسب‌ترین تبدیل نرمال‌ساز	آماره‌ی آزمون نرمال‌یته بعد از تبدیل
۱	$y = -0.002x + 0.167$	۰/۳۴	-	-
۲	$y = -0.153x + 1.1175$	۰/۷۷	-	-
۳	$y = 0.047x - 0.7119$	۰/۱۹	-	-
۴	$y = -0.135x + 0.7556$	۰/۰۴	$x_n = \sqrt{x + 40}$	۰/۲۱
۵	$y = -0.031x + 0.3901$	۰/۰۰	$x_n = \sqrt[3]{x + 40}$	۰/۱۸



شکل ۴: نمودار ACF سری ایستا به ترتیب در روش‌های ایستاسازی شماره‌ی ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵

با توجه به معادله‌ی خطی سری ایستای حاصل از روش‌های ایستاسازی (جدول ۲-۴)، کم‌ترین شیب خط برازش به ترتیب مربوط به روش‌های شماره‌ی ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ است؛ بنابراین، در روش‌های ایستاسازی شماره‌ی ۱، ۳ و ۵ به دلیل ایجاد کم‌ترین شیب در معادله‌ی خطی (به ترتیب برابر با ۰/۰۰۲، -۰/۰۰۳۱ و -۰/۰۰۴۷) روند موجود در داده‌های سری زمانی بهتر از سایر روش‌ها حذف شده است. همچنین مقایسه‌ی نتایج ارائه‌شده در شکل (۴) با شکل (۳) نشان می‌دهد که تغییرات فصلی موجود در سری مشاهداتی در هر یک از ۵ روش ایستاسازی تا حد قابل‌ملاحظه‌ای حذف شده است؛ اما در میان آن‌ها، روش‌های شماره‌ی ۴ و ۵ تغییرات فصلی موجود در داده‌ها را تقریباً به‌طور کامل حذف نموده است.

۳-۳- مدل سازی

پس از اجرای مدل های سری های زمانی طراحی شده، مدل بهینه مربوط به هر روش ایستاسازی با توجه به مقدار پارامترهای مدل و معیار آکائیک در دوره ی مدل سازی و ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده در دوره ی آزمون انتخاب گردید. نتایج مربوط به مدل بهینه ی انتخاب شده و اطلاعات مربوط به آن، در هر یک از روش های ایستاسازی در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: اطلاعات مربوط به مدل بهینه ی هر یک از روش های ایستاسازی مورد استفاده

ضریب همبستگی	معیار آکائیک	پارامترهای مدل						ساختار مدل	نوع مدل	روش ایستاسازی
		D	d	θ	θ	Φ	φ			
۱/۰۰	۴۴۲/۴۳	-	-	-۰/۹۲۹	-۱/۰	-	۰/۸۹۱	(1,0,1)(0,0,1) ₁₂	SARIMA	۱
۰/۴۱	۱۴۵۹/۱۶	-	-	-۰/۹۲۳	-۱/۰	-	-۰/۰۱۹	(1,0,1)(0,0,1) ₁₂		۲
۰/۶۵	۱۴۴۶/۱۱	-	-	-۰/۹۲۹	-۱/۰	-	۰/۸۹۱	(1,0,1)(0,0,1) ₁₂		۳
۰/۷۷	۵۵۷/۸۰	-	-	-۰/۷۰۶	-	۰/۶۰۸	-	(0,0,0)(1,0,1) ₁₂		۴
۰/۸۰	۱۹۱/۷۴	-	-	-۰/۰۳۵	-۱/۰	-	۰/۶۲۱	(1,0,1)(0,0,1) ₁₂		۵

در روش ایستاسازی شماره ی ۱، تبدیل باکس- کاکس بخش عمده ی مقادیر بارندگی مشاهده شده را به عنوان بخش روند داده ها جداسازی کرده است؛ به گونه ای که ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و بخش روند جداسازی شده حدود ۰/۹۹ محاسبه گردید؛ بنابراین، در این روش مقادیر بسیار کم (نزدیک به صفر) به عنوان بخش تصادفی داده ها جداسازی شد؛ از این جهت در تمامی مدل های بررسی شده از خانواده ARIMA (تعداد ۹۰ مدل)، ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده در دوره ی آزمون برابر با ۱ محاسبه شد؛ بنابراین، برخلاف تحقیقات حسینعلی زاده و همکاران (۱۳۹۳) و ویسی پور و همکاران (۱۳۸۹) روش تبدیل باکس- کاکس روش مناسبی برای حذف روند از سری زمانی بارندگی ماهانه در ایستگاه مورد مطالعه تشخیص داده نشد؛ از این رو، روش ایستاسازی شماره ی (۱) از روند مقایسه حذف گردید.

نکته ی قابل توجه دیگر این که معیار آکائیک صرفاً برای انتخاب مدل بهینه از میان انواع مدل های اجرا شده در یک نوع روش ایستاسازی بوده؛ از این رو، معیار مناسبی برای مقایسه ی مدل های بهینه ی انتخاب شده در روش های مختلف ایستاسازی نیست؛ چراکه دامنه ی تغییرات معیار آکائیک وابسته به دامنه ی تغییرات سری ایستاست که در روش های مختلف ایستاسازی متفاوت است؛ از این رو، علی رغم نزدیکی ضریب همبستگی در برخی از روش های ایستاسازی، معیارهای آکائیک آن ها تفاوت قابل ملاحظه ای دارند.

۳-۴- انتخاب بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل

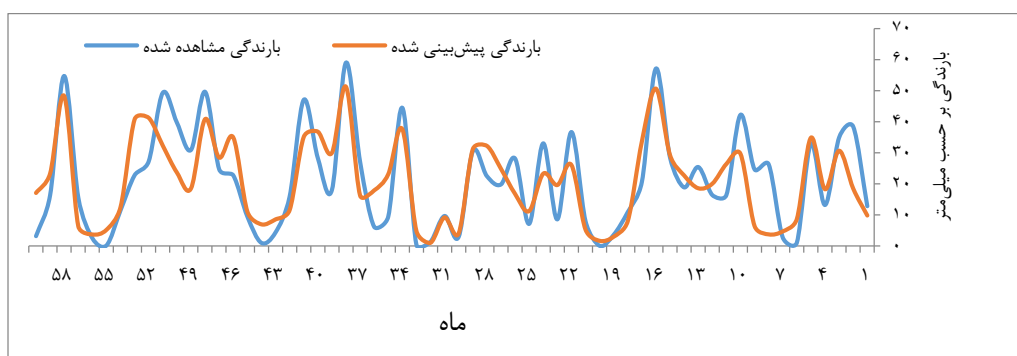
با توجه به نتایج ارائه شده، روش ایستاسازی شماره ی ۵ به دلیل داشتن کمترین شیب خط برازش و نیز حذف کامل خود همبستگی میان مقادیر بارندگی ماهانه، به عنوان بهترین روش ایستاسازی داده های بارندگی ماهانه در ایستگاه مورد مطالعه انتخاب گردید. از طرف دیگر، مطابق نتایج ارائه شده در جدول (۳)، بیشترین ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده در دوره ی آزمون، مربوط به روش ایستاسازی شماره ی ۵ است؛ از این رو، روش میانگین

متحرک ۱۲ ساله و میانگین فصلی به ترتیب به عنوان بهترین روش حذف روند و تغییرات فصلی موجود در سری زمانی بارندگی ماهانه مورد مطالعه انتخاب گردید.

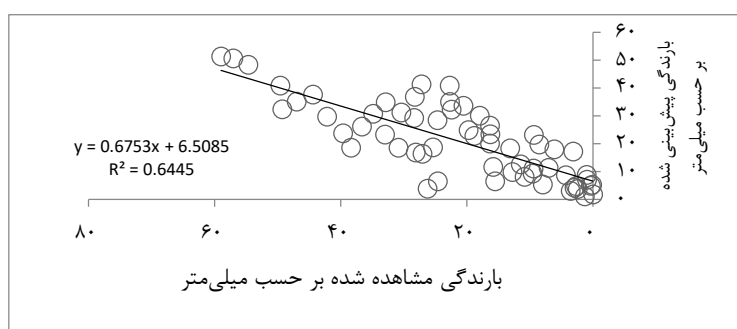
همچنین مدل $SARIMA(1,0,1)(0,0,1)_{12}$ مربوط به این روش ایستاسازی، به دلیل دارا بودن مقادیر پارامتر-های کم تر و یا برابر با قدر مطلق یک، کمترین معیار آکائیک و بیشترین ضریب همبستگی به عنوان بهترین مدل پیش‌کننده‌ی بارندگی ماهانه در ایستگاه سینوپتیک اردبیل تعیین گردید.

نمودار مربوط به مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل مذکور در دوره‌ی ۶۰ ماهه آزمون (سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ میلادی) و نمودار پراکنش مقادیر به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. همچنین نمودار خودهمبستگی مربوط به مقادیر باقیمانده‌ی بهترین مدل انتخابی مطابق شکل (۷) است.

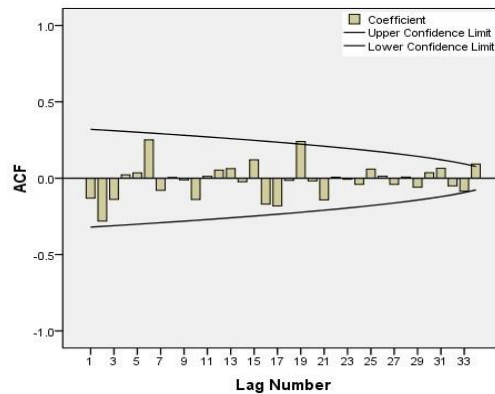
با توجه به شکل (۷)، مقادیر باقیمانده‌ی بهترین مدل انتخابی، فاقد خودهمبستگی در تأخیرهای مختلف بوده و لذا، باقیمانده‌ها به صورت تصادفی است. همچنین آماره‌ی آزمون نرمال بودن (کلموگروف-اسمیرنف) مدل انتخابی برابر با ۰/۹ محاسبه گردید که نشان‌دهنده‌ی نرمال بودن توزیع آن است؛ بنابراین، مدل انتخابی، مدل مناسبی به منظور پیش‌بینی بارندگی ماهانه در ۶۰ ماه آینده در ایستگاه مورد نظر است.



شکل ۵: نمودار بارندگی مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده با بهترین مدل انتخابی در دوره‌ی آزمون



شکل ۶: پراکنش بارندگی مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده با بهترین مدل انتخابی در دوره‌ی آزمون



شکل ۷: نمودار ACF مقادیر باقیمانده‌ی بهترین مدل انتخابی

۳-۵- پیش بینی بارندگی

نتایج مربوط به بارندگی ماهانه‌ی پیش‌بینی‌شده در پنج سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴) با استفاده از بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل سری‌های زمانی در ایستگاه سینوپتیک اردبیل در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: بارندگی ماهانه‌ی پیش‌بینی‌شده در ایستگاه سینوپتیک اردبیل برحسب میلی‌متر

سال / ماه	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳	۲۰۲۴	میانگین ۲۰ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹)
ژانویه	۱۶/۷۹	۱۸/۶	۱۱/۳۹	۱۶/۴۱	۱۸/۶۷	۱۸/۱۶
فوریه	۲۳/۰۹	۲۲/۷۸	۱۶/۹۳	۲۱/۴۱	۲۳/۷۹	۲۲/۸۴
مارس	۳۳/۴۶	۲۹/۳۲	۲۴/۹۹	۳۰/۱۰	۳۲/۴۳	۳۱/۹۲
آوریل	۳۹/۷۲	۳۵/۷۷	۳۲/۳۷	۳۶/۹۵	۴۱/۳۹	۳۹/۶۳
مه	۳۵/۸۵	۳۳/۷۶	۳۱/۲۸	۳۵/۲۳	۴۰/۹۳	۳۷/۹۷
ژوئن	۹/۵۹	۸/۱۴	۴/۲۲	۱۱/۶۹	۱۲/۶۶	۱۱/۸۲
ژوئیه	۵/۲۸	۳/۱۲	۰	۸/۷۱	۵/۳۵	۶/۶۵
اوت	۴/۰۶	۱/۸۱	۰/۱۶	۷/۱۲	۳/۸۶	۶/۰۳
سپتامبر	۶/۵۹	۵/۴۳	۴/۹۷	۱۱/۲۲	۶/۵۴	۹/۳۱
اکتبر	۳۰/۷۶	۲۶/۲۳	۲۷/۷۴	۳۵/۰۸	۲۸/۴۳	۳۰/۶۲
نوامبر	۲۶/۶۲	۱۹/۷۷	۲۳/۲۵	۲۸/۶۰	۲۳/۴۴	۲۶/۵۱
دسامبر	۲۰/۰۹	۱۳/۴۲	۱۸/۰۵	۲۰/۹۸	۱۷/۲۲	۲۱/۰۹
جمع	۲۵۱/۹	۲۱۸/۱۵	۱۹۵/۳۵	۲۶۳/۵	۲۵۴/۷۱	۲۶۲/۵۹

مطابق نتایج ارائه‌شده در جدول (۴)، مقدار بارندگی سالانه در ۵ سال آینده نسبت به میانگین بارندگی ۲۰ سال گذشته، در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۱، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۴ به ترتیب حدود ۴، ۱۷، ۲۵ و ۳ درصد کاهش خواهد یافت که بیش‌ترین کاهش مربوط به سال ۲۰۲۲ میلادی است. مقدار بارندگی فقط در سال ۲۰۲۳ معادل ۰/۳ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین بیش‌ترین کاهش بارندگی ماهانه مربوط به ماه ژوئیه در سال ۲۰۲۲ و بیش‌ترین افزایش بارندگی ماهانه نیز مربوط به ماه ژوئیه در سال ۲۰۲۳ میلادی است.

۴- نتیجه گیری

این مطالعه با هدف بررسی روند و پیش‌بینی تغییرات توزیع و میزان بارش برای یک دوره‌ی پنج‌ساله با استفاده از بهترین مدل ARIMA برای ایستگاه سینوپتیک اردبیل است، انجام شد. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان داد که داده‌های بارندگی ماهانه‌ی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره‌ی آماری مورد مطالعه دارای روند کاهشی (۰/۶۱۱۹- $Z=$) بوده، اما این روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. بررسی داده‌های بارندگی ماهانه‌ی مورد مطالعه نشان داد که خودهمبستگی معنی‌داری در تأخیرهای ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه وجود دارد. نتایج مربوط به بارندگی ماهانه پیش‌بینی‌شده در پنج سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴) با استفاده از بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل سری‌های زمانی در ایستگاه سینوپتیک اردبیل نشان داد که مقدار بارندگی سالانه در ۴ سال از ۵ سال آینده نسبت به میانگین بارندگی ۲۰ سال گذشته، بین ۳ تا ۱۷ درصد کاهش خواهد یافت که بیش‌ترین کاهش مربوط به سال ۲۰۲۲ میلادی است. مقدار بارندگی فقط در سال ۲۰۲۳ معادل ۰/۳ درصد افزایش خواهد یافت. با توجه به بحران کمبود آب، محدودیت منابع آب و افزایش تقاضای آب ناشی از افزایش جمعیت برای این استان از یک‌سو و تغییر اقلیم و کاهش بارندگی از دیگرسو، لازم است به این بحران به صورت جدی توجه شود و به دنبال مدیریت آب برای دوره‌های آینده بود.

۵- منابع

- ۱- بابایی حصار، سحر (۱۳۹۶). امکان‌سنجی استفاده از رواناب شهری به‌منظور تغذیه‌ی آب زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی: شهر ارومیه)، رساله‌ی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان.
- ۲- بایزیدی، مطلب، سی‌وسه مرده، معروف، عصرآگاه، آزیتا (۱۳۹۵). پیش‌بینی و بررسی روند خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از سری زمانی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سلماس)، مجله‌ی محیط زیست و مهندسی آب، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۴، صص ۳۴۶-۳۵۹.
- ۳- بزرگ‌نیا، سید ابوالقاسم، نیرومند، حسینعلی (۱۳۹۰). سری‌های زمانی، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۴- حسینعلی‌زاده، محسن، حسنعلی‌زاده، نفیسه، بابانژاد، منوچهر، رضانژاد، محسن (۱۳۹۳). پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از بسته‌های تخصصی سری زمانی در محیط نرم‌افزار R (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه ارازکوسه استان گلستان)، نشریه‌ی حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی، جلد ۲، شماره‌ی ۲، صص ۱۲-۱.
- ۵- خلیلی، کیوان، ناظری تهرودی، محمد (۱۳۹۳). مدل‌سازی تغییرات تراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی، دو فصلنامه‌ی مدیریت آب در مناطق خشک جلد ۱، شماره‌ی ۱، صص ۲۵-۳۵.
- ۶- رضانی، نبی‌اله (۱۳۸۶). روش پیش‌بینی بارندگی با استفاده از مدل سری‌های زمانی باکس-جنکینز (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه قائم‌شهر)، سپهر، دوره‌ی ۱۵، شماره‌ی ۶۰، صص ۶۰-۶۴.
- ۷- عبدالله‌نژاد، کامل (۱۳۹۴). مدل‌های تصادفی سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی ماهانه (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه هاشم‌آباد گرگان)، مجله‌ی آمایش جغرافیایی فضا، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۱۷، صص ۱۵-۲۵.
- ۸- کارآموز، محمد، عراقی‌نژاد، شهاب (۱۳۹۳). هیدرولوژی پیشرفته، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
- ۹- ناظری تهرودی، محمد، خلیلی، کیوان، عباس‌زاده افشار، مرضیه، ناظری تهرودی، زهرا (۱۳۹۳). مقایسه‌ی تبدیل‌های نرمال‌ساز جهت نرمال کردن داده‌های بارندگی ماهانه‌ی مناطق مختلف ایران، نشریه‌ی آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره‌ی ۲۸، شماره‌ی ۲، صص ۳۶۵-۳۷۲.

۱۰- ویسی پور، حسین، معصوم پور سماکوش، جعفر، صحنه، بهمن، یوسفی، یداله (۱۳۸۹). تحلیل پیش بینی روند بارش و دما با استفاده از مدل های سری زمانی (ARIMA) (نمونه ی موردی: شهرستان کرمانشاه)، فصلنامه ی علمی-پژوهشی جغرافیا، دوره ی ۴، شماره ی ۱۲، صص ۶۳-۷۷.

- 11- Abbot, J. and Marohasy, J.(2014). Input selection and optimization for monthly rainfall forecasting in Queensland, Australia, using artificial neural networks, Atmospheric Research, 138, 166-178.
- 12- Al-Ansari, N. and Baban, S.M.J.(2005). Rainfall trends in the Badia Region of Jordan, Surveying and land information science, 65(4), 233-243.
- 13- Arnell, N.W.(1999). Climate change and global water resources, Global environmental change, 9, S31-S49.
- 14- Bagirov A.M., Mahmood, A. and Barton, A.(2017). Prediction of monthly rainfall in Victoria, Australia: Clusterwise linear regression approach, Atmospheric Research, 188: 20-29.
- 15- Dastorani, M., Mirzavand, M., Dastorani, M.T. and Sadatinejad, S.J.(2016). Comparative study among different time series models applied to monthly rainfall forecasting in semi-arid climate condition, Natural Hazards, 81(3), 1811-1827.
- 16- Delleur, J.W. and Kavvas, M.L.(1978). Stochastic methods for monthly rainfall forecasting, Journal of applied meteorology, 17, 1528-1536.
- 17- Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y. and Xu, C.Y.(2012). Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China, Journal of Hydrology, 464-465, 127-139.
- 18- Falkenmark, M. and Widstrand, C.(1992). Population and water resources: a delicate balance, Population bulletin, 47(3), 1-36.
- 19- Hadadin, N., Qaqish, M., Akawwi, E. and Bdour, A.(2010). Water shortage in Jordan Sustainable solutions, Desalination, 250(1), 197-202.
- 20- Mays, L.(2009). Integrated Urban Water Management: Arid and Semi-Arid Regions, UNESCOIHP, CRC, U.S.
- 21- Mirzavand, M. and Ghazavi, R.(2015). A stochastic modeling technique for groundwater level forecasting in an arid environment using time series methods, Water Resource Management, 29,1315-1328.
- 22- Murthy, K.V., Saravanan, R. and Vijaya Kumar, K.(2017). Modeling and forecasting rainfall patterns of southwest monsoons in North-East India as a SARIMA process, Meteorology and Atmospheric Physics, online first, 1-8.
- 23- Pasaribu, Y.P., Fitrianti, H. and Suryani, D.R.(2018). Rainfall forecast of Merauke using autoregressive integrated moving average model, E3S Web of Conferences, 73(12010), 1-5.
- 24- Rahman, A.M., Yunsheng, Y. and Sultana, N.(2016). Analysis and prediction of rainfall trends over Bangladesh using Mann-Kendall, Spearman's rho tests and ARIMA model, Meteorology and Atmospheric Physics, Online first, 1-16.
- 25- Somvanshi. V.K., Pandey, O.P., Agrawal, P.K., Kalanker, N.V., Prakash, M.R. and Chand, R.(2006). Modeling and prediction of rainfall using artificial neural network and ARIMA techniques, Journal of Indian Geophysical Union, 10(2), 141-151.
- 26- Taffere, G.R., Beyene, A., Vuai, S.A.H., Gasana, J. and Seleshi, Y.(2016). Reliability analysis of roof rainwater harvesting systems in a semi-arid region of sub-Saharan Africa: case study of Mekelle, Ethiopia, Hydrological Science Journal, 61(6), 1135-1140.
- 27- Wang, H.R., Wang, C., Lin, X. and Kang, J.(2014). An improved ARIMA model for precipitation simulations, Nonlinear Processes in Geophysics, 21, 1159-1168.