

DOI: <https://doi.org/10.22034/jmas.2026.576251.1266>

تحلیل و مدل سازی بارش با استفاده از مدل ARIMA (مورد مطالعه: اهواز)

احمد مزیدی^۱، لیلا مکرم^{۲*}

۱- دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد،

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۴

چکیده

بارندگی یکی از مهم ترین اجزای چرخه آب بوده و به منزله یکی از مهم ترین مؤلفه های ورودی به چرخه آب شناسی به شمار می رود که در سنجش خصوصیات اقلیمی هر منطقه نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. پیش بینی بارندگی نقش بسیار مهمی در آمادگی، مدیریت و پیشگیری از رخداد های ناشی از مخاطرات طبیعی ایفا می کند. در این پژوهش برای پیش بینی بارندگی سالانه ایستگاه هم دید اهواز از داده های بارش سالانه ایستگاه اهواز برای دوره آماری ۲۰۱۹ - ۱۹۷۰ استفاده گردید. برای پیش بینی رفتار بارش از روش مدل سازی ARIMA بهره گرفته شد. برای بررسی ایستایی مدل توابع خود همبستگی (ADF) و خود همبستگی جزئی (PACF) به کار رفت بهترین مدل ARIMA برای پیش بینی بارش ایستگاه اهواز مدل ARIMA (3,1,1) تشخیص داده شد. پیش بینی بارش برای سال های آتی روند نزولی بارش برای ایستگاه اهواز را نشان می دهد. همچنین در این پژوهش برای پیش بینی بارندگی سالانه ایستگاه اهواز از روش یادگیری ماشین درخت تصادفی یا Random Forest (RF) بهره گرفته شد که با توجه به سری زمانی داده ها نسبت به مدل ARIMA از دقت کمتری برخوردار بود. هدف از این مدل، مقایسه با سری زمانی ARIMA به منظور پیش بینی بارندگی سالانه در ایستگاه اهواز است.

کلمات کلیدی: پیش بینی بارش / روند / سری زمانی / ARIMA / ایستگاه اهواز

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه leilamokaram830@gmail.com

گرمایش اقلیم، برای برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت پایدار کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (تورکس و همکاران؛ ۲۰۲۰). تحلیل و پیش‌بینی روندهای بارش به دلیل ماهیت غیرخطی و پیچیده سری‌های زمانی، با چالش‌های روش‌شناختی متعددی همراه است (رحمان و همکاران؛ ۲۰۱۶). اگرچه گرمایش جهانی روند صعودی دمای سطح زمین را تثبیت کرده است، اما پاسخ‌های آب‌شناختی نسبت به این تغییرات، به‌ویژه در الگوهای بارش، به‌هیچ‌وجه یکنواخت نیست. یافته‌های پژوهشی حاکی از آن است که در حالی که برخی مناطق استوایی و عرض‌های جغرافیایی بالا ممکن است با افزایش میانگین بارش سالانه مواجه شوند، در مقابل، بسیاری از مناطق خشک در عرض‌های جغرافیایی میانی و نیمه‌گرمسیری با کاهش بارش روبرو خواهند بود. با این حال، پیش‌بینی‌ها بر این نکته تأکید دارند که پدیده بارش‌های حدی، چه از نظر شدت و چه از نظر تکرار، در اکثر خشکی‌های میانی و مناطق استوایی مرطوب رو به افزایش است. این تغییرات بارش، پیامدهای گسترده‌ای بر رژیم‌های آب‌شناختی از جمله تغییر در دبی جریان، تراز سطح آب، الگوهای آب‌گرفتگی و چرخه آب خواهد داشت که در نهایت، ضریب خطر وقوع مخاطراتی چون سیلاب و خشکسالی را به‌طور محسوسی افزایش می‌دهد (عبدالحمید و همکاران؛ ۲۰۲۴).

تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی با استفاده از سری زمانی انجام شده است.

رحمان و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای بر روی داده‌های بارش ۶۰ ساله بنگلادش، با استفاده از آزمون‌های من - کندال و مدل ARIMA، روندهای

پیش‌بینی بارندگی نقش بسیار مهمی در آمادگی، مدیریت و پیشگیری از رخداد‌های ناشی از مخاطرات طبیعی ایفا می‌کند. تغییرات اقلیمی جهانی به‌دلیل تأثیرات گسترده خود بر زیست‌بوم‌ها، تنوع زیستی و جوامع بشری، به‌منزله یک مسئله محیط‌زیستی حیاتی پدیدار شده است. بارش، به‌منزله یکی از پارامترهای کلیدی اقلیمی، نقش محوری در تأثیرگذاری بر کشاورزی، منابع آب و زیست‌بوم‌ها ایفا می‌کند (یاووز؛ ۲۰۲۵). یکی از بزرگ‌ترین معضلات بشر در عصر حاضر و در آینده کمبود منابع آبی و عدم توزیع مناسب منابع آن خواهد بود. پیش‌بینی و برآورد نزولات جوی در هر منطقه به‌منزله یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی / به برنامه ریزان برای دستیابی به الگوهای مناسب برداشت از ذخایر آبی و به کشاورزان در راستای مدیریت کشت و کار، و به‌خصوص کشت دیم کمک شایانی می‌کند (سلطانی گردفرامری و همکاران، ۱۳۹۶). با تداوم روند گرمایش جهانی در نتیجه تغییرات اقلیمی، آثار آن بر چرخه هیدرولوژیک زمین بیش از پیش آشکار شده است. یکی از مهم‌ترین پیامدهای این تغییرات، دگرگونی در الگوهای بارش در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی است؛ به‌گونه‌ای که برخی مناطق با افزایش بارش‌های شدید و برخی دیگر با کاهش محسوس بارندگی مواجه شده‌اند. بارش به‌منزله یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه آب، نقش تعیین‌کننده‌ای در تأمین منابع آبی، پایداری زیست‌بوم‌ها و تداوم فعالیت‌های کشاورزی دارد. از سوی دیگر، کاهش بارندگی می‌تواند با افزایش تبخیر-تعرق، به افت تدریجی ذخایر آبی و تشدید تنش آبی منجر شود؛ شرایطی که در نهایت پایداری محیط‌زیستی و امنیت غذایی را با چالش‌های جدی مواجه می‌سازد. از این‌رو، بررسی روندهای بارش و تغییرات آن در پاسخ به

³ - Rahman et al

⁴ - Abd-Elhamid

¹ - Yavuz

² - Turkes

بارش سالانه، فصلی و ماهانه را تحلیل کردند. این پژوهش تغییرات مکانی روندها را نیز بررسی کرده و با مدل ARIMA به پیش‌بینی بارش پرداختند. نتایج اصلی شامل عدم وجود روند معنادار کلی در بارش سالانه، اما مشاهده روندهای متغیر در مناطق و ماه‌های مختلف بود. گیل^۱ و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه به بررسی اثربخشی مدل‌های (SARIMA) در پیش‌بینی سری‌های زمانی هواشناسی با الگوهای فصلی، به ویژه دما و بارش در سه منطقه اقلیمی پنجاب (شبه‌کوهستانی، مرکزی و جنوب غربی) پرداختند. نتایج نشان داد که مدل SARIMA توانایی خوبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی دما (حداکثر و حداقل) با خطای میانگین مطلق (MAE) بین ۰/۴۹ تا ۰/۷۸ داشت و دینامیک آن را به خوبی ثبت کرد. با این حال، مدل ARIMA در پیش‌بینی سری‌های زمانی بارش، با وجود MAE بین ۳۲/۱۲ تا ۴۵/۴۴، موفقیت محدودی داشت. حیات‌خان^۳ و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای با عنوان پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت بارش با استفاده از مدل ARIMA به ارزیابی کارایی این مدل در حوضه رودخانه کلانگ مالزی پرداختند. تحلیل داده‌های ۳۶ ساله (۱۹۸۴-۲۰۱۹) نشان داد که مدل $ARIMA(1,0,3)$ برای سری‌های زمانی ماهانه با ضریب تعیین ۰/۷۸ عملکرد مطلوبی دارد؛ در حالی که مدل‌سازی سری‌های سالانه با مدل $ARIMA(1,0,2)$ به دلیل عملکرد ضعیف‌تر، با عدم قطعیت بیشتری همراه بود. این یافته‌ها بر توانایی مدل ARIMA در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت ماهانه نسبت به مقیاس‌های بلندمدت سالانه در این حوضه تأکید دارد. عبدالحمید و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای با عنوان پیش‌بینی بارش در مناطق خشک در واکنش به تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل ARIMA و سنجش از دور به بررسی پرداختند. این پژوهش به دلیل کمبود

داده‌های زمینی، از داده‌های سنجش از دور (CDR) که با ایستگاه‌های زمینی تصحیح شده بودند، بهره برد. یافته‌های این مطالعه ضمن تأیید روند کاهشی بارش و هم‌سویی آن با گزارش‌های IPCC، کارآمدی مدل ARIMA در پیش‌بینی بارش و مدیریت منابع آب، به‌ویژه در شرایط کمبود داده‌های زمینی، اثبات کرد. یاوز (۲۰۲۵) در پژوهشی با استفاده از داده‌های بارش و دمای استان وان ترکیه (۱۹۵۵-۲۰۲۳)، کارایی مدل‌های ARIMA و SARIMA را در تحلیل سری‌های زمانی ارزیابی کرد. این مطالعه با تأیید دقت مدل‌ها در پیش‌بینی الگوهای فصلی از طریق آزمون‌های تشخیصی (مانند Ljung-Box)، لزوم استفاده از رویکردهای ترکیبی (Hybrid) را برای بهبود پیش‌بینی در شرایط غیرخطی داده‌های اقلیمی پیشنهاد نمود. حمیدی و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی، روشی را برای محاسبه بارش منطقه‌ای با ترکیب مدل‌های سری زمانی $AR(1)$ برای ایستگاه‌های منفرد و روش مکانی چندضلعی تیسن معرفی کردند. یافته کلیدی آن‌ها نشان داد که ترکیب خطی مدل‌های $AR(1)$ ایستگاه‌های مختلف، به یک مدل $AR(1)$ سازگار برای بارش منطقه‌ای منجر می‌شود. این رویکرد اهمیت ترکیب تحلیل زمانی و مکانی را برای مدیریت منابع آب برجسته می‌سازد. صدیقی و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای با عنوان پیش‌بینی دمای هوا و بارش در میمن‌سینگ، بنگلادش با استفاده از ARIMA دلالت‌هایی برای مدیریت آبریز‌پروری، به ارزیابی توان مدل ARIMA در پیش‌بینی دما و بارش پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های $ARIMA(2,1,2)$ برای دمای هوا و $ARIMA(3,0,2)$ برای بارش، مناسب‌ترین برازش را ارائه می‌کنند. همچنین، پیش‌بینی‌ها بیانگر روند افزایشی دمای هوا و روند کاهشی بارش همراه با الگوهای فصلی

^۳ -Hayet- Khan^۴ - Intergovernmental Panel on Climate Change^۱ -Gill^۲ - Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average

تفاضل‌گیری (I) و میانگین متحرک (MA) به آن اجازه می‌دهند که الگوهای خودهمبستگی، روندها و فصلی بودن موجود در داده‌ها را در نظر بگیرد (هازاریکا^۶ و همکاران، ۲۰۱۷ و یاداو^۷ و همکاران، ۲۰۲۰).

این یافته‌ها نشان می‌دهد که اگرچه ARIMA در شناسایی روندهای اقلیمی کارآمد است، برای پیش‌بینی دقیق‌تر بارش، استفاده از مدل‌های پیشرفته‌تر و ترکیبی نیز ضروری به نظر می‌رسد. با وجود مطالعات انجام‌شده در زمینه پیش‌بینی بارش با استفاده از مدل‌های سری زمانی، پژوهش‌های محدودی به ارزیابی رفتار بارش سالانه کلان‌شهر اهواز، با توجه به ویژگی‌های اقلیمی خاص این منطقه، پرداخته‌اند. از این‌رو، هدف اصلی پژوهش حاضر مدل‌سازی و پیش‌بینی روند بارش سالانه ایستگاه هم‌دید اهواز با استفاده از مدل میانگین متحرک انباشته خودرگرسیون (ARIMA) و ارزیابی عملکرد آن در مقایسه با مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی (Random Forest) است تا مناسب‌ترین رویکرد برای پیش‌بینی بارش در این منطقه شناسایی شود. نوآوری اصلی این پژوهش در ارزیابی تطبیقی دو رویکرد متمایز مدل‌سازی کلاسیک ARIMA و یادگیری ماشین برای پیش‌بینی بارش سالانه در اقلیمی گرم و نیمه‌خشک نهفته است؛ منطقه‌ای که به دلیل نوسانات شدید بارش و آسیب‌پذیری بالا در برابر مخاطرات هیدرواقلیمی، مدیریت دقیق منابع آب در آن حیاتی است. این مطالعه با تمرکز بر ایستگاه هم‌دید اهواز، ضمن پر کردن خلأ مطالعات محلی در زمینه پیش‌بینی‌های مدل‌محور، شواهد تجربی لازم را برای انتخاب بهینه‌ترین رویکرد مدل‌سازی فراهم می‌آورد. نتایج این تحقیق، نه تنها در سطح علمی به تبیین کارایی این روش‌ها در اقلیم‌های مشابه کمک

مشخص بود. خجسته و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به بررسی الگوسازی ARIMA برای بارش سالانه مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که بارش مشهد دارای روند معنی‌دار درجه دو است، سهمی آن کمانی رو به بالاست در نتیجه انتظار می‌رود که تا نیمه دوره مورد مطالعه بارش افزایش یافته و پس از آن بارش رفتار نزولی داشته باشد. سرانجام برای پیش‌بینی بارش مشهد با بهره‌گیری از مدل ARIMA و بررسی مانده‌ها و توان پیش‌بینی بارش آن‌ها بهترین مدل نسبت به دیگر مدل‌ها برای پیش‌بینی بارش ایستگاه مشهد، مدل (۱،۱،۴) ARIMA تعیین گردید. شریفی و همکاران (۱۴۰۴) در پژوهشی بر روی خشکسالی حوضه آبخیز الشتر، عملکرد مدل‌های ترکیبی را با مدل‌های تکی مقایسه کردند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که تلفیق مدل‌های آماری و هوش مصنوعی، خطای پیش‌بینی را به‌طور چشمگیری کاهش داده و دقت پایش را افزایش می‌دهد. این پژوهش در نهایت بر برتری رویکردهای ترکیبی نسبت به مدل‌های کلاسیک تأکید داشته و آن‌ها را ابزاری کارآمدتر برای تحلیل پیچیدگی‌های اقلیمی و مدیریت خشکسالی معرفی می‌کند. مدل‌های ARIMA به دلیل تطبیق‌پذیری، استحکام و توانایی در ثبت الگوهای زیربنایی داده‌ها ارزشمند هستند و ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی روندهای آتی به شمار می‌روند (اوسپینا^۵ و همکاران، ۲۰۲۳؛ میاه^۲، ۲۰۱۹؛ رحمان و همکاران، ۲۰۲۲ و وومیک^۳، ۲۰۲۱). مدل ARIMA با تحلیل داده‌های تاریخی سری زمانی، می‌تواند پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه دهد که برای تصمیم‌گیری آگاهانه در حوزه هیدرولوژی و منابع آب ضروری است (هاکه^۴ و همکاران، ۲۰۰۵؛ صدیقی و همکاران، ۲۰۲۴ و زهیر^۵ و همکاران، ۲۰۲۴). اجزای این مدل شامل خودهمبستگی (AR)،

^۵ - Zahir

^۶ - Hazarika

^۷ - Yadav

^۱ - Ospina

^۲ - Miah

^۳ - Voumik

^۴ - Haque

می‌کند، بلکه مبنایی کاربردی برای بهبود تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی شهری و تدوین استراتژی‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی ارائه می‌دهد.

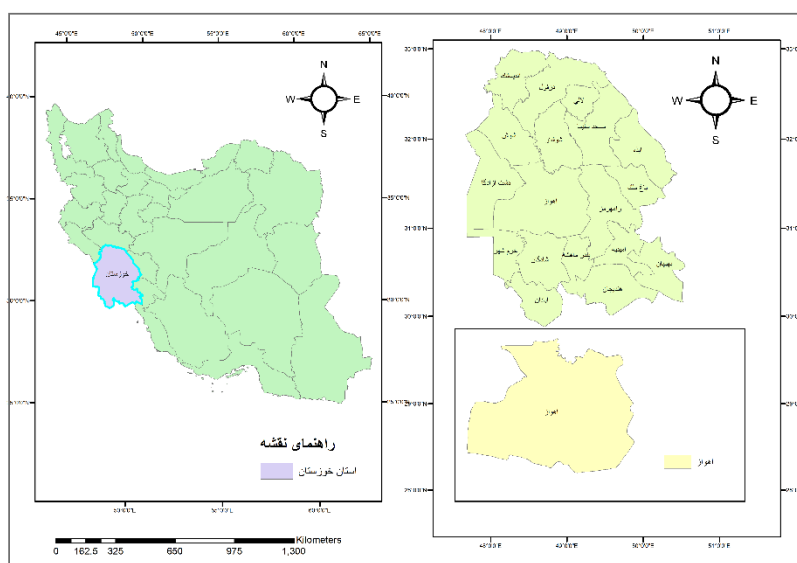
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از داده‌های سالانه بارش ایستگاه هم‌دید اهواز طی دوره آماری ۲۰۱۹ - ۱۹۷۰ استفاده شده است. شهر اهواز در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا واقع می‌باشد. روش انجام تحقیق پایه‌ای آماری دارد و بر مبنای استفاده از مدل‌های سری زمانی می‌باشد. چون عناصر اقلیمی نظیر بارش

با توجه به زمان اتفاق می‌افتند و شواهد نشان می‌دهد که بین مقادیر قبلی داده‌ها و مقادیر بعدی ارتباطی وجود دارد بنابراین بهترین گزینه برای تحلیل داده‌ها انتخاب روش‌های سری زمانی می‌باشد. برای تحلیل داده‌ها، روش‌های مختلف آماری برای تعیین روابط میان متغیرها به کار گرفته شده است. تحلیل وایزش برای پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته بر اساس متغیر مستقل مورد استفاده قرار گرفت. این تحلیل‌ها ابزار موثری برای شناسایی روندهای اقلیمی، پیش‌بینی تغییرات و مدیریت منابع آب ارائه می‌دهند.

در جدول (۱) مشخصات و موقعیت ایستگاه مورد مطالعه در منطقه ارایه گردیده است.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهر اهواز (منبع: نگارنده)

جدول ۱. مشخصات و موقعیت ایستگاه اهواز

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع به متر
۱	اهواز	هم‌دید	۱۸

روش پژوهش

وایازش و خط وایازش

اگر بین دو متغیر X و Y همبستگی معنادار وجود داشته باشد مقدار هر یک از این دو متغیر را بر حسب دیگری می‌توان پیشگویی کرد. روشی که در این زمینه به کار می‌رود تحلیل وایازش نام دارد. غالباً پیشگویی بر این فرض استوارند که ارتباط بین دو متغیر از نوع خطی است. این خط را خط دارای نیکوترین برازش یا خط وایازش می‌نامند (عبدالله زاده و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از کاربردهای خط وایازش برآورد است که با استفاده از یک متغیر معلوم می‌توان ارزش متغیر دیگری را که متغیر قبلی دارای همبستگی است تعیین نمود. اگر همبستگی معنادار بین دو متغیر وجود نداشته باشد می‌توان گفت که وایازش فاقد ارزش است. در این صورت متغیری که تغییراتش سبب تغییر متغیر دیگر می‌شود متغیر مستقل و دیگری را متغیر وابسته می‌نامند. بر این اساس بر تحلیل وایازش توجه به تغییر در متغیرهای مستقل که مقادیر متغیرهای وابسته را چگونه تحت تاثیر قرار می‌دهد، حائز اهمیت است (مهدوی و طاهر خانی، ۱۳۸۵).

پیش‌بینی با مدل ARIMA

مدل میانگین متحرک انباشته خودرگرسیون (ARIMA) که بر پایه روش باکس-جنکینز توسعه یافته است، یکی از پرکاربردترین روش‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی محسوب می‌شود. این مدل با بهره‌گیری از روابط خطی میان مقادیر گذشته، مقدار فعلی و خطاهای پیش‌بینی، امکان شناسایی ساختار سری زمانی و پیش‌بینی مقادیر آینده را فراهم می‌کند. مدل ARIMA

از سه مؤلفه اصلی شامل بخش خودرگرسیونی (AR)، بخش تفاضل‌گیری (I) و بخش میانگین متحرک (MA) تشکیل شده است. مؤلفه AR وابستگی مقادیر فعلی به مشاهدات گذشته را مدل‌سازی می‌کند، مؤلفه I با حذف روند، سری زمانی را به حالت ایستا تبدیل می‌کند و مؤلفه MA وابستگی مقدار فعلی به خطاهای پیش‌بینی در دوره‌های گذشته را در نظر می‌گیرد.

فرایند مدل‌سازی بر اساس روش باکس-جنکینز شامل چهار مرحله شناسایی مدل، برآورد پارامترها، بررسی تشخیصی و پیش‌بینی است. در مرحله نخست، سری زمانی از نظر ایستایی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ارزیابی ایستایی میانگین، نمودار سری زمانی و تابع خودهمبستگی (ACF) بررسی شد. در صورتی که مقادیر تابع خودهمبستگی با سرعت کمی به صفر میل کنند، سری زمانی نایستا تلقی شده و با اعمال تفاضل‌گیری به سری ایستا تبدیل می‌شود. همچنین، برای بررسی پایایی واریانس، از تبدیل باکس-کاکس (Box-Cox) استفاده شد. در صورتی که مقدار λ برابر با یک و در محدوده اطمینان ۹۵ درصد قرار گیرد، نیازی به تبدیل داده‌ها نبوده و تنها تفاضل‌گیری برای ایستا کردن میانگین انجام می‌شود. پس از ایستا شدن سری زمانی، نمودارهای تابع خودهمبستگی (ACF) و تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) برای تعیین مقادیر اولیه پارامترهای (p) و (q) مورد استفاده قرار گرفتند. سپس چندین مدل ARIMA با ترکیب‌های مختلف پارامترهای (p)، (d) و (q) برازش شدند. انتخاب مدل نهایی بر اساس معناداری آماری ضرایب، نتایج تحلیل تشخیصی باقیمانده‌ها از نظر استقلال و نرمال بودن و همچنین نیکویی برازش مدل انجام گرفت. در مرحله بررسی تشخیصی، باقیمانده‌های مدل از نظر استقلال، نرمال بودن، میانگین صفر و واریانس ثابت ارزیابی شدند. مناسب بودن مدل زمانی تأیید شد که خودهمبستگی

معنی‌داری در باقیمانده‌ها مشاهده نشد و فرضیات مدل برقرار بود. در نهایت، پس از تأیید کفایت مدل، از مدل منتخب برای پیش‌بینی بارش سالانه استفاده شد. تمامی مراحل برازش، ارزیابی و پیش‌بینی مدل ARIMA با استفاده از نرم‌افزار MINITAB انجام شد.

مدل جنگل تصادفی

الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) یکی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین مبتنی بر روش‌های تجمیعی است که برای مسائل رگرسیون و طبقه‌بندی کاربرد گسترده‌ای دارد. این الگوریتم با ایجاد مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم و ترکیب نتایج حاصل از آن‌ها، دقت پیش‌بینی را افزایش داده و از بیش‌برازش (Overfitting) مدل جلوگیری می‌کند. در فرآیند ساخت مدل، هر درخت تصمیم با استفاده از نمونه‌های تصادفی داده‌ها و زیرمجموعه‌ای تصادفی از متغیرهای ورودی ایجاد می‌شود و پیش‌بینی نهایی از طریق تجمیع نتایج تمامی درخت‌ها به دست می‌آید. به دلیل این ساختار، مدل جنگل تصادفی توانایی مناسبی در مدل‌سازی روابط غیرخطی و تعاملات پیچیده میان متغیرها دارد و در برابر نویز و تغییرات داده‌ها از پایداری بالایی برخوردار است (عرب و همکاران، ۱۴۰۲).

به‌منظور پیش‌بینی بارش سالانه، از الگوریتم جنگل تصادفی به‌مثابه یکی از روش‌های یادگیری ماشین مبتنی بر درخت تصمیم استفاده شد. در این پژوهش، داده‌های بارش سالانه ایستگاه هم‌دید اهواز طی دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹ مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای ورودی براساس مقادیر بارش سال‌های گذشته (Lag Features) تشکیل و پس از آماده‌سازی داده‌ها، مدل در محیط نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شد. سپس عملکرد مدل با مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده و استفاده از شاخص‌های میانگین قدر مطلق

خطا (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ارزیابی شد. در نهایت، از مدل آموزش‌دیده برای پیش‌بینی روند بارش سالانه استفاده گردید.

ارزیابی عملکرد مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی دقیق و مقایسه متقارن عملکرد مدل‌های پیش‌بینی در این پژوهش، از معیارهای آماری ضریب تبیین (R^2)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌طور هم‌زمان برای هر دو مدل ARIMA و جنگل تصادفی استفاده شد. شاخص (R^2) توانایی مدل‌ها را در بازسازی نوسانات و سهم واریانس تبیین‌شده نشان می‌دهد. شاخص MAE میانگین خطای پیش‌بینی را بدون سوگیری ارزیابی می‌کند و شاخص RMSE به‌دلیل جریمه کردن خطاهای بزرگتر، معیار مناسبی برای سنجش رفتار مدل در نقاط فرین (بارش‌های شدید یا خشکسالی‌ها) است. افزون بر این، برای مدل ARIMA، آزمون‌های تشخیصی باقیمانده‌ها (شامل استقلال، نرمال بودن و نبود خودهمبستگی معنادار) جهت اطمینان از کفایت مدل انجام گرفت. در نهایت، افزایش مقدار (R^2) و کاهش مقادیر MAE و RMSE به‌منزله معیارهای بهبود دقت و کارایی مدل‌ها در پیش‌بینی بارش ایستگاه اهواز در نظر گرفته شد.

بحث و نتایج

بر اساس نتایج آمار توصیفی بارش سالانه ایستگاه اهواز (جدول ۲)، میانگین بارش سالانه طی دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹ برابر با ۲۲۹٫۶ میلی‌متر محاسبه شد که بیانگر شرایط اقلیمی خشک تا نیمه‌خشک منطقه است. مقدار میانه (۲۲۸ میلی‌متر) بسیار نزدیک به میانگین قرار دارد که نشان‌دهنده توزیع نسبتاً متعادل داده‌های بارش و نبود انحراف شدید در مرکز

توزیع است. با این حال، اختلاف قابل توجه بین حداقل و حداکثر مقادیر بارش سالانه (حداکثر ۴۶۸/۸ میلی‌متر) نشان‌دهنده وجود نوسانات قابل توجه بین سالانه در بارش منطقه است. مقدار انحراف معیار (۸۴/۵۶ میلی‌متر) و واریانس (۷۱۵۱/۵۴) بیانگر پراکندگی قابل توجه بارش‌های سالانه نسبت به مقدار میانگین است. این تغییرپذیری بالا از ویژگی‌های بارش در مناطق خشک و نیمه خشک بوده و می‌تواند ناشی از تغییرات سالانه در فراوانی و شدت سامانه‌های بارشی باشد. مقدار چولگی برابر با ۰/۳۴۲۸ نشان‌دهنده چولگی مثبت و تمایل محدود توزیع بارش به سمت مقادیر بزرگ‌تر است؛ به این معنا که در برخی سال‌ها رخداد بارش‌های بالاتر از میانگین موجب کشیدگی دنباله توزیع به سمت راست شده است. همچنین مقدار کشیدگی (۰/۳۸۲۷) نشان می‌دهد که توزیع داده‌ها تفاوت زیادی با توزیع نرمال ندارد، اگرچه وجود مقادیر حدی بارش در برخی سال‌ها قابل مشاهده است. به طور کلی، ویژگی‌های آماری سری بارش اهواز نشان می‌دهد که این متغیر علاوه بر میانگین نسبتاً پایین، دارای تغییرپذیری زمانی قابل توجهی است. این رفتار نوسانی اهمیت استفاده از روش‌های مناسب تحلیل سری زمانی و مدل‌های پیش‌بینی را برای شناسایی الگوهای موجود و برآورد تغییرات آینده بارش در منطقه مورد مطالعه تأکید می‌کند.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات زمانی بارش سالانه در ایستگاه اهواز با استفاده از ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن و آزمون من-کندال (جدول ۳) نشان‌دهنده وجود تغییرات معنی‌دار در سری زمانی بارش طی دوره مورد

مطالعه است. ضرایب همبستگی پیرسون (۰/۲۲۲-) و اسپیرمن (۰/۲۶۸-) بیانگر وجود رابطه معکوس بین زمان و بارش سالانه هستند؛ به گونه‌ای که با گذشت زمان، مقادیر بارش گرایش به کاهش داشته‌اند. بزرگ‌تر بودن قدر مطلق ضریب اسپیرمن نسبت به پیرسون نشان می‌دهد که این الگو در داده‌های رتبه‌ای با وضوح بیشتری نمایان بوده و احتمال وجود روابط غیرخطی یا تأثیر مقادیر حدی در سری زمانی بارش قابل طرح است.

جدول ۲- مشخصات آماری بارش سالانه ایستگاه اهواز

فراسنج	ارزش	فراسنج	ارزش
دوره آماری	۱۹۷۰ - ۲۰۱۹	چولگی	۰/۳۴۲۸
طول دوره (سال)	۵۰	کشیدگی	۰/۳۸۲۷
میانگین	۲۲۹,۶	حداکثر	۴۶۸/۸۰
واریانس	۷۱۵۱,۵۴	مد	۷۲/۹۰
انحراف معیار	۸۴,۵۶	میانه	۲۲۸

نتایج آزمون من-کندال نیز با توجه به معنی‌دار بودن آزمون ($p < 0.05$)، وجود یک روند آماری در سری زمانی بارش را تأیید می‌کند. از آنجا که این آزمون یک روش ناپارامتری و مقاوم در برابر نرمال نبودن داده‌ها و مقادیر پرت است، استفاده از آن در کنار ضرایب پیرسون و اسپیرمن موجب افزایش قابلیت اعتماد تحلیل روند شده است. همچنین، مقادیر پایین خطا در هر سه روش، به ویژه در آزمون‌های اسپیرمن (۰/۰۶۰) و من-کندال (۰/۰۴۶)، بیانگر پایداری نتایج به دست آمده است. در مجموع، ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن بیانگر گرایش نزولی بارش سالانه در ایستگاه اهواز طی دوره

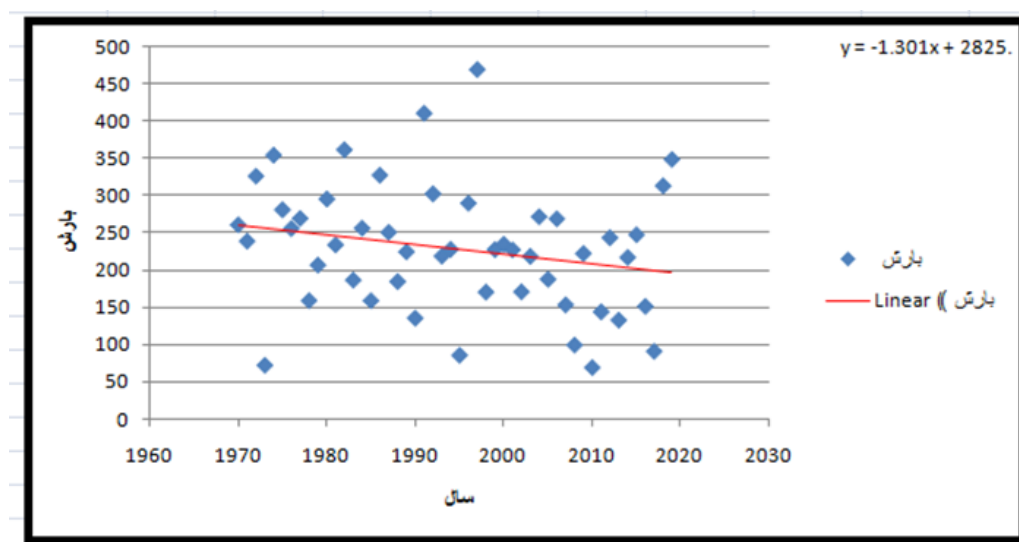
۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹ هستند. با این حال، مقدار نسبتاً کوچک ضرایب همبستگی نشان می‌دهد که شدت این روند محدود بوده و تغییرپذیری بین سالانه بارش همچنان نقش قابل توجهی در رفتار سری زمانی دارد. از این رو، تفسیر روند مشاهده شده باید در چارچوب ویژگی‌های اقلیمی منطقه، نوسانات طبیعی سامانه‌های جوی، وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی و محدودیت دوره آماری انجام شود.

جدول ۳- همبستگی بارش با زمان در ایستگاه اهواز

روش	مقدار برآورد	مقدار خطا(درصد)
پیرسون	-۰/۲۲۲	۰/۱۲۲
اسپیرمن	-۰/۲۶۸	۰/۰۶۰
من کندال	۰/۱۹۵	۰/۰۴۶

یکی از روش‌های متداول برای بررسی رفتار بلندمدت سری‌های زمانی، استفاده از خط برازش رگرسیون خطی (Trend Line) است.

همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، خط برازش دارای شیب منفی بوده و بیانگر گرایش نزولی بارش سالانه در ایستگاه هم دید اهواز طی دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹ است. بر اساس معادله رگرسیون، شیب خط روند برابر با $-۱/۳۰$ میلی‌متر در سال برآورد شد که نشان می‌دهد مقدار بارش سالانه به طور متوسط سالانه حدود $۱/۳۰$ میلی‌متر کاهش یافته است. با این حال، پراکندگی قابل توجه داده‌ها پیرامون خط روند نشان می‌دهد که تغییرات بارش صرفاً از یک روند خطی تبعیت نکرده و نوسانات بین سالانه بخش مهمی از رفتار سری زمانی را تشکیل می‌دهند. از سوی دیگر، دامنه نسبتاً زیاد تغییرات بارش بیانگر تأثیرپذیری این متغیر از نوسانات طبیعی اقلیم و تغییرات سالانه سامانه‌های جوی است؛ بنابراین، اگرچه روند کلی بارش نزولی است، شدت این کاهش در مقایسه با تغییرپذیری بین سالانه نسبتاً محدود ارزیابی می‌شود.

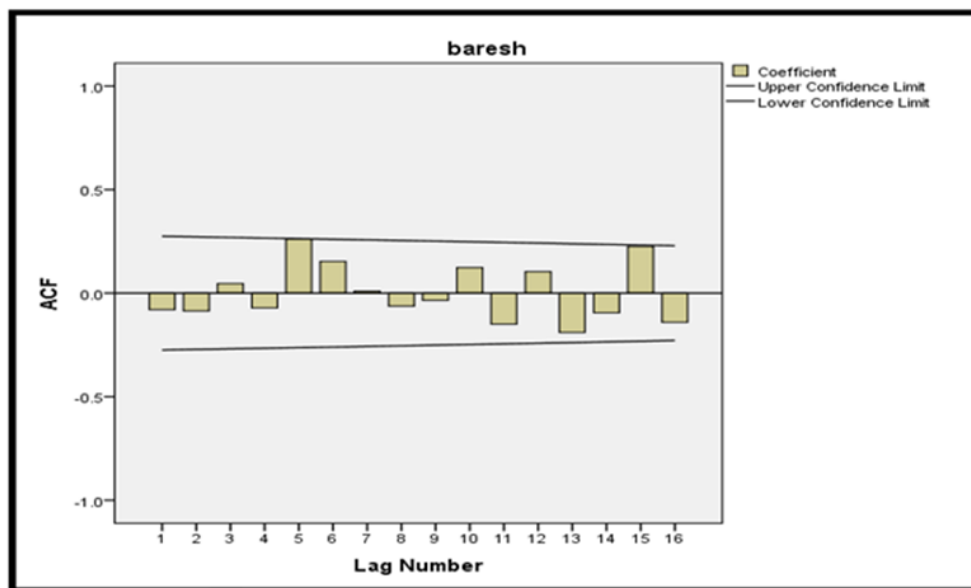


شکل ۲- خط وایازش میانگین داده های بارش سالانه ایستگاه اهواز (۱۹۷۰-۲۰۱۹)

مدل ARIMA

یک مدل سری زمانی ARIMA دارای پارامترهای مختلفی از جمله (p, q, d) می‌باشد که برای آن‌ها درجه خودهمبستگی (P) / تفاضل (d) و میانگین متحرک (q) تعیین گردیده است. نمودار سری زمانی حاکی از ناپیوستا بودن میانگین بارش سالانه ایستگاه اهواز می‌باشد بنابراین d خطی است از این رو $d=1$ منظور می‌گردد. شکل (۳) تابع خودهمبستگی (ACF) سری زمانی بارش سالانه ایستگاه اهواز را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ضرایب خودهمبستگی در اغلب وقفه‌ها (Lag) در محدوده حدود اطمینان ۹۵ درصد قرار دارند و تنها در چند وقفه مقادیر نسبتاً بزرگ‌تری مشاهده

می‌شود. این موضوع بیانگر آن است که وابستگی زمانی بین مشاهدات در اغلب وقفه‌ها ضعیف بوده و سری زمانی فاقد خودهمبستگی قوی و پایدار است. همچنین، نبود الگوی منظم و کاهش تدریجی ضرایب خودهمبستگی نشان می‌دهد که ساختار سری زمانی پیچیدگی زیادی نداشته و برای مدل‌سازی بارش‌های سری زمانی مناسب است. نتایج حاصل از نمودار ACF مبنای مناسبی برای بررسی ساختار وابستگی زمانی داده‌ها و شناسایی مؤلفه میانگین متحرک (MA) در فرآیند انتخاب مدل ARIMA فراهم کرد و نشان دهنده ایستادگی میانگین داده‌های بارش ایستگاه اهواز می‌باشد.



شکل ۳- نمودار تابع خودهمبستگی (ACF) سری تفاضلی میانگین بارش ایستگاه اهواز

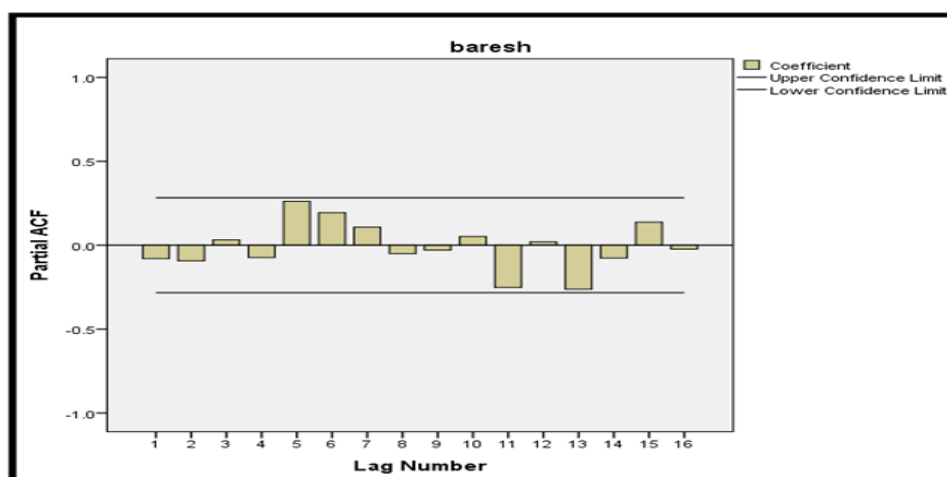
شکل (۴) تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) سری زمانی بارش سالانه ایستگاه اهواز را نشان می‌دهد. این نمودار میزان وابستگی مستقیم بین مشاهدات را در وقفه‌های زمانی مختلف، پس از حذف اثر سایر وقفه‌ها، نمایش می‌دهد و یکی از ابزارهای اصلی در شناسایی ساختار خودرگرسیون سری‌های زمانی محسوب می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ضرایب

خودهمبستگی جزئی در اغلب وقفه‌های زمانی در محدوده حدود اطمینان ۹۵ درصد قرار دارند و تنها در برخی وقفه‌ها مقادیر نسبتاً بزرگ‌تری مشاهده می‌شود که بیانگر وجود وابستگی زمانی محدود در سری داده‌ها است. در این پژوهش، نمودار PACF در کنار سایر مراحل روش باکس-جنکینز، شامل بررسی ایستایی سری زمانی، تحلیل نمودار ACF، برآورد پارامترها و

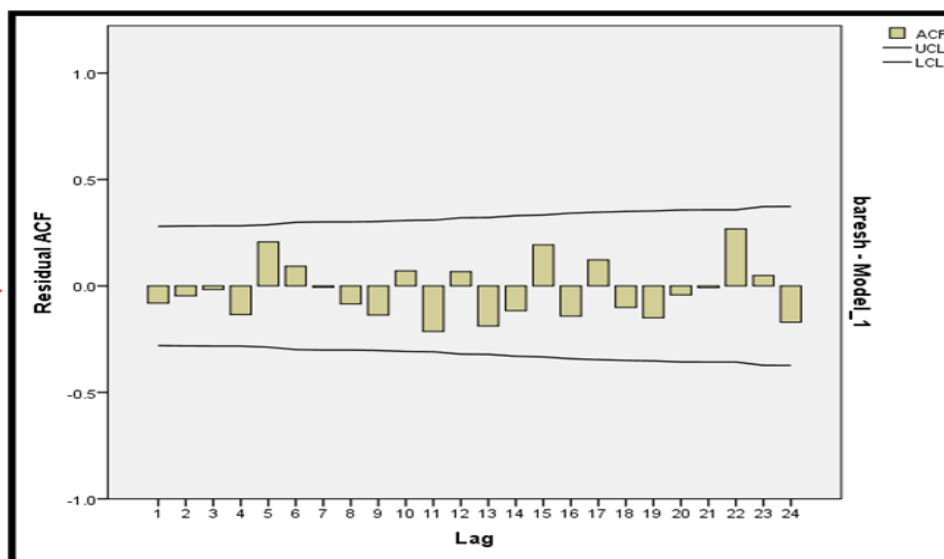
آزمون‌های تشخیصی باقیمانده‌ها، برای شناسایی مدل مناسب مورد استفاده قرار گرفت. پس از مقایسه مدل‌های مختلف و ارزیابی معنی‌داری پارامترها، استقلال و نرمال بودن باقیمانده‌ها، مدل $ARIMA(3,1,1)$ به مثابه مناسب‌ترین مدل برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه اهواز انتخاب شد.

همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، ضرایب خودهمبستگی باقیمانده‌های مدل در تمامی وقفه‌های زمانی (Lagها) در محدوده حدود اطمینان ۹۵ درصد قرار دارند و خودهمبستگی معنی‌داری در باقیمانده‌ها

مشاهده نمی‌شود. این نتیجه بیانگر آن است که مدل $ARIMA(3,1,1)$ توانسته است ساختار وابستگی زمانی موجود در سری بارش را به خوبی تبیین کند و باقیمانده‌ها از رفتار تصادفی و استقلال نسبی برخوردار هستند. علاوه بر این، نتایج برآورد پارامترهای مدل نشان داد که ضرایب برآوردشده از نظر آماری معنی‌دار بوده و در نتیجه، مدل انتخاب‌شده از کفایت آماری مناسبی برای توصیف و پیش‌بینی سری زمانی بارش سالانه ایستگاه اهواز برخوردار است.



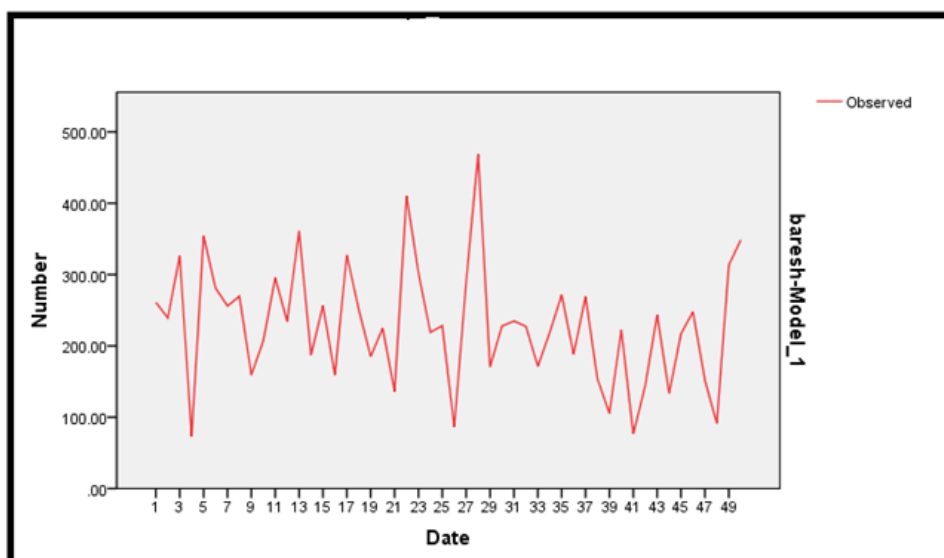
شکل ۴- نمودار تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) سری تفاضلی میانگین بارش ایستگاه اهواز



شکل ۵- نمودار تابع خودهمبستگی (AFC) مدل $ARIMA(3,1,1)$ ایستگاه اهواز

شکل ۶- تغییرات سری زمانی بارش سالانه ایستگاه هم‌دید اهواز را طی دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. بررسی سری زمانی بیانگر آن است که بارش سالانه در طول دوره مورد مطالعه از تغییرپذیری بین‌سالانه قابل توجهی برخوردار بوده و مقادیر آن در سال‌های مختلف نوسانات محسوسی را تجربه کرده است. وجود سال‌های متوالی با بارش‌های زیاد و کم، بیانگر رفتار متغیر و ناپایدار رژیم بارش در منطقه و تأثیرپذیری آن از نوسانات طبیعی سامانه‌های اقلیمی است. در عین حال، توزیع زمانی داده‌ها حاکی از آن است که اگرچه در برخی سال‌ها مقادیر بارش افزایش چشمگیری داشته است، اما در بخش پایانی دوره مورد مطالعه فراوانی سال‌های کم‌بارش بیشتر بوده و مقادیر بارش عموماً کمتر

از بسیاری از سال‌های ابتدایی دوره است. این الگو با نتایج حاصل از تحلیل روند و خط برازش رگرسیونی همخوانی داشته و بیانگر گرایش کلی بارش به سمت کاهش در دوره مورد بررسی است. با این وجود، دامنه نسبتاً زیاد نوسانات پیرامون این روند نشان می‌دهد که تغییرپذیری بین‌سالانه همچنان یکی از ویژگی‌های اصلی رژیم بارش منطقه بوده و بخش قابل توجهی از رفتار سری زمانی را تبیین می‌کند. در مجموع، سری زمانی بارش علاوه بر نوسانات کوتاه‌مدت، دارای تغییرات بلندمدتی نیز بوده است که به‌منظور شناسایی ساختار زمانی داده‌ها و پیش‌بینی روند آینده، با استفاده از مدل $ARIMA(3,1,1)$ مدل‌سازی و پیش‌بینی شد.



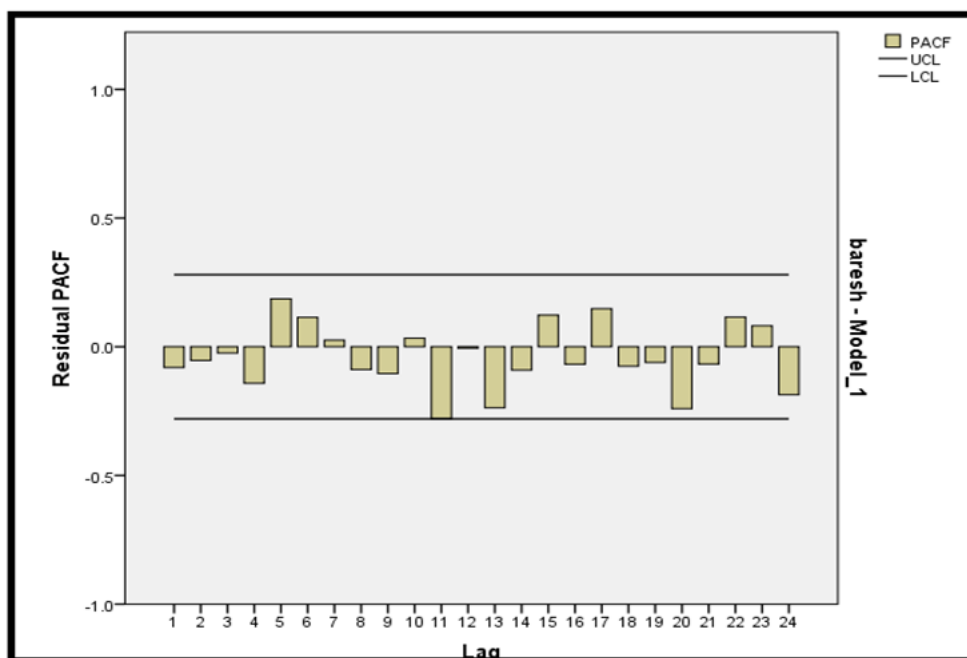
شکل ۶- تغییرات سری زمانی بارش سالانه ایستگاه هم‌دید اهواز طی دوره ۱۹۷۰-۲۰۱۹

شکل (۷) نمودار تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) باقیمانده‌های مدل $ARIMA(3,1,1)$ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ضرایب خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌ها در تمامی وقفه‌های زمانی (Lag ها) در محدوده حدود اطمینان ۹۵ درصد قرار دارند و هیچ خودهمبستگی جزئی معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. این

نتایج بیانگر آن است که مدل انتخاب‌شده توانسته است ساختار خودرگرسیونی موجود در سری زمانی بارش را به‌طور مناسب تبیین کند و وابستگی زمانی باقی‌مانده در خطاهای مدل به حداقل برسد. در نتیجه، باقیمانده‌های مدل از رفتار تصادفی و استقلال نسبی برخوردار بوده و الگوی سیستماتیک قابل توجهی در آن‌ها مشاهده

ARIMA(3,1,1) برای مدل سازی و پیش بینی بارش سالانه ایستگاه اهواز است.

نمی شود. این موضوع، در کنار نتایج حاصل از نمودار ACF باقیمانده ها و معنی دار بودن پارامترهای مدل، بیانگر کفایت آماری و قابلیت مناسب مدل



شکل ۷- نمودار تابع خود همبستگی جزئی مدل ARIMA(3,1,1) میانگین بارش ایستگاه اهوا

می دهد که خودهمبستگی معنی داری در باقیمانده های مدل وجود نداشته و ساختار وابستگی زمانی سری بارش به طور مناسب توسط مدل تبیین شده است. همچنین، عدم شناسایی داده پرت ($\text{Number of Outliers} = 0$) بیانگر آن است که برازش مدل تحت تأثیر مشاهدات غیرعادی قرار نگرفته و نتایج حاصل از مدل از پایداری آماری مناسبی برخوردار است. در مجموع، نتایج شاخص های برازش، آزمون Ljung-Box و بررسی نمودارهای تشخیصی باقیمانده ها، کفایت آماری مدل ARIMA(3,1,1) را برای مدل سازی و پیش بینی بارش سالانه ایستگاه اهواز تأیید می کند.

نتایج ارائه شده در جدول (۴) نشان می دهد که مدل ARIMA(3,1,1) از برازش آماری مناسبی برای مدل سازی سری زمانی بارش سالانه ایستگاه اهواز برخوردار است. مقدار شاخص $\text{Stationary } R^2$ برابر با ۰٫۵۴۲ بیانگر آن است که مدل توانسته است بخش قابل قبولی از تغییرات سری زمانی ایستگاه را تبیین کند. هرچند این شاخص به تنهایی معیار نهایی ارزیابی عملکرد مدل نیست، اما در کنار سایر شاخص های تشخیصی، بیانگر برازش قابل قبول مدل برای داده های مورد مطالعه است. به منظور ارزیابی استقلال باقیمانده ها، آزمون Ljung-Box بر روی باقیمانده های مدل انجام شد. مقدار آماره آزمون برابر با ۱۹٫۳۱۹ و سطح معنی داری بزرگ تر از ۰٫۰۵ است؛ بنابراین فرض صفر مبنی بر نبود خودهمبستگی در باقیمانده ها رد نمی شود. این نتیجه نشان

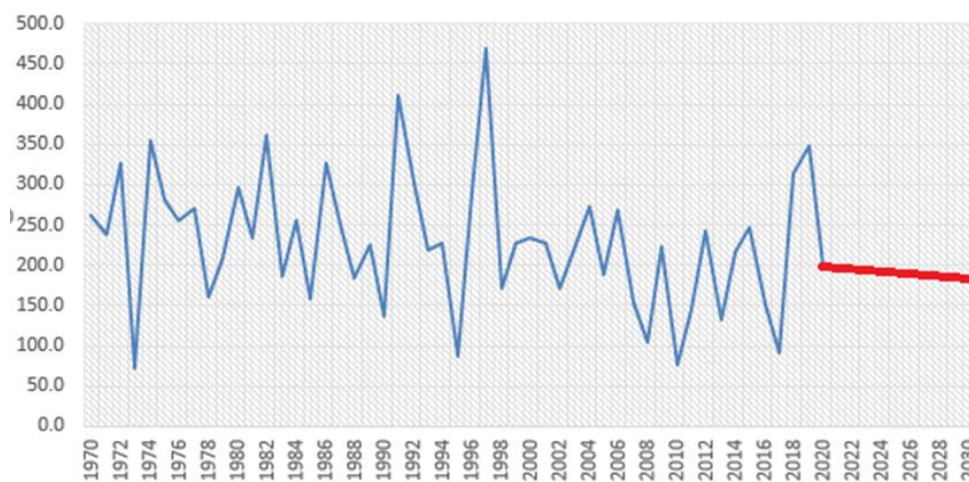
جدول ۴- خروجی مدل ARIMA(3,1,1) میانگین بارش داده های ایستگاه اهواز

Model Statistics						
Model	Number of Predictors	Model Fit statistics	Ljung-Box Q(18)			Number of Outliers
		Stationary R-squared	Statistics	DF	Sig.	
baresh-Model_1	1	.542	19.319	14	.153	0

شکل (۸) نتایج پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه هم‌دید اهواز را برای افق ده‌ساله آینده با استفاده از مدل ARIMA(3,1,1) و در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مدل، مقادیر پیش‌بینی‌شده در دوره مورد بررسی دارای نوسانات محدودی بوده و حول یک روند نسبتاً پایدار با گرایش ملایم نزولی تغییر می‌کنند. این الگو نشان می‌دهد که در صورت تداوم شرایط حاکم بر دوره تاریخی، انتظار وقوع تغییرات شدید در میزان بارش سالانه وجود نداشته و روند کاهش بارش با آهنگی ملایم در سال‌های آینده ادامه خواهد یافت. گرایش نزولی پیش‌بینی‌شده با نتایج تحلیل روند و خط برازش رگرسیونی نیز همخوانی دارد؛ به‌طوری‌که در دوره تاریخی، کاهش متوسط بارش سالانه حدود 1.30

میلی‌متر در سال برآورد شده است. همچنین، هموارتر بودن منحنی پیش‌بینی نسبت به سری زمانی مشاهدات بیانگر آن است که مدل ARIMA با تکیه بر ساختار آماری داده‌های گذشته، روند بلندمدت سری زمانی را استخراج کرده و اثر نوسانات تصادفی و کوتاه‌مدت را در فرآیند پیش‌بینی کاهش داده است. در مجموع، نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که در صورت تداوم الگوهای آماری گذشته، بارش سالانه ایستگاه اهواز در دهه آینده با تغییرات محدود و گرایش کلی نزولی همراه خواهد بود؛ موضوعی که می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، ارزیابی مخاطرات خشکسالی و تدوین راهبردهای سازگاری با تغییرات اقلیمی در منطقه مورد توجه قرار گیرد.

precipitaion

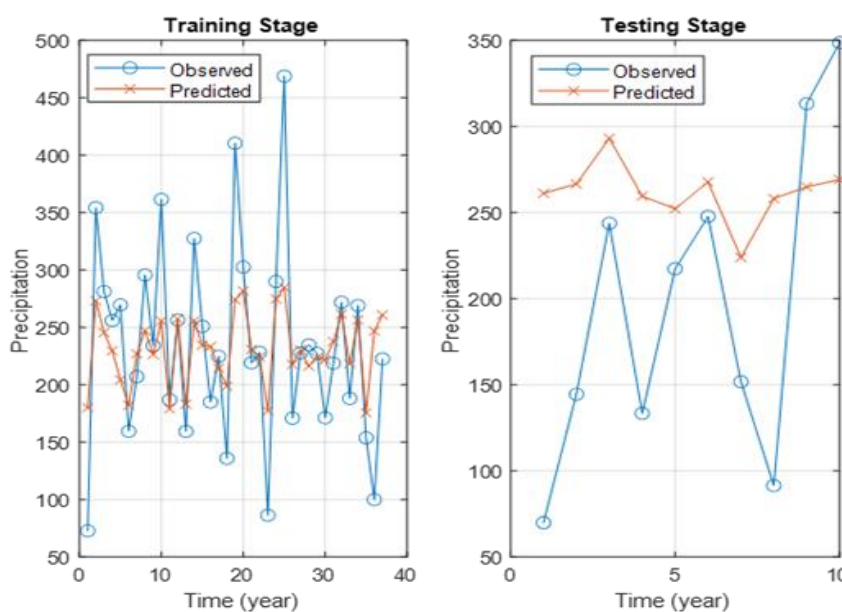


شکل ۸- پیش‌بینی بارش ۱۰ سال آینده ایستگاه اهواز با سطح اطمینان ۹۵٪ درصد مدل (۱،۱،۳)

مدل جنگل تصادفی

به منظور ارزیابی قابلیت روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین در پیش‌بینی بارش سالانه، از الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) استفاده شد. این الگوریتم یکی از روش‌های قدرتمند یادگیری ماشین است که با بهره‌گیری از مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم، توانایی مدل‌سازی روابط پیچیده و غیرخطی میان داده‌ها را دارد. با این حال، کارایی مدل‌های داده‌محور از جمله جنگل تصادفی تا حد زیادی به حجم، کیفیت و تنوع داده‌های آموزشی وابسته است و استفاده از سری‌های زمانی طولانی‌تر معمولاً موجب افزایش دقت و قابلیت تعمیم مدل می‌شود. در این پژوهش، با توجه به استفاده از داده‌های بارش سالانه ایستگاه هم‌دید اهواز طی

دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹، عملکرد مدل جنگل تصادفی با مدل سری زمانی ARIMA مورد مقایسه قرار گرفت. شکل (۹) مقایسه مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده بارش سالانه توسط مدل جنگل تصادفی را در دوره‌های زمانی مورد بررسی، نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که مدل توانسته است الگوی کلی تغییرات بارش را بازسازی کند و در بخش قابل توجهی از دوره مطالعه، انطباق مناسبی بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده برقرار کند. با این حال، اختلاف بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده در برخی سال‌ها، به‌ویژه در رخدادهای حدی و نوسانات با دامنه زیاد، نشان می‌دهد که دقت مدل در بازتولید تغییرات شدید بارش کاهش می‌یابد.



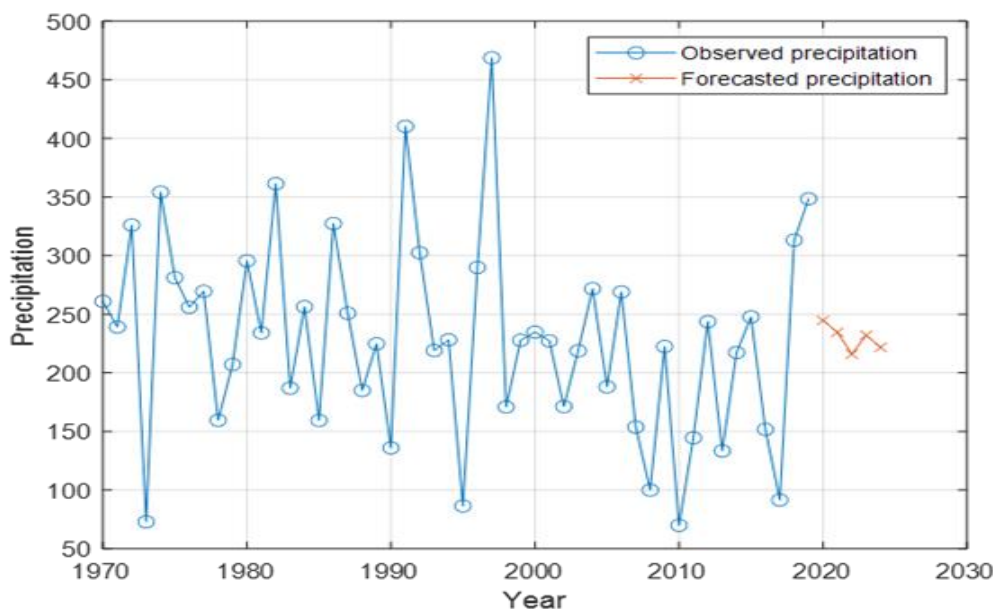
شکل ۹- مقایسه بارش‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده در دوره‌های زمانی بلندمدت و کوتاه مدت

است. این موضوع را می‌توان به طول نسبتاً محدود سری زمانی، تعداد کم داده‌های آموزشی و پیچیدگی رفتار بارش در اقلیم گرم و نیمه‌خشک منطقه نسبت داد. در مقایسه با مدل ARIMA، نتایج این پژوهش نشان داد که مدل ARIMA با استفاده از ساختار وابستگی زمانی داده‌ها، دقت بیشتری در پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه اهواز داشته است. بنابراین، در شرایطی که حجم داده‌های

شاخص‌های ارزیابی عملکرد نیز این نتایج را تأیید می‌کنند؛ به‌طوری‌که مقدار RMSE برابر با ۶۲/۱۴ میلی‌متر و مقدار MAE برابر با ۴۳/۹۳ میلی‌متر به‌دست آمد. این مقادیر نشان می‌دهد که اگرچه مدل جنگل تصادفی قادر به شناسایی روند کلی تغییرات بارش بوده است، اما در پیش‌بینی دقیق مقادیر بارش، به‌ویژه در سال‌های دارای نوسانات شدید، با محدودیت‌هایی مواجه

تاریخی محدود باشد، مدل‌های کلاسیک سری زمانی می‌توانند عملکردی قابل اتکاتر از برخی مدل‌های داده‌محور مبتنی بر یادگیری ماشین ارائه دهند.

شکل (۱۰) مقایسه مقادیر مشاهده‌شده بارش سالانه و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل جنگل تصادفی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سری زمانی بارش در دوره تاریخی (۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹) از تغییرپذیری بین‌سالانه قابل توجهی برخوردار بوده و وقوع متوالی سال‌های پربارش و کم‌بارش بیانگر نوسانات زیاد رژیم بارش در منطقه است. در مقابل، مقادیر پیش‌بینی‌شده



شکل ۱۰- نمودار مقایسه بارش‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده

سامانه‌های بارشی می‌تواند موجب نوسانات قابل توجه در مقادیر سالانه بارش شود. افزون بر این، تغییرپذیری طبیعی اقلیم و وقوع دوره‌های متوالی خشکسالی و ترسالی نقش مهمی در رفتار سری زمانی بارش ایفا می‌کنند و می‌توانند روندهای مشاهده‌شده را در مقیاس‌های زمانی مختلف تقویت یا تضعیف کنند. بنابراین، گرایش کاهشی شناسایی‌شده در این پژوهش بیانگر رفتار آماری سری زمانی بارش در دوره مورد مطالعه است و به‌تنهایی نمی‌تواند به تغییر اقلیم یا یک عامل منفرد نسبت داده

اگرچه نتایج آزمون‌های روند و مدل‌سازی سری زمانی گرایش کاهشی بارش سالانه در ایستگاه هم‌دید اهواز طی دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹ را نشان می‌دهند، این یافته‌ها باید با در نظر گرفتن ویژگی‌های اقلیمی منطقه و تغییرپذیری طبیعی اقلیم مورد ارزیابی قرار گیرند. اهواز در اقلیم گرم و نیمه‌خشک واقع شده و رژیم بارش آن به‌شدت تحت تأثیر تغییرات زمانی و مکانی سامانه‌های بارشی، نوسانات گردش عمومی جو و میزان انتقال رطوبت از منابع مجاور قرار دارد. از این‌رو، تغییر در فراوانی، شدت و زمان وقوع

شود. دستیابی به درک دقیق‌تر از عوامل مؤثر بر این تغییرات، مستلزم بررسی هم‌زمان سایر متغیرهای اقلیمی و آب‌شناختی، از جمله دما، تبخیر و تعرق، شاخص‌های خشکسالی و الگوهای گردش جوی است. از سوی دیگر، نتایج مدل‌سازی نشان داد که مدل ARIMA با بهره‌گیری از ساختار وابستگی زمانی داده‌ها، در پیش‌بینی بارش سالانه عملکرد مناسب‌تری نسبت به مدل جنگل تصادفی ارائه می‌دهد. در مقابل، عملکرد ضعیف‌تر مدل جنگل تصادفی را می‌توان به محدود بودن طول سری زمانی، تعداد نسبتاً کم داده‌های آموزشی و وابستگی این الگوریتم به حجم و تنوع داده‌ها نسبت داد. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که برای سری‌های زمانی سالانه با طول نسبتاً محدود، مدل‌های کلاسیک سری زمانی همچنان می‌توانند از نظر دقت و قابلیت اعتماد عملکرد مطلوب‌تری نسبت به برخی مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین داشته باشند. این نتایج می‌تواند مبنایی برای انتخاب مدل مناسب در پیش‌بینی بارش و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی سازگاری با تغییرات اقلیمی در مناطق گرم و نیمه‌خشک باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که بارش سالانه ایستگاه هم‌دید اهواز طی دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۹ دارای گرایش نزولی ملایمی است. تحلیل روند با استفاده از آزمون‌های آماری و خط برازش رگرسیونی، کاهش متوسط حدود ۱.۳۰ میلی‌متر در سال را نشان داد که بیانگر کاهش تدریجی بارش در دوره مورد مطالعه است. همچنین، مدل $ARIMA(3,1,1)$ به‌مثابه مناسب‌ترین مدل سری زمانی انتخاب شد و توانست ساختار وابستگی زمانی داده‌ها را با دقت مناسبی شبیه‌سازی کرده و روند آینده بارش را پیش‌بینی کند. نتایج این مدل نیز تداوم گرایش نزولی ملایم بارش را در افق پیش‌بینی نشان داد. در مقایسه با مدل جنگل تصادفی، اگرچه این مدل توانست

روند کلی تغییرات بارش را بازسازی کند، اما در بازنمایی نوسانات شدید و رخداد‌های حادی عملکرد ضعیف‌تری داشت. شاخص‌های ارزیابی شامل $RMSE=62.14$ و $MAE=43.93$ نیز این موضوع را تأیید کردند. به نظر می‌رسد این تفاوت عملکرد عمدتاً ناشی از محدود بودن طول سری زمانی، ماهیت سالانه داده‌ها و وابستگی مدل‌های یادگیری ماشین به حجم بیشتر داده‌های آموزشی و تنوع بالاتر متغیرهای ورودی باشد. یافته‌های این پژوهش با نتایج رحمان و همکاران (۲۰۱۶)، حیات‌خان و همکاران (۲۰۲۳)، عبدالحمید و همکاران (۲۰۲۴)، صدیقی و همکاران (۲۰۲۵) و عساکره و همکاران (۱۴۰۱) که کارایی مدل‌های ARIMA را در تحلیل روند و پیش‌بینی بارش گزارش کرده‌اند همخوانی دارد، هرچند تفاوت در مرتبه بهینه مدل‌ها را می‌توان به تفاوت ویژگی‌های اقلیمی، مقیاس زمانی، طول دوره آماری و خصوصیات آماری داده‌ها نسبت داد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از سری‌های زمانی بلندمدت‌تر و داده‌هایی با تفکیک زمانی ماهانه یا فصلی استفاده شود. همچنین، تلفیق مدل‌های سری زمانی با روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، نظیر ARIMA-LSTM و ARIMA-Random Forest، همراه با به‌کارگیری متغیرهای اقلیمی و جوی مؤثر بر بارش، از جمله دمای هوا، رطوبت نسبی، فشار هوا، شاخص‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی (ENSO و NAO) و داده‌های سنجش از دور، می‌تواند موجب بهبود دقت پیش‌بینی شود. علاوه بر این، ارزیابی این مدل‌ها در سایر ایستگاه‌های استان خوزستان و مناطق دارای شرایط اقلیمی مشابه، می‌تواند به تعمیم‌پذیری نتایج و انتخاب رویکردهای مناسب برای مدیریت منابع آب و سازگاری با تغییرات اقلیمی کمک کند.

منابع

سلطانی گرد فرامرز، س.، صابری/ع.، قیصوری/م. (۱۳۹۶). تعیین بهترین مدل سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی سالانه ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان غربی/ نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی 'سال هفدهم/ شماره ۴۴.

شریفی، م؛ نوری، م؛ و حیات‌خان، م. (۱۴۰۴). ارزیابی عملکرد مدل‌های ترکیبی Wavelet-ARIMA، Wavelet-ARIMA-، LSTM و ANN در شبیه‌سازی خشکسالی مبتنی بر شاخص ترکیبی SRGI. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۵(۳)، ۸۸-۱۰۳.

عبدالله زاده/ک. و عبدالله زاده، ی. (۱۳۹۰). مفاهیم کاربردی آمار و احتمالات. انتشارات آبیژ.

عرب، ن.، سلمان ماهینی، ع.، میکائیلی تبریزی، ع.، و ویت، ت. (۱۴۰۲). تجزیه و تحلیل خطر سیل‌گیری با استفاده از روش یادگیری ماشین جنگل تصادفی (مطالعه موردی: شهر مشهد). *اکوایدرولوژی*، ۱۱(۱)، ۱-۱۰.

خجسته، آ. و عساکره، ح. (۱۴۰۱). الگوسازی ARIMA برای بارش سالانه مشهد. *نشریه علوم جغرافیایی*، ۳۸، ۱۷۱-۱۵۰.

مهدوی/م.، طاهرخانی/م. (۱۳۸۵). کاربرد آمار در جغرافیا. نشر قومس.

Abd-Elhamid, H. F., El-Dakak, A. M., Zelenáková, M., Ka, S. O., Mahdy, M., & Abd El Ghany, S. H. (2024). Rainfall forecasting in arid regions in response to climate change using ARIMA and remote sensing. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), 2347414. <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2347414>

Chbouki, N. Stockton, CW. Myers, DE. (1995). Spatio-temporal patterns of Drought in Morocco. *International journal of climatology*. 15: 187-207

Gill, K. K., Bhatt, K., Kaur, B., & Sandhu, S. S. (2023). ARIMA approach for temperature and rainfall time series prediction in Punjab. *Journal of Agrometeorology*, 25(4), 571-576. <https://doi.org/10.54386/jam.v25i4.2250>

Hamidi, M. R., Mukhaiyar, U., Rezeki, E. S., Dianti, N. R., & Rohat, A. M. (2025). The linear combination of ARIMA models in constructing the areal rainfall using Thiessen polygon weighted method. *ITM Web of Conferences*, 75, 04004. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20257504004>

Hazarika, J., Pathak, B., & Patowary, A. N. (2017). Studying monthly rainfall over Dibrugarh, Assam: Use of SARIMA approach. *Journal of Earth System Science*, 126(2), 34. <https://doi.org/10.1007/s12040-017-0811-5>

Hoque, M. S., Haque, M. M., Nielsen, M., Badiuzzaman, Rahman, M. T., Hossain, M. I., Mahmud, S., Mandal, A. K., Frederiksen, M., & Larsen, P. (2021). Prospects and challenges of yellow flesh pangasius in international markets: Secondary and primary evidence from Bangladesh. *Heliyon*, 7(9), Article e08060

Kaushik, I. and S.M.Singh. 2008. Seasonal ARIMA model for forecasting of monthly rainfall and

Khaliq M.N., Ouarda T.B., and Gachon P. (2009). Identification of temporal trend in annual and seasonal low flows occurring in Canadian rivers: The effect of short- and long-term persistence. *Journal of Hydrology*, 369: 183-197.

Khan, M. M. H., Mustafa, M. R. U., Hossain, M. S., Shams, S., & Julius, A. D. (2023). Short-term and long-term rainfall forecasting using ARIMA model. *International Journal of Environmental Science and Development*, 14(5), 652-660. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2023.14.5.1447>

Mahsin, Md., Akhter, Y. and M. Begum. (2012). Modeling rainfall in Dhaka Division of Bangladesh

Miah, M. M. (2019). Modeling and forecasting rice production in Bangladesh: Aneconometric analysis. *Research & Reviews: Journal of Statistics*, 8(2), 10-28.

Rahman, M. A., Yunsheng, L., & Sultana, N. (2017). Analysis and prediction of rainfall trends over Bangladesh using Mann-Kendall, Spearman's rho tests and ARIMA model. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 129, 409-424. <https://doi.org/10.1007/s00703-016-0479-4>

Rahman, M. S., Chowdhury, A. H., & Amrin, M. (2022). Accuracy comparison of ARIMA and XGBoost forecasting models in predicting the incidence of COVID-19 in Bangladesh. *PLOS Global Public Health*, 2(5), Article e0000495. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0000495>

Sampson, w., Suleman, N. and A.Y. Gifty. 2013. Proposed seasonal autoregressive integrated moving average Model for Forecasting Rainfall Pattern in the Navrongo Municipality, Ghana. *Journal of Environment and Earth Science*. 3(12): 80-85.

Siddique, M. A. B., Mahalder, B., Haque, M. M., & Ahammad, A. K. S. (2025). Forecasting air temperature and rainfall in Mymensingh, Bangladesh with ARIMA: Implications for aquaculture management. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 51(3), 294-303. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2025.02.009>

Siddique, M. A. B., Mahalder, B., Haque, M. M., & Ahammed, A. K. S. (2024). Impact of climatic factors on water quality parameters in tilapia broodfish ponds and predictive modeling of pond water temperature with ARIMAX. *Heliyon*, 10(18), Article e37717. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37717>

Turkes, M., Turp ,MT., An N, Ozturk T., Kurnaz ML. (2020). Impacts of Climate Change on Precipitation Climatology and Variability in Turkey. Harmancioglu N, Altinbilek D (eds) Water Resources of Turkey. World Water Resources 2, using time series analysis. Journal of Mathematical Modeling and Application, 1(5): 67-73.

Voumik, L. C. (2021). Forecasting and modelling fish production in Bangladesh using ARIMA model. *IRE Journals*, 5(4), 114–119. ISSN: 2456–8880

Yadav, A. K., Das, K. K., Das, P., Raman, R. K., Kumar, J., & Das, B. K. (2020). Growth trends and forecasting of fish production in Assam, India using

ARIMA model. *Journal of Applied and Natural Science*, 12(3), 415–421. <https://doi.org/10.31018/jans.v12i3.2353>

Yavuz, V. S. (2025). Forecasting monthly rainfall and temperature patterns in Van Province, Türkiye, using ARIMA and SARIMA models: A long-term climate analysis. *Journal of Water and Climate Change*, 16(2), 800. <https://doi.org/10.2166/wcc.2025.798>

Zahir, M., Su, Y., Shahzad, M. I., Ayub, G., Rehman, S. U., & Ijaz, J. (2024). A review on monitoring, forecasting, and early warning of harmful algal bloom. *Aquaculture*, 741351.

Rainfall Analysis and Modeling Using the ARIMA Model (Case Study: Ahvaz)

Ahmad Mazidi¹, Leila Mokaram^{2*}

1- Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran,

2- Corresponding Author, PhD Student of Climatology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

*Corresponding Author Email: leilamokaram830@gmail.com

Received: 16 February 2026, Accepted: 26 July 2026

ABSTRACT

Precipitation is one of the most important components of the water cycle and is considered one of the most important input components to the hydrological cycle, which plays a very important role in assessing the climatic characteristics of any region. Rainfall forecasting plays a very important role in preparedness, management, and prevention of events resulting from natural hazards. In this research, to forecast the annual rainfall of the Ahvaz synoptic station, annual precipitation data of the Ahvaz station for the statistical period of 1970 - 2019 were used. To forecast rainfall behavior, the ARIMA modeling method was utilized. To check the stationarity of the model, autocorrelation functions (ADF) and partial autocorrelation functions (PACF) were used. The best ARIMA model for forecasting the rainfall of the Ahvaz station was identified as the ARIMA (3,1,1) model. The rainfall forecast for the coming years indicates a downward trend in rainfall for the Ahvaz station. Also, in this research, to forecast the annual rainfall of the Ahvaz station, the Random Forest (RF) machine learning method was utilized, which, considering the time series of the data, had lower accuracy compared to the ARIMA model. The purpose of this model is to compare with the ARIMA time series in order to forecast annual rainfall at the Ahvaz station.

Keywords: Precipitation forecast, Trend, Time series, ARIMA, Ahvaz station

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Mazidi, A. & Mokaram, L. (2026). Rainfall Analysis and Modeling Using the ARIMA Model (Case Study: Ahvaz), *Journal of Meteorology and Atmospheric Science.*, 8(2), 92- 111. DOI: <https://doi.org/10.22034/jmas.2026.576251.1266>

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

