



جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۲، دوره ۶، شماره ۱، صص ۵۳۸-۵۲۵

ارزیابی کارایی مدل‌های سری زمانی در تعیین بهترین مدل برای پیش‌بینی بارش‌های سالانه ایستگاه‌های منتخب شمال غرب ایران

برومند صلاحی^۱، مهناز صابری^۲، فاطمه وطن‌پرست قلعه‌جوق^۳

۱- استاد دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران

(Email: bromand416@yahoo.com)

۲- دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای

طبیعی، اردبیل، ایران

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی،

اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷

چکیده

بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر اقلیمی و مؤلفه‌ای اصلی و تعیین‌کننده در بیان آب هر منطقه تلقی می‌گردد. تغییر زمانی و مکانی بارش برحسب نوع اقلیم هر منطقه متفاوت بوده و این تغییر به‌ویژه در مناطق دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بیشتر است. منطقه شمال غرب ایران علاوه بر نیمه‌خشک بودن، به‌دلیل کوهستانی بودن شاهد تغییرات زمانی و مکانی زیادی از نظر بارش است. شناخت و بررسی این متغیر و روند آن می‌تواند در پیش‌نگری‌ها و ترسیم چشم‌انداز تغییرات احتمالی آن مفید و مؤثر واقع شود. در این پژوهش برای پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه‌های منتخب شمال غرب ایران شامل: تبریز، ارومیه، سقز، زنجان، سنندج و خوی طی دوره آماری ۶۱ ساله (۱۹۶۱-۲۰۲۱) از سری زمانی استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی ایستایی مدل از تابع خودهمبستگی استفاده شد و داده‌های نایستا با به‌کارگیری روش تفاضل‌گیری به داده‌های ایستا تبدیل شدند. سپس مدل‌های تصادفی برای تعیین بهترین مدل برای برازش بارش ایستگاه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. توزیع سری زمانی و تحلیل روند معادله خط رگرسیون بارش ایستگاه‌های هم‌دید شمال غرب برحسب میلی‌متر نشان‌دهنده این است که شیب‌خط در همه ایستگاه‌ها، روند کاهشی دارد و کاهش بارش در ایستگاه‌ها بین ۱ تا ۳ میلی‌متر در سال برآورد شده است. از بین مدل‌های میانگین متحرک (MA)، اتورگرسیون (AR)، مدل میانگین متحرک خودهمبسته (ARMA) و مدل میانگین متحرک تجمعی خودهمبسته (ARIMA) برحسب مقدار قدر مطلق آماره T بیش‌تر از مقدار ۲، P-value کمتر از ۰/۰۵ و کمترین مقدار معیار اطلاعات آکائیکی (AIC)، مدل (۱، ۰، ۰) AR برای ایستگاه‌های سقز، زنجان، ارومیه، خوی و تبریز و مدل (۱، ۰، ۱) ARIMA برای ایستگاه سنندج به‌عنوان بهترین مدل تعیین شدند. نتایج پیش‌بینی نشان‌دهنده افزایش بارش برای سال ۲۰۲۳ و کاهش بارش برای سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ است.

کلیدواژه: سری زمانی، مدل ARMA، بارش، شمال غرب ایران.



مقدمه

بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر اقلیمی و مؤلفه‌ای اصلی، مؤثر و تعیین‌کننده در بیلان آب هر منطقه تلقی می‌گردد. تغییر زمانی و مکانی بارش برحسب نوع اقلیم هر منطقه متفاوت بوده و این تغییر به‌ویژه در مناطق دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بیشتر است. از آنجایی که پارامترهای آب و هوایی مانند بارش و دما بر حسب زمان به وقوع می‌پیوندند و بین مقادیر قبلی متغیر با مقادیر بعدی آن رابطه وجود دارد لذا در تحلیل داده‌ها بهتر است از سری زمانی استفاده شود. بارش به‌عنوان مهم‌ترین مشخصه اقلیمی هر منطقه است (حسنوند و همکاران، ۱۴۰۱، ۱۴۹). مدل‌سازی این متغیر به‌منظور مدیریت منابع آب و کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ضرورت این مدل‌سازی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک دوچندان می‌باشد (علوی‌پناه، ۱۳۹۴). امروزه استفاده از سری‌های زمانی در مدل‌سازی پیش‌بینی بارش و دما روبه افزایش است (عبدالله‌نژاد، ۱۳۹۴، ۲۱). در استفاده از سری زمانی برای مدل‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی چون بارش پژوهش‌های متعددی در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است که به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌گردد.

چانگ و همکاران (۲۰۱۲) برای پیش‌بینی روند بارش سه‌ساله یانتای چین، از مدل SARIMA طی دوره آماری (۲۰۱۱-۱۹۶۱) استفاده نمودند و نتایج نشان داد که این مدل برای پیش‌بینی مناسب است. سامپسون و همکاران (۲۰۱۳) به پیش‌بینی بارش فصلی در غنا پرداختند. کومار و همکاران (۲۰۱۳) در مقایسه مدل‌های سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی بارش هند مدل شبکه عصبی را مناسب دانستند. کیونجا و همکاران (۲۰۱۴) به‌منظور تعیین مقادیر پیش‌بینی بارش در کنیا از مدل SARIMA استفاده کرد و مشخص شد که این مدل بر اساس نرمال بودن مانده‌ها مدل خوبی برای پیش‌بینی بارش منطقه است. کاسنا و همکاران (۲۰۱۵) به پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب با استفاده از مدل حالت وینترز پرداختند و نتایج نشان داد که این مدل برای پیش‌بینی مناسب است. ونگ و همکاران (۲۰۱۴) مدل ARIMA را جهت پیش‌بینی بارش ماهانه در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده دقت مدل در پیش‌بینی بارش است. پاساریو و همکاران (۲۰۱۸) به پیش‌بینی بارندگی در مراوکه با استفاده از میانگین متحرک و مدل اتورگرسیو (ARIMA) در دوره آماری (۲۰۱۷-۲۰۰۵) پرداخته‌اند و مدل (۲، ۰، ۰) ARIMA را به‌عنوان مدلی مناسب جهت پیش‌بینی بارندگی به‌دست آوردند. کالورو و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی روند بارش سالانه و فصلی در منطقه کالابریا (جنوب ایتالیا) با استفاده از روش ITA و من-کندال پرداخته‌اند. نتایج حاکی از وجود روند منفی در بارندگی سالانه است.

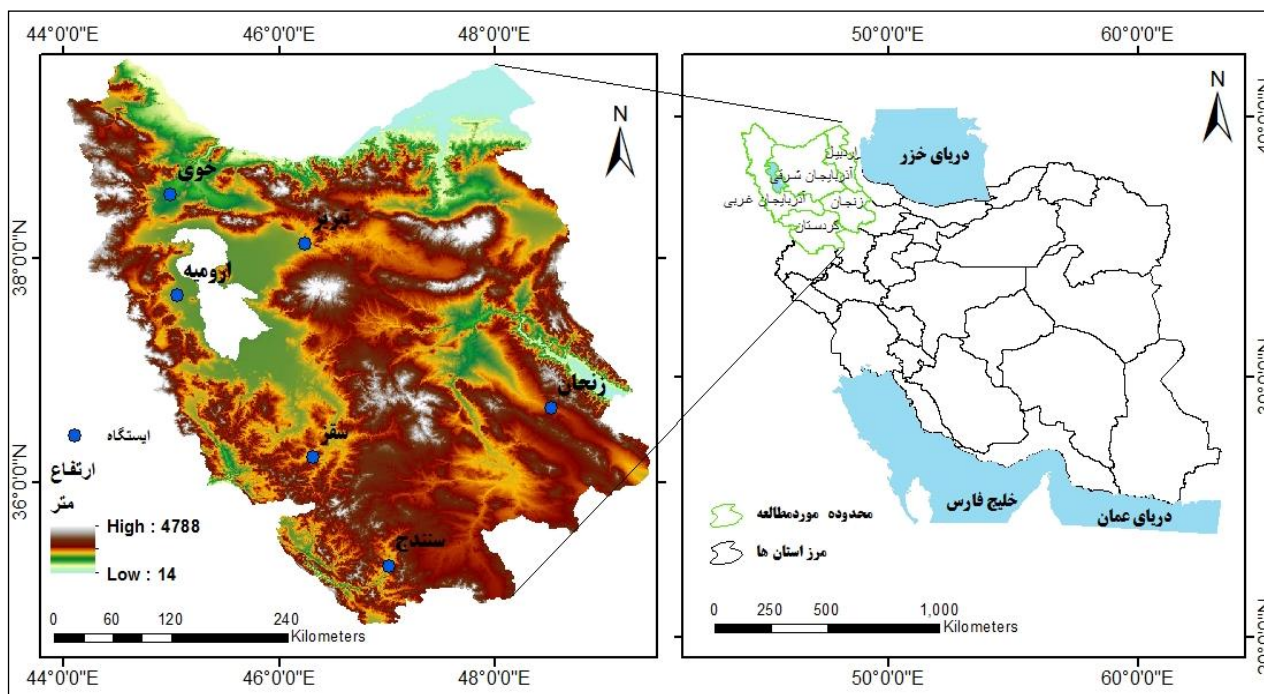
صلاحی و ملکی مرشت (۱۳۹۴) به پیش‌بینی تغییرات بارش ماهانه شهرستان اردبیل با استفاده از مدل‌های ARIMA، اتورگرسیو و ویتترز برای دوره ۳۰ ساله (۲۰۰۷-۱۹۷۷) پرداخته‌اند و مدل آریمای را به دلیل داشتن کمترین ضریب خطا و بالاترین ضریب تعیین به‌عنوان مدل مناسب انتخاب نمودند. گودرزی و روزبهرانی (۱۳۹۴) توانایی مدل سری زمانی ARIMA و حالت ویتترز را در پیش‌بینی دما و بارش ماهانه ایستگاه لتیان مورد بررسی قرار داده‌اند و نتایج نشان داد که این مدل‌ها قابلیت بالایی در پیش‌بینی مقدار بالای بارش ماهانه در ایستگاه ندارند. معصوم پورسماکوش و همکاران (۱۳۹۶) به تحلیل سری زمانی بارش فصلی برای ۶۷ ایستگاه ایران در دوره (۲۰۱۴-۱۹۸۵) پرداختند و نتایج کار نشان داد که بیشتر ایستگاه‌ها از الگوی فصلی تبعیت می‌کنند. بارانی و کرمی (۱۳۹۸) به تحلیل روند سالانه پارامتر دما و بارش در نواحی ده‌گانه زراعی - اکولوژیکی ایران در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۴ - ۱۳۶۴) پرداخته‌اند. نتایج پژوهش گویای روند کاهشی بارش در خوزستان و خراسان بوده است و در نواحی مرکزی بدون روند مشاهده شده است. ایمانی امیرآباد و همکاران (۱۳۹۹) روند تغییرات بارش و دما در حوضه آبخیز طشک - بختگان را در دوره آماری (۲۰۱۰ - ۱۹۸۱) بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده کاهش بارش به میزان ۱۴/۳ درصد است. تیموری یگانه و تیموری یگانه (۱۳۹۹) کاربرد مدل‌های سری زمانی را در پیش‌بینی بارش ماهانه استان کرمانشاه در دوره (۱۳۹۷-۱۳۶۵) بررسی کردند و مدل $ARIMA(1,1,2)$ مدلی مناسب جهت پیش‌بینی به‌دست آمد. غفوریان و همکاران (۱۳۹۹) مدل‌های سری زمانی SARIMA را در پیش‌بینی بارش فصلی برای سال‌های ۲۰۲۱ - ۲۰۱۸ به کار بردند. نتایج پیش‌بینی بارش برای ۴ سال آینده کاهش یک درصدی بارش را نشان داد. ایمانی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی روند و پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از مدل‌های سری زمانی در ایستگاه اردبیل برای ۵ سال آینده (۲۰۲۴ - ۲۰۲۰) پرداختند. نتایج نشان داد که مقدار بارندگی سالانه نسبت به میانگین بارندگی ۲۰ سال گذشته بین ۳ تا ۱۷ درصد کاهش می‌یابد. جندقی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از سری‌های زمانی SARIMA به مدل‌سازی بارش - رواناب در حوضه آبخیز رامیان و گالیکش در سال‌های آماری (۱۳۹۶-۱۳۶۰) پرداخته‌اند. نتایج کار نشان‌دهنده روند فصلی با دوره تناوب ۱۲ ماهه است. مزیدی و همکاران (۱۴۰۰) روند تغییرات بارش در ایستگاه ارومیه را به روش من‌کنندال در دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۹۶) بررسی و نتیجه گرفتند که بارش شیب صعودی در این ایستگاه دارد. امینی نیا و ثاقبیان (۱۴۰۱) به مدل‌سازی بارش ماهانه با استفاده از مدل‌های سری زمانی و اثر الگوهای پیوند از دور پرداخته‌اند. نتایج نشان‌دهنده کارایی روش‌های ترکیبی در مدل‌سازی بارش ماهانه است. حسنونند و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی روند تغییرات بارش بیشینه روزانه و سالانه

حوضه آبریز کرخه و دز در دوره آماری ۶۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۵۹) پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان داد بارش در کرخه به صورت نامنظم بوده ولی بارش در حوضه دز از سری زمانی بهنجارتری برخوردار است.

منطقه شمال غرب ایران علاوه بر نیمه خشک بودن، به دلیل بافت کوهستانی داشتن، تغییرات مکانی و زمانی زیادی را از حیث بارش تجربه می‌نماید. در این پژوهش به ارزیابی مدل‌های سری زمانی و تعیین بهترین مدل برای برازش بارش سالانه شمال غرب ایران و بررسی روند آن در ۶۱ سال گذشته (۱۹۶۱-۲۰۲۱) پرداخته می‌شود.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شمال غرب ایران است که استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، کردستان و زنجان را در بر می‌گیرد. در این پهنه وجود کوهستان‌های متعدد و درهم تنیدگی کوهستان و دشت، عرض جغرافیایی نسبتاً بالا، وجود دریاچه ارومیه از عوامل فیزیوگرافی و جغرافیایی تأثیرگذار روی اقلیم منطقه مورد پژوهش به حساب می‌آید (رسولی و همکاران، ۱۳۹۱). شکل (۱) جایگاه جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را در شمال غرب کشور نشان می‌دهد. از داده ۶ ایستگاه همدید تبریز، ارومیه، سقز، خوی، زنجان و سنندج که بیش از ۶۰ سال آمار ثبت شده دارند، برای پیش‌بینی روند تغییرات بارش با مدل ARIMA استفاده گردید. در جدول (۱) مشخصات جغرافیایی و طول دوره آماری هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه آورده شده است.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران و شمال غرب کشور

جدول ۱ مشخصات جغرافیایی و طول دوره آماری ایستگاه‌های منتخب شمال غرب ایران

ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	دوره آماری	طول دوره آماری (سال)
ارومیه	۳۷/۶۵	۴۵/۰۵	۱۳۲۸	۱۹۶۱-۲۰۲۱	۶۱
تبریز	۳۸/۱۲	۴۶/۲۴	۱۳۶۱	۱۹۶۱-۲۰۲۱	۶۱
سقز	۳۶/۲۲	۴۶/۳۱	۱۵۲۲/۸	۱۹۶۱-۲۰۲۱	۶۱
زنجان	۳۶/۶۶	۴۸/۵۲	۱۶۵۹/۴	۱۹۶۱-۲۰۲۱	۶۱
سندج	۳۵/۲۵	۴۷/۰۱	۱۳۷۳/۴	۱۹۶۱-۲۰۲۱	۶۱
خوی	۳۸/۵۵	۴۴/۹۹	۱۱۰۳/۴	۱۹۶۱-۲۰۲۱	۶۱

مواد و روش

در این پژوهش از مدل‌های سری زمانی برای بررسی روند تغییرات بارش سالانه ایستگاه‌های هم‌دید منتخب شمال غرب ایران استفاده شد. توصیف فرایند شامل رسم روند سری داده‌ها، تشخیص ایستایی و ناپایستگی آن، بررسی خودهمبستگی سری، برازش الگو و انتخاب بهترین مدل است. در مدل ARIMA با روش تفاضل‌گیری داده‌های

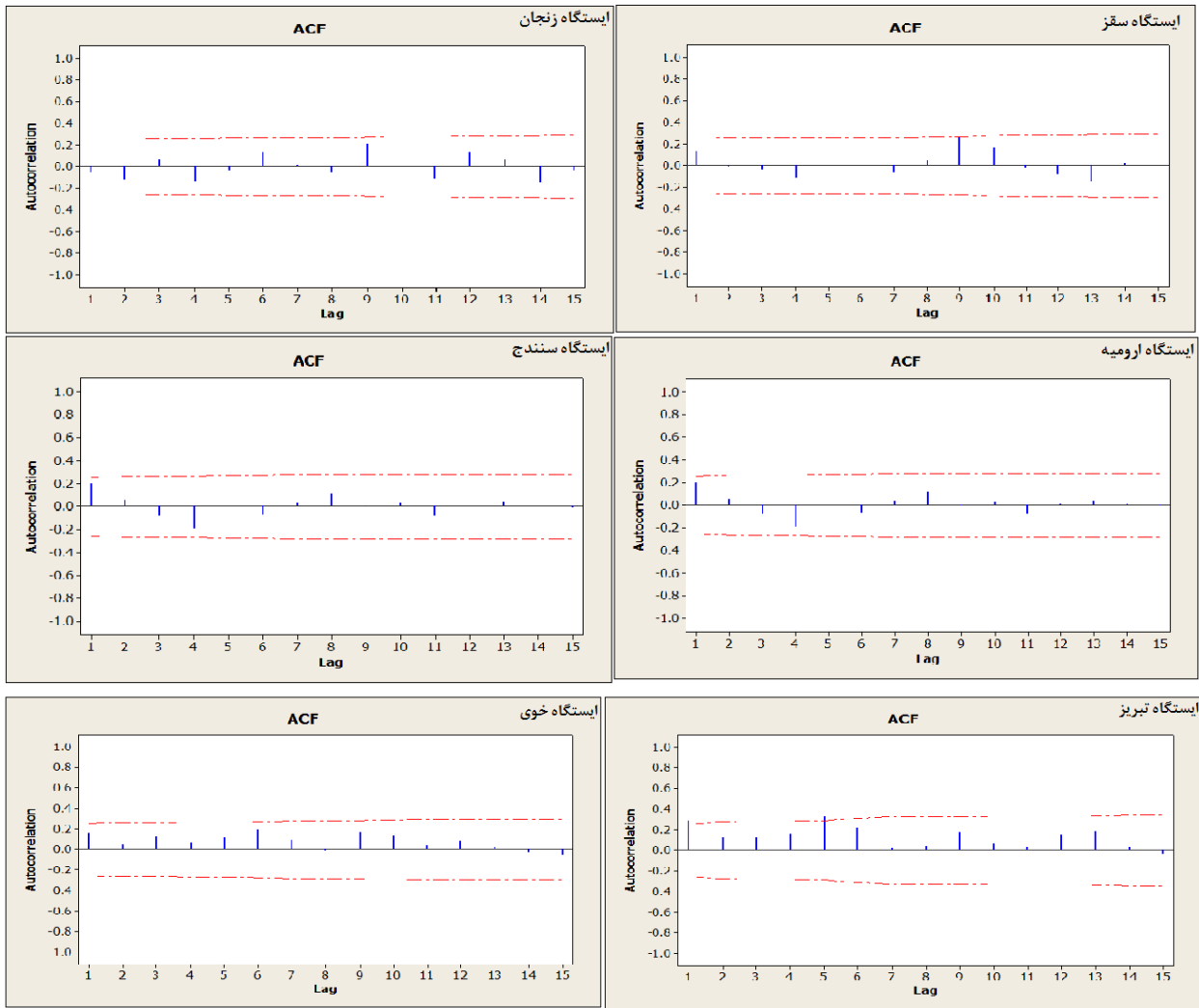
نایستای بارش ۶ ایستگاه تبریز، ارومیه، سقز، خوی، زنجان و سنندج به ایستا تبدیل شدند و با استفاده از معیار اطلاعات آکائیک (AIC) که بر مبنای باقیمانده‌های مدل برازش داده‌شده و روش‌های مقایسه مدل‌های مختلف می‌باشد، بهترین مدل برازش داده شده برای هر ایستگاه انتخاب گردید. این روش بر این مبنا استوار است که در بین مدل‌های مناسب، مدلی با توجه به معیارهای موردنظر، بهترین مدل است که دارای کمترین مقدار AIC باشد. معیار AIC با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (بزرگ‌نیا و خرمی، ۱۳۸۶، ۱۵۲).

$$AIC = n \log(MS) + 2(p + q) \quad \text{رابطه (۱)}$$

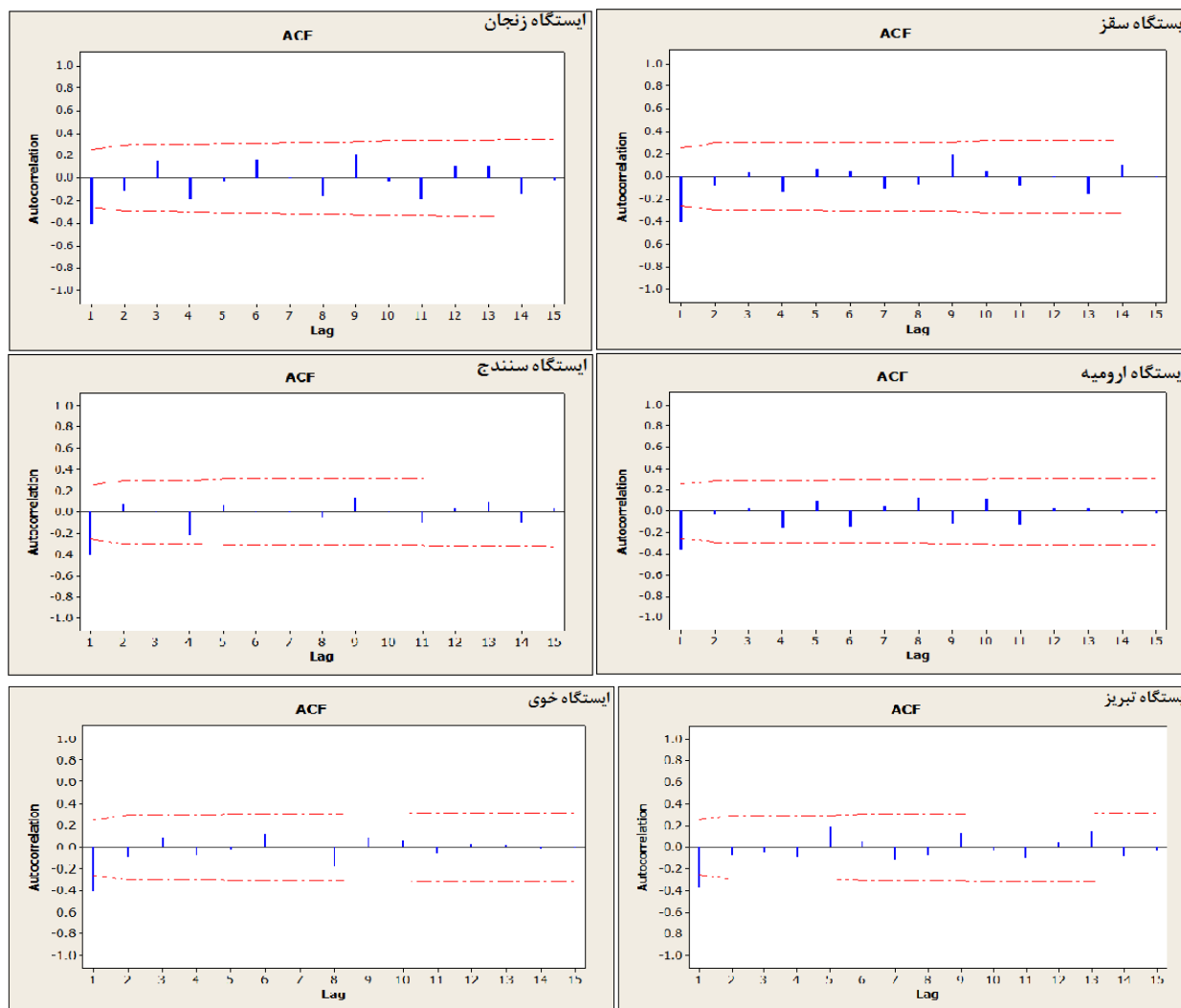
که در این معادله، N: تعداد داده‌ها، MS: مجموع مربعات باقیمانده‌ها، P: ارتورگرسیو و q: میانگین متحرک است.

یافته‌های پژوهش

نمودار خودهمبستگی داده بارش ایستگاه‌های واقع در شمال غرب ایران قبل از تفاضل‌گیری در شکل (۲) آورده شده است. همانطور که از نمودار این شکل مشخص است مقدار خودهمبستگی در ایستگاه‌ها به آهستگی و به صورت سینوسی کاهش پیدا می‌کند. این نوسان به علت وجود روند در سری‌های مربوطه است و در هر ۶ ایستگاه روند مشابهی ملاحظه می‌گردد. نمودار خودهمبستگی بعد از تفاضل‌گیری مرتبه اول ایستگاه‌های واقع در شمال غرب ایران (شکل ۳) نشان می‌دهد که خودهمبستگی پس از تفاضل‌گیری مرتبه اول، میل به تناوب دارد.

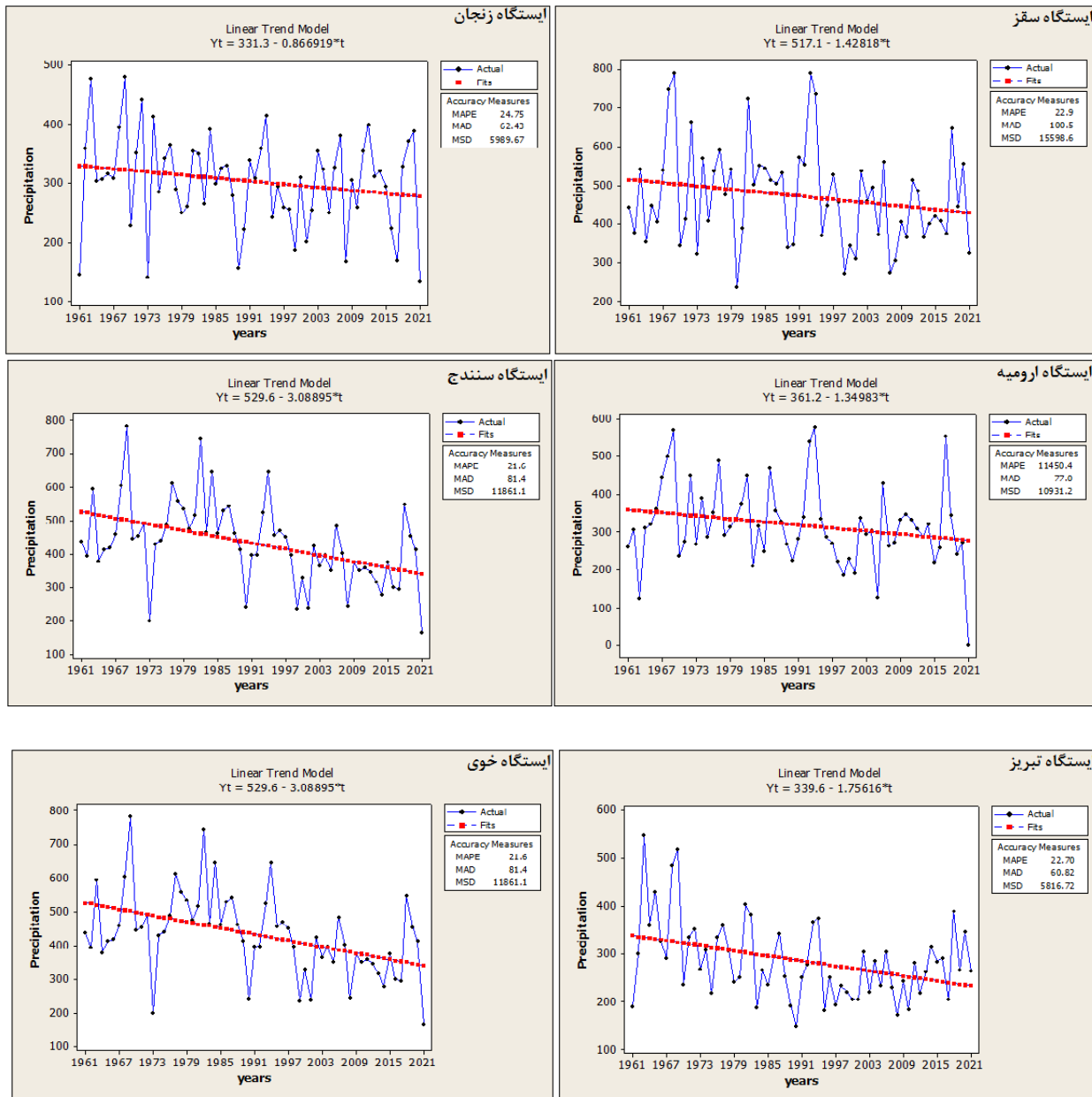


شکل ۲ نمودار خودهمبستگی قبل از تفاضل گیری ایستگاه‌های واقع در شمال غرب ایران



شکل ۳ نمودار خودهمبستگی بعد از تفاضل گیری مرتبه اول ایستگاه‌های واقع در شمال غرب ایران

شکل (۴) توزیع سری زمانی و تحلیل روند معادله خط رگرسیون بارش ایستگاه‌های همدید شمال غرب را برحسب میلی‌متر از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. بررسی مقادیر بارش ایستگاه‌ها بر اساس این روش نشان‌دهنده این است که در همه ایستگاه‌ها شیب خط، روند کاهشی دارد. در این روش، کاهش بارش در ایستگاه‌ها بین ۱ تا ۳ میلی‌متر در سال برآورد شده است. به عبارت دیگر به ازای هر سال، بارش ایستگاه‌ها بین ۱ تا ۳ میلی‌متر کاهش می‌یابد.



شکل ۴ روند تغییرات بارش ایستگاه‌های واقع در شمال غرب ایران

جدول (۲) مقایسه برآزش مدل‌های سری زمانی برای داده‌های ایستگاه‌های همدید سقز، زنجان، ارومیه، سنندج، تبریز و خوی در طول دوره آماری ۶۰ ساله (۱۹۶۱-۲۰۲۱) را نشان می‌دهد. مطابق این جدول از بین مدل‌های میانگین متحرک (MA)، اتورگرسیون (AR)، مدل میانگین متحرک خودهمبسته (ARMA) و مدل میانگین متحرک تجمعی خودهمبسته (ARIMA) برحسب مقدار قدر مطلق آماره T بیش‌تر از مقدار ۲،

P- value کمتر از ۰/۰۵ و کمترین مقدار معیار AIC، مدل (۰، ۰، ۱) AR برای ایستگاه‌های سقز، زنجان، ارومیه، خوی و تبریز و مدل (۱، ۰، ۱) ARIMA برای ایستگاه سنندج به‌عنوان بهترین مدل تعیین شدند.

جدول ۲ برازش مدل‌های تصادفی برای سری‌های ایستا شده میانگین سالانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه

مدل	معیار ارزیابی	سقز	زنجان	ارومیه	سنندج	خوی	تبریز
ARIMA (۱، ۰، ۱)	P- value	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	آماره T	۲۵/۱۲	۳۶/۹۷	۱۷/۴۶	۱۳/۷۶	۱۴/۵۶	۷/۶۷
	معیار AIC	۲۶۱/۶۳	۲۳۶/۴۴	۲۵۱/۷۵	۲۵۴/۷۵	۲۳۶/۲۴	۲۳۵/۵۲
ARMA (۳، ۱، ۰)	P- value	۰/۹۹۸	۰/۹۴۲	۰/۷۹۱	۰/۷۷۰	۰/۹۵۷	۰/۹۶۲
	آماره T	۰/۰۰	-۰/۰۷	-۰/۲۷	-۰/۲۹	۰/۰۵	-۰/۰۵
	معیار AIC	۲۷۰/۲۸	۲۴۳/۳۵	۲۵۹/۴۰	۲۶۰/۲۴	۲۴۱/۶۱	۲۳۹/۷۹
AR (۱، ۰، ۰)	P- value	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	آماره T	۲۴/۷۳	۳۱/۵۷	۱۷/۷۹	۱۷/۵۶	۲۳/۲۹	۱۹/۶۴
	معیار AIC	۲۶۰/۲۰	۲۳۵/۲۲	۲۵۰/۳۰	۲۵۴/۰	۲۳۳/۳۲	۲۳۵/۲۰
MA (۰، ۱، ۱)	P- value	۰/۳۰۰	۰/۴۳۵	۰/۱۲۹	۰/۰۰۰	۰/۰۸۹	۰/۱۵۲
	آماره T	-۱/۰۵	-۰/۷۹	-۱/۴۵	-۳/۷۸	-۱/۷۳	-۱/۴۵
	معیار AIC	۲۶۰/۸۲	۲۳۳/۰۴	۲۵۰/۰۷	۲۵۳/۲۴	۲۳۳/۱۵	۲۳۲/۶۲

جدول (۳) پیش‌بینی بارش برای سه سال آتی (۲۰۲۳، ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵) را برحسب مدل انتخابی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در شمال غرب را نشان می‌دهد مطابق این جدول بارش برای سه سال آینده در ایستگاه سنندج نسبت به دوره پایه کاهش داشته و در مابقی ایستگاه‌ها در سال ۲۰۲۳ افزایش و در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۳ پیش‌بینی روند بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی با مدل‌های انتخاب شده

ایستگاه	تبریز	خوی	سنندج	ارومیه	زنجان	سقز
سال ۲۰۲۳	۲۷۸/۳۰	۲۷۲/۲۲	۳۳۸/۴۳	۲۴۳/۵	۳۱۵/۴۰	۴۵۱/۸۸
سال ۲۰۲۴	۲۸۲/۵۹	۲۸۷/۸۵	۳۶۶/۱۴	۳۰۰/۰۱	۳۰۴/۱۱	۴۶۹/۴۹
سال ۲۰۲۵	۲۸۳/۸۴	۲۹۰/۶۴	۳۸۵/۳۹	۳۱۳/۳۶	۳۰۴/۸۲	۴۷۱/۹۵

نتیجه گیری

تغییر زمانی و مکانی بارش برحسب نوع اقلیم هر منطقه و به ویژه در مناطق دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بیشتر است. منطقه شمال غرب ایران علاوه بر نیمه خشک بودن، به دلیل کوهستانی بودن شاهد تغییرات زمانی و مکانی زیادی از نظر بارش است. در این پژوهش برای بررسی و پیش بینی تغییرات بارش سالانه ایستگاه های منتخب شمال غرب ایران شامل: تبریز، ارومیه، سقز، زنجان، سنندج و خوی طی دوره آماری ۶۱ ساله (۱۹۶۱-۲۰۲۱) از مدل های سری زمانی استفاده گردید. به منظور ارزیابی ایستایی مدل از تابع خودهمبستگی استفاده شد و متعاقب تبدیل داده های نایستا به داده های ایستا با به کارگیری روش تفاضل گیری، مدل های تصادفی برای تعیین بهترین مدل برای برازش بارش ایستگاه ها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

توزیع سری زمانی و تحلیل روند معادله خط رگرسیون بارش ایستگاه های همدید شمال غرب برحسب میلی متر از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۲۱ نشان دهنده این است که شیب خط در همه ایستگاه ها، روند کاهشی دارد و کاهش بارش در ایستگاه ها بین ۱ تا ۳ میلی متر در سال برآورد شده است. کاهشی بودن روند بارش با نتایج پژوهش بارانی و کرمی (۱۳۹۸)، ایمانی امیرآباد و همکاران (۱۳۹۹)، تیموری یگانه و تیموری یگانه (۱۳۹۹) همسویی دارد.

همچنین نتایج برازش مدل ها نشان داد از بین مدل های میانگین متحرک (MA)، اتورگرسیون (AR)، مدل میانگین متحرک خودهمبسته (ARMA) و مدل میانگین متحرک تجمعی خودهمبسته (ARIMA) برحسب مقدار قدر مطلق آماره T بیش تر از مقدار ۲، P-value کمتر از ۰/۰۵ و کمترین مقدار معیار اطلاعات آکائیکی (AIC)، مدل (۰، ۰، ۱) AR برای ایستگاه های سقز، زنجان، ارومیه، خوی و تبریز و مدل (۱، ۰، ۱) ARIMA برای ایستگاه سنندج به عنوان بهترین مدل تعیین شدند. این یافته با نتایج پژوهش صلاحی و ملکی مرشت (۱۳۹۴)، سلطانی گردفرامرزی و همکاران (۱۳۹۶) و تیموری یگانه (۱۳۹۹) همخوانی دارد که به ترتیب در خصوص بررسی بارش ماهانه شهرستان اردبیل، استان آذربایجان غربی و استان کرمانشاه، مدل ARIMA را با داشتن کمترین ضریب خطا به عنوان مناسب ترین مدل شناسایی نمودند.

منابع

- امینی‌نیا، کریم و ثاقبیان، سید مهدی (۱۰۴۱). بررسی پارامترهای تأثیرگذار در مدل‌سازی بارش ماهانه با استفاده از مدل‌های تلفیقی هوشمند مبتنی بر شبیه‌سازی سری زمانی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، سال ۱۶، شماره ۴، ص ۷۸۹-۸۰۳.
- ایمانی امیرآباد، سمیه؛ فرخ نیا، اشکان؛ مرید، سعید و روزبهانی، رضا (۱۳۹۹). بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی دما و بارش در حوضه آبریز طشک-بختگان. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، سال ۵۲، شماره ۱۱، ص ۲۹۳۱-۲۹۴۴.
- ایمانی، رسول؛ قضاوی، رضا و اسماعیلی آوری، اباذر (۱۴۰۰). بررسی روند، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از مدل‌های تصادفی سری زمانی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک اردبیل). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۱۱، شماره ۴۴، ص ۸۴-۹۸.
- بارانی، نادر و آیت اله، کرمی (۱۳۹۸). تحلیل روند سالانه پارامترهای اقلیمی دما و بارش در نواحی دهگانه زراعی - اکولوژیکی ایران. فصلنامه علوم محیطی، سال ۱۷، شماره ۴، ص ۷۵-۹۰.
- بزرگ‌نیا، ابوالقاسم و خرمی، مصطفی. (۱۳۸۶). تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با نرم‌افزار MINITAB14. مشهد: انتشارات سخن گستر مشهد.
- تیموری یگانه، مریم و تیموری یگانه، لیلا (۱۳۹۹). کاربرد مدل سری زمانی برای تخمین میزان بارش ماهانه در استان کرمانشاه. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ۱۱، شماره ۴۴، ص ۱۲۱-۱۳۲.
- جندقی، نادر؛ عظیم محسنی، مجید و قره محمودلو، مجتبی (۱۴۰۰). مدل‌سازی فرآیند بارش - رواناب با استفاده از تابع انتقال سری زمانی. مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال ۱۱، شماره ۴۲، ص ۱۱۱-۱۲۸.
- حسنوند، زیبا؛ یاراحمدی، داریوش و میرهاشمی، حمید (۱۴۰۱). تحلیل روند تغییرات سری زمانی بیشینه بارش روزانه و سالانه حوضه آبریز کرخه و دز. مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ۱۱، شماره ۳۲، ص ۱۴۹-۱۶۹.
- رسولی، علی‌اکبر و جوان، خدیجه (۱۳۹۱). تحلیل روند وقوع توفان‌های رعد و برقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری. مجله فضای جغرافیایی، سال ۱۲، شماره ۳۸، ص ۱۱۱-۱۲۶.
- سلطانی گردفرامری، سمیه؛ صابری، عارف و قیصوری، مرتضی (۱۳۹۶). تعیین بهترین مدل سری زمانی در پیش-بینی بارندگی سالانه ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان غربی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۷، شماره ۴۴، ص ۸۷-۱۰۵.

صلاحی، برومند و ملکی مرشت، رقیه (۱۳۹۴). پیش‌بینی و تحلیل تغییرات بارش‌های ماهانه شهرستان اردبیل با استفاده از مدل‌های آریمما، اتورگرسیو و ویتترز. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، سال ۲۹، شماره ۵، ص ۱۳۹۱-۱۴۰۵.

عبدالله‌نژاد، کامل (۱۳۹۴). مدل‌های تصادفی سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی ماهانه. مطالعه موردی: ایستگاه هاشم‌آباد گرگان. مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه گلستان، سال ۵، شماره ۱۷، ص ۱۵-۲۵.

علوی پناه، سید کاظم (۱۳۹۴). کتاب اصول سنجش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی (چاپ چهارم). تهران: نشر دانشگاه تهران.

غفورپان، هادی، ثنائی نژاد، سید حسین و جباری نوقایی، مهدی (۱۳۹۹). ارزیابی مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی بارش فصلی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک). نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ۱۱، شماره ۴۲، ص ۷۷-۹۴.

گودرزی، لیلا و روزبهرانی، عباس (۱۳۹۴). بررسی کارایی مدل‌های سری زمانی آریمما و هالت ویتترز در پیش‌بینی دما و بارش ماهانه (مطالعه موردی: ایستگاه لتیان). نشریه علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۰، شماره ۳، ص ۱۳۷-۱۴۹.

مزیدی، احمد و طوفانی، هاجر (۱۴۰۰). بررسی روند تغییرات دما و بارش ایستگاه همدید ارومیه به روش آماری من‌کنندال، مجله جغرافیا و روابط انسانی. سال ۴، شماره ۲، ص ۳۵۷-۳۷۰.

معصوم پور سماکوش، جعفر؛ جلیلیان، عبدالله و یاری، احترام (۱۳۹۶). تحلیل سری زمانی بارش‌های فصلی ایران. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۹، شماره ۳، ص ۴۵۷-۴۷۵.

Caloiero, T., Coscarelli, R., Ferrari, E. (2020). Assessment of seasonal and annual rainfall trends in Calabria (Southern Italy) with the ITA method. *Journal of Hydroinformatics*, 22(4), p 738-748. <https://doi.org/10.2166/hydro.2019.138>.

Chang, X., Gao, M., Wang, Y.X., Hou X., (2012). Seasonal autoregressive integrated moving average model for precipitation time series. *Journal of Mathematics and Statistics*, 8 (4), p 500-505.

Kibunja, H. W., Kihoro, J. M., Orwa, G. O., Yodah, W. O., (2014). Forecasting Precipitation Using SARIMA Model: A Case Study of Mt. Kenya Region. *Mathematical Theory and Modeling*, 4(11), pp 50-58.

Kumar, S., Tripathy, D., Nayak, S., Mohaparta, S., (2013). Prediction of rainfall in India using artificial neural network models. *International Journal of intelligent system and applications*, 12, pp 1-22.

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), pp 1-5.

Sampson, W., Suleman, N., Gifty, A. Y. (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), pp 80-85.

Wang, H. R., Wang, C., Lin, X. and Kang, J., (2014). An improved ARIMA model for precipitation simulations. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 21, pp 1159-1168.