



جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۳، دوره ۶، شماره ۴، صص ۷۳۱-۷۱۵

پیش‌بینی و بررسی روند تغییرات بارندگی و اثرات آن بر خشکسالی هواشناسی در جنوب حوضه رود ارس

فاطمه وطن‌پرست قلعه جوق^۱، برومندصلاحی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران.

۲- استاد آب و هواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران

(Email: bromand416@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

چکیده

خشکسالی پدیده‌ای بهنجار و قابل تکرار است که در اثر کاهش مقدار بارندگی در یک دوره زمانی مشخص به وجود می‌آید. در پژوهش حاضر به بررسی روند تغییرات بارش و پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی ۶ ایستگاه واقع در حوضه آبریز ارس پرداخته شده است. جهت ارزیابی وضعیت شدت خشکسالی داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌ها در دوره آماری (۲۰۲۱-۱۹۸۷) با استفاده از شاخص استاندارد بارندگی (SPI) بررسی شد و با استفاده از مدل‌های سری زمانی بارش $AR, MA, ARMA$ و $ARIMA$ شبیه‌سازی و بر اساس معیار اطلاعاتی (AIC) بهترین مدل برای پیش‌بینی انتخاب شد. برای ایستگاه‌های اردبیل، خوی و اهر مدل $ARIMA(0,0,1)$ و برای ایستگاه‌های پارس‌آباد، ماکو و جلفا مدل $(0,0,0)$ $AR(1)$ به‌عنوان مدل‌های دارای بهترین نتیجه انتخاب شدند. نتایج پیش‌بینی برای ۵ سال آینده نشان‌دهنده افزایش بارش است که بر اساس آمار بارندگی موجود در سال‌های مربوطه، نتایج مدل‌های برازش یافته را قابل قبول می‌کند. نتایج بررسی روند شاخص (SPI) نیز نشان داد هر ۶ ایستگاه در وضعیت نزدیک به نرمال قرار دارند و بیشترین شدت خشکسالی شدید مربوط به ایستگاه خوی با ۱۴ درصد است. ایستگاه ماکو نیز با ۶ درصد فراوانی شرایط مرطوب متوسط را در طول دوره مورد مطالعه مشاهده کرده است. همچنین نتایج تغییرات بارش با استفاده از آزمون شیب سن گویای روند افزایش معنی‌دار بارش در ایستگاه ماکو و افزایش بدون روند در ایستگاه‌های پارس‌آباد، خوی و جلفا و کاهش بدون روند در ایستگاه‌های اردبیل و اهر است.

کلید واژه: خشکسالی، حوضه رود ارس، تغییرات بارش، سری‌های زمانی.

مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است که در اثر کاهش مقدار بارندگی در یک دوره زمانی معلوم به وجود می‌آید (شارما و اسماختین، ۲۰۰۴). خشکسالی به آهستگی شروع شده و رفته رفته تأثیر آن در منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، اقتصاد و ... پدیدار می‌شود (میشرا و سینق، ۲۰۱۰). انتخاب شناسه‌های خشکسالی یا ترسالی در یک ناحیه، یکی از ضرورت‌های اصلی طرح‌ریزی محیطی، اقتصادی به‌ویژه طرح‌ریزی برای مدیریت منابع آب است. در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های طولانی‌مدت لازم هست که دورنمایی از موقعیت آینده بارندگی و دوره‌های تر و خشک برای منطقه ترسیم شود (بایزیدی و همکاران، ۱۳۹۵). نمایه بارش استاندارد شده (SPI) یکی از شاخص‌های محاسبه دوره‌های خشکسالی است که در آن مقیاس زمانی مد نظر قرار می‌گیرد (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳). این شاخص یکی از پرستفاده‌ترین شاخص‌ها برای تحلیل شدت، مدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی می‌باشد (هایز و همکاران، ۲۰۱۱). پایش دوره‌های خشک بر پایه این مدل توسط پژوهشگران در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است.

مرسا و همکاران (۲۰۱۶) خشکسالی در آینده را با استفاده از شاخص SPI در لهستان بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بر طبق این شاخص در آینده اقلیم مرطوب‌تری در لهستان روی خواهد داد. فیلیپ و همکاران (۲۰۱۷) اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی را در حوضه ولتا غرب آفریقا بررسی کردند. نتایج نشان داد بزرگی خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI بیشتر از شاخص SPI است. وانگ و همکاران (۲۰۱۹) شرایط خشکسالی شرق چین در آینده را با استفاده از شاخص SPI و SPEI بررسی کردند. لین و همکاران (۲۰۲۰) جهت ارزیابی وضعیت خشکسالی در حوضه رودخانه هوآی از شاخص SPI استفاده کردند و این شاخص افزایش رطوبت را نشان داد.

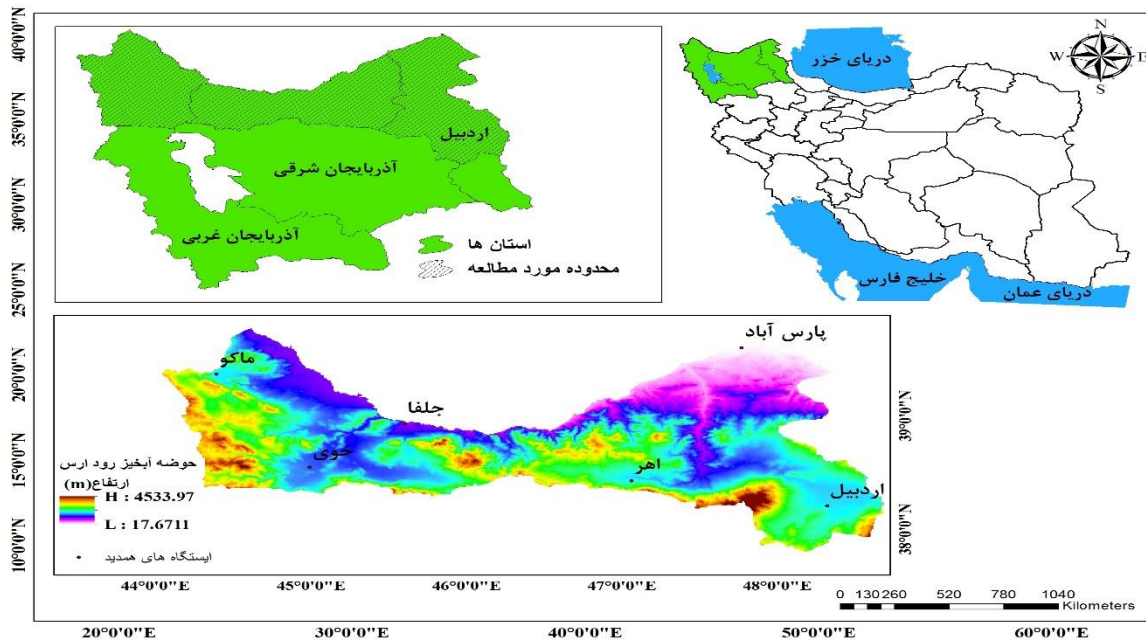
در مناطق مختلف آب و هوایی ایران نیز تحقیقاتی در زمینه تعیین دوره خشک و توزیع مکانی آن‌ها توسط (شمس‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸؛ شکری کوچک و بهنیا، ۱۳۹۲؛ سبحانی و گلدوست، ۱۳۹۴؛ ترابی پوده و دهقانی، ۱۳۹۸؛ حجازی زاده و همکاران، ۱۴۰۰) صورت گرفته است. فریدپور و همکاران (۱۳۹۸) بر اساس پایداری درازمدت بارش و دما در حوضه دره رود اردبیل به محاسبه خشکسالی در طی دوره آماری (۲۰۱۴ - ۱۹۸۵) پرداخته‌اند و از شاخص خشکسالی SPI و RDI بهره گرفته‌اند. نتایج پژوهش نشان داد این دو شاخص شبیه به هم عمل کرده و شدیدترین خشکسالی مشاهده شده مربوط به ایستگاه اردبیل در سال آبی ۲۰۱۱-۲۰۱۰ در بازه سه ماهه است. صفریان زنگیر و همکاران (۱۳۹۹) شاخص‌های خشکسالی SPI و CZI در استان اردبیل را در دوره آماری (۲۰۱۶ - ۱۹۹۶) مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که خشکسالی‌های خیلی شدید در مقیاس ۱۲ ماهه کمتر از مقیاس ۶ ماهه رخ داده است. جوان (۱۴۰۰) تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی ایستگاه ارومیه در دوره پایه (۲۰۰۵ - ۱۹۸۶) و آینده (۲۰۷۰ - ۲۰۳۱) را با مدل گزارش پنجم CanESM2 و شاخص SPI بررسی کردند. نتایج نشان داد مقادیر SPI در دوره طولانی‌مدت شدت خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد.

با توجه به اهمیت پدیده خشکسالی و احتمالی بودن آن، در سال‌های اخیر روش‌های مدل‌سازی، توسط پژوهشگران در ایران و سایر نقاط جهان مورد استفاده قرار گرفته است. آنچه ضرورت دارد استفاده از روش‌هایی است که با بررسی داده‌ها

و حقیقت آن‌ها، وضعیت خشکسالی را با اطمینان و دقت بیشتری مدل‌سازی و پیش‌بینی نمایند. تحلیل مدل‌های سری زمانی در منابع زیادی جهت پیش‌بینی کوتاه‌مدت به کار گرفته شده است: دوردو (۲۰۱۰) مدل‌های ارتورگرسیو - میانگین متحرک تلفیق شده با مدل SARIMA را با مدل‌سازی سری زمانی شاخص SPI در حوضه رودخانه بویوک مندرس ترکیه استفاده کرده‌اند. لوگان و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات بارندگی حوضه رودخانه کانزاس را از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۶ در ارتباط با خشکسالی مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشانگر افزایش روند مرطوب بوده و تنها در غرب و شرق منطقه روند خشکی رو به افزایش است. افریفا و همکاران (۲۰۱۶) به مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش ماهانه دوره آماری (۲۰۰۹ - ۱۹۷۵) در منطقه غنا پرداختند و مدل (۰،۰،۰) (۱،۱،۱) SARIMA را به عنوان مدلی مناسب جهت پیش‌بینی بارش ماهانه انتخاب کردند. ناراسیما و همکاران (۲۰۱۷) به مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش در شمال شرق هندوستان با استفاده از مدل سری زمانی SARIMA پرداخته‌اند و مدل (۱،۰،۱) (۱،۱،۰) SARIMA به عنوان مناسب‌ترین مدل جهت پیش‌بینی انتخاب شد. سین فو و سین لی (۲۰۱۹) بر اساس شاخص خشکسالی SPI و مدل ARIMA به پیش‌بینی بارش در جنوب تایوان در دوره آماری (۲۰۱۷ - ۲۰۰۷) پرداخته‌اند. نتایج نشان‌دهنده کارآمدی مدل ARIMA جهت پیش‌بینی می‌باشد. کریمی و همکاران (۲۰۱۹) در حوضه رودخانه کرخه به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل سری زمانی ARIMA پرداخته‌اند. نتایج کار آن‌ها نشان داد همبستگی خوبی بین داده‌های مشاهداتی با پیش‌بینی وجود دارد. جهان‌دیده و شیروانی (۱۳۹۰) به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و مدل‌های سری زمانی در دوره آماری ژانویه ۲۰۰۴ تا دسامبر ۲۰۰۵ در استان فارس پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان داد مدل (۱،۱،۲) * (۱،۰،۱) ARIMA مدلی مناسب جهت پیش‌بینی دوازده ماهه است. پژوهش حاضر سعی دارد که روند تغییرات بارندگی و اثرات آن بر خشکسالی هواشناسی در جنوب حوضه آبریز ارس را با استفاده از شاخص SPI و مدل‌های سری زمانی بررسی کند.

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز رود ارس بین مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۰۳ دقیقه تا ۴۸ و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. بلندترین و پست‌ترین نقطه آن به ترتیب قله سبلان با ۴۸۱۱ متر و محل خروجی رودخانه ارس واقع در مرز ایران و جمهوری آذربایجان با ارتفاع ۲۰ متر است. این حوضه در خاک ایران حدود ۳۹۴۷۸ کیلومتر مربع وسعت دارد است که حدود ۸۱/۵ درصد آن در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای قرار دارد و مابقی را جلگه‌ها شامل می‌شوند (مرکز مطالعات برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۱۳۷۲). شکل (۱) جایگاه جغرافیایی حوضه و پراکنش ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱ جایگاه جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور

مواد و روش

در این پژوهش از داده بارندگی مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی اردبیل، اهر، پارس‌آباد، خوی، جلفا و ماکو در دوره آماری (۲۰۲۱-۱۹۸۷) استفاده شده است. داده سالانه بارندگی در محیط نرم‌افزار SPSS از نظر نرمال بودن با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و از نظر تصادفی بودن با آزمون ران تست بررسی شد و مشخص شد مطابق با آزمون کلموگروف - اسمیرنوف، فرض صفر مبتنی بر نرمال بودن داده‌ها (رابطه ۱) تأیید می‌گردد (جدول ۱). نتایج آزمون ران - تست نیز نشان داد تمامی سری‌های مورد استفاده در این پژوهش همگن می‌باشد (جدول ۲).

رابطه (۱) $Sig > 0.05$ توزیع داده‌ها نرمال است: H_0

$Sig < 0.05$ توزیع داده‌ها نرمال نیست: H_1

جدول ۱- مقادیر آزمون کلموگروف - اسمیرنوف بارندگی در محدوده مورد مطالعه

ایستگاه	اردبیل	اهر	پارس‌آباد	خوی	جلفا	ماکو
سطح معنی داری $P < 0.05$	۰/۷۵۷	۰/۹۵۶	۰/۹۹۴	۰/۴۵	۰/۹۹۴	۰/۸۵۴

جدول ۲- مقادیر آزمون ران - تست بارندگی در محدوده مورد مطالعه

ایستگاه	اردبیل	اهر	پارس‌آباد	خوی	جلفا	ماکو
سطح معنی داری $P_{value} < 0.05$	۰/۹۹۶	۰/۹۹۶	۰/۳۰۵	۰/۷۳۵	۰/۳۰۵	۰/۷۶۳

جهت پایش خشکسالی با توجه به آمار بارندگی سالانه ایستگاه‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI) که تنها نمای ثابت بر پایه بارندگی است استفاده شد. این شاخص به محقق این امکان را می‌دهد تا فراوانی وقوع خشکسالی و ترسالی را برای هر گام زمانی مورد نظر مشخص نماید. همچنین این شاخص بی بعد بوده که به وسیله آن می‌توان خشکسالی‌ها و ترسالی‌های شدید در یک منطقه را شناسایی کرد و با برازش تابع چگالی احتمال، تحلیل فراوانی بر روی آن‌ها به کاربرد. در این پژوهش از نرم‌افزار 'DIC' جهت محاسبه شاخص SPI استفاده شده است. برای محاسبه این شاخص از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$SPI = \frac{(P_o + \sum(p_{-i}) - \mu_n)}{\delta_k} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن P_o مقدار بارش نرمال شده ماه فعلی، p_{-i} مقدار بارش نرمال شده ماه قبلی، μ_n میانگین تعداد بارش تجمعی n ماه و δ_k انحراف معیار بارش در دوره زمانی مورد نظر است (تیموری یگانه و همکاران، ۱۴۰۰). در جدول (۱) طبقات خشکسالی SPI قابل مشاهده است.

جدول ۳ - مقیاس طبقه‌بندی مقادیر SPI

طبقه	مقادیر SPI
شدیداً مرطوب	۲ و بیشتر
خیلی مرطوب	۱/۹۹ تا ۱/۵۹
مرطوب متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک به نرمال	۰/۹۹ تا ۰/۹۹
خشکسالی ملایم	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی خیلی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵۹

مدل‌های سری زمانی

تحلیل سری‌های زمانی به عنوان بخشی از روش‌های آماری و احتمالاتی برای پیش‌بینی و کنترل داده‌ها به کار برده می‌شوند. از ویژگی‌های سری‌های زمانی وجود توالی‌های منظم، روندهای گوناگون و افت و خیرهای تصادفی می‌باشد (حلمی و همکاران، ۱۳۹۹). از میان مدل‌های گوناگونی که در سری‌های زمانی وجود دارد، مدل خودهمبستگی (AR)، مدل میانگین

متحرک (MA)^۱ مدل میانگین متحرک خود همبسته (ARMA)^۲ و مدل میانگین متحرک تجمعی خود همبسته (ARIMA) به دلیل کاربرد بیشتر استفاده گردید.

معیار ارزیابی مدل‌ها

برای مقایسه مدل‌ها با مرتبه‌های مختلف از معیار اطلاعاتی آکائیکی استفاده گردید که بر مبنای باقیمانده‌های مدل برازش داده شده و روش‌های قیاس مدل‌های مختلف می‌باشد. این روش بر این اصل استوار است که در بین مدل‌های مناسب، مدلی با توجه به معیارهای موردنظر، بهترین مدل است که دارای کمترین مقدار AIC باشد. با استفاده از رابطه (۳) سنجش می‌شود (بزرگ نیا و خرمی، ۱۳۸۶).

$$AIC = n \log(MS) + 2(p + q) \quad \text{رابطه (۳)}$$

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

تعیین روند با آزمون تخمین‌گر شیب سن

این آزمون توسط Sen (۱۹۶۸) به منظور گزینش بزرگی روند در سری زمانی ارائه شده است. بنیان این آزمون محاسبه یک شیب میانه برای سری و داوری نمودن در مورد حقیقی بودن این شیب در سطوح معنی‌داری گوناگون است. این آزمون در تحلیل سری زمانی که در آن‌ها فراوانی داده‌های تکراری زیاد است کاربرد بهتری دارد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷).

مرحله اول سنجش شیب بین هر جفت داده سری زمانی با رابطه (۴) می‌باشد:

$$O = \frac{X_j - X_i}{j - i} \quad \text{رابطه (۴)} \quad \text{For } 1, \dots, N'$$

که در اینجا N' برابر با تعداد جفت داده‌ها بوده است.

مرحله دوم گزینش فاصله اطمینان جهت آزمودن درستی شیب روند به دست آمده است و این آزمون از نوع دو جانبه بوده و پس از انتخاب a پارامتر C_a با کمک رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$C = Z * \sqrt{\text{Var}(s)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

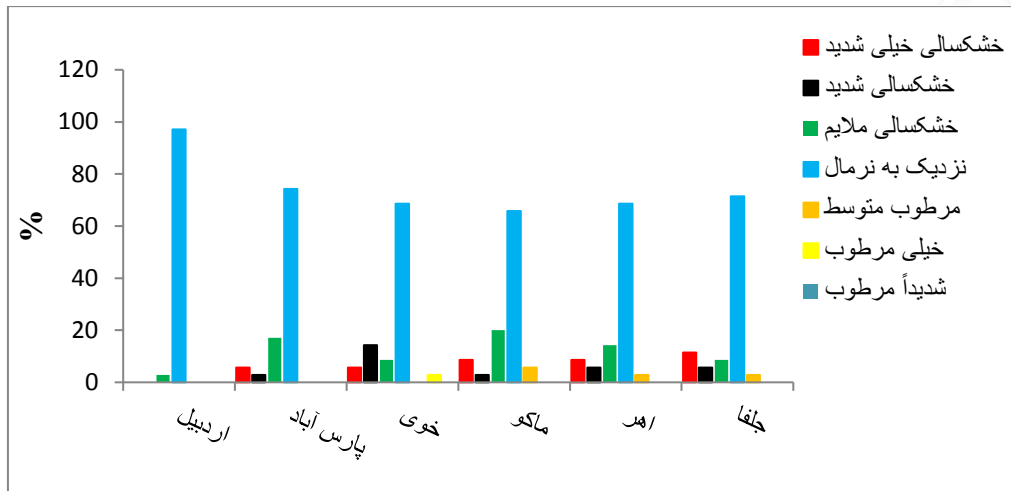
¹ - Moving Average

² - Auto Regressive Moving Average

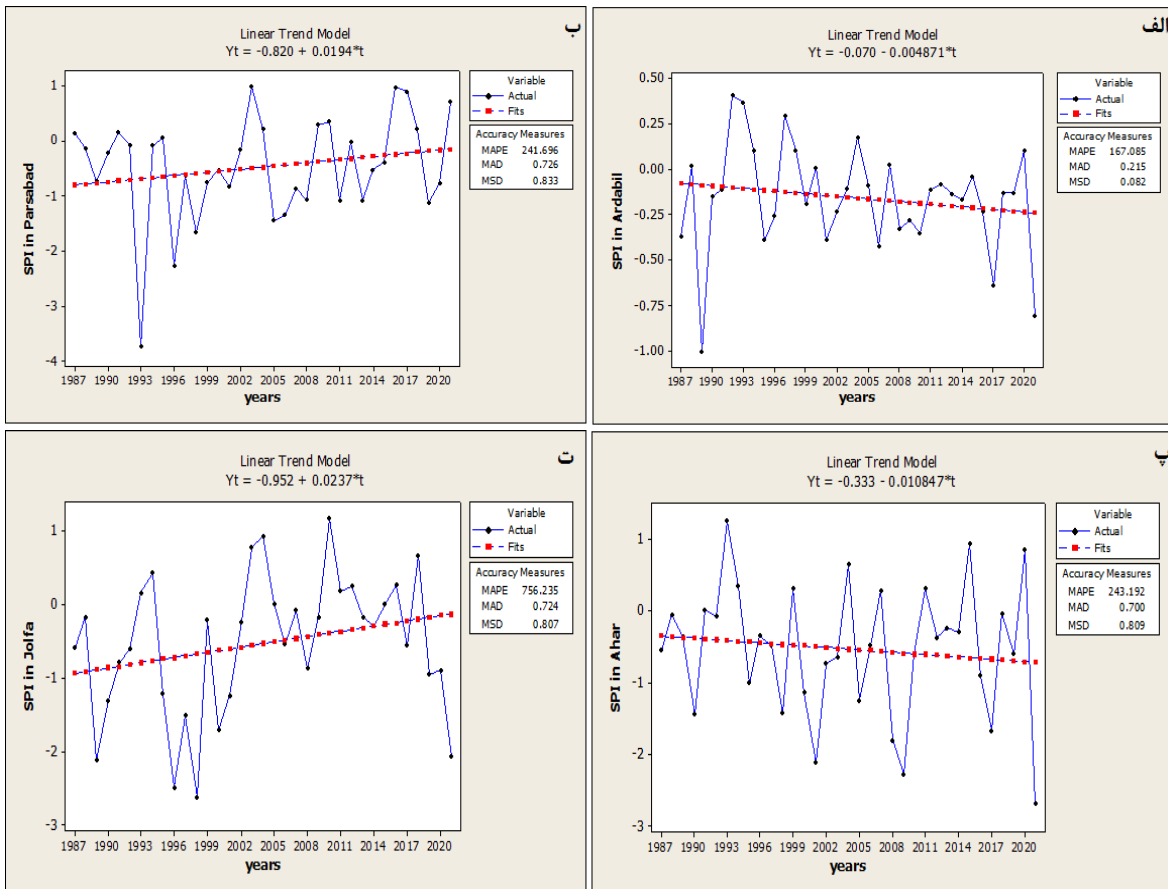
که در آن $Var(s)$ واریانس محاسبه شده در آزمون من - کندال بوده و آماره Z نیز از جدول توزیع نرمال استاندارد به دست می‌آید. سپس $M_1 = \frac{N' - C_a}{M_2 + 1}$ و $M_1 = \frac{N' - C_a}{2}$ تعیین می‌شود. از بین سری شیب‌های محاسبه شده در مرحله اول، M_1 امین و $(M_2 + 1)^2$ امین داده‌ها به عنوان حدود بالا و پایین فاصله اطمینان مشخص می‌شود (گیلبرت، ۱۹۸۷).

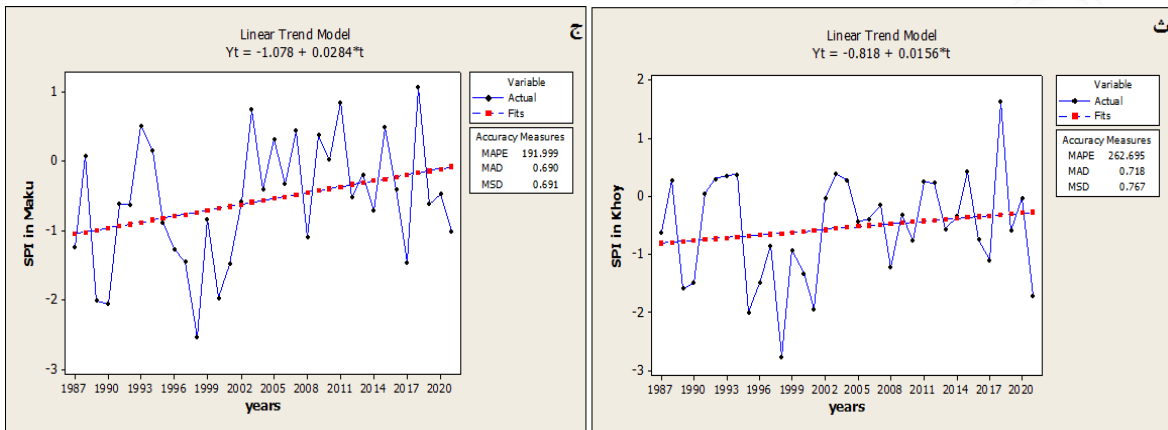
یافته‌های پژوهش

مقیاس‌های زمانی مختلف می‌تواند روند ترسالی و خشکسالی را در هر دوره نشان دهد. در این پژوهش از آمار بارش ۶ ایستگاه واقع در حوضه آبریز ارس استفاده شد و وضعیت خشکسالی و ترسالی در این ایستگاه‌ها در یک دوره ۱۲ ماهه (سالانه) بررسی شد. شکل (۲) درصد فراوانی وقوع شدت ترسالی و خشکسالی ایستگاه‌ها را در طول دوره مورد مطالعه برحسب شاخص SPI نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۳- الف)، می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه اردبیل وضعیت خشکسالی در هر سال در نوسان بوده و این روند در بازه ۳۵ ساله با توجه به طبقه‌بندی شاخص SPI در شرایط نزدیک به نرمال قرار دارد. همان‌طور که شکل (۲) نیز نشان می‌دهد وضعیت نزدیک به نرمال ۹۷ درصد از فراوانی وقوع را به خود اختصاص می‌دهد. شرایط خشکسالی ملایم با ۳ درصد رخداد در مرتبه بعد قرار دارد. در ایستگاه پارس‌آباد شرایط و وضعیت خشکسالی در نوسان بوده و ۷۴ درصد از فراوانی وقوع مربوط به وضعیت نرمال، ۱۷ درصد مربوط به خشکسالی ملایم و ۶ و ۳ درصد نیز به ترتیب مربوط به خشکسالی خیلی شدید و خشکسالی شدید است و روند تغییرات شاخص استاندارد بارندگی در طول ۳۵ سال (شکل ۳- ب) شرایط نزدیک به نرمال را برای این ایستگاه نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های اهر و جلفا به ترتیب ۶۸ و ۷۱ درصد از فراوانی وقوع مربوط به شرایط طبقه‌بندی نزدیک به نرمال، ۱۴ و ۸ درصد مربوط به شرایط خشکسالی ملایم، ۶ درصد خشکسالی شدید، ۸ و ۱۱ درصد مربوط به خشکسالی خیلی شدید و ۳ درصد مربوط به شرایط مرطوب متوسط است و روند تغییرات شاخص استاندارد بارندگی در شکل (۳- پ و ت) نشان‌دهنده وضعیت نزدیک به نرمال برحسب طبقه‌بندی شاخص SPI برای هر دو ایستگاه است. در ایستگاه خوی و ماکو نیز به ترتیب ۶۸ و ۶۶ درصد فراوانی مربوط به وضعیت نرمال، ۱۴ و ۳ درصد مربوط به خشکسالی شدید، ۸ و ۲۰ درصد خشکسالی ملایم و ۶ و ۸ درصد خشکسالی خیلی شدید بوده و در ایستگاه خوی ۳ درصد در وضعیت خیلی مرطوب و در ایستگاه ماکو ۸ درصد از فراوانی وقوع مربوط به وضعیت مرطوب متوسط بوده است. از روند تغییرات برحسب شاخص استاندارد بارندگی می‌توان نتیجه گرفت که مطابق با طبقه‌بندی شاخص SPI در بازه مورد مطالعه این دو ایستگاه در وضعیت نزدیک به نرمال قرار دارند (شکل ۳- ث و ج) لازم به ذکر است در طول دوره مورد مطالعه هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها شرایط خیلی مرطوبی را تجربه نکرده‌اند.

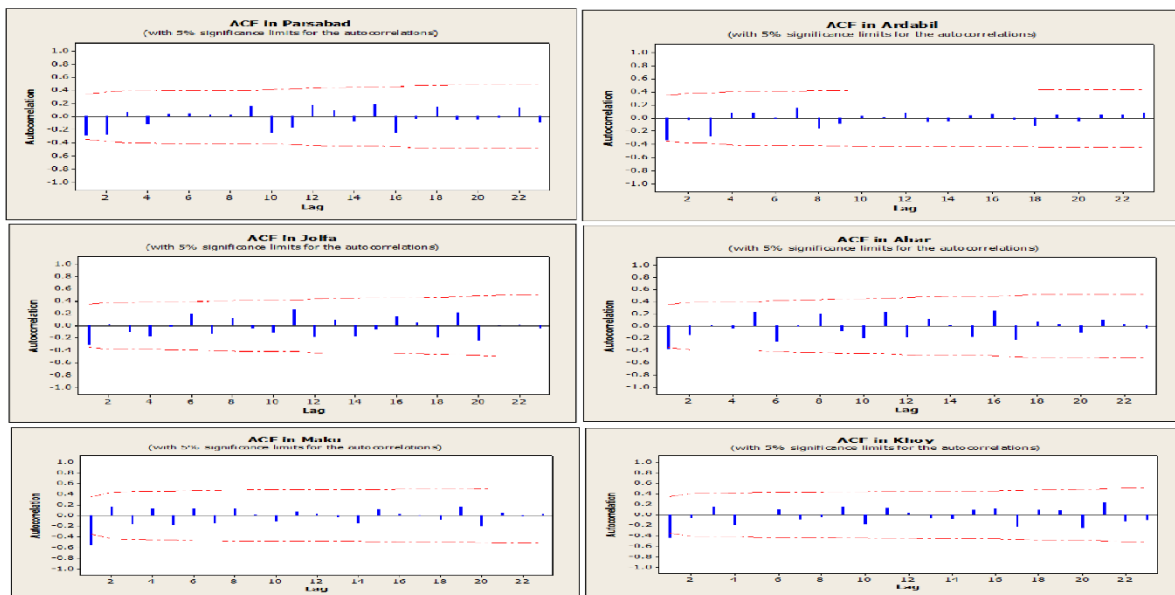


شکل ۲ - درصد فراوانی وقوع شدت ترسالی و خشکسالی ایستگاه‌ها برحسب شاخص SPI





شکل ۳ - روند تغییرات شاخص استاندارد بارندگی (SPI) ایستگاه‌های الف- اردبیل، ب- پارس آباد، پ- اهر، ت- جلغا، ث- خوی و ج- ماکو واقع در حوضه رود ارس



شکل ۴ - نمودار خودهمبستگی بعد از تفاضل گیری ایستگاه‌های واقع در حوضه رود ارس

برای تشخیص مدل مناسب، تفاضل گیری فصلی مرتبه یک ($D=1$) برای حذف حالت فصلی و ایستا کردن میانگین سری زمانی اعمال شد. سپس تابع خودهمبستگی برای سری تبدیل یافته ترسیم گردید که نشان می‌دهد نمودار خودهمبستگی پس از تفاضل گیری از حالت سینوسی خارج شده و فقط میل به تناوب دارد (شکل ۴).

مدل‌سازی سری زمانی

مدل‌سازی سری زمانی بارش طی دوره مورد مطالعه برای هر ایستگاه انجام شد. بهترین مدل بر اساس معیار ارزیابی مدل‌ها مطابق جدول (۴) انتخاب گردید و مشخص شد که مدل $ARIMA(0,0,1)$ برای ایستگاه اردبیل، خوی و اهر و مدل $AR(1,0,0)$ برای ایستگاه‌های پارس‌آباد، ماکو و جلغا با توجه به مقدار قدر مطلق آماره T بیش‌تر از مقدار P -

value کمتر از ۰/۰۵ و دارای کمترین مقدار AIC هستند که معنی داری را نشان می دهند و به عنوان مدل های دارای بهترین نتیجه انتخاب شدند.

جدول ۴- برازش مدل های تصادفی برای سری داده های بارش سالانه ایستگاه ها و انتخاب مدل بهینه

مدل	اردبیل	پارس آباد	خوی	ماکو	اهر	جلفا
(۱،۱،۱)	۰/۳۳۰	۰/۲۷۸	۰/۰۴۴	۰/۱۱۰	۰/۶۹۱	۰/۳۰۰
ARIMA	T	۱/۱۰	۲/۱۰	۱/۶۵	-۰/۴۰	۱/۰۵
	معیار aic	۱۲۹/۱۴	۱۳۳/۳۹	۱۳۰/۹۷	۱۳۷/۵۳	۱۲۷/۲۸
	P- value	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
(۱،۰،۱)	۲۳/۱۹	۲۱/۲۰	۲۰/۵۶	۱۴/۶۶	۱۰۷/۶۵	۱۱/۳۲
ARIMA	T	۱۲۸/۹۳	۱۳۱/۵۱	۱۳۱/۹۹	۱۳۷/۴۴	۱۲۸/۱۲
	معیار aic	۰/۸۸۳	۰/۹۳۳	۰/۸۵۷	۰/۹۸۲	۰/۸۵۴
	P- value	-۰/۱۵	۰/۰۸	-۰/۱۸	-۰/۰۲	-۰/۱۹
(۱،۱،۰)	۱۳۳/۵۸	۱۳۸/۸۹	۱۳۶/۲۴	۱۳۹/۲۵	۱۳۵/۴۵	۱۳۰/۳۶
ARIMA	T	۰/۶۹۲	۰/۵۶۲	۰/۸۰۱	۰/۰۶۵	۰/۸۳۳
	معیار aic	-۰/۲۹	-۰/۵۹	-۰/۲۵	۱/۹۲	-۰/۲۱
	P- value	۱۳۸/۱۵	۱۳۸/۱۰	۱۳۸/۵۱	۱۴۰/۲۴	۱۳۵/۳۲
(۱،۱،۲)	۰/۸۹۲	۰/۱۳۳	۰/۰۰۰	۰/۲۱۴	۰/۳۷۸	۰/۵۰۸
ARIMA	T	-۰/۱۴	۱/۵۴	-۳۱۰/۲	۱/۲۷	-۰/۹۰
	معیار aic	۱۲۹/۶۳	۱۳۲/۶۰	۱۳۱/۰۲	۱۳۹/۱۳	۱۳۰/۷۶
	P- value	۰/۰۰۰	۰/۵۲۸	۰/۳۷۲	۰/۱۰۸	۰/۰۲۰
(۱،۲،۱)	۰/۰۰۰	۰/۶۴	-۰/۹۱	-۱/۶۶	-۲/۴۶	-۰/۸۶
ARIMA	T	۱۳۴/۰۶	۱۴۱/۴۱	۱۳۶/۵۹	۱۳۹/۷۹	۱۳۶/۸۰
	معیار aic	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	P- value	۲۳/۶۶	۱۹/۹	۲۱/۴۳	۲۰/۰۶	۱۳/۱۷
(۱،۰،۰)	۱۲۷/۴۶	۱۳۱/۵۵	۱۳۰/۵۳	۱۳۶/۴۸	۱۲۷/۳۷	۱۲۷/۳۴
AR	T	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	معیار aic	۲۳/۳۸	۲۰/۲۰	۲۱/۱۵	۸۱/۱۸	۲۹/۹۰
	P- value	۱۲۷/۴۸	۱۳۱/۷۸	۱۳۰/۵۳	۱۳۶/۳۶	۱۲۷/۴۰
(۳،۰،۰)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
AR	T	۳۶/۰۴	۲۳/۴۳	۱۹/۷۸	۱۵/۳۷	۳۷/۴۳
	معیار aic	۱۲۸/۴۵	۱۳۴/۰۰	۱۳۳/۴۷	۱۳۸/۳۳	۱۲۹/۸۱
	P- value	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
(۰،۴،۰)	۲۸/۷۶	۲۵/۴۵	۲۴/۹۲	۱۴/۷۲	۳۷/۲۶	۱۴/۳۵
AR	T	۱۲۹/۱۸	۱۳۵/۳۶	۱۳۴/۱۳	۱۳۹/۸۲	۱۳۱/۳۰
	معیار aic	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	P- value	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
(۲،۰،۰)						

۱۱/۱۵	۳۴/۸۵	۱۴/۵۰	۲۰/۵۶	۲۴/۷۹	۲۴/۸۲	T	AR
۱۲۸/۱۲	۱۲۸/۴۴	۱۳۶/۹۴	۱۳۱/۹۹	۱۳۲/۵۴	۱۲۸/۸۶	معیار aic	
۰/۸۹	۰/۷۰۴	۰/۱۱۴	۰/۰۷۴	۰/۲۲۷	۰/۳۰۰	P- value	(۰, ۱, ۱)
-۰/۱۳	-۰/۳۸	۱/۶۲	۱/۵۸	۱/۲۳	-۱/۰۵	T	IMA
۱۲۹/۷۴	۱۲۸/۷۳	۱۳۶/۱۳	۱۲۹/۴۲	۱۳۲/۰۳	۱۲۷/۷۳	معیار aic	
۰/۸۶۵	۰/۹۲۰	۰/۸۳۴	۰/۹۴۲	۰/۹۵۴	۰/۹۷۷	P- value	(۳, ۱, ۰)
-۰/۱۷	-۰/۱۰	۰/۲۱	-۰/۰۷	۰/۰۶	-۰/۰۳	T	ARMA
۱۳۲/۷۷	۱۳۴/۶۳	۱۴۱/۶	۱۳۷/۵۷	۱۳۸/۴۴	۱۳۱/۱۶	معیار aic	
۰/۸۰۵	۰/۸۵۱	۰/۹۹۶	۰/۸۸۲	۰/۹۵۸	۰/۹۴۰	P- value	(۲, ۱, ۰)
-۰/۲۵	-۰/۱۹	۰/۰۰	-۰/۱۵	۰/۰۵	-۰/۰۸	T	ARMA
۱۳۱/۷۵	۱۳۴/۷۸	۱۴۰/۴۲	۱۳۶/۱۶	۱۳۰/۳۱	۱۳۴/۶۹	معیار aic	

در بررسی مناسب بودن مدل‌ها از آزمون پرت - مانتو نیز استفاده شد که در جدول (۵) پارامتر مربوط به این آزمون آورده شده است. با توجه به پارامترهای مربوطه مقدار P-value در تأخیرهای ۱۲ و ۲۴ ماهه بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین نتایج نشان‌دهنده خودهمبستگی باقیمانده‌ها است.

جدول ۵- نتایج آزمون پرت - مانتو در مدل‌های مناسب بر روی داده‌های سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

P-Value		آمار مربع کای			
گام تأخیر ۲۴ ماهه	گام تأخیر ۱۲ ماهه	گام تأخیر ۲۴ ماهه	گام تأخیر ۱۲ ماهه	ایستگاه	مدل
۰/۸۷	۰/۷۸	۱۴/۸	۶/۴	اردبیل	ARIMA (۰, ۰, ۱)
۰/۸۵	۰/۹۶	۱۵/۱	۳/۵	خوی	ARIMA (۰, ۰, ۱)
۰/۷۵	۰/۵۷	۷/۱	۸/۶	اهر	ARIMA (۰, ۰, ۱)
۰/۵۸	۰/۴۷	۹/۶	۲۰	پارس‌آباد	AR (۱, ۰, ۰)
۰/۹۲	۰/۸۸	۱۳/۱	۵/۱	ماکو	AR (۱, ۰, ۰)
۰/۶۴	۰/۸۰	۱۸/۹	۶/۱	جلفا	AR (۱, ۰, ۰)

پیش‌بینی با مدل‌های منتخب آریمای

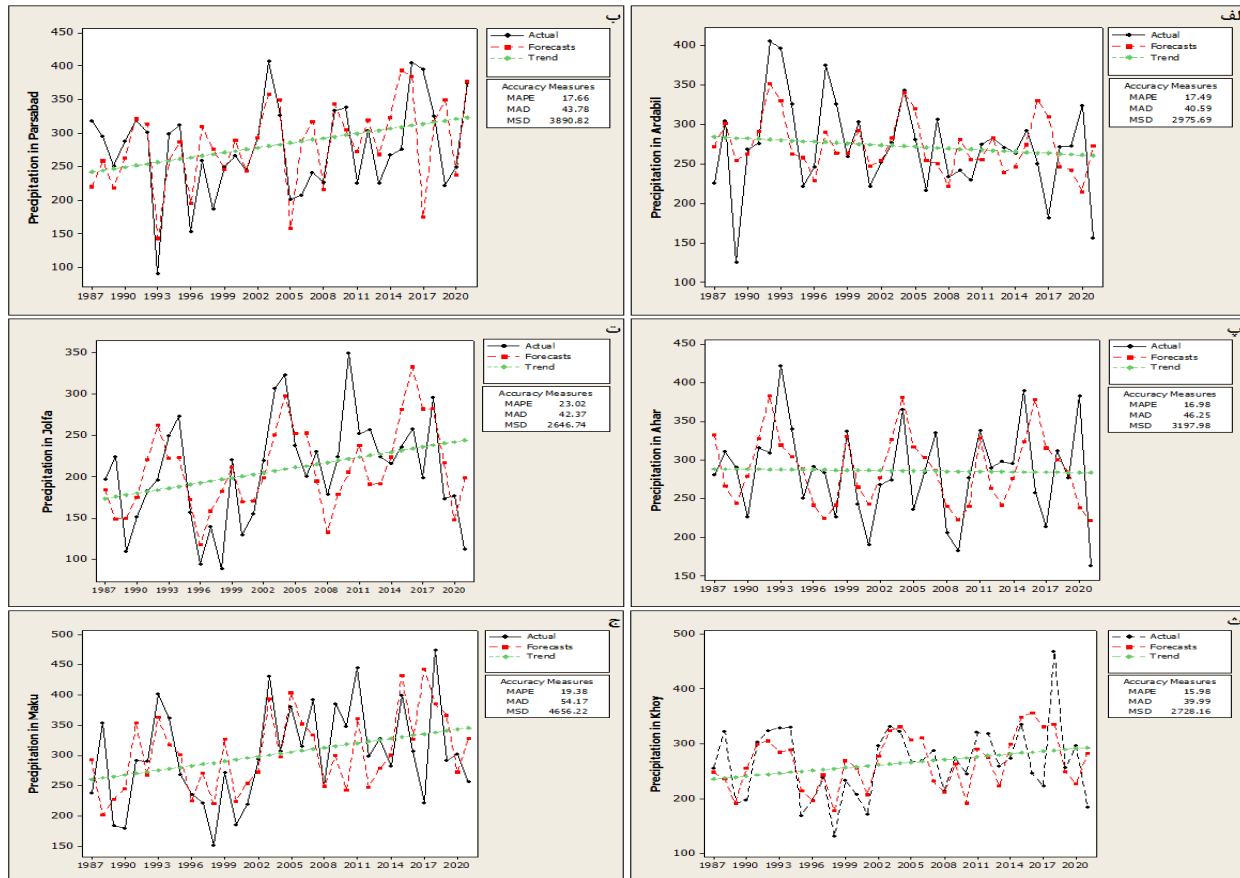
یکی از اهداف ساخت الگو برای یک سری زمانی این است که بتوان مقادیر سری را برای زمان‌های آینده نیز پیش‌بینی نمود. پس از مشخص نمودن مدل سری زمانی مناسب برای داده‌های مورد ارزیابی، می‌توان از آن برای پیش‌بینی رفتار آینده سری استفاده کرد. در این پژوهش با داشتن داده‌های بارش ۳۵ ساله ایستگاه‌های مورد پژوهش، مقادیر ۵ سال بعد از آن مورد پیش‌بینی قرار گرفت. جدول (۶) مقادیر بارش پیش‌بینی شده و شاخص SPI متناظر با آن را برای سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۶ نشان می‌دهد. بر اساس این جدول نتیجه می‌شود که در ایستگاه‌های ماکو، جلفا و پارس‌آباد در سال ۲۰۲۳ شرایط

مرطوب متوسط پیش‌بینی می‌شود و خشکسالی ملایم نیز مربوط به سال ۲۰۲۴ در ایستگاه اردبیل است و در بقیه این ۵ سال مورد بررسی ایستگاه‌ها در یک وضعیت نزدیک به نرمال قرار می‌گیرند.

جدول ۶- پیش‌بینی روند خشکسالی بر اساس شاخص ۱۲-SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه با مدل‌های منتخب ARIMA

ایستگاه	سال	بارش سالانه (mm)	شاخص ۱۲ ماهه SPI	طبقه
اردبیل	۲۰۲۲	۲۵۵/۳۰	-۰/۱۸۷۹	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۳	۲۷۰/۸۴	-۰/۴۵۸۳	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۴	۲۲۰/۸۹	-۱/۴۴۵۹	خشکی ملایم
	۲۰۲۵	۲۱۰/۲۵	-۰/۸۴۰۰	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۶	۲۷۹/۴۵	-۰/۵۳۹۹	نزدیک به نرمال
پارس‌آباد	۲۰۲۲	۳۰۳/۳۲	-۰/۱۹۲۱	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۳	۳۱۰/۸۲	۱/۴۰۴۰	مرطوب متوسط
	۲۰۲۴	۲۷۰/۵۵	-۰/۲۰۹۸	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۵	۲۶۸/۳۲	-۰/۱۷۴۵	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۶	۲۸۲/۲۵	-۰/۰۱۲۱	نزدیک به نرمال
اهر	۲۰۲۲	۲۹۵/۹۱	-۰/۳۳۳۱	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۳	۲۸۵/۰۴	-۰/۵۲۳۳	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۴	۲۷۶/۲۳	-۰/۶۷۹۳	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۵	۲۶۵/۶۵	-۰/۷۶۹۹	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۶	۲۶۰/۲۸	-۰/۸۱۴۵	نزدیک به نرمال
جلفا	۲۰۲۲	۱۸۰/۰۸	-۰/۲۰۵۹	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۳	۲۸۷/۷۰	۱/۴۲۳۷	مرطوب متوسط
	۲۰۲۴	۱۹۷/۴۱	-۰/۶۷۸۸	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۵	۲۰۱/۵۹	-۰/۶۱۰۴	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۶	۲۰۳/۳۸	۰/۲۰۵۹	نزدیک به نرمال
خوی	۲۰۲۲	۲۵۶/۵۷	-۰/۷۱۲۷	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۳	۲۶۵/۲۰	-۰/۴۵۳۴	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۴	۲۷۰/۴۹	-۰/۴۰۶۸	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۵	۲۷۶/۳۷	-۰/۳۷۸۹	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۶	۲۸۰/۷۸	-۰/۳۲۸۹	نزدیک به نرمال
ماکو	۲۰۲۲	۲۹۴/۳۵	-۰/۲۶۷۷	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۳	۳۲۱/۱۱	۱/۵۹۴۲	مرطوب متوسط
	۲۰۲۴	۳۰۰/۹۸	-۰/۲۱۸۷	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۵	۳۰۱/۱۱	-۰/۳۷۵۴	نزدیک به نرمال
	۲۰۲۶	۲۹۶/۱۲	-۰/۴۷۴۷	نزدیک به نرمال

با توجه به شکل (۵)، که مقایسه مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهند. مدل‌های ARIMA برای برآورد بارش‌های متوسط و کم مناسب هستند اما قابلیت بالایی در برآورد بارش‌های بیشینه ندارند. همان‌طور که در شکل نیز دیده می‌شود در زمانی که افزایش بارش مشاهده می‌شود اختلاف زیادی بین مقادیر بارش مشاهده‌ای با مقادیر شبیه‌سازی شده دیده می‌شود.



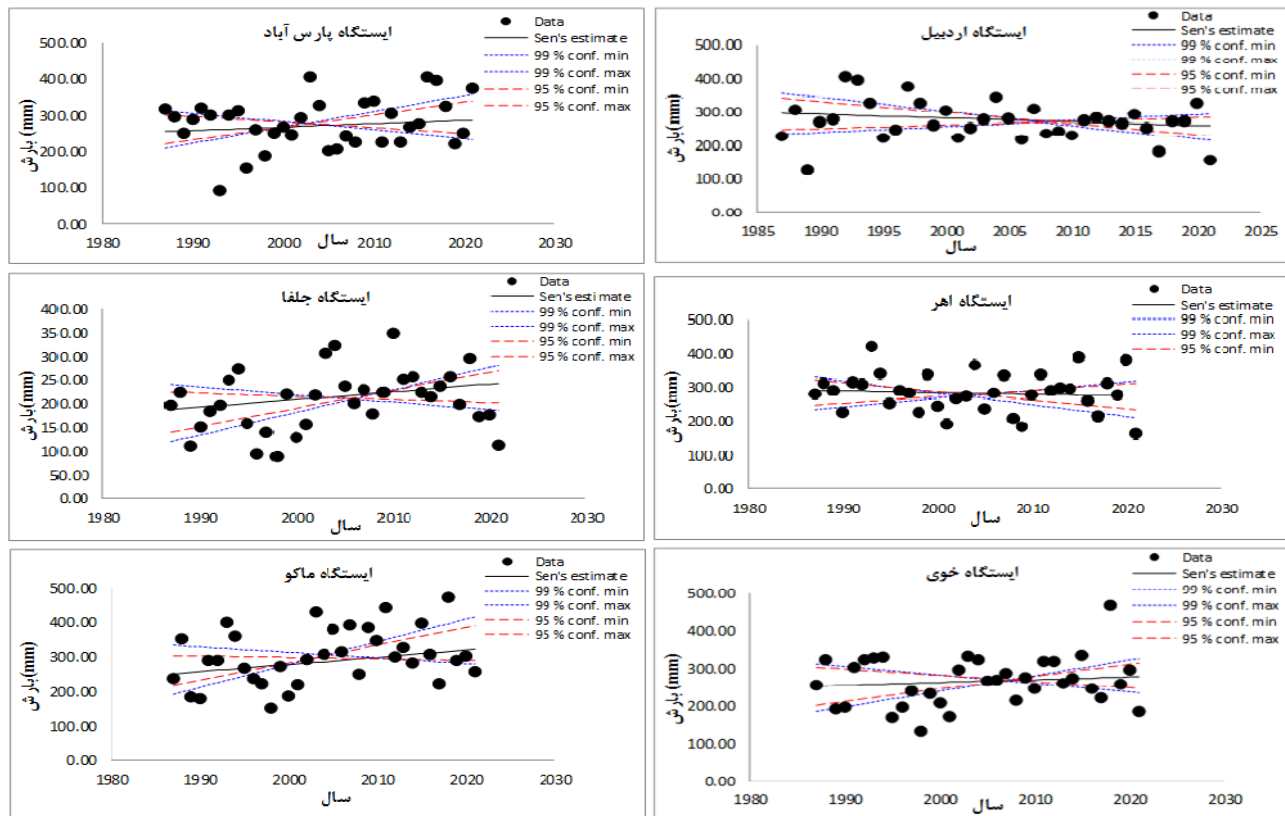
شکل ۵ - مقایسه مقادیر بارش پیش‌بینی و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های الف - اردبیل، ب - پارس‌آباد، پ - اهر، ت - جلفا،

ث - خوی و ج - ماکو

نتایج حاصل از تحلیل روند بارندگی برای ایستگاه‌های حوضه آبریز ارس در جدول (۷) قابل مشاهده است. ملاحظه می‌شود که در مقیاس سالانه از ۶ ایستگاه فقط ایستگاه ماکو دارای روند افزایشی و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و در مابقی ایستگاه‌ها روند معنی‌داری مشاهده نشده است. (در جدول نماد * نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد است). از شکل (۶) هم می‌توان نتیجه گرفت که ایستگاه‌های پارس‌آباد، خوی و جلفا عدم وجود روند معنی‌داری با شیب صعودی رو به افزایش و ایستگاه‌های اردبیل و اهر عدم وجود روند با شیب نزولی رو به کاهش را نشان می‌دهند و تنها ایستگاه ماکو دارای روند معنی‌دار افزایشی است.

جدول ۷- نتایج مقادیر آزمون شیب سن برای ایستگاه‌های حوضه آبریز ارس در دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۲۱)

ایستگاه	اردبیل	پارس‌آباد	خوی	ماکو	اهر	جلفا
Z	-۰/۹۷	۰/۶۸	۰/۶۵	۱/۶۸	-۰/۴۳	۱/۳۶
شیب سن	-۱/۰۶۰	۰/۹۷۷	۰/۷۷۴	۲/۰۹۷*	-۰/۴۷۷	۱/۶۳۳



شکل ۶- برازش نمودار شیب سن بر بارندگی ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز ارس

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های هم‌دید واقع در حوضه آبریز ارس (اردبیل، پارس‌آباد، اهر، جلفا، خوی و ماکو) در یک دوره آماری ۳۵ ساله، به بررسی وضعیت خشکسالی پرداخته شد و با استفاده از شاخص استاندارد SPI وضعیت خشکسالی و ترسالی و روند تغییرات آن برای هر ایستگاه مشخص شد و نتایج نشان داد هر ۶ ایستگاه در یک وضعیت نزدیک به نرمال قرار دارند و بیشترین شدت خشکسالی مربوط به ایستگاه خوی با ۱۴ درصد وضعیت خشکسالی شدید و ایستگاه جلفا با ۱۱ درصد خشکسالی خیلی شدید می‌باشد. بایزیدی و همکاران (۱۳۹۵) بیشترین شدت خشکسالی در مطالعه خود برای حوضه آبریز سلماس را ایستگاه اوربان به دست آورده‌اند.

در بررسی مدل‌های مختلف سری زمانی و به‌کارگیری معیار اطلاعاتی آکائیکی و مقدار P-value، مدل ARIMA (۰،۰،۱) برای ایستگاه‌های اردبیل، خوی و اهر و مدل AR (۱، ۰، ۰) برای ایستگاه‌های پارس‌آباد، ماکو و

جلفا به عنوان بهترین مدل جهت پیش‌بینی بارش ۶ ایستگاه انتخاب شدند که این بیانگر قابلیت بالای مدل میانگین متحرک تجمعی خود همبسته و مدل خودهمبستگی در مدل‌سازی است. سلطانی گرد فرامرزی و همکاران (۱۳۹۶) مدل (۱،۱،۰) ARIMA را جهت پیش‌بینی بارندگی سالانه در ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان غربی به دست آوردند. نتایج مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی بارش نشان‌دهنده عملکرد خوب و قابل اطمینان مدل بوده و امکان استفاده از این مدل برای پیش‌بینی‌های آتی را میسر می‌سازد. (حلمی و همکاران، ۱۳۹۹) در پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی قسمت‌های مختلف ایران مدل SARIMA فصلی را جهت پیش‌بینی مناسب برآورد کرده‌اند. بررسی روند تغییرات بارش در ۶ ایستگاه با روش ناپارامتریک شیب سن نشان‌دهنده روند افزایشی بارش در ایستگاه ماکو با معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد بوده و در مابقی ایستگاه‌ها بارش روند بدون معنی‌داری را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش مزیدی و طوفانی (۱۴۰۰) در بررسی روند تغییرات بارش ایستگاه ارومیه عدم وجود روند با شیب صعودی را به دست آورده‌اند. دستورانی و یزادن پناه قرایی (۱۳۹۹) در بررسی روند بارندگی سالانه حوضه آبریز ارس با آزمون شیب سن در دو ایستگاه روند افزایشی و در باقی ایستگاه‌ها به شرایط بدون روند دست یافته‌اند.

منابع

- بایزیدی، مطلب؛ سی و سه مرده، معروف و عصرآگاه، آزیتا (۱۳۹۵). پیش‌بینی و بررسی روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از سری زمانی (مطالعه موردی: حوزه آبریز سلماس). مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، جلد ۲، شماره ۴، ص ۳۴۶ - ۳۵۹.
- بزرگ نیا، ابوالقاسم و خرمی، مصطفی (۱۳۸۶). تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با نرم‌افزار MINITAB 14. انتشارات سخن گستر مشهد، ص ۳۵۱.
- ترابی پوده، حسن و دهقانی، رضا (۱۳۹۸). پایش خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه موردی: استان لرستان). نشریه هواشناسی کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲، ص ۲۶ - ۳۴.
- تیموری یگانه، مریم و تیموری یگانه، لیلا (۱۴۰۰). ارزیابی روند تغییرات بارندگی و دما و اثرات آن‌ها بر خشکسالی هواشناسی در استان کرمانشاه، نشریه پژوهش و فناوری محیط‌زیست. سال ۶، شماره ۱۰، ص ۱۲۳ - ۱۳۴.
- حجازی زاده، زهره؛ پژوه، فرشاد و شکیب، هانیه (۱۴۰۰). واکاوی دقت شاخص‌های خشکسالی و تعیین بهترین شاخص اقلیمی در جنوب شرق ایران. فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران، سال ۱۹، شماره ۶۸، ص ۲۱ - ۵.
- حجام، سهراب؛ خوشخو، یونس و ونیدی رضا، شمس‌الدین (۱۳۸۷). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوضه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۴۰، شماره ۶، ص ۱۵۷ - ۱۶۸.
- حلمی، مهتاب؛ بختیاری، بهرام و قادری، کوروش (۱۳۹۹). مدل‌سازی و پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی با استفاده از مدل سری زمانی SARIMA در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۴، شماره ۳، ص ۱۰۷۹ - ۱۰۹۰.

- جوان، خدیجه (۱۴۰۰). بررسی خشکسالی هواشناسی در ایستگاه ارومیه با استفاده از شاخص SPI تحت سناریوهای تغییر اقلیم (RCP). نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، سال ۲، شماره ۵، ص ۹۴ - ۸۱.
- جهاندیده، مرضیه و شیروانی، امین (۱۳۹۰). پیش‌بینی خشکسالی بر پایه نمایه بارش استاندارد شده با استفاده از مدل‌های سری‌های زمانی در استان فارس. مجله پژوهش آب ایران، سال ۵، شماره ۹، ص ۱۹ - ۲۸.
- دستورانی، مهدی و یزدان پناه قرایی، فرزانه (۱۳۹۹). بررسی روند بارندگی و دبی در حوضه آبریز ارس. نشریه سامانه‌های سطوح آبیگیر ایران، دوره ۸، جلد ۲۴، ص ۳۴ - ۲۵.
- سبحانی، بهروز و گلدوست، اکبر (۱۳۹۴). پایش خشکسالی و ارزیابی امکان پیش‌بینی آن در استان اردبیل با استفاده از شاخص SPI و مدل ANFIS. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، ص ۱۳۵ - ۱۵۲.
- سلطانی گرد فرامرزی، سمیه؛ صابری، عارفه و قیصوری، مرتضی (۱۳۹۶). تعیین بهترین مدل سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی سالانه ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان غربی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۴، شماره ۴۴، ص ۸۷ - ۱۰۵.
- شکری کوچک، سعید و بهنیا، عبدالکریم (۱۳۹۲). پایش و پیش‌بینی خشکسالی خوزستان با استفاده از شاخص خشکسالی SPI و زنجیره مارکوف. مجله علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۶، شماره ۳، ص ۱۴ - ۱.
- شمس نیا، سید امیر؛ پیرمردیان، نادر و امیری، سید ناصر (۱۳۸۸). مدل‌سازی خشکسالی در استان فارس با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، سال ۱۴، شماره ۲۸، ص ۱۶۵ - ۱۸۹.
- صفریان زنگیر، وحید؛ صلاحی، برومند؛ ملکی مرشت، رقیه و کیانیان، محمدکیا (۱۳۹۹). تحلیل شاخص‌های خشکسالی و بارش استاندارد شده در مراکز شهرهای استان اردبیل. دو فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، سال ۱۱، شماره ۱، ص ۱۲۱ - ۱۳۶.
- فریدپور، مجتبی؛ زینالی، بتول؛ اصغری، صیاد؛ قربانی، اردوان و رضایی بنفشه، مجید (۱۳۹۸). ارزیابی خشکسالی بر اساس پایداری طولانی‌مدت روند بارش و دما در حوضه دره رود اردبیل. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۶، ص ۳۱ - ۵۷.
- مزیدی، احمد و طوفانی، هاجر (۱۴۰۰). بررسی روند تغییرات دما و بارش ایستگاه همدید ارومیه به روش آماری من کندال. مجله جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۴، شماره ۲، ص ۳۷۰ - ۳۵۷.
- مرکز مطالعات برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۱۳۷۲.

Afrifa, E., Bashiru, I.I., Azumah, K. (2016). SARIMA modeling and forecasting of monthly rainfall in the Brong Ahafo region of Ghana. *World Environment*, 6.1, p 1-9.

Durdu O.F. 2010. Application of linear stochastic models for drought forecasting in the Buyuk Menderes river basin, western Turkey, *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, DOI10.1007/s00477-010-0366-3.

Gilbert, R.O. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons.

- Hayes, Michael. Svoboda, Mark. Wall.Nicole, Widhalm, M. (2011). The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4), p 485-488.
- HsinFu Y, HsinLi H. 2019. Stochastic Model for Drought Forecasting in the Southern Taiwan Basin. Department of Resources of Engineering. National Cheng Kung University, 11.10, p 2041.
- Karimi, M., Melesse, A.M., Khosravi, KH., Mamuye, M., Zhang, J. (2019). Analysis and prediction of eeteorological drought using SPI index and ARIMA model in the Karkheh River Basin, Iran. *Extreme Hydrology and Climate Variability: Monitoring, Modelling. Adaptation and Mitigation*, p 343-354.
- Lin, H., Wang, J., Li, F., Xie, Y., Jian, Ch., Sun, L. (2020). Drought Trends and the Extreme Drought Frequency and Characteristics under Climate Change Based on SPI and HI in the Upper and Middle Reaches of the Huai River Basin. *China. Water*, 12(4), 1100.
- Logan, KE., Brunsell, NA., Jones, AR., Feddema, JJ. (2010). Assessing spatiotemporal variability of drought in the U, S, central plains. *Journal of Arid Environments*, 74, p 247-255.
- McKee, TB., Doesken Kleist, NJ. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Preprints 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, p 170-184.
- Meresa, H., Osuch, M., Romanowicz, R. (2016). Hydro- meteorological drought projections into the 21-st century for selected Polish catchments. *Water*, 8(5), p 206.
- Narasimha, KV., Saravana, R., Vijaya, K. (2017). Modeling and forecasting rainfall patterns of southwest monsoons in North-East India as a SARIMA process. *Meteorological Atmosphere Physical*.
- Philip, G.O., Babatunde, J.A, Gunnar, L. (2017). Impacts of climate change on hydro-meteorological drought over the Volta Basin, West Africa. *Global and Planetary Change*, Volume 155, p 121-132.
- Sen, PK. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), p 1379-1389.
- Sharma BR, Smakhtin VU. 2004. Potential of water harvesting as a strategic tool for drought mitigation international Water Management Institue.
- Mishra, AK., Singh, VP. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391.1-2, p 202-216.
- Wang, J., Lin, H., Huang, J., Jiang, Ch., Xie, Y., Zhou, M. (2019). Variations of Drought Tendency, Frequency, and Characteristics and Their Responses to Climate Change under CMIP5 RCP Scenarios in Huai River Basin, China. *Water*, 11(10), p 2174.