

خشکسالی‌ها با استفاده از سری‌های زمانی نشان می‌دهد که مدل ARIMA قادر به پیش‌بینی بهتر مقادیر SPI بوده و با افزایش بازه زمانی از ۱۲ ماه به ۴۸ ماه نتایج پیش‌بینی دقیق‌تر است. هم‌چنین نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌ها نشان می‌دهد با افزایش مقیاس زمانی از ۱۲ ماه تا ۴۸ ماه، شیب خط رگرسیون بیش‌تر و مقادیر MAE و RMSE کم‌تر شده است.

واژه‌های کلیدی: وضعیت رطوبتی، مدل‌سازی، شاخص بارش استاندارد، خودهمبستگی، ارزیابی.

مقدمه

خشکسالی^۱ از جمله بلاای طبیعی و بخش جدایی‌ناپذیر هر اقلیم است که وقوع آن اثرات بسیار زیان‌باری را بر محیط‌های اکولوژیکی به‌ویژه منابع آبی وارد می‌سازد. به‌طور کلی این پدیده را می‌توان از سه مقوله هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی بررسی نمود. واقع شدن ایران بر روی کمربند خشک جهانی موجب شده که خشکسالی با فراوانی وقوع نسبتاً بالا حادث شود و خسارت زیادی به بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شهری وارد سازد. بنابراین وقوع پدیده‌های متعدد خشکسالی از جمله مشکلات ملموس در اغلب حوزه‌های آبخیز ایران است که البته شدت و فراوانی وقوع آن‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است. یکی از مسائل مهم و اساسی در مهندسی منابع آب، بهره‌برداری بهینه از منابع آب و جلوگیری از اتلاف آن است. با برنامه‌ریزی اصولی باید مناسب‌ترین برنامه و روش‌های بهره‌برداری با توجه به اولویت‌ها عملی شود. برای نیل به این هدف شناخت دوره‌های خشکسالی، تعیین مناطق تحت تأثیر و پیش‌بینی آن امری ضروری است [۲۱]. علی‌رغم نقش عوامل اقلیمی، برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت بهره‌برداری از منابع طبیعی به‌ویژه آب، نقش فزاینده‌ای در کاهش آسیب‌های ناشی از خشکسالی دارد. با وجود پیشرفت‌های قابل ملاحظه علمی و فنی هنوز مکان وقوع خشکسالی و حتی تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه آن قابل پیش‌بینی نیست که از این حیث خشکسالی را پدیده‌ای خزننده نامیده‌اند [۲۲]. کاهش پیامدهای خشکسالی نیازمند برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات پیشگیرانه در مقابله با پدیده خشکسالی است که خود مستلزم به‌کارگیری دانش کافی در پیش‌بینی خشکسالی است. بنابراین لزوم آمادگی

تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از سری‌های زمانی در تعدادی از ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب حوضه خیرآباد در استان کهگیلویه و بویراحمد

محسن آرمن^{۱*}، حسام رستمی^۲ و وجیهه قربان نیا خبیری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳

DOR: 20.1001.1.26454777.1400.9.34.6.1

چکیده

خشکسالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی است که در همه شرایط اقلیمی و در بسیاری از مناطق کره زمین به وقوع می‌پیوندد و خسارات زیادی به زندگی انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌نماید. از این‌رو بررسی مشخصات خشکسالی مانند شدت - مدت و فراوانی و تعیین مناطق تحت خطر و پیش‌بینی آن امری لازم است، به این منظور تعدادی از ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه خیرآباد که تا پایان سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ مقادیر بارندگی آن‌ها ثبت شده بود، انتخاب شدند. وضعیت رطوبتی هر یک از ایستگاه‌ها در چهار دوره زمانی مختلف شامل سه دوره ماهانه و یک دوره سالانه با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از سری‌های زمانی ARIMA و SARIMA به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل‌سازی مقادیر SPI پرداخته شد. نتایج تحقیق نشان داد که در بیش‌تر دوره‌های زمانی مورد بررسی، خشکسالی‌ها و ترسالی‌های حاکم در حوضه خیرآباد بیش‌تر از نوع متوسط بوده است. مطالعه میزان تداوم دوره‌های خشک و مرطوب در ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد که خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها بیش‌تر دارای تداوم یک و دو ساله بوده و از فراوانی بیش‌تری نسبت به سایر دوره‌های خشک و تر برخوردار هستند اما تداوم وضعیت نرمال حتی با مدت پنج سال و یا بیش‌تر در بعضی از ایستگاه‌ها از جمله بویری و نازمکان مشاهده شده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی

۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج
E-Mail: mohsenarmin@ut.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، شرکت آب و منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد

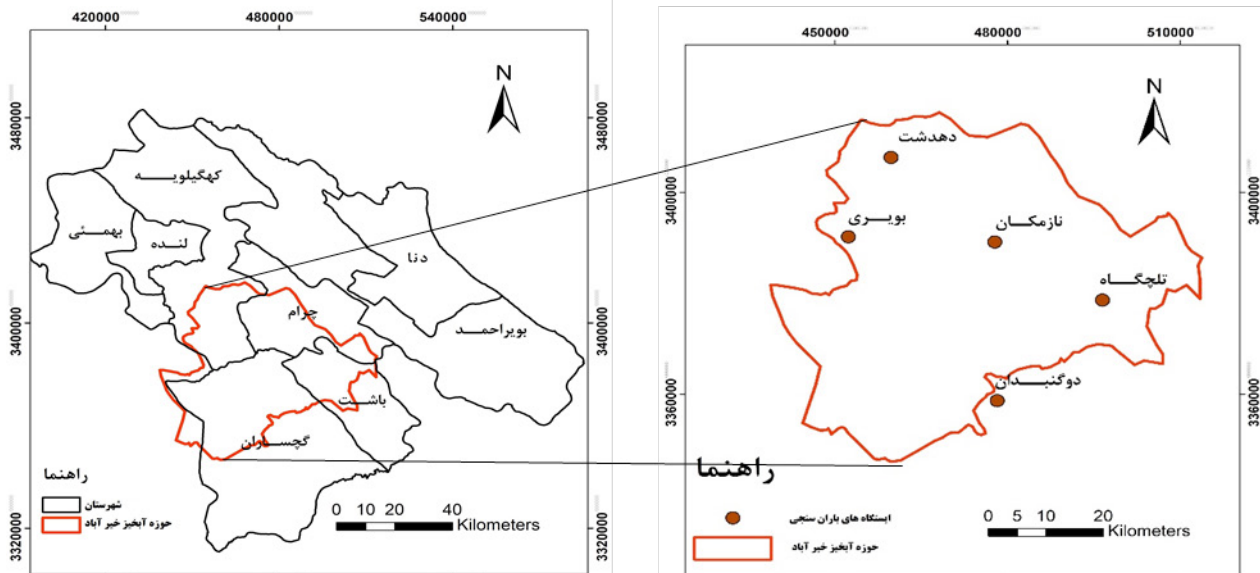
۳- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان

برای مقابله با پدیده خشکسالی و عبور از آن با حداقل خسارات اقتصادی - اجتماعی مهم‌ترین پیام قابل عبرت از این واقعه است. بررسی روند خشکسالی با استفاده از اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های باران‌سنجی و محاسبه شاخص‌های خشکسالی صورت می‌گیرد. این شاخص‌ها بیان کمی شدت خشکسالی هستند و انواع مختلفی دارند. مک کی و همکاران [۱۳] از مرکز اقلیمی کلرادو شاخص بارش استاندارد^۱ را برای تعیین و پیش خشکسالی ارائه کرده‌اند، به‌طور خلاصه، این شاخص یک مقدار عددی واحد به بارندگی اختصاص می‌دهد (۳- تا ۳+) که می‌توان مناطق اقلیمی مختلف را از این نظر با هم مقایسه کرد. اساس این شاخص بر محاسبه احتمال وقوع بارندگی برای مقیاس‌های زمانی یک، سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه و یک ساله استوار است. محاسبه مقدار این شاخص شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین است. مقادیر شاخص SPI بدست آمده از داده‌های بلند مدت بارش برای یک دوره زمانی، از توزیع نرمال تبعیت می‌کند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است [۸]. مهم‌ترین مزیت SPI منعطف بودن و قابلیت استفاده در مقیاس‌های متعدد زمانی کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و بلند مدت برای اهداف هیدرولوژیکی و مکانی در سطح خرد و کلان است و همچنین تعیین زمان آغاز و پایان خشکسالی و در نتیجه مدت آن در یک منطقه است [۲۳]. علیجانی و رضانی [۲] در تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران، با استفاده از روش‌های سری زمانی اتورگرسیو AR^p ، میانگین متحرک MA^q ، مدل خود همبسته میانگین متحرک تلفیق شده $ARIMA^p$ و مدل خود همبسته میانگین متحرک تلفیق شده فصلی $SARIMA^p$ به پیش‌بینی بارندگی چهار ایستگاه منتخب در سطح استان که از آمار ماهانه طولانی و کاملی برخوردار بودند، پرداخته و نتیجه گرفتند که وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، اغلب با شدت‌های متوسط و تقریباً نرمال بوده و بروز این پدیده‌ها در سطح استان از هم‌زمانی و نظم خاصی برخوردار نیست. پیش‌بینی یک عنصر کلیدی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی است زیرا کارایی نهایی هر تصمیم بستگی به طبیعت یک دنباله از حوادث دارد که متعاقب آن تصمیم‌گیری پیش می‌آید [۷]. وقتی خشکسالی برای یک دوره طولانی در منطقه باقی بماند، بر محیط طبیعی آن منطقه تأثیر خواهد گذاشت. از این‌رو پیش‌بینی خشکسالی نقش مهمی در طراحی و مدیریت منابع آب و کاهش خسارات خشکسالی منطقه ایفا می‌کند [۱۶]. یکی از روش‌های پیش‌بینی خشکسالی تحلیل سری‌های زمانی است. تحلیل سری زمانی به‌عنوان بخشی از روش‌های احتمالاتی از دهه ۱۹۷۰ به بعد برای پیش‌بینی توسعه

یافته است. این تحلیل معمولاً به داده‌هایی مربوط می‌باشد که مستقل نبوده و به‌طور متوالی به هم وابسته‌اند. همین وابستگی بین مشاهدات متوالی است که مورد توجه قرار گرفته و بیش‌ترین کاربرد را در پیش‌بینی داشته است [۱۹]. سری زمانی به مجموعه‌ای از مشاهدات و یا مقادیر ثبت شده از یک متغیر گفته می‌شود که برحسب زمان مرتب شده باشد. یک مدل ریاضی که فرآیند استوکاستیک سری زمانی را نمایش بدهد، مدل سری زمانی یا مدل استوکاستیک نامیده می‌شود. مدل سری زمانی را می‌توان با یک تابع توزیع احتمال نمایش داد. انواع مدل‌های سری زمانی شامل مدل اتورگرسیو، مدل میانگین متحرک، مدل خودهمبسته میانگین متحرک^۲، مدل خود همبسته میانگین متحرک تلفیق شده و مدل خود همبسته میانگین متحرک تلفیق شده فصلی است. از فرضیات اولیه استفاده از مدل‌های سری‌های زمانی نرمال بودن سری زمانی در مدل‌سازی است، ولی در اغلب مسائل واقعی این فرض صادق نمی‌باشد. بنابراین لازم است تا با استفاده از یک سری توابع انتقالی^۳، سری‌های زمانی قبل از مدل‌سازی نرمال شوند. ارائه مدل مناسب برای سری‌های زمانی شامل سه مرحله: شناسایی مدل، برازش مدل و تشخیص درستی مدل می‌باشد [۳، ۴ و ۱۱]. هوشمند [۷] با استفاده از سری‌های زمانی پایش، تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی را در استان هرمزگان انجام داد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی بیش‌ترین فراوانی وضعیت رطوبتی در تمامی ایستگاه‌های مورد نظر در محدوده نرمال است، ضمن آن‌که در همه سال‌ها و در تمامی ایستگاه‌ها، بیش از یک وضعیت رطوبتی حاکم بوده است. همچنین نتایج نشان داد که مدل سری زمانی $ARIMA$ بهترین مدل برای پیش‌بینی خشکسالی است. معروفی و همکاران [۱۲] مدل سری زمانی $SARIMA$ را جهت پیش‌بینی خشکسالی در ناحیه مرکزی استان همدان، به‌عنوان یک مدل مناسب انتخاب کردند. رضی [۲۰] با استفاده از مدل‌های سری زمانی و زنجیره مارکف خشکسالی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران را پیش‌بینی کرد. نتایج نشان داد که مدل $ARIMA$ با سری‌های منطقه‌ای SPI سه و شش ماهه و مدل $SARIMA$ با سری‌های منطقه‌ای SPI دوازده ماهه بهترین برازش را دارند. بایزیدی و همکاران [۵] روند خشکسالی هواشناسی حوزه آبریز سلماس را با استفاده از سری زمانی پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد مدل $ARIMA$ به‌عنوان بهترین مدل جهت پیش‌بینی ماهانه انتخاب شد که بیانگر قابلیت بالای مدل‌سازی مدل‌های خودهمبسته با میانگین متحرک است. میسرا و دسای [۱۵] با اجرای مدل‌های $ARIMA$ و $SARIMA$ بر روی سری‌های زمانی SPI در یک حوزه آبخیز در هندوستان نشان دادند که می‌توان با استفاده از این مدل‌ها وقوع پدیده خشکسالی و شدت آن را با دقت پیش‌بینی کرد. مین و همکاران [۱۴] تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی را با استفاده از شاخص SPI در کره

1. Standardized Precipitation Index (SPI)
2. Auto Regressive (AR)
3. Moving Average (MA)
4. Auto Regressive Integrated Moving Average
5. Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average

6. Auto Regressive Moving Average B (ARMA)
7. Transformation functions



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز خیرآباد در استان کهگیلویه و بویراحمد

از سطح دریا به ترتیب ۲۶۵۰، ۱۱۴۸ و ۷۲۰ متر، بارندگی حداقل، میانگین و حداکثر آن به ترتیب ۱۸۷، ۵۲۴ و ۹۷۰ میلی متر است (شکل ۱).

داده‌های مورد استفاده و بررسی‌های آماری آن‌ها

در تحقیق حاضر از داده‌های بارندگی ماهانه پنج ایستگاه باران‌سنجی طی دوره زمانی ۱۳۶۳-۱۳۶۴ الی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ استفاده شد (جدول ۱). به منظور استفاده از بیش‌ترین تعداد ایستگاه به‌طوری که پراکنش مناسبی در سطح حوضه نیز داشته باشند و از طول دوره آماری مناسبی نیز برخوردار باشند، طول دوره آماری ۲۸ ساله به‌عنوان دوره مناسب انتخاب شد. اگر چه سعی شد از ایستگاه‌هایی در تحقیق حاضر استفاده شود که در طول دوره زمانی ۱۳۶۳-۱۳۶۴ الی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ حتی امکان دارای آمار کاملی باشند، اما باز هم در برخی از ایستگاه‌ها نواقصی وجود داشت. برای بازسازی نواقص آماری ایستگاه‌ها از روش بیشترین همبستگی خطی با ایستگاه‌های مجاور استفاده شده است. بدین صورت که داده ناقص هر یک از ایستگاه‌ها به کمک نزدیک‌ترین ایستگاهی که با آن همبستگی خطی معنی‌داری داشت، تکمیل شد [۹]. چنان‌چه در دوره اندازه‌گیری یک متغیر تصادفی تغییری در شرایط هواشناسی، هیدرولوژیکی و غیره بوجود آید، تفاوت‌هایی را می‌توان بین مقادیر آن متغیر قبل و بعد از این تغییرات انتظار داشت. در تحقیق حاضر بعد از بازسازی نواقص آماری به‌منظور بررسی همگنی آمار بارندگی کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه از آزمون آماری ران تست^۱ در سطح اعتماد ۹۵ درصد استفاده شد و درستی و همگنی آمار بارندگی آن‌ها تأیید شد [۱۷]. وجود داده پرت در میان داده‌ها، می‌تواند باعث بروز مشکلاتی در تجزیه و تحلیل فراوانی داده‌ها شود. در تحقیق حاضر برای یافتن داده‌های

بررسی کردند. نتایج نشان داد که فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در کره در دوره‌های زمانی دو تا سه ساله و پنج تا هشت ساله مهم است. برای جلوگیری و یا کاهش خسارت‌های ناشی از خشکسالی لازم است قبل از وقوع این پدیده تدابیر لازم برای برنامه‌ریزی و مدیریت آن اندیشیده شود. حوزه آبریز رودخانه خیرآباد بخشی از حوزه آبریز زهره - جراحی است که از لحاظ آب‌های سطحی از غنای خوبی برخوردار است، ولی با توجه به بهره‌برداری‌های غیر اصولی از منابع آب و خاک و همچنین، توسعه روزافزون از منابع آبی، پتانسیل آبی حوضه جهت تأمین تقاضاهای روزافزون را کاهش داده است [۱۰]. سد کوثر بر روی رودخانه خیرآباد و در فاصله ۴۲ کیلومتری شهرستان گچساران واقع شده است. کاهش جریان‌های ورودی آب سطحی طی سال‌های اخیر ذخیره آب سد کوثر که تأمین‌کننده آب شرب استان‌های جنوبی است را کاهش داده است و این موضوع نگرانی‌هایی را به‌منظور تأمین تقاضای آب ایجاد کرده است. از این‌رو مطالعه حاضر با هدف تعیین شدت، مدت و گستره خشکسالی بخشی از حوزه آبریز رودخانه خیرآباد و شناسایی الگوی آن نسبت به زمان با هدف مدیریت هر چه بهتر منابع آبی این حوضه صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه خیرآباد در غرب و جنوب غرب سلسه جبال زاگرس در استان کهگیلویه و بویراحمد با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۱ درجه عرض شمالی است. این حوضه با مساحت ۴۲۳۹/۷ کیلومتر مربع و محیط ۳۳۷/۷ کیلومتر یکی از حوضه‌های وسیع در استان محسوب می‌شود که ارتفاع حداکثر، متوسط و حداقل آن

1. Run Test

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع از سطح سال تأسیس نام رودخانه دریا (متر)		بارندگی (میلی‌متر)*		دما (درجه سانتی‌گراد)*	
		حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین
۱	دهدشت	۲۰۰۰	۱۳۶۳	۹۷۰	۵۲۴	۱۱	۲۴
۲	دوگنبدان	۷۷۵	۱۳۳۹	۹۷۰	۵۲۴	۱۱	۲۴
۳	نازمکان	۸۲۹	۱۳۴۸	۹۷۰	۵۲۴	۱۱	۲۴
۴	تلچگاه	۱۱۲۲	۱۳۶۲	۹۷۰	۵۲۴	۱۱	۲۴
۵	بویری	۸۲۰	۱۳۶۲	۹۷۰	۵۲۴	۱۱	۲۴

* میانگین دوره زمانی مورد مطالعه در همه ایستگاه‌های مورد بررسی

جدول ۲: طبقه‌بندی وضعیت رطوبتی بر اساس نمایه بارش استاندارد شده [۱۳]

مقادیر SPI	طبقه‌بندی خشکسالی	فراوانی تجمعی (درصد)	درصد فراوانی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید	$97 > 97$	۲/۳
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید	۹۳/۳ تا ۹۷/۷	۴/۵
۱/۰۰ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم تا متوسط	۸۴ تا ۹۳/۲	۹/۲
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال	۱۶ تا ۸۳/۹	۶۸
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی ملایم تا متوسط	۶/۸ تا ۱۵/۹	۹/۲
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشکسالی شدید	۲/۳ تا ۶/۷	۴/۵
-۲ یا کم‌تر	خشکسالی بسیار شدید	$< 2/3$	۲/۳

پرت از آزمون گرویز-بک^۱ استفاده شد [۶].

روش کار

محاسبه شاخص SPI

یک ساله، دو ساله، سه ساله، چهار ساله، پنج ساله و فراتر از پنج ساله و در بازه زمانی ماهانه، تداوم‌های یک ماهه، دو ماهه، سه یا چهار ماهه، پنج یا شش ماهه، هفت یا هشت ماهه، نه یا ۱۰ ماهه و فراتر از ۱۰ ماه در نظر گرفته شد. فراوانی، تعداد دفعات وقوع در یک وضعیت معین در هر یک از بازه‌های زمانی است، در این تحقیق فراوانی بر اساس آستانه‌های طبقات خشکسالی در مطالعات مک کی و همکاران محاسبه شد (جدول ۲) [۱۳].

در تحقیق حاضر برای تشخیص خشکسالی و ارزیابی شدت سطوح مختلف آن، از شاخص SPI در بازه‌های زمانی سالانه و ماهانه شامل ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده شد. مقادیر SPI سالانه و ماهانه به ترتیب با استفاده از سری‌های زمانی مقادیر بارندگی ماهانه و سالانه در هر ایستگاه تشکیل شد. برای سری‌های سالانه، از مجموع مقادیر بارندگی اول مهر هر سال شمسی لغایت پایان شهریور سال شمسی بعد سال آبی، به‌عنوان بارش سالانه استفاده شد. مقادیر SPI در هر یک از بازه‌های زمانی سالانه و ماهانه ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توسط نرم‌افزار DIP^۲ [۱۸] تعیین گردید.

محاسبه شدت، مدت و فراوانی خشکسالی

پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از سری‌های زمانی در تحقیق حاضر از سری‌های زمانی برای پیش‌بینی خشکسالی استفاده شد. به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کای اسکوئر استفاده شد. مقادیر P-value در هر یک از ایستگاه‌ها نشان داد که داده‌های SPI از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. بعد از بررسی داده‌ها از نظر نرمال بودن، برای مدل‌سازی سری زمانی از داده‌های دوره زمانی ۱۳۶۳-۱۳۶۴ الی ۱۳۸۵-۱۳۸۶ یعنی ۸۰ درصد داده‌ها برای ساخت مدل و از داده‌های دوره زمانی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ الی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ یعنی ۲۰ درصد داده‌ها برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شد.

در تحقیق حاضر سه مشخصه شدت، مدت و فراوانی خشکسالی بررسی شد. پس از کمی‌سازی پدیده خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در بازه‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه و سالانه، درصد زمانی وقوع هر یک از وضعیت‌های رطوبتی [۱۳]، تعیین گردید. وضعیت رطوبتی حوضه به هفت طبقه رطوبتی طبقه‌بندی شد. طبقه‌بندی تداوم‌های هر یک از بازه‌های زمانی در سه وضعیت رطوبتی خشک، نرمال و مرطوب نیز بررسی شد. در بازه‌های زمانی سالانه تداوم‌های

مدل خود همبسته میانگین متحرک تلفیق شده شرط استفاده از مدل‌های ARMA، ایستا بودن سری زمانی است. در صورت ایستا نبودن سری زمانی باید آن را ایستا کرد. باکس و جنکینز در سال ۱۹۷۶ با استفاده از اولین، دومین یا به‌طور کلی dامین تفاضل سری، سری زمانی را ایستا و با مدل‌سازی آن با ARMA(p,q) منجر به پیدایش سری جدیدی از مدل‌های آماری

1. Grubbs and Beck Test
2. Drought Indices Package

موسوم به مدل‌های آریما غیر فصلی $ARIMA(p,d,q)$ گردیدند. مدل $ARIMA$ غیر فصلی، اتورگرسیو با درجه p ، میانگین متحرک با درجه q و عملگر تفاضل‌گیری از سری زمانی است. بنابراین مدل $ARIMA$ با سه پارامتر (p,d,q) که می‌تواند صفر یا مثبت باشد مشخص می‌شود. مدل آریما غیر فصلی به صورت رابطه (۱) نوشته می‌شود.

$$\phi(B)\nabla^d Z_t = \theta(B)a_t \quad \text{رابطه (۱)}$$

که Z_t مقدار پیش‌بینی شد، $\phi(B)$ و $\theta(B)$ چند جمله‌ای‌هایی از درجه p و q به ترتیب رابطه‌های (۲) و (۳) هستند.

$$\phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در صورت استفاده از عملگر تفاضل فصلی با تأخیر s و برازش آن‌ها با مدل‌های $ARMA(p,q)$ مدل‌های فصلی آریما $sARIMA(P,D,Q)$ بوجود می‌آید. p درجه اتورگرسیو غیر فصلی، d درجه تفاضل‌گیری، q درجه میانگین متحرک غیر فصلی، P درجه اتورگرسیو فصلی، D درجه تفاضل‌گیری فصلی و Q درجه میانگین متحرک فصلی است.

از مهم‌ترین روش‌های تعیین بهترین مدل آماری برای یک سری زمانی بررسی تغییرات توابع خود همبسته و خود همبسته جزئی در تأخیرهای مختلف زمانی است. از ترسیم توابع خود همبسته با تأخیر k در زمان‌های مختلف و متوالی، نموداری موسوم به همبستگی نگار یا AFC بدست می‌آید. برای رسم نمودارهای همبستگی نگار تأخیرها k برابر $N/4$ توصیه شده است که در آن N تعداد متغیرهای سری زمانی می‌باشد. توزیع kP نزدیک به نرمال با متوسط صفر و واریانس $1/N$ می‌باشد. محدوده ۹۵ درصد احتمال وقوع برای آن برابر با $\pm 2/\sqrt{N}$ می‌باشد. بنابراین اگر تمام مقادیر قبل از تأخیر زمانی q داخل این محدوده قرار بگیرند، می‌توان نتیجه گرفت که سری زمانی مورد مطالعه از یک فرآیند میانگین متحرک مرتبه q تبعیت می‌کند. اگر نمودار AFC میرا باشد، می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند یک فرآیند خود همبسته است. هنگامی که نمی‌توان با قطعیت نظر داد که AFC میرا است یا قطع می‌شود، آنگاه می‌توان از بررسی توابع خود همبسته جزئی با تأخیرهای مختلف به عنوان معیار دیگر برای تعیین نوع مدل استفاده نمود. مراحل ساخت مدل‌های سری زمانی شامل سه مرحله شناسایی الگو، برازش الگو و ارزیابی مدل می‌باشد که به صورت تکراری انجام می‌شوند. در مرحله شناسایی الگو با رسم نمودارهای خود همبستگی^۱ و خود همبستگی جزئی^۲ مرتبه پارامترهای مدل شامل اتورگرسیو (P,p) ، میانگین متحرک (Q,q) و تفاضل‌گیری (D,d) شناسایی گردید. با توجه به پیچیدگی بسیار زیادی که در مدل‌های سری زمانی به لحاظ ساختاری وجود دارد،

برای رسیدن به نتیجه مطلوب در بدست آوردن ضرایب مربوط به یک مدل سری زمانی این نکته حائز اهمیت است که غیر از ضریب مربوط به عملگر تفاضل، دو ضریب دیگر که توسط توابع خود همبسته یا ACF و خود همبسته جزئی یا $PACF$ تعیین می‌گردند، تقریبی بوده و در نهایت بررسی فاکتور خطا در مدل به انتخاب مدل بهینه کمک خواهد کرد. از این رو در این تحقیق، مقادیر پارامتر اتورگرسیو یعنی مقادیر P از ۱ تا ۵ و پارامتر میانگین متحرک یعنی مقادیر Q از ۱ تا ۳ تغییر داده شد [۱۵]. در مرحله برازش الگو با شناسایی و انتخاب الگوهای اولیه مناسب و تغییر پارامترهای مدل در مرحله قبل، در نهایت مدلی‌هایی به عنوان بهترین مدل انتخاب شدند که بیشترین P -value و کمترین خطا^۳ را به خود اختصاص دادند. علاوه بر بررسی فاکتور خطا و میزان P -value جهت بررسی درستی مدل و انتخاب بهترین مدل، چندین پارامتر دیگر نیز بررسی شد. از جمله بررسی باقیمانده‌ها از نظر نرمال بودن که در صورت نرمال بودن باقیمانده‌ها پارامترهای مدل تأیید می‌شود. از دیگر پارامترهای مورد بررسی جهت تأیید پارامترهای مدل، رسم نمودارهای ACF و $PACF$ باقیمانده‌ها می‌باشد که در صورت قرار گرفتن در دو محدوده $\pm 5\%$ درصد مدل تأیید می‌شود. به منظور ارزیابی و آزمون مدل، با استفاده از پارامترهای بهینه انتخابی از مراحل قبل، به پیش‌بینی مقادیر SPI سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۷ الی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ پرداخته شد. علاوه بر تعیین دو پارامتر میانگین قدرمطلق خطا^۴ و جذر میانگین مربعات خطا^۵، مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های سری زمانی ترسیم و با رسم خط رگرسیون، میزان همبستگی بین آن‌ها و شیب خط رگرسیون تعیین شد. سپس شیب خط رگرسیون با شیب خط ۱:۱ مقایسه شد. در مرحله پیش‌بینی مقادیر SPI ها در هر یک از بازه‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۲ با استفاده از بهترین مدل‌های انتخابی پیش‌بینی شد. در مرحله آخر هم مقادیر SPI پیش‌بینی شده از مدل‌های سری‌های SPI با مقادیر SPI های محاسبه شده بر اساس مقادیر بارندگی پیش‌بینی شده در هر یک از بازه‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه مقایسه شد و آن‌گاه مقادیر خطا برای هر یک از آن‌ها محاسبه گردید.

نتایج

نتایج مربوط به SPI

SPI سالانه

در ایستگاه‌های مورد بررسی ایستگاه نازمکان با درصد فراوانی $67/86$ درصد و ایستگاه تلچگاه با درصد فراوانی $57/53$ درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین فراوانی را در وضعیت نرمال در طی ۲۸ سال مورد بررسی از خود نشان دادند. مطالعه میزان تداوم دوره‌های خشک و مرطوب در ایستگاه‌های منتخب نشان داد که

3. Mean Square Error
4. Mean Absolute Error
5. Residual Mean Square Error

1. Autocorrelation
2. Partial Autocorrelation

خشکسالی در ایستگاه‌ها بیش‌تر دارای تداوم یک و دو ساله بوده و از فراوانی بیش‌تری نسبت به سایر دوره‌های خشک برخوردار است. هم‌چنین خشکسالی با تداوم سه، چهار و پنج سال و فراتر از پنج سال در هیچ ایستگاهی مشاهده نشد. در دوره‌های مرطوب نیز ترسالی‌های یک و دو ساله از فراوانی بیش‌تری برخوردار بوده است و تداوم فراتر از دو سال نیز در هیچ ایستگاهی مشاهده نشد. در مورد وضعیت نرمال تداوم‌های مختلف یک، دو، سه، چهار، پنج ساله و فراتر در اکثر ایستگاه‌ها دیده شد.

SPI ماهانه

SPI ۱۲ ماهه

در این مقیاس زمانی، در وضعیت نرمال ایستگاه‌های بویری و نازمکان درصد فراوانی برابر یا بیش‌تری نسبت به مقدار تئوری ۶۸ درصد (جدول ۲) داشته‌اند و در بقیه ایستگاه‌ها درصد فراوانی وضعیت نرمال کم‌تر از مقدار تئوری مشاهده شده است. هم‌چنین درصد فراوانی وضعیت نرمال از ۶۰/۳۱ درصد در ایستگاه دوگنبدان تا ۶۸ درصد در ایستگاه‌های بویری و نازمکان در نوسان است. بیش‌ترین فراوانی وضعیت خشکسالی متوسط در ایستگاه تلچگاه و کم‌ترین فراوانی وضعیت خشکسالی متوسط در ایستگاه بویری و هم‌چنین بیش‌ترین فراوانی وضعیت ترسالی متوسط در ایستگاه تلچگاه با فراوانی ۱۵/۳۸ درصد و کم‌ترین فراوانی وضعیت ترسالی در ایستگاه نازمکان با درصد فراوانی ۸/۶۲ درصد می‌باشد. بررسی تداوم دوره‌های رطوبتی نشان داد که در تمام ایستگاه‌ها خشکسالی با تداوم یک، دو، سه یا چهار و پنج یا شش دوره‌ای به دفعات اتفاق می‌افتد. تداوم‌های هفت یا هشت دوره‌ای و نه یا ۱۰ دوره‌ای در تعداد کم‌تری از ایستگاه‌ها رخ داده است. فراوانی بیش از ۱۰ دوره متوالی نیز در تمام ایستگاه‌های حوضه مشاهده شده است. در وضعیت ترسالی نیز تداوم‌های یک دوره‌ای در همه ایستگاه‌ها دیده شده و از فراوانی بیش‌تری برخوردار می‌باشد. تداوم دو دوره‌ای به جزء ایستگاه نازمکان در بقیه ایستگاه‌ها مشاهده شده است و تداوم سه یا چهار، پنج یا شش و هفت یا هشت دوره‌ای متوالی در ایستگاه‌های کم‌تری رخ داده است. در تداوم نه یا ده دوره متوالی تعداد ایستگاه‌ها و فراوانی کم‌تری دیده شده است ولی تداوم فراتر از ۱۰ دوره متوالی همانند تداوم یک دوره‌ای در کل ایستگاه‌ها دیده شده است با این تفاوت که فراوانی آن‌ها کم‌تر می‌باشد. در مورد وضعیت نرمال تداوم‌های مختلف در کل ایستگاه‌های حوضه دیده شده است ولی مشاهده شد که تداوم‌های یک دوره‌ای و تداوم فراتر از ۱۰ دوره متوالی از فراوانی بیش‌تری نسبت به تداوم‌های دیگر برخوردار بوده است.

مقدار تئوری بوده است. هم‌چنین درصد فراوانی ترسالی متوسط در همه ایستگاه‌ها بیش‌تر از میزان تئوری محاسبه شده در حالی که در خشکسالی متوسط فقط در ایستگاه نازمکان بیش‌تر از مقدار تئوری برآورد شده است. بررسی تداوم دوره‌های رطوبتی نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها خشکسالی با تداوم یک تا ۱۰ دوره‌ای اتفاق می‌افتد. در وضعیت ترسالی تداوم‌های یک دوره‌ای در همه ایستگاه دیده شده است و از فراوانی بیش‌تری برخوردار است ولی با افزایش طول دوره تداوم تعداد ایستگاه‌ها کم‌تر و با فراوانی کم‌تری ترسالی را تجربه کرده‌اند. در مقایسه زمانی ۲۴ ماهه در سطح حوضه وضعیت نرمال نیز با تداوم‌های مختلف مشاهده شده است. به‌طوری‌که تداوم یک و دو دوره‌ای در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دیده شده است. تداوم سه یا چهار دوره‌ای به جزء در ایستگاه دوگنبدان در بقیه ایستگاه‌ها مشاهده شده است. با افزایش طول دوره تداوم تا ۱۰ دوره، تعداد ایستگاه‌ها کم‌تری این وضعیت را تجربه می‌کنند ولی وضعیت نرمال با تداوم فراتر از ۱۰ ماه در تمام ایستگاه‌ها با فراوانی بیش‌تر از بقیه تداوم‌ها مشاهده شده است.

SPI ۴۸ ماهه

وضعیت رطوبتی نرمال در ایستگاه دهدشت بیشتر از میزان تئوری محاسبه شده و در بقیه ایستگاه‌ها باقیمانده وضعیت رطوبتی نرمال کم‌تر از میزان تئوری می‌باشد. بیشترین فراوانی وضعیت رطوبتی نرمال در ایستگاه دهدشت با ۷۰/۹۳ درصد و کم‌ترین فراوانی وضعیت رطوبتی نرمال در ایستگاه دوگنبدان با ۵۴/۳۳ درصد می‌باشد. در طبقه متوسط و در وضعیت رطوبتی خشکسالی درصد وقوع در ایستگاه دوگنبدان بیش‌تر از مقدار تئوری است ولی در وضعیت ترسالی درصد وقوع همه ایستگاه‌ها بیش‌تر از مقدار تئوری می‌باشد. نتایج حاصل از تداوم دوره‌های خشک و مرطوب در ایستگاه‌های منتخب نشان داد که خشکسالی‌ها در ایستگاه‌ها دارای تداوم یک، دو، سه یا چهار، پنج یا شش و هفت یا هشت دوره متوالی هستند. هم‌چنین خشکسالی با تداوم فراتر از ۱۰ دوره متوالی در تمام ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. در وضعیت‌های مرطوب نیز ترسالی‌های یک دوره‌ای از فراوانی بیش‌تری برخوردار بوده است. ترسالی با تداوم دو دوره‌ای، سه یا چهار دوره‌ای و هفت یا هشت دوره متوالی نیز در ایستگاه‌های کم‌تری دیده شده و تداوم پنج یا شش دوره متوالی در هیچ کدام از ایستگاه‌ها دیده نشده است، تداوم نه یا ۱۰ دوره متوالی به جزء ایستگاه تلچگاه در بقیه ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود و تداوم فراتر از ۱۰ دوره متوالی در تمام ایستگاه‌ها به رخ داده است.

مدل‌سازی سری‌های زمانی SPIها

نتایج حاصل از مدل‌سازی SPIها در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول مقادیر MSE در شناسایی مدل به همراه مقادیر پارامترهای R^2 ، MAE، RMSE و شیب خط رگرسیون در ارزیابی

SPI ۲۴ ماهه

درصد فراوانی وضعیت نرمال در دوره زمانی ۲۴ ماهه به استثناء در ایستگاه‌های دوگنبدان، نازمکان و تلچگاه در بقیه ایستگاه‌ها بیش‌تر از

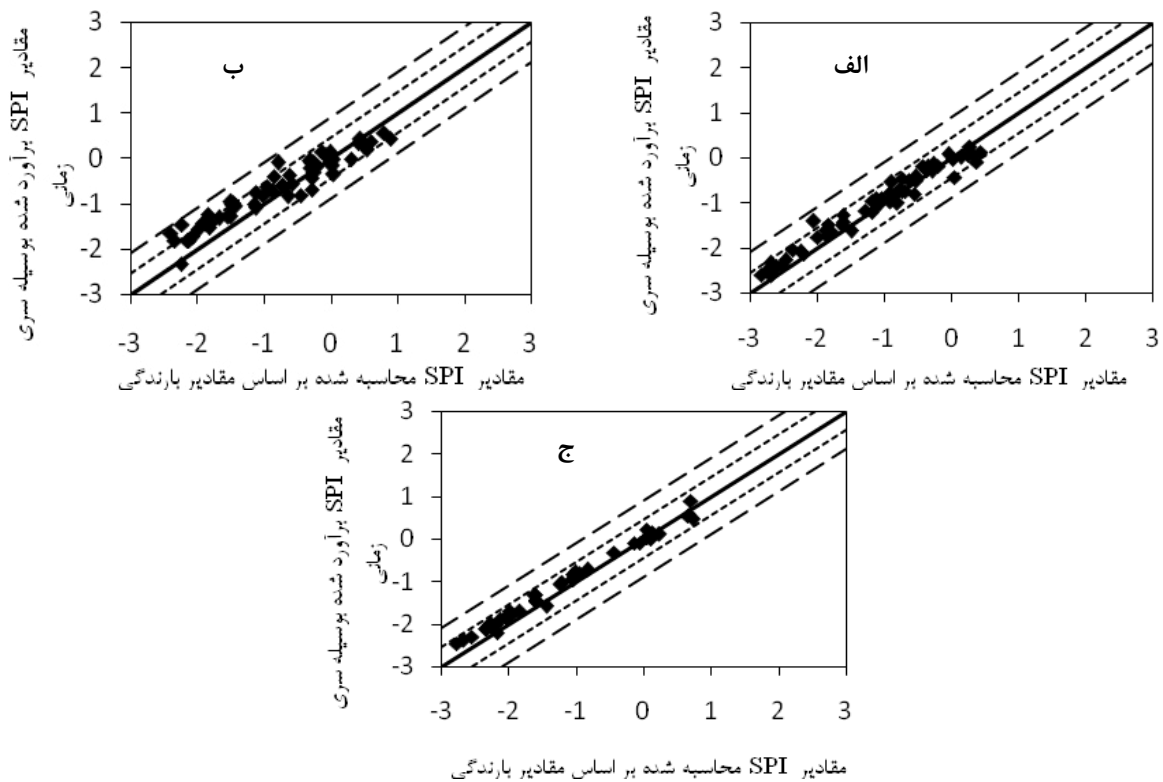
در شکل‌های دو تا شش به ترتیب نتایج حاصل از مقایسه سری زمانی ARIMA در دوره‌های مختلف زمانی SPI در ایستگاه‌های بویری، دهدشت، دوگنبدان، نازمکان و تلچگاه نشان داده شده است. هم‌چنین مقادیر پیش‌بینی شده توسط سری‌های زمانی با مقادیر واقعی در طول زمان در شکل‌های ۷ تا ۱۱ برای تمام ایستگاه‌ها رسم شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش بازه‌های زمانی هم‌پوشانی خوبی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی وجود دارد و فقط در موارد حدی کارایی کم‌تری داشته است.

مدل، برای تخمین کوتاه‌مدت و بلندمدت SPIها آمده است. نتایج نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، مقادیر خطا در قسمت ارائه مدل با افزایش مقیاس زمانی از SPI ۱۲ ماهه تا SPI ۴۸ ماهه کاهش می‌یابد به طوری که در تمام ایستگاه‌ها حداکثر خطا مربوط به SPI ۱۲ ماهه و حداقل خطا مربوط به SPI ۴۸ ماهه می‌باشد. هم‌چنین نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌ها نشان می‌دهد با افزایش مقیاس زمانی از ۱۲ ماه تا ۴۸ ماه، شیب خط رگرسیون بیش‌تر و مقادیر MAE و RMSE کم‌تر شده است. جدول ۳ هم‌چنین نشان می‌دهد که مقادیر R^2 در تمام ایستگاه‌ها با افزایش مقیاس زمانی یعنی از SPI ۱۲ ماهه تا SPI ۴۸ ماهه بیش‌تر می‌شود.

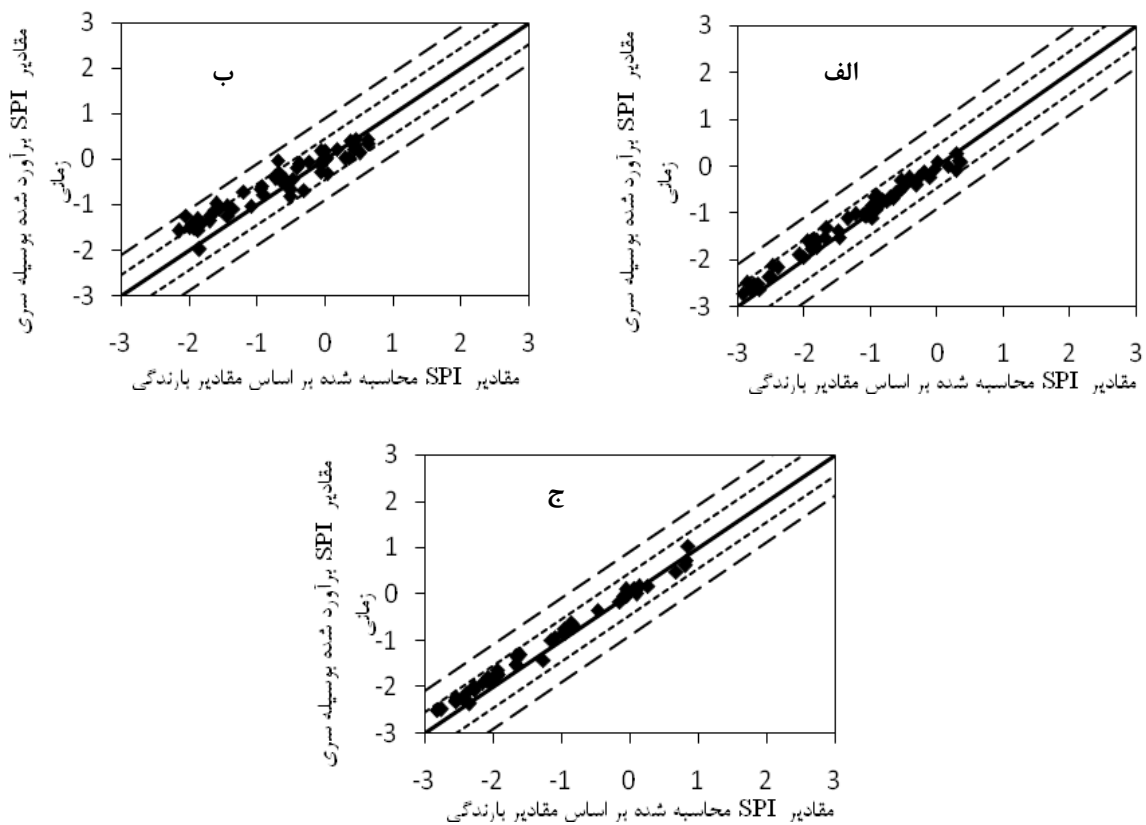
جدول ۳: نتایج حاصل از آموزش و ارزیابی مقادیر SPI پیش‌بینی شده توسط سری‌های زمانی در بهترین مدل برای هر یک از SPIها در هریک از ایستگاه‌های حوضه مورد مطالعه

ایستگاه	بازه زمانی	مدل	آموزش				ارزیابی	
			MSE	MAE	RMSE	a	R^2	
	SPI12	ARIMA(1,1,1)(1,0,0) ₁₂	۰/۰۲۰	۰/۱۹۷	۰/۴۷۱	۰/۹۰۱	۰/۹۷*	
دهدشت	SPI24	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₂₄	۰/۰۱۳	۰/۱۷۶	۰/۴۱۹	۰/۹۲۱	۰/۹۹*	
	SPI48	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₄₈	۰/۰۱۱	۰/۱۶۳	۰/۴۰۴	۰/۹۳۷	۰/۹۹*	
	SPI12	ARIMA(1,0,0)(0,1,1) ₁₂	۰/۱۰۳	۰/۲۱۹	۰/۴۶۸	۰/۸۲۰	۰/۸۸*	
دوگنبدان	SPI24	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₂₄	۰/۰۲۱	۰/۱۵۱	۰/۳۸۹	۰/۸۷۶	۰/۹۷*	
	SPI48	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₄₈	۰/۰۱۵	۰/۱۲۳	۰/۳۵۱	۰/۹۰۲	۰/۹۹*	
	SPI12	ARIMA(1,1,0)(0,0,2) ₁₂	۰/۰۴۴	۰/۱۸۰	۰/۴۲۰	۰/۸۷۳	۰/۹۳*	
نازمکان	SPI24	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₂₄	۰/۰۲۲	۰/۱۵۴	۰/۳۹۲	۰/۹۰۱	۰/۹۶*	
	SPI48	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₄₈	۰/۰۱۲	۰/۱۲۰	۰/۳۴۷	۰/۹۰۲	۰/۹۹*	
	SPI12	ARIMA(1,0,1)(1,0,2) ₁₂	۰/۰۲۴	۰/۱۷۹	۰/۴۴۵	۰/۹۰۶	۰/۹۶*	
بویری	SPI24	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₂₄	۰/۰۱۲	۰/۱۱۶	۰/۳۴۱	۰/۹۰۸	۰/۹۹*	
	SPI48	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₄₈	۰/۰۱۲	۰/۱۱۵	۰/۳۳۴	۰/۹۱۲	۰/۹۹*	
	SPI12	ARIMA(1,1,1)(0,0,2) ₁₂	۰/۰۳۶	۰/۱۶۳	۰/۴۰۳	۰/۹۵۰	۰/۹۴*	
تلچگاه	SPI24	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₂₄	۰/۰۱۷	۰/۱۵۵	۰/۳۵۰	۰/۹۸۷	۰/۹۷*	
	SPI48	ARIMA(1,0,0)(0,0,1) ₄₈	۰/۰۱۳	۰/۱۲۳	۰/۳۵۰	۰/۹۹۶	۰/۹۹*	

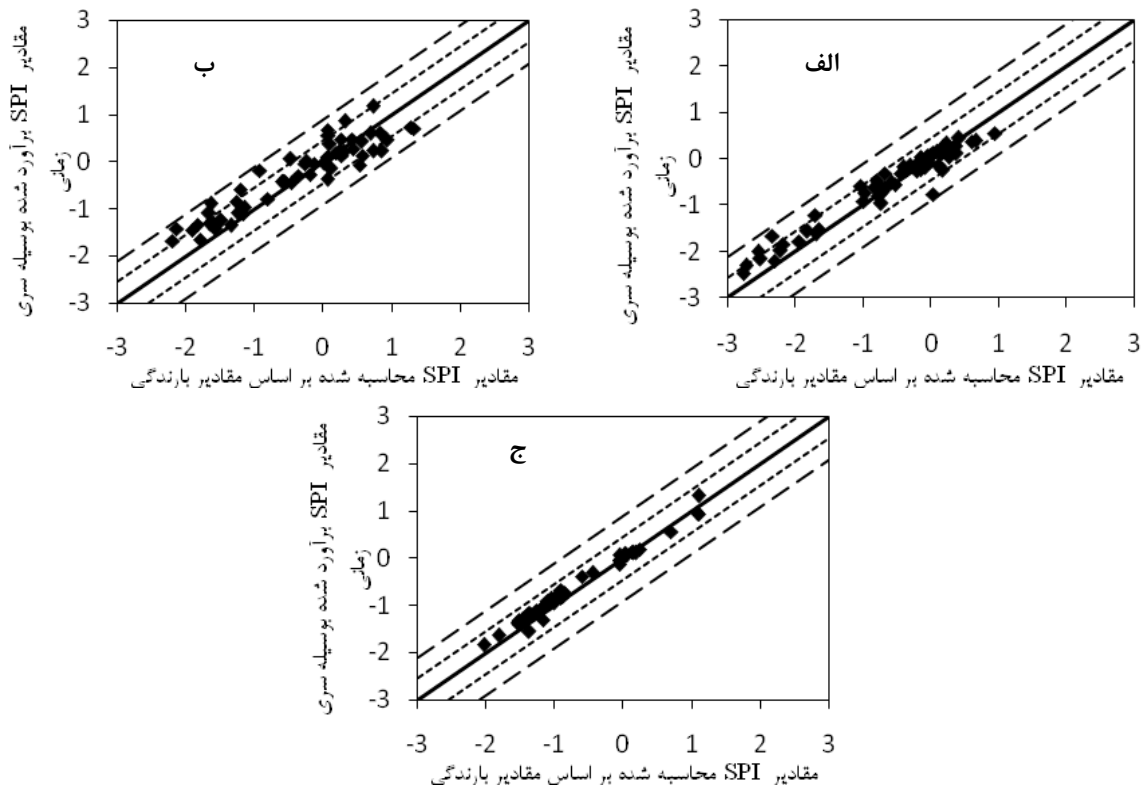
*معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد



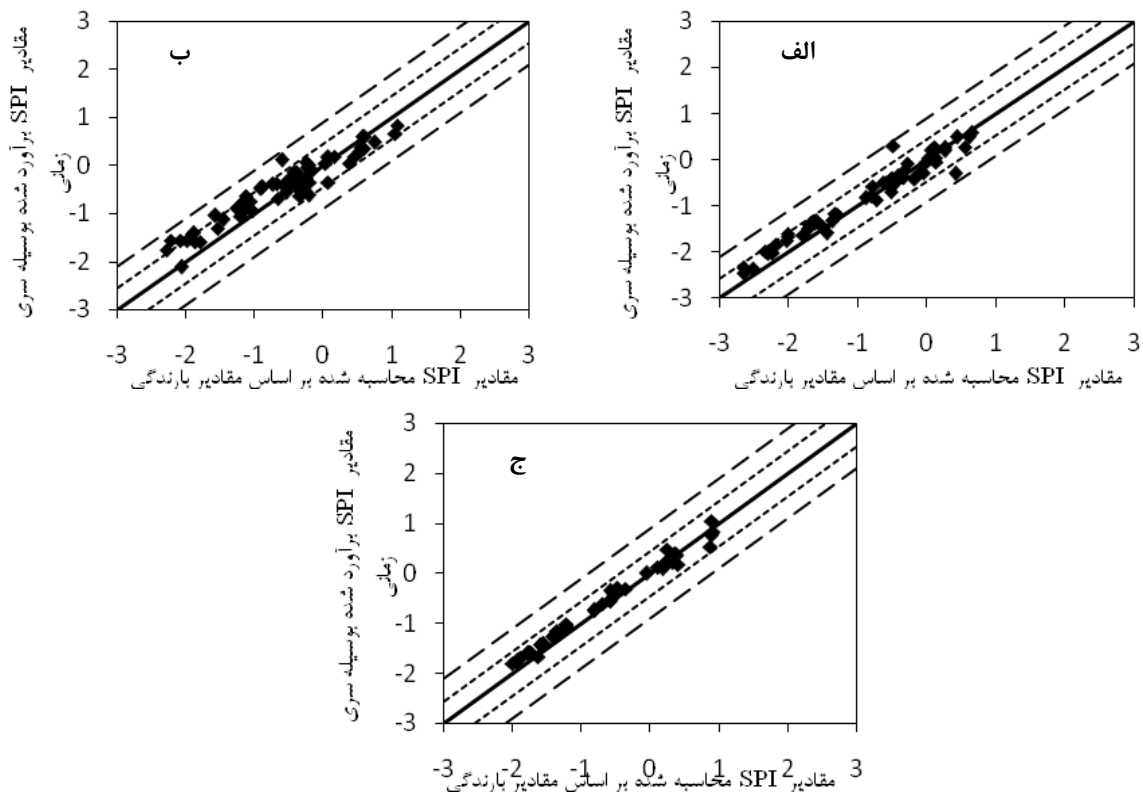
شکل ۲: مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری سری زمانی ARIMA در دوره‌های مختلف زمانی SPI در ایستگاه بویری، الف- SPI12، ب- SPI24، ج- SPI48



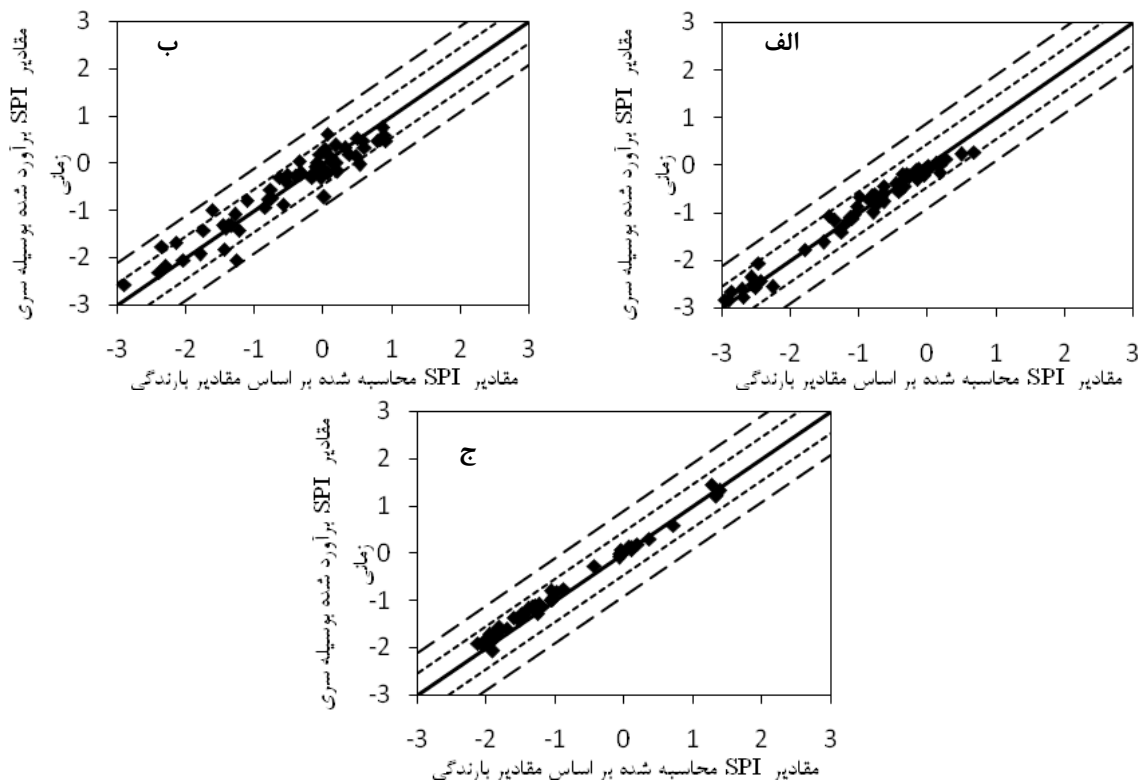
شکل ۳: مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری سری زمانی ARIMA در دوره‌های مختلف زمانی SPI در ایستگاه دهدشت، الف- SPI12، ب- SPI24، ج- SPI48



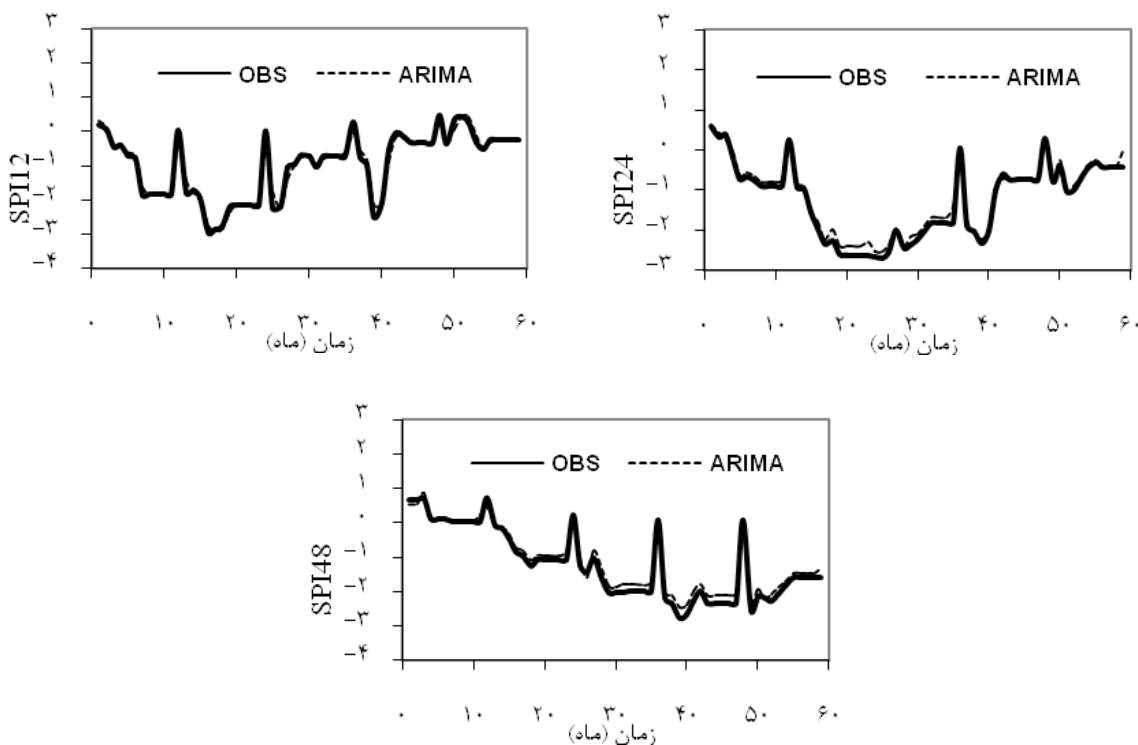
شکل ۴: مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری سری زمانی ARIMA در دوره‌های مختلف زمانی SPI در ایستگاه دوگنبدان، الف- SPI12، ب- SPI24، ج- SPI48



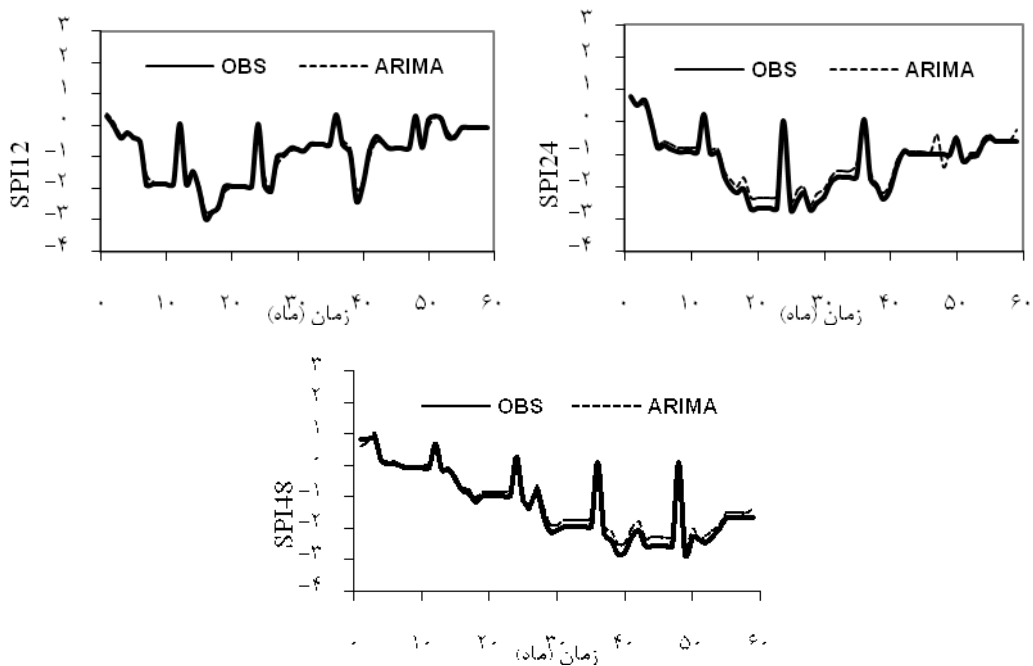
شکل ۵: مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری سری زمانی ARIMA در دوره‌های مختلف زمانی SPI در ایستگاه نازمکان، الف- SPI12، ب- SPI24، ج- SPI48



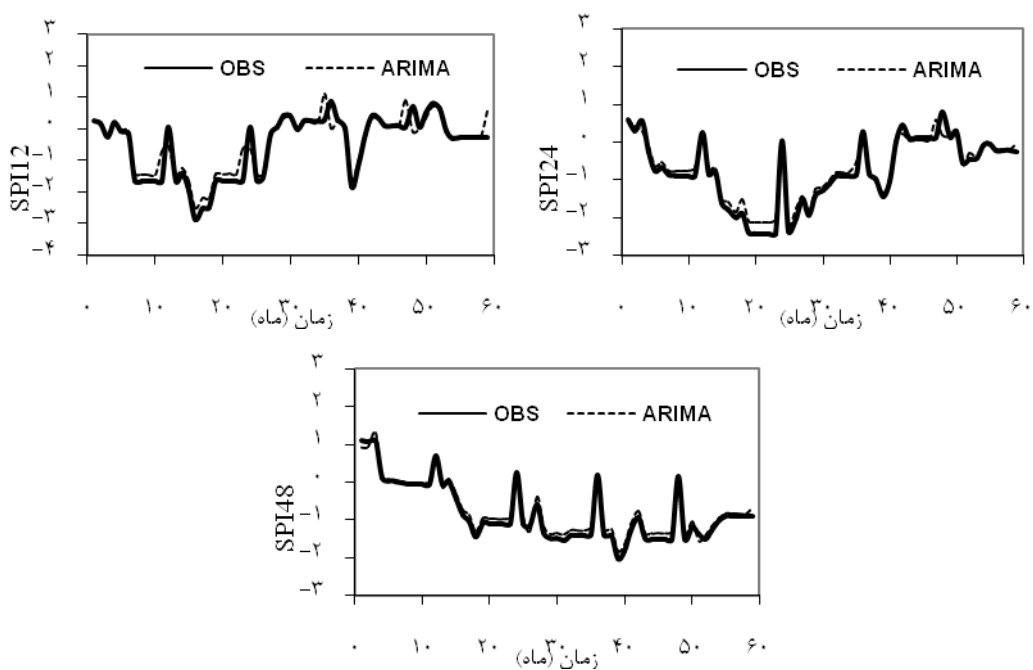
شکل ۶: مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری سری زمانی ARIMA در دوره‌های مختلف زمانی SPI در ایستگاه تلچگاه، الف- SPI12، ب- SPI24، ج- SPI48



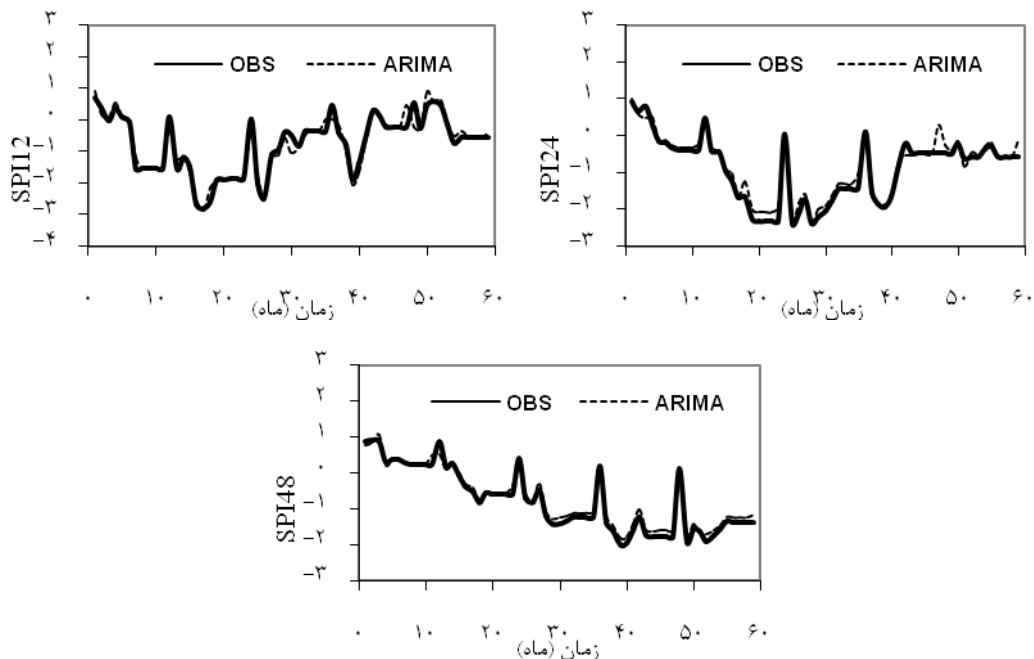
شکل ۷: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه بویری در طول دوره آزمون



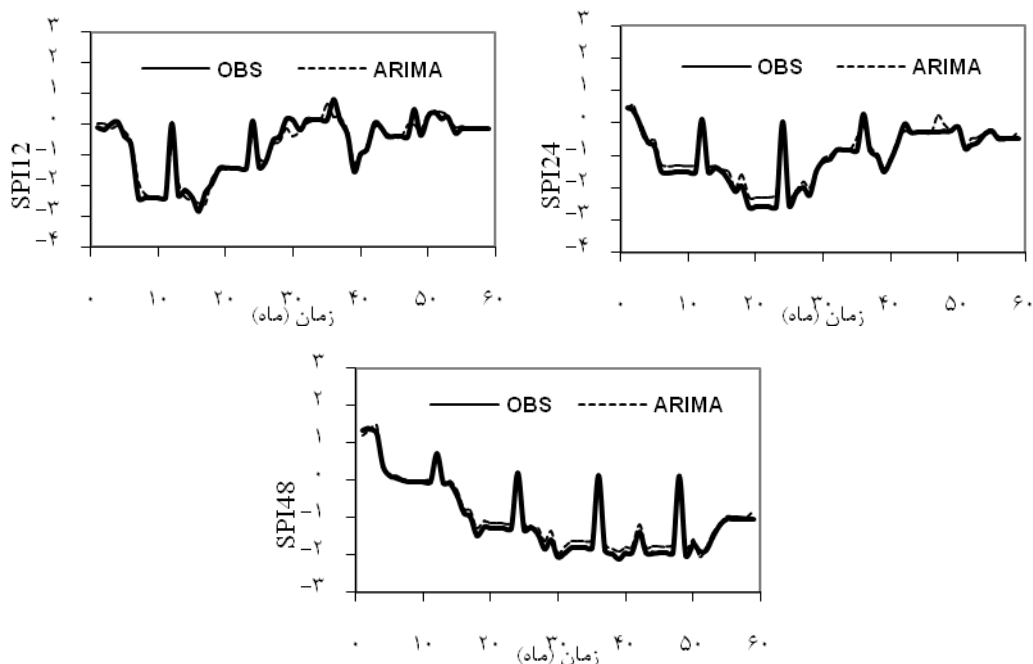
شکل ۸: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه دهدشت در طول دوره آزمون



شکل ۹: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه دوگنبدان در طول دوره آزمون



شکل ۱۰: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه نامزکان در طول دوره آزمون



شکل ۱۱: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه تلجگاه در طول دوره آزمون

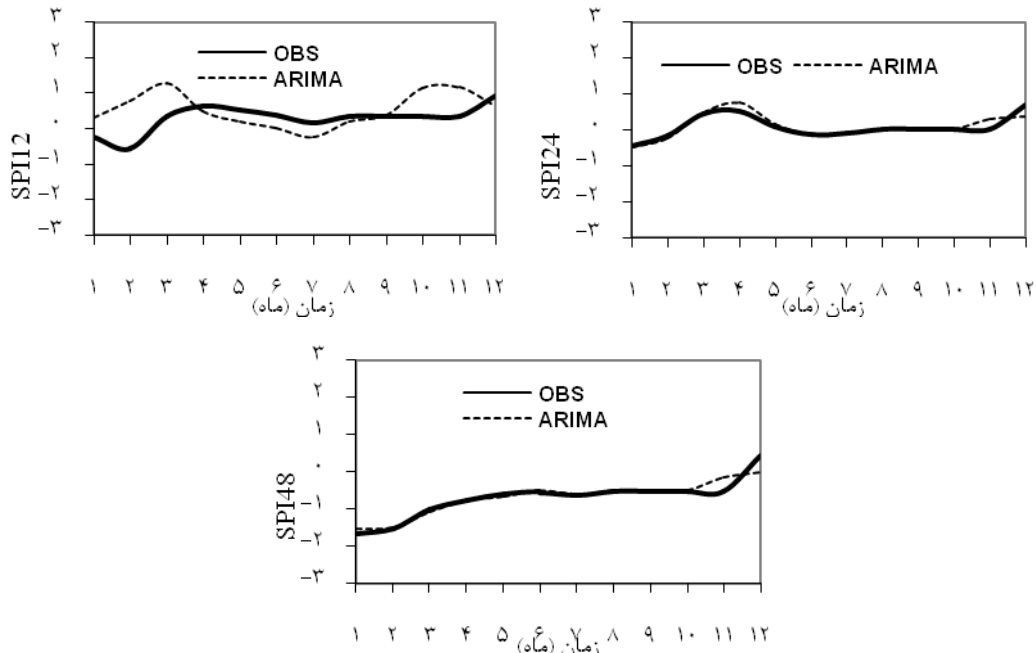
انجام شد که نتایج حاصله در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌ها میزان خطا در بازه‌های زمانی کوتاه مدت بیشتر و در بازه‌های زمانی بلندمدت کم‌تر بوده است. نمودار مقادیر SPI‌های پیش‌بینی شده با SPI‌های واقعی در شکل‌های ۱۲ تا ۱۶ نشان داده شده است.

مقایسه پیش‌بینی مقادیر SPI سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ از SPI‌های قبلی

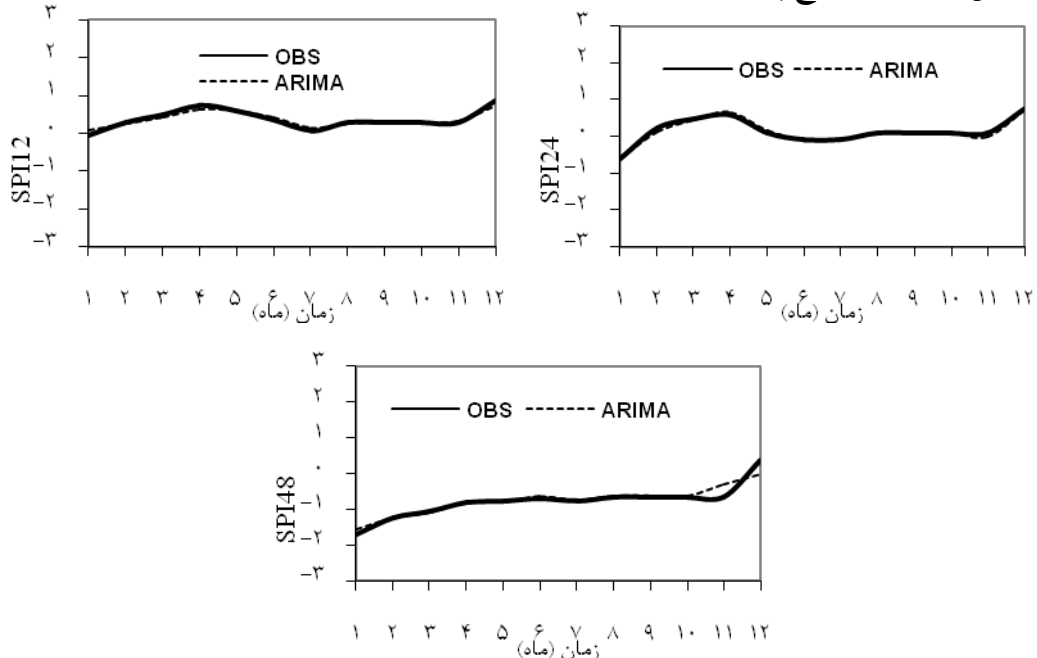
در تحقیق حاضر به منظور بررسی کارایی مدل‌های سری زمانی SPI، به پیش‌بینی مقادیر SPI سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ پرداخته شد و نتایج با مقادیر SPI ساخته شده در بازه‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهانه مقایسه گردیده شد. برای این منظور پیش‌بینی به صورت ماهانه

جدول ۴: نتایج مقادیر SPIهای پیش‌بینی شده با SPIهای واقعی برای هر یک از SPIها در هر یک از ایستگاه‌های حوضه مورد مطالعه

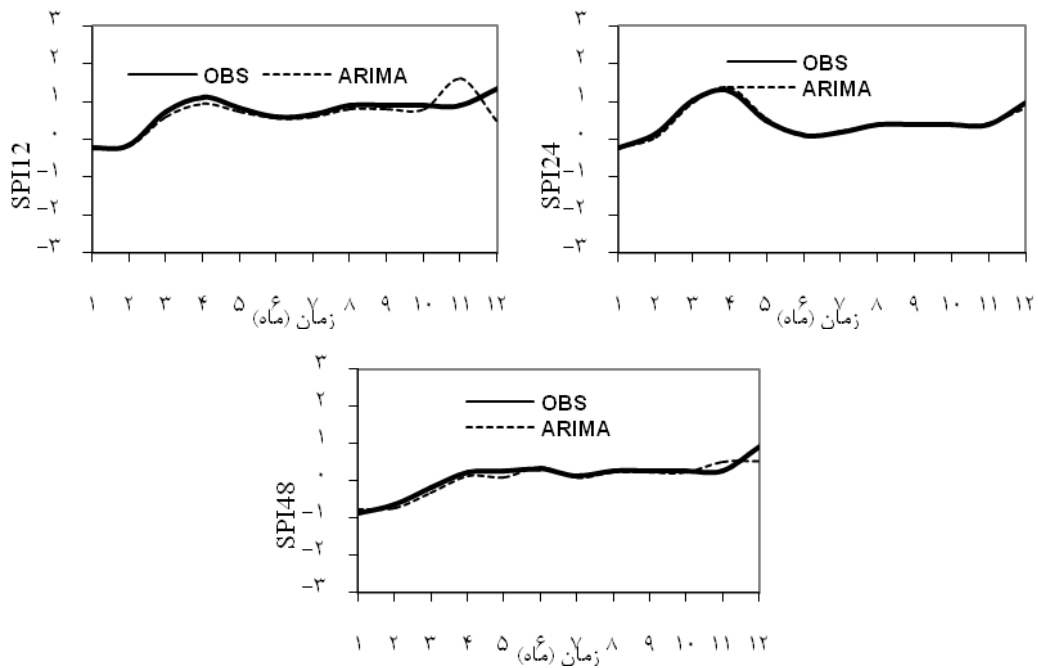
نام ایستگاه	خطا	SPI12	SPI24	SPI48
بویری	MAE	۰/۲۵۰	۰/۰۶۶	۰/۱۰۱
	RMSE	۰/۵۰۰	۰/۲۵۶	۰/۳۱۸
دهدشت	MAE	۰/۰۵۶	۰/۰۳۷	۰/۱۰۲
	RMSE	۰/۲۳۸	۰/۱۹۲	۰/۳۱۹
دوگنبدان	MAE	۰/۲۰۰	۰/۰۴۵	۰/۱۲۰
	RMSE	۰/۴۴۸	۰/۲۱۱	۰/۳۴۶
نازمکان	MAE	۰/۱۴۹	۰/۱۰۸	۰/۰۷۶
	RMSE	۰/۳۸۹	۰/۳۲۹	۰/۲۷۷
تلچگاه	MAE	۰/۳۳۰	۰/۲۸۰	۰/۲۵۲
	RMSE	۰/۵۷۵	۰/۵۲۹	۰/۵۰۲



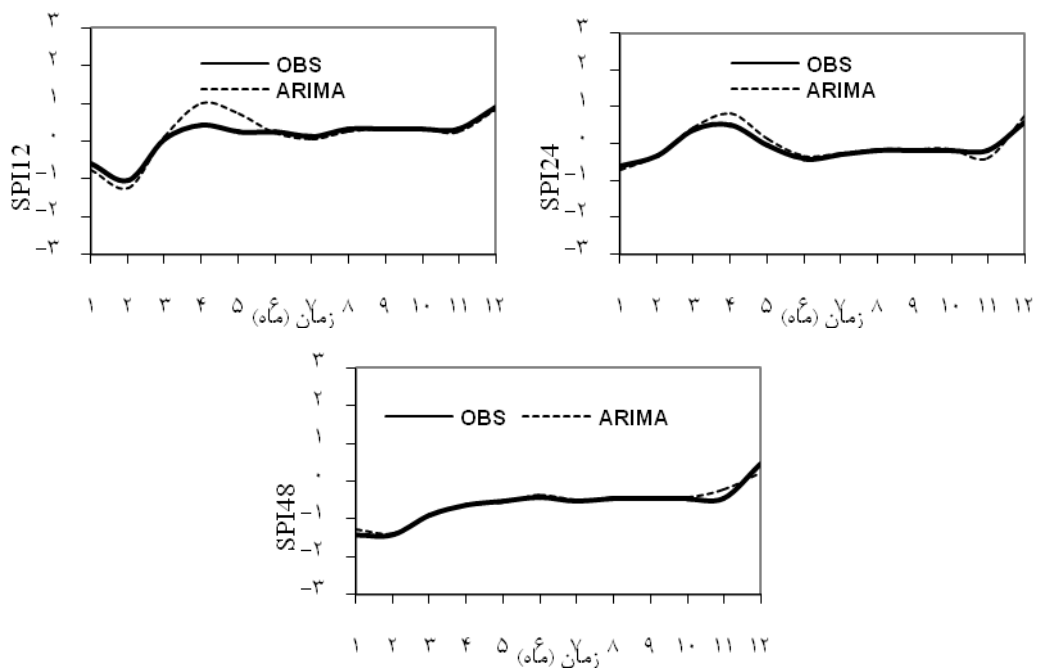
شکل ۱۲: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه بویری در طول دوره آزمون



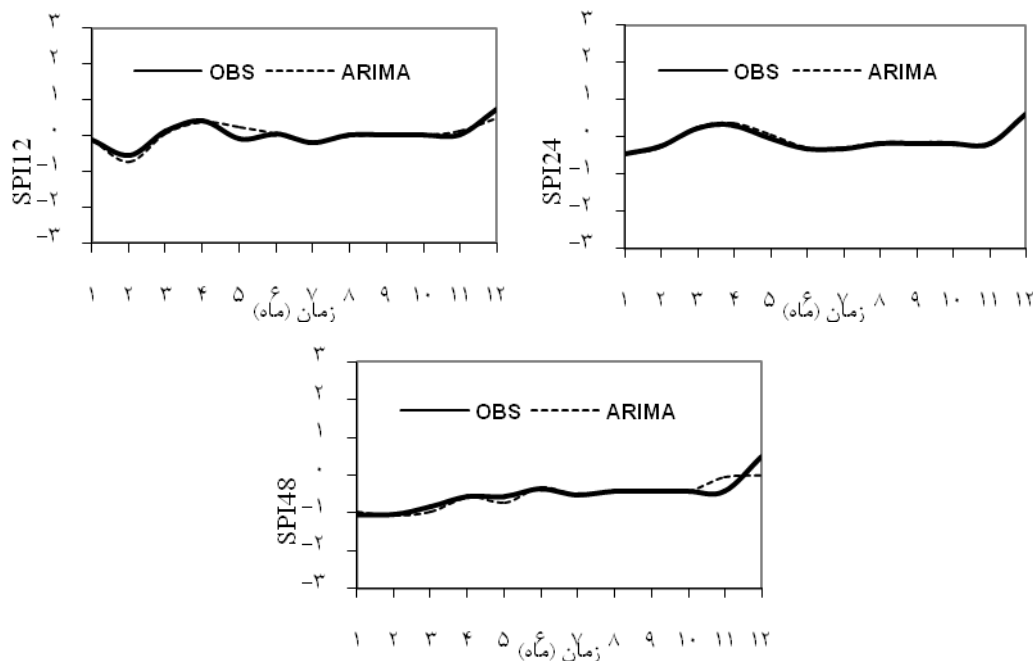
شکل ۱۳: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه دهدشت در طول دوره آزمون



شکل ۱۴: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه دوگنبدان در طول دوره آزمون



شکل ۱۵: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه نازمکان در طول دوره آزمون



شکل ۱۶: مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل ARIMA با مقادیر واقعی ایستگاه تلچگانه در طول دوره آزمون

فراتر از پنج سال را انتظار داشت.

در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه با مقایسه ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها، ترسالی‌های متوسط نسبت به خشکسالی‌های متوسط از شانس وقوع بیشتری برخوردار بوده است. در طبقه شدید در وضعیت خشکسالی ایستگاه‌های دهدشت، دوگنبدان و نازمکان درصد فراوانی بیش‌تری نسبت به مقدار تئوری داشته‌اند و در وضعیت ترسالی به جزء ایستگاه دهدشت بقیه ایستگاه‌ها درصد فراوانی بیش‌تر از مقدار تئوری را نشان دادند. احتمال وقوع خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه‌های بویری و تلچگانه نسبت به مقدار مورد انتظار زیاد می‌باشد. ترسالی بسیار شدید در تمامی ایستگاه‌ها نسبت به مقدار تئوری کم‌تر می‌باشد. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه با بررسی دو وضعیت ترسالی و خشکسالی متوسط مشاهده شد که ترسالی متوسط نسبت به خشکسالی متوسط از فراوانی بیش‌تری برخوردار بوده است. در طبقه شدید و بسیار شدید به‌طور متوسط میزان فراوانی خشکسالی‌ها بیش‌تر از ترسالی‌ها می‌باشد و در هر دو طبقه خشکسالی شدید و خشکسالی بسیار شدید اکثر ایستگاه‌ها، درصد فراوانی را بیش‌تر از مقدار تئوری نشان داده‌اند.

در دوره زمانی ۴۸ ماهه در طبقه متوسط ترسالی‌ها از فراوانی بیش‌تری نسبت به خشکسالی‌ها برخوردار بوده‌اند. در طبقه بسیار شدید خشکسالی از فراوانی بیش‌تری نسبت به ترسالی برخوردار می‌باشد. شانس وقوع خشکسالی‌ها بیش‌تر می‌باشد. در مورد وضعیت نرمال تداوم‌های مختلف در اکثر ایستگاه‌ها دیده شد. به عبارت دیگر تداوم وضعیت نرمال حتی با مدت فراتر از ۱۰ دوره متوالی نیز در تمامی ایستگاه‌ها مشاهده شده است. بنابراین می‌توان دوره طولانی شرایط نرمال را انتظار داشت.

با جمع‌بندی نتایج وضعیت رطوبتی شاخص SPI می‌توان گفت

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی حوضه خیرآباد در قالب شاخص استاندارد بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه پرداخته شد.

تجزیه و تحلیل SPIها

بر اساس وضعیت رطوبتی شاخص SPI در مقیاس سالانه، طبقه‌بندی شدت وقوع خشکسالی و ترسالی‌های سالانه در ایستگاه‌های منتخب حوضه خیرآباد نشان داد که احتمال وقوع وضعیت نرمال نسبت به دو وضعیت ترسالی و خشکسالی بیش‌تر می‌باشد. ضمن این‌که به‌طور متوسط وضعیت ترسالی نیز نسبت به خشکسالی از احتمال وقوع بیش‌تری برخوردار بوده است. علاوه بر این در میان طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی وضعیت خشکسالی و ترسالی متوسط نسبت به دو وضعیت خشکسالی و ترسالی شدید و بسیار شدید از فراوانی بیش‌تر برخوردار بوده است. در طبقه‌بندی با شدت شدید، در ایستگاه‌های دوگنبدان و نازمکان فراوانی وضعیت خشکسالی شدید بیش‌تر از ترسالی شدید است و در بقیه ایستگاه‌ها، وضعیت ترسالی شدید بیش‌تر از خشکسالی شدید است. هم‌چنین در طبقه‌بندی با شدت بسیار شدید، در ایستگاه‌های بویری و تلچگانه فراوانی خشکسالی بسیار شدید بیش‌تر از فراوانی ترسالی بسیار شدید است و در بقیه ایستگاه‌ها فراوانی ترسالی بسیار شدید برابر با خشکسالی بسیار شدید بوده است. در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی حداکثر دو سال متوالی شرایط ترسالی حاکم بوده است و پس از آن شرایط به وضعیت نرمال یا خشکسالی تغییر پیدا کرده است. تداوم وضعیت نرمال حتی با مدت پنج سال و یا بیش‌تر در بعضی از ایستگاه‌ها از جمله بویری و نازمکان مشاهده شده است. بنابراین می‌توان دوره طولانی شرایط نرمال حتی چهار یا پنج سال و

که تعداد دفعات وقوع شرایط رطوبتی نرمال در همه دوره‌های سالیانه و ماهانه در ایستگاه‌های منتخب حوضه نسبت به دو وضعیت ترسالی و خشکسالی بیشتر بوده است. وضعیت دوره‌های خشک یا مرطوب در همه دوره‌های سالانه و ماهانه در ایستگاه‌های منتخب نشان داد که وقوع این وضعیت‌ها، غالباً در سطح حوضه از هم‌زمانی برخوردار نیست. بدین معنی که در زمان‌های وقوع خشکسالی و یا ترسالی در برخی از ایستگاه‌ها، در ایستگاه‌های دیگر شرایط رطوبتی دیگری حاکم بوده است. به‌گونه‌ای که می‌توان گفت در هر دوره زمانی بیش از یک شرایط رطوبتی و حتی در مواردی همه شرایط رطوبتی در نقاط مختلف حوضه وجود داشته است، هوشمند [۷] در استان هرمزگان و علیجان و رضانی [۲] در استان مازندران نیز به چنین یافته‌ای دست پیدا کردند. بنابراین می‌توان گفت که از لحاظ مکانی تغییر شرایط رطوبتی مناطق مختلف یک حوضه در مقیاس محلی و کوچک و یا به عبارتی در سطح خرد اتفاق می‌افتد و لذا لازم است که در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب به این تغییرات مکانی توجه لازم شود و نباید یک استراتژی مدیریتی واحد را برای کل حوضه اتخاذ کرد. به‌طور متوسط در دوره سالیانه وضعیت رطوبتی ترسالی نسبت به خشکسالی بیش‌تر نشان داده شده است، ولی در میان طبقات مختلف خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، وضعیت ترسالی متوسط و شدید، نسبت به خشکسالی متوسط و شدید بیش‌تر بوده و در طبقه بسیار شدید خشکسالی نسبت به ترسالی بیش‌تر بوده است. در حالی که انتظار می‌رود تعداد دفعات وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در طبقات مختلف با هم تقریباً برابر باشند. در دوره ماهانه به‌طور متوسط وضعیت رطوبتی ترسالی شدید و متوسط در بازه‌های زمانی ۱۲ ماهه بیش‌تر از خشکسالی بوده است و فقط در دو بازه زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه وضعیت خشکسالی بیش‌تر از ترسالی بوده است، ولی در وضعیت بسیار شدید در تمام بازه‌های زمانی وضعیت خشکسالی بیش‌تر از ترسالی محاسبه شده است. با توجه به فراوانی وقوع متفاوت ترسالی‌های و خشکسالی‌ها در بازه‌های سالانه و حتی ماهانه، باید با توجه به هدف از بررسی خشکسالی دوره زمانی مناسب برای این نوع بررسی‌ها انتخاب شود به‌طوری که اگر بررسی اثرات خشکسالی روی کشاورزی مدنظر است بهتر است دوره‌های زمانی ماهانه و اگر بررسی آثار هیدرولوژیکی خشکسالی مدنظر باشد بهتر است دوره‌های سالانه انتخاب شوند. مین و همکاران [۱۴] فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در دوره‌های زمانی دو تا سه ساله و پنج تا هشت ساله را مهم دانستند. در بازه‌های زمانی ماهانه خشکسالی و ترسالی حاکم بر حوضه از نوع خشکسالی و ترسالی متوسط بوده است. در میان طبقات مختلف خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، خشکسالی و ترسالی‌های رخ داده شده در حوضه عموماً در وضعیت متوسط بوده است. خشکسالی‌های شدید در مقایسه با ترسالی‌های شدید بیشتر مشاهده شده‌اند در حالی که انتظار می‌رود که این دو تقریباً با یکدیگر برابر باشند. از نظر تداوم دوره‌های خشک و یا مرطوب در مقیاس سالانه به‌طور متوسط میزان تداوم ترسالی‌ها در اکثر

ایستگاه‌ها بیش‌تر از تداوم خشکسالی‌ها بوده است. از نظر تداوم، تداوم خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در ایستگاه‌های محدودی بیشتر از دو سال بوده است. در حالی که از نظر تداوم شرایط نرمال تقریباً در همه ایستگاه‌ها می‌توان شرایط نرمال با تداوم بیشتر از دو سال را مشاهده کرد. به عبارت دیگر این موضوع نشان می‌دهد که ماندگاری در شرایط نرمال می‌تواند طولانی باشد، اما ماندگاری در شرایط خشکسالی و ترسالی کوتاه‌تر بوده و در زمان کم‌تری شرایط از حالت خشکسالی یا ترسالی تغییر می‌یابد. در مقیاس ماهانه، در دوره‌های زمانی طولانی‌تر، خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها با فراوانی کم‌تری رخ می‌دهد، اما در مدت طولانی‌تر ادامه می‌یابد.

مدل‌سازی سری‌های زمانی

تکنیک‌های آماری ابزای مناسب و کارا برای شناسایی و ارزیابی رفتارهای اقلیمی به شمار می‌آیند. یکی از کاربردهای آمار در اقلیم‌شناسی، مدل‌سازی رفتار عناصر اقلیمی است. سری زمانی یکی از مباحث مهم آماری است که دارای سطح غنی از ساختارهای گوناگون در مدل‌سازی خشکسالی است. از الگوهای سری زمانی پر کاربرد الگوهای ARIMA هستند که اقلیم‌شناسان به آن توجه زیادی نشان داده‌اند. در این گونه الگوها قضاوت شخصی و تجربه در انتخاب مدل بهینه و برآورد پارامترها مهم است. در واقع انتخاب بهترین مدل قالب مشخصی ندارد و با سعی و خطا انجام می‌گیرد [۱]. نتایج حاصل از مدل‌سازی سری‌های زمانی SPI‌ها نشان می‌دهد که SPI شاخصی مناسب برای پیش‌بینی خشکسالی در گام‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه است. از آن‌جا که شاخص SPI براساس جمع میانگین بارندگی است، از این‌رو با افزایش زمان میانگین‌گیری نوسانات کاهش یافته به همین جهت مدل‌ها قادر به ارائه نتایج بهتری می‌باشند.

بر اساس نتایج بدست آمده، پیش‌بینی‌ها با استفاده از سری‌های زمانی ARIMA و SARIMA در بازه‌های زمانی مورد بررسی نتایج مورد قبولی را ارائه کردند. به‌طوری که مقادیر R^2 با افزایش بازه‌های زمانی افزایش می‌یابد. هوشمند [۷]، بایزیدی و همکاران [۵] به‌ترتیب در بندرعباس و حوزه آبریز سلماس نیز مدل ARIMA را مدل مناسب برای پیش‌بینی خشکسالی ارائه کرده‌اند. رضی [۲۰] در مناطق خشک و نیمه خشک ایران برای سری‌های زمانی سه و شش ماه مدل ARIMA و برای سری‌های زمانی ۱۲ ماهه مدل SARIMA را مناسب تشخیص داد. معروفی و همکاران [۱۲] مدل SARIMA را مدل مناسب ارائه کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقیاس زمانی از SPI12 تا SPI48 ماهه، تجمع داده‌ها در دو محدوده $\pm 15\%$ و $\pm 30\%$ و در اطراف خط ۴۵ درجه بیش‌تر و همچنین شیب خط رگرسیون نیز با افزایش گام زمانی بیش‌تر می‌شود. نتایج حاصل از مدل‌سازی سری‌های زمانی هر یک از SPI ها در هر ایستگاه نشان داد که بر روی سری‌های SPI12، SPI24 و SPI48 ماهه، مدل ARIMA مناسب می‌باشد. نتایج حاصل از

Persian).

9. Khorshiddoust, A. Nasaji Zavareh, M., Ghermezcheshmeh, B. 2012. Reconstruction of time series of maximum and minimum daily temperatures using the nearest neighbor and artificial neural network (Case study west of Tehran province). *Journal of Geographical Space*. 38: 197-214 (In Persian).

10. Leyani, Gh. Bakhshodeh, M., Zibaei, M. 2019. Application of dynamic system method in evaluating the effects of water demand management policies in Khairabad river basin. *Economic Research and Agricultural Development of Iran Journal*, 2-51(2): 197-216.

11. Makridakis, S. Wheelwright, S.C., Hyndman, R., 2003. *Forecasting methods and applications*. Wiley (ASIA) Pvt Ltd., Singapore.

12. Marofi, S. Khatar, B. Sadeqifar, M. Parsafar, N. and Eldormi, A.R. 2014. Using time-series prediction of drought SARIMA index SPI, in the central region of the Hamedan province. *Journal of Water Agriculture*. 28(1): 213-225 (In Persian).

13. McKee, T.B. Doeskin, N.J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints, 8th Conference on Applied climatology*, January 17-22, Anaheim, CA. 179-184.

14. Min, S.K. Kwon, W.T. Park, E.H. Choi, Y. 2003. Spatial and temporal comparisons of droughts over Korea with East Asia. *International Journal of Climatology*. 23: 223-233.

15. Mishra, A.K. Desai, V.R. 2005. Drought Forecasting Using Stochastic Models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment (SERRA)*. 19 (5): 326-339.

16. Mishra, A.K., Desai, V.R. 2006. Drought Forecasting Using Feed-Forward Recursive Neural Network. *Ecological Modelling*. 198(1): 127-138.

17. Mojarrad, F., Javadi, B. 2010. Iran zoning based on minimum temperatures. *Journal of Geography and Environmental Planning*. 39(3): 83-106 (In Persian).

18. Morid, S. Ghaemi, H., Paymazd, SH. 2004. *Research Project for Designing a Draught Monitoring System for Tehran Province*, Ministry of Energy, Iran.

19. Niromand, H., Bozorgnia, A. 1993. A review

مدل‌سازی سری‌های زمانی هر یک از SPIها نشان داد که مدل ARIMA(1,0,0) در SPI12 ماهه، مدل ARIMA(1,1,0)(0,0,2) در SPI24 ماهه و مدل ARIMA(1,0,0)(0,0,1) در SPI48 ماهه در بیش‌تر ایستگاه‌ها نتایج مناسب‌تری را داشته است. از این رو می‌توان از این مدل‌ها برای پیش‌بینی وضعیت رطوبتی در سطح حوضه استفاده نمود. براساس دو پارامتر میانگین قدر مطلق خطا و جذر میانگین مربعات خطا، برتری کارایی نسبی پیش‌بینی حاصل از وضعیت رطوبتی بر اساس مدل‌سازی سری‌های زمانی SPIها نسبت به پیش‌بینی وضعیت رطوبتی براساس پیش‌بینی بارندگی در تمام سری‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه مشخص شد.

منابع

1. Abdollanezhad, K. 2015. Random models predict monthly rainfall time series (Case Study Hashim station, Gorgan). *Journal of Geo-Spatial Plan*. 5(17): 15-25 (In Persian).

2. Alijani, B., Ramezani, N.A. 2003. Wet and dry years prediction of Mazandaran province using Box-Jenkins Model. *Attachment to Geographical Research*. 155-169 (In Persian)

3. Box, G.E.P., Jenkins, G.M. 1976. *Time series analysis, forecasting and control*, Holand-day, San Francisco.

4. Bras, R.L. and Rodriguez-Iturbe, I. 1985. *Random functions and hydrology*. Addison-Wesley, Reading MA, USA.

۵. Byzedi, M. Siosemardeh, M., Asragah, A. 2017. Prediction and analysis of meteorological drought based on time series (Case study: Salmas watershed). *Journal of Environment and Water Engineering*. 2(4): 346-359 (In Persian).

6. Heidarpour, B. Saghaian, B. Shamsai, A., Golian, S. 2015. Evaluating the impacts of using extraordinary floods in flood frequency analysis. *Journal of Management and Engineering Watershed*. 7(3): 317-330 (In Persian).

7. Houshmand, J. 2014. *Monitoring, Analysis and Prediction of drought using time series*. M.Sc thesis of Hormozgan University, 2-10 (In Persian).

8. Karimi, V.A. Habibnejad Rooshan, M., Abkar A.J. 2011. Investigation of meteorological drought Indexes in Mazandaran synoptic Stations. *Journal of Water Engineering and Irrigation*. 2(5): 15-25 (In

22. Soleimani Sardo, F. Soltani Kopaei, S., Salajegheh, A. 2008. Analysis of drought extent using standardized precipitation index in Kerman province. First International Water Crisis Conference, Zabol University.
23. Yousefi, H. Nohegar, A. Khosravi, Z., Azizabadi Farahani, M. 2104. Drought management and zonation using SPI and RDI indices (Case study: Markazi province). Journal of Ecohydrology. 2(3): 337-344 (In Persian).
20. Razinei, T. 2017. Drought prediction in arid and semi-arid regions of Iran using time series models and Markov chain. Journal of Watershed Engineering and Management. 8(4): 444-414 (In Persian).
21. Samiei, M. Saghafian, B., Mahdavi, M. 2006. Regional analysis of hydrological drought severity in watersheds of Tehran province. Journal of Natural Resources of Iran. 59(1): 27-39.



Abstract

Analysis and prediction of drought using time series in a number of rain gauge stations in Kheyrahad Basin, Kohgiluyeh and Boyerahmad province

M. Armin*¹, H. Rostami² and V. Ghorbannia Kheybari³

Received: 2020/08/02 Accepted: 2021/08/25

Drought is one of the most important climate phenomena which occurs in all climate conditions and most of the regions on the earth and brings in a lot of injuries to human and natural ecosystems. Therefore, it is important to investigate drought's characteristics including intensity, duration and its frequency and to find out their regional risk and forecasting, too. For this reason, some of rain gauge stations in Kheirabad watershed in which their data had been recorded until the end of water years 2011-2012, were selected. Drought conditions for each station were investigated for four different periods including three monthly and one annual periods, using Standardized Prediction Index. Then, drought prediction was performed using SPI values modeling using ARIMA and SARIMA time series. The results showed that in most of the studied time periods, the droughts in the Khyrababad basin are often of medium drought and wet years are of the same type. Study of the persistence of dry and wet periods in selected stations indicates that drought and wet years are more likely to be 1 and 2 years old and have more frequency than other dry and wet periods but the continuity of the normal situation, even for 5 years or more, has been observed in some stations, including the Boyeri and the Nazmakan. The results of drought prediction using time series show that the ARIMA model can better predict SPI values and increase the time interval from 12 months to 48 months more appropriate prediction. Also, the results of the evaluation of the models show that by increasing the time scale from 12 months to 48 months, the slope of the regression line and the MAE and RMSE values are lower.

Keywords: Humidity status, Modeling, Standardized precipitation index, Autocorrelation, Evaluation.

1. Corresponding author, Assistant Professor, Natural Resource Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resource, Yasouj University.

2. Graduated Master of Civil Engineering, Kohgiluyeh and Boyerahmad Water and Regional Company

3. Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology