

## پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از سری زمانی SARIMA و شاخص SPI، در ناحیه مرکزی استان همدان

صفر معروفی<sup>۱\*</sup>، بهناز ختار، مجید صادقی‌فر، نصرالدین پارسافر و علیرضا ایلدورمی

استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

smarofi@yahoo.com

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

khatar\_behnaz@yahoo.com

استادیار گروه آمار، دانشکده علوم دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

sadeghifar@basu.ac.ir

عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، ایران.

parsafar.parsa63@gmail.com

دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر.

ildoromi@gmail.com

### چکیده

پیش‌بینی خشکسالی اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع طبیعی و منابع آب دارد و بارش عمده‌ترین پارامتری است که در تعریف خشکسالی به کار می‌رود و کمبود یا فقدان آن آستانه رخداد خشکسالی است. در این پژوهش از سری زمانی SARIMA در پیش‌بینی بارش و از شاخص SPI برای پیش‌بینی خشکسالی استفاده شد. داده‌های بارش ۳۵ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک بهار، فرودگاه همدان، کیبودرآهنگ و نوزه بین سال‌های آبی ۱۳۹۱-۱۳۵۶ برای پیش‌بینی خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به معیارهای SBC و AIC برای ایستگاه فرودگاه همدان مدل  $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)$ ، ایستگاه سینوپتیک بهار مدل  $SARIMA(0,1,1)(1,0,0)$ ، ایستگاه کیبودر آهنگ  $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)$  و برای ایستگاه سینوپتیک نوزه  $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)$  به عنوان مدل مناسب انتخاب شد. رابطه همبستگی (r) و متوسط خطا (MSE) بین مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده بارندگی در ایستگاه‌های سینوپتیک فرودگاه همدان بترتیب ۰/۹۶ و ۰/۳۵۸، بهار ۰/۹۷ و ۰/۷۶۲، کیبودرآهنگ ۰/۹۸ و ۰/۴۸۷ و ایستگاه نوزه ۰/۹۳ و ۰/۳۹۱ محاسبه شد. نتایج بدست آمده بر اساس شاخص SPI بیانگر وقوع خشکسالی ضعیف در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ است.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، تعریف خشکسالی، معیار SBC و AIC

۱ - آدرس نویسنده مسئول: دانشگاه بوعلی سینا همدان، گروه آبیاری

\* دریافت: بهمن ۱۳۹۱ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۲

توانند ایستا<sup>۳</sup> یا غیرایستا<sup>۴</sup> باشند. داده‌های ایستا به مجموعه داده‌هایی اطلاق می‌شود که خصوصیات توزیع آن‌ها مانند میانگین و انحراف از معیار در طول سری زمانی، ثابت باشد. ایستا بودن داده‌ها نشان از ثابت بودن شرایط هیدرولوژیکی در منطقه دارد. یکی از اساسی‌ترین کمبودها در کاهش اثرات این پدیده، عدم توانایی در پیش‌بینی قابل قبول در مقیاس ماهانه و فصلی است (مساعد و همکاران، ۲۰۰۶).

با توجه به وجود ماهیت تصادفی در عوامل تاثیرگذار در وقوع و شدت خشکسالی‌ها، این پدیده را می‌توان به عنوان یک فرآیند تصادفی در نظر گرفت. پیش‌بینی براساس تحلیل سری‌های زمانی با کاربرد مفهوم مدل‌ها در منابع زیادی برای پیش‌بینی‌های کوتاه مدت مورد استفاده قرار گرفته است. در بیشتر سری‌های زمانی، همبستگی پیاپی بین مشاهدات وجود دارد و این یکی از ویژگی‌های بارز مدل ARIMA و SARIMA است (طوفانی و همکاران، ۲۰۱۱). بذرافشان و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از سری زمانی و شاخص SPI بازگشت تداوم خشکسالی را ارزیابی نمودند و به این نتیجه رسیدند که شاخص خشکسالی در شناخت خشکسالی مناسب است.

خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۸) با استفاده از توزیع-های آماری و داده‌های بارندگی تداوم خشکسالی را در ایستگاه‌های قدیم ایران مورد بررسی قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش دوره پایه مورد نظر، مخاطره خشک سالی افزایش می‌یابد. جوادنیا و مباحثی (۱۳۸۷) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و روش سبال روش‌های ارزیابی خشکسالی را بررسی نمودند، نتایج آن‌ها نشان داد که روش سبال در پیش‌بینی کوتاه مدت خشکسالی مناسب می‌باشد. خوشحال دستجردی (۱۳۸۹) با استفاده از شبکه عصبی خشکسالی اصفهان را پیش‌بینی کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که شبکه عصبی با دقت

خشکسالی پدیده‌ای است که به آرامی رخ می‌دهد و باعث بروز تغییرات مهمی در منابع آب، کشاورزی و غیره می‌شود و اثر مختلفی بر منابع و بخش‌های مختلف، از جمله بر کشاورزی و منابع طبیعی، خصوصاً منابع آب می‌گذارد (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۰). به دلیل تفاوت در متغیرهای هیدرومتئورولوژیکی و عوامل اقتصادی-اجتماعی، و نیز تغییرپذیری تقاضای آب در نقاط مختلف جهان، بیان تعریفی دقیق و جامع واحدی از خشکسالی، دشوار است (میشرا و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱). در شرایط واقعی در صورت وقوع خشکسالی امکان اجتناب از آن وجود ندارد ولی نکته مهم نحوه مدیریت این پدیده در هنگام وقوع در یک منطقه است و به‌گونه‌ای باید صورت پذیرد که اثرات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی حاصل از آن به حداقل ممکن برسد (شفیعی و همکاران، ۲۰۱۰).

تعاریف مفهومی از عبارات نسبی استفاده می‌کنند (مانند یک دوره بلندمدت خشک)، در حالی که تعاریف کاربردی در پی یافتن آغاز، شدت و پایان دوره‌های خشکسالی هستند. تعاریف کاربردی از خشکسالی‌ها در تجزیه و تحلیل فراوانی، شدت، و تداوم برای یک دوره بازگشت معین، به کار می‌روند (گل محمدی و مساح بوانی، ۱۳۹۰).

خشکسالی به انواع خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و خشکسالی اقتصادی-اجتماعی، طبقه بندی می‌شود (ویهات و گلاتنز، ۱۹۸۵). در پیش‌بینی خشکسالی، از اطلاعات و داده‌های گذشته استفاده می‌شود. در صورتی که داده‌های هیدرولوژیکی به صورت دنباله‌وار و پشت سر هم، به همان صورتی که اتفاق افتاده است، ثبت شوند، یک سری زمانی<sup>۲</sup> در اختیار خواهد بود. داده‌های سری زمانی می

---

<sup>3</sup> Stationary<sup>4</sup> Non-stationary<sup>1</sup> Historical Data<sup>2</sup> Time Series

این منطقه دارای در مساحتی در حدود ۲۵۰۰ کیلومترمربع می‌باشد که دارای ارتفاع متوسط ۱۸۵۰ متر نسبت به سطح دریا است. با توجه به موقعیت، شرایط اقلیمی- هیدرولوژیکی و پراکنش ایستگاه‌های منطقه، از داده‌های بارندگی ماهانه چهار ایستگاه سینوپتیک محدوده مطالعاتی که شامل فرودگاه همدان، بهار، کبودرآهنگ و نوژ می‌باشد، در دوره آماری ۳۵ ساله (۱۳۵۶-۱۳۹۱) استفاده گردید.

### روش پژوهش

#### شاخص توزیع استاندارد

شاخص توزیع استاندارد که در این پژوهش استفاده شده است مبتنی بر برازش داده‌های بارندگی بر توزیع نرمال می‌باشد، هرچند که داده‌های بارندگی از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند مقادیر شاخص توزیع استاندارد از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$z = \frac{p_i - \bar{p}}{s} \quad (1)$$

در این رابطه  $p_i$  مقدار بارش در سال مورد نظر،  $\bar{p}$  متوسط مقدار بارش درازمدت و  $s$  انحراف معیار داده‌های بارش می‌باشد، مفهوم خشکسالی در جدول (۱) بر اساس مقدار  $Z$  ارائه شده است که مقادیر منفی نشان‌دهنده خشکسالی است. در این راستا می‌توان به بررسی تغییرات شدت و دوره خشکسالی در حوضه قره‌سو توسط گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) اشاره نمود

#### جدول ۱- محدوده‌های تقسیم‌بندی شاخص توزیع استاندارد

مفهوم اقلیمی	حدود شاخص
خشکسالی ضعیف	$-1 < Z < 0$
خشکسالی متوسط	$-2 < Z < -1$
خشکسالی شدید	$-3 < Z < -2$
خشکسالی خیلی شدید	$Z < -3$

بالایی سیکل خشکسالی استان اصفهان را پیش‌بینی کند. شریفان و قهرمان (۱۳۸۶) طی یک مدل‌سازی که برای چهار ایستگاه فاضل‌آباد، گرگان، مراوه‌تپه و ترشکلی در استان گلستان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه استان گلستان SARIMA مدل مناسبی می‌باشد. کمالی و همکاران (۱۳۸۵) از طریق مدل‌سازی سری‌های زمانی به روش مدل باکس و جنکینز، جریان ماهانه ورودی به سد شهید عباسپور را پیش‌بینی کردند. مدرس (۱۳۸۲) مدل سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه قلعه شاهرخ را با استفاده از روش باکس و جنکینز تهیه کرد. و مدل SARIMA (0,1,1) (1,0,0) به عنوان مدل مناسب انتخاب نمود.

به علت تصادفی بودن فاکتورهای موثر در وقوع و شدت خشکسالی بررسی این پدیده به عنوان فرآیند استوکستیک امکان پذیر است و پژوهشگران از جمله میسرا و دیزای (۲۰۰۶) و مدرس (۲۰۰۷) به بررسی شدت خشکسالی با استفاده از سری‌های زمانی پرداخته و مدل فصلی ARIMA را پیشنهاد نموده اند (میسرا و سینگ، ۲۰۱۱).

با توجه به اهمیت بررسی خشکسالی، مقدار بارش و لزوم ارزیابی آن به دلیل ماهیت تصادفی بودن بارش و اقلیم سرد و نیمه‌خشک استان همدان، هدف از این پژوهش مدل‌سازی بارش با استفاده از روش باکس و جنکینز، استفاده از الگوی آریمای فصلی ضربی (SARIMA) و پیش‌بینی آن، شدت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد بارندگی<sup>۱</sup> در استان همدان در دوره ۳۵ ساله می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه دشت همدان بهار می‌باشد که تقریباً در ناحیه مرکزی استان همدان قرار گرفته است.

<sup>1</sup> Standardized Precipitation Index

## سری‌های زمانی

### الف- تابع خودهمبستگی<sup>۱</sup>

به منظور شناسایی تاخیرهای زمانی در ساختار داده‌های مورد استفاده می‌بایست از تابع خود همبستگی استفاده نمود. در این روش یک تاخیر زمانی (K) به این منظور بر اساس رابطه (۲) در محاسبه‌ی تابع خود همبستگی مربوطه لحاظ شود (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶):

$$P_k = \frac{\text{Cov}(Z_t, Z_{t+k})}{\sqrt{\text{Var}(Z_t)\text{Var}(Z_{t+k})}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (2)$$

$P_k$ : مقدار تابع خودهمبستگی سری زمانی با تاخیر  $Z_t, k$  و  $Z_{t+k}$ : مقادیر متغیرها با داده‌های سری زمانی در مرحله زمانی  $t$  و مرحله با تاخیر زمانی  $k$  و  $\gamma_k$  تابع اتوکواریانس.

### ب- تابع خودهمبستگی جزئی<sup>۲</sup>

علاوه بر خودهمبستگی بین  $Z_t$  و  $Z_{t+k}$  می‌خواهیم همبستگی بین  $Z_t$  و  $Z_{t+k}$  بعد از این که وابستگی خطی مشترک متغیرهای  $Z_{t+1}, Z_{t+2}, \dots, Z_{t+k-1}$  را حذف شده است، منظور از این همبستگی، همبستگی شرطی رابطه ۳ است، و معمولاً در تحلیل سری‌های زمانی خودهمبستگی جزئی نامیده می‌شود.

$$\text{Corr}(Z_t, Z_{t+k}) \mid (Z_{t+1}, \dots, Z_{t+k-1}) \quad (3)$$

و آن رابطه تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) با تاخیر  $k$  به صورت رابطه (۴) می‌باشد.

$$P_k = \frac{\text{Cov}[(Z_t - \bar{Z}_t), (Z_{t+k} - \bar{Z}_{t+k})]}{\sqrt{\text{Var}(Z_t - \bar{Z}_t)\text{Var}(Z_{t+k} - \bar{Z}_{t+k})}} \quad (4)$$

$Z_t$ : مقدار میانگین مربوط به متغیرها

### ت- مدل خودهمبستگی-میانگین متحرک تلفیق شده

#### فصلی<sup>۳</sup>

هر گاه در یک سری بعد از هر فاصله زمانی مشخص (S) شباهت‌هایی پیدا شود، سری دارای رفتار

فصلی یا تناوبی با دوره تناوب S می‌شود. برای ساخت این مدل‌ها، چهار مرحله: شناسایی مدل، برازش الگو، تشخیص درستی الگو و پیش‌بینی باید انجام گیرد.

### د- مدل خودهمبستگی میانگین متحرک تلفیق شده فصلی

#### (SARIMA) (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶)

با ترکیب مدل‌های فصلی و غیرفصلی، مدل‌های موسوم به آریمای فصلی مکرر ۲ را که به SARIMA معروف است معرفی شد (۷). در کل مدل به صورت  $(p, d, q)(P, D, Q)$  SARIMA نامیده می‌شود که عبارت  $(p, d, q)$  بخش غیرفصلی مدل و عبارت  $(P, D, Q)$  بخش فصلی مدل است که به صورت رابطه (۵) بیان می‌شود:

$$\phi p(B)\phi P(Bs)\nabla d\nabla sDZ_t = \theta q(B)\Theta Q(Bs)a_t \quad (5)$$

$p$  درجه خودهمبستگی غیرفصلی،  $d$  درجه تفاضل‌گیری،  $q$  درجه میانگین متحرک غیر فصلی،  $P$  درجه خودهمبستگی فصلی،  $D$  درجه تفاضل‌گیری فصلی،  $Q$  درجه میانگین متحرک فصلی،  $s$  طول فصل است.

## مراحل اجرای تحقیق

### ۱- مرحله شناسایی الگو

در این مرحله با رسم نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی و آزمون بارتلت-لون ایستایی میانگین و واریانس داده‌ها مورد ارزیابی قرارگرفت در صورت لزوم تفاضل مناسب سری برای ایجاد ایستایی و نرمال بودن در سری صورت گرفت. در مرحله دوم ساختار همبستگی زمانی داده‌های تبدیل شده، بوسیله آزمون توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی تعیین گردید. با توجه به تعداد گام‌های معنی‌دار در هر یک از نمودارهای PACF و ACF می‌توان محدوده تغییرات مرتبه مدل‌ها را بدست آورد و در نهایت با ترکیب آن به مدل‌های داوطلب دست یافت. مدلی که حداقل AIC را داشته باشد به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. روابط

<sup>1</sup> Auto Correlation Function

<sup>2</sup> Partial Auto Correlation Function

<sup>3</sup> SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)

های استان همدان از نرم‌افزار 14 MINITAB استفاده شد. و با استفاده از نمودارهای PACF و ACF مدل‌های مختلف سری زمانی بارش به منظور تخمین این پارامتر هواشناسی تهیه و با استفاده از این مدل‌ها بارندگی در منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی گردید و با استفاده از معیار SBC و AIC مدل مناسبی که دارای کمترین مقدار SBC و AIC باشد انتخاب شد.

### نتایج و بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با توجه به معیارهای SBC و AIC برای ایستگاه‌های فرودگاه همدان، بها، کبودرآهنگ و نوژه به ترتیب مدل‌های SARIMA(0,0,1)(0,1,1)، SARIMA(1,0,0)0,1,1)،(1,1,1) به SARIMA(0,0,1)0,1,1) و SARIMA(0,0,1) عنوان بهترین مدل در هر ایستگاه انتخاب گردیدند. روند انتخاب بهینه مدل برای ایستگاه کبودرآهنگ به عنوان نمونه در جدول (۲) ارائه شده است. نتیجه مشابهی نیز توسط سایر پژوهشگران به دست آمده است (مدرس، ۱۳۸۲) و (آشگر طوسی و علیزاده، ۱۳۸۴)، فولادمنند (۱۳۹۰) بر روی داده‌های تبخیر و تعرق فارس به دست آمد و مدل SARIMA (1,0,2) (2,1,2) به عنوان مدل مناسبی انتخاب گردید.

ریاضی مربوط به AIC و SBC به صورت روابط (۶) و (۷) می‌باشند (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۰).

$$AIC = n \times \ln(MSE) + 2 \times m \quad (۶)$$

$$SBC = n \times \ln(MSE) + 2 \times m \times \ln(MSE) \quad (۷)$$

که در آنها n تعداد مشاهدات،  $m = (p+q+P+Q)$  یعنی تعداد پارامترهای برآورد شده مدل است و MSE مجموع مربعات خطای مدل مورد نظر می‌باشد.

### ۲- برازش الگو:

در این مرحله با شناسایی الگوهای مناسب در مرحله قبل، معنی‌داری مقادیر p و t متناظر بررسی شد و مدلی که دارای مجموع مربعات خط SSE و میانگین مربعات خطای MSE کوچکتری بود، انتخاب شد.

### ۳- تشخیص درستی الگو:

برای بررسی درستی مدل، نمودار باقیمانده‌ها از نظر نرمال بودن و ایستایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

### ۴- پیش‌بینی:

با استفاده از تبدیل باکس-کاکس، مقادیر سری داده‌های پیش‌بینی شده به مقادیر تبخیر از تشت تصحیح شدند. نتایج داده‌های تبخیر از تشت پیش‌بینی شده برای سال‌های مورد نظر ارزیابی شد. جهت مدل بارش ایستگاه-

جدول ۲- مدل‌های مختلف SARIMA برای پیش‌بینی بارش ایستگاه سینوپتیک کبودآهنگ

پارامترهای مدل						تعداد داده‌ها	معیارهای ارزیابی مدل		
p	d	q	P	D	Q	n	MSE	AIC	SBC
۰	۰	۱	۰	۱	۱	۴۲۰	۴۸۷	۲۶۰۳/۰۷	۲۶۱۱/۱۵
۱	۰	۱	۰	۱	۱	۴۲۰	۴۸۸	۲۶۰۵/۹۳	۲۶۱۸/۰۵
۱	۰	۰	۱	۱	۱	۴۲۰	۴۸۸	۲۶۰۵/۹۳	۲۶۱۸/۰۵
۰	۰	۱	۱	۱	۱	۴۲۰	۴۸۸	۲۶۰۵/۹۳	۲۶۱۸/۰۵
۱	۰	۱	۱	۱	۱	۴۲۰	۴۸۹	۲۶۰۸/۷۹	۲۶۲۴/۹۵
۲	۰	۱	۱	۱	۱	۴۲۰	۴۸۹	۲۶۱۰/۷۹	۲۶۳۰/۹۹
۳	۰	۱	۱	۱	۱	۴۲۰	۴۸۹	۲۶۱۲/۷۹	۲۶۳۷/۰۳
۱	۰	۱	۱	۱	۲	۴۲۰	۴۹۲	۲۶۱۳/۳۶	۲۶۳۳/۵۶
۲	۰	۲	۲	۱	۲	۴۲۰	۴۹۳	۲۶۲۰/۲۱	۲۶۵۲/۵۴
۴	۰	۰	۴	۰	۰	۴۲۰	۵۴۴	۲۶۶۱/۵۶	۲۶۹۳/۸۸
۳	۰	۰	۳	۰	۰	۴۲۰	۵۵۳	۲۶۶۴/۴۵	۲۶۸۸/۶۹
۲	۰	۰	۲	۰	۰	۴۲۰	۵۸۱	۲۶۸۱/۱۹	۲۶۹۷/۳۶
۱	۰	۰	۱	۰	۰	۴۲۰	۶۳۴	۲۷۱۳/۸۶	۲۷۲۱/۹۴
۰	۰	۱	۰	۰	۱	۴۲۰	۶۷۴	۲۷۳۹/۵۶	۲۷۴۷/۶۴

جدول ۳- پیش‌بینی روند خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

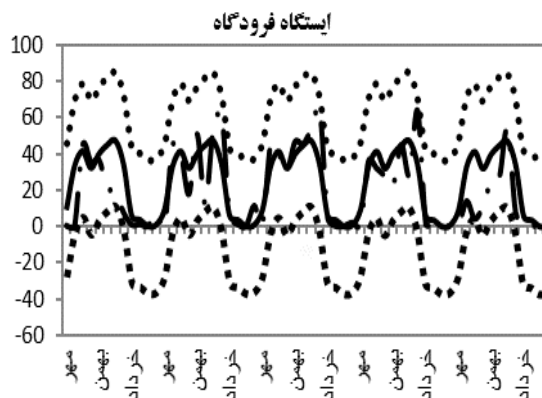
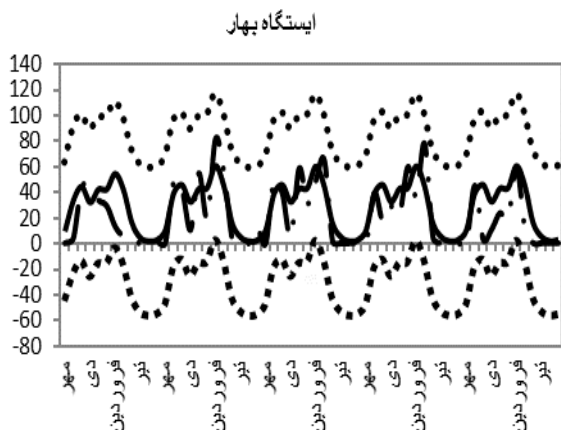
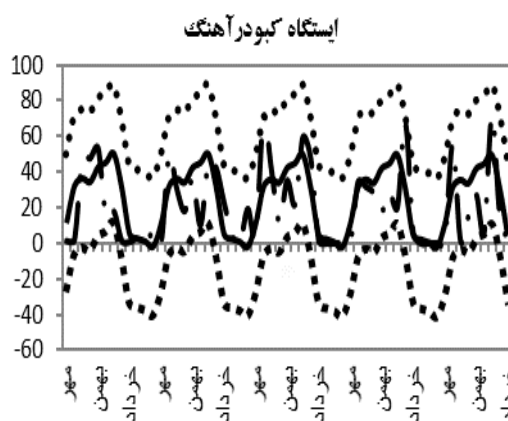
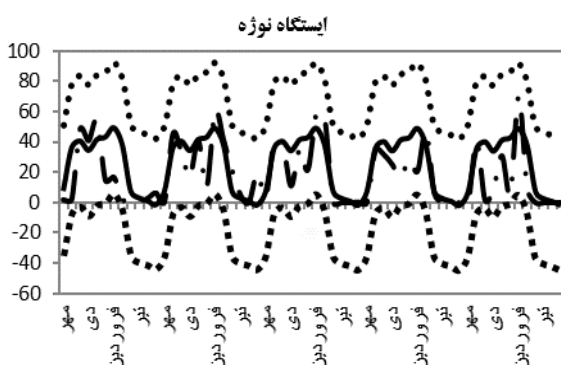
ایستگاه	سال آبی	بارش سالانه	شاخص توزیع استاندارد	وضعیت خشکسالی
بازره	۹۰-۹۱	۲۶۸/۵۵	-۰/۱۵۱۲	ضعیف
	۹۱-۹۲	۲۶۶/۱۹	-۰/۱۵۸۴	ضعیف
	۹۲-۹۳	۲۶۳/۷۵	-۰/۱۶۶۴	ضعیف
	۹۳-۹۴	۲۶۱/۳۱	-۰/۱۷۳۹	ضعیف
	۹۴-۹۵	۲۵۸/۵۷	-۰/۱۸۱۵	ضعیف
کبودآهنگ	۹۰-۹۱	۲۸۷/۵۷	-۰/۱۴۲۰	ضعیف
	۹۱-۹۲	۲۵۸/۹۱	-۰/۲۶۶۸	ضعیف
	۹۲-۹۳	۲۸۴/۲۶	-۰/۱۵۶۴	ضعیف
	۹۳-۹۴	۲۸۲/۶۲	-۰/۱۶۳۵	ضعیف
	۹۴-۹۵	۲۸۰/۹۷	-۰/۱۷۰۷	ضعیف
نهار	۹۰-۹۱	۳۳۶/۲۸	-۰/۱۷۶۵	ضعیف
	۹۱-۹۲	۳۳۰/۹۸	-۰/۱۷۹۲	ضعیف
	۹۲-۹۳	۳۳۲/۴۱	-۰/۱۷۹۲	ضعیف
	۹۳-۹۴	۳۳۳/۳۱	-۰/۱۷۸۹	ضعیف
	۹۴-۹۵	۳۳۴/۲۴	-۰/۱۷۸۹	ضعیف
فرودگاه	۹۰-۹۱	۳۳۶/۲۸	-۰/۱۷۶۵	ضعیف
	۹۱-۹۲	۳۳۰/۹۸	-۰/۱۷۹۲	ضعیف
	۹۲-۹۳	۳۳۲/۴۱	-۰/۱۷۹۲	ضعیف
	۹۳-۹۴	۳۳۳/۳۱	-۰/۱۷۸۹	ضعیف
	۹۴-۹۵	۳۳۴/۲۴	-۰/۱۷۸۹	ضعیف

بینی نمود. همبستگی مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده مقدار بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه استان همدان نیز محاسبه شد که مقدار  $R^2$  و MSE برای ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان به ترتیب ۰/۹۲ و ۳۵۸، ایستگاه

در جدول (۳) پیش‌بینی روند خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در ایستگاه‌های همدان ارائه گردیده‌اند. که این نتایج در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه خشکسالی ضعیف را در بین سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۵ پیش

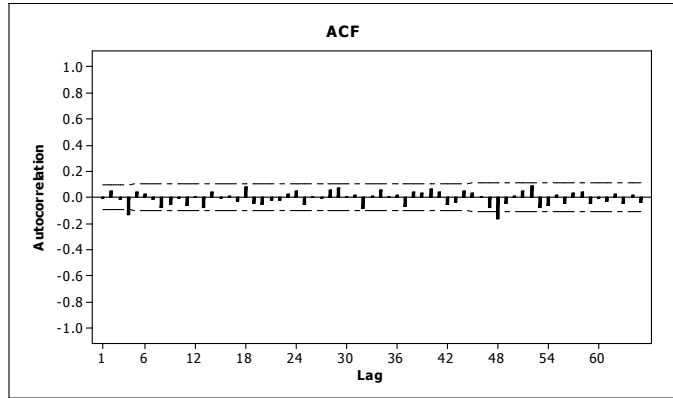
آشگرطوسی و علیزاده (۱) و (۱۶) در بررسی پیش بینی بارندگی‌های فصلی در استان خراسان با استفاده از مدل SARIMA نشان دادند که نمودارهای خودهمبستگی، خودهمبستگی جزئی و بررسی تمام الگوهای احتمالی به لحاظ نرمال بودن باقی مانده‌ها و ملاک کمترین مربعات خطا، بهترین الگو برای بارندگی‌های فصلی بدست آمد.

سینوپتیک بهار ۰/۹۴ و ۷۶۲، ایستگاه کبودرآهنگ ۰/۹۷ و ۴۸۷ و ایستگاه سینوپتیک نوزده ۰/۸۸ و ۳۹۱ به دست آمد. همچنین مقدار تخمین زده شده با استفاده از این مدل با مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های همدان مقایسه گردید و با استفاده از دستور پیش‌بینی، مدل بارندگی پنج سال آینده ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی شد. که در شکل (۱) پیش‌بینی بارش ایستگاه‌های همدان ارائه شده است.

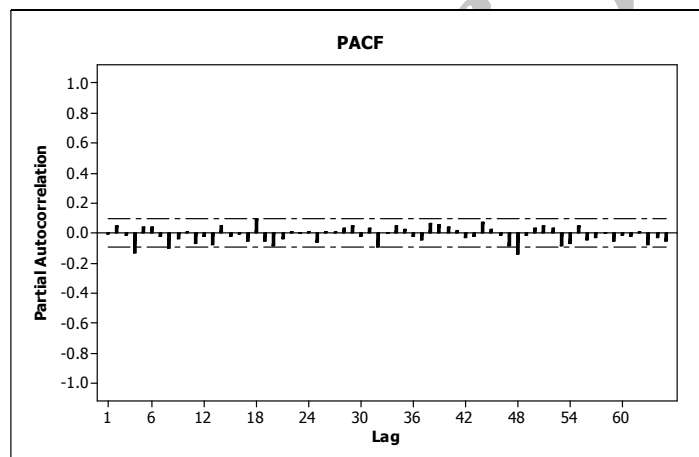


شکل ۱- پیش‌بینی بارش در ایستگاه‌های مورد بررسی در استان همدان

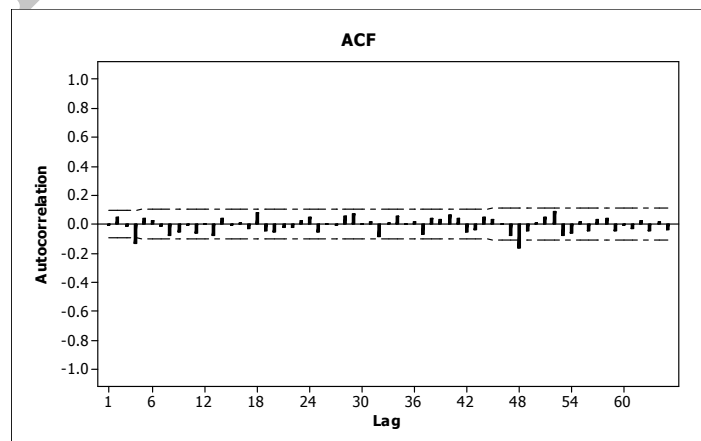
با توجه به نمودارهای ACF و PACF مانده‌ها در چهار ایستگاه مورد مطالعه، دیده می‌شود که همبستگی بین مانده‌ها با لگ‌های متفاوت از صفر اختلاف معنی‌داری ندارد (شکل‌های ۲ الی ۹)



شکل ۲- نمودار خود همبستگی با احتمال ۹۵ درصد از مانده‌های بارش ایستگاه کبودرآهنگ

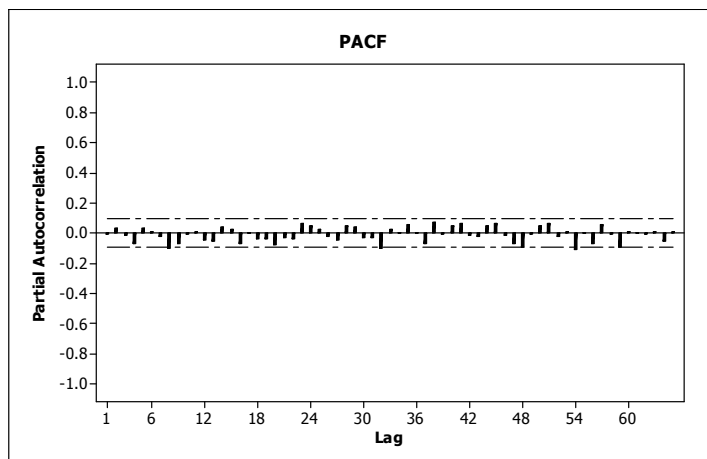


شکل ۳- نمودار خود همبستگی جزئی با احتمال ۹۵ درصد از مانده‌های بارش ایستگاه کبودرآهنگ

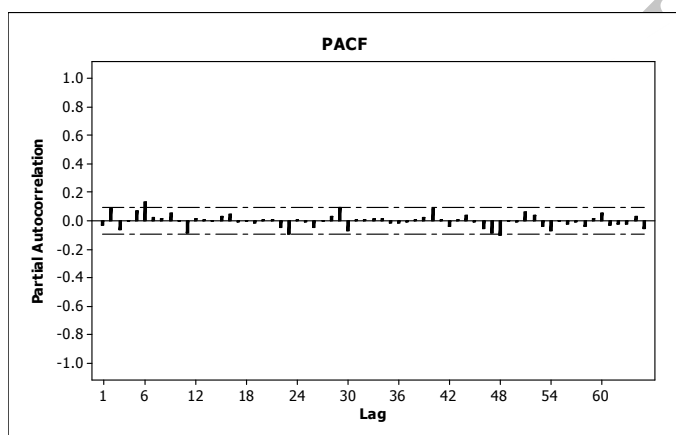


شکل ۴- نمودار خود همبستگی با احتمال ۹۵ درصد از مانده‌های بارش ایستگاه نوزه

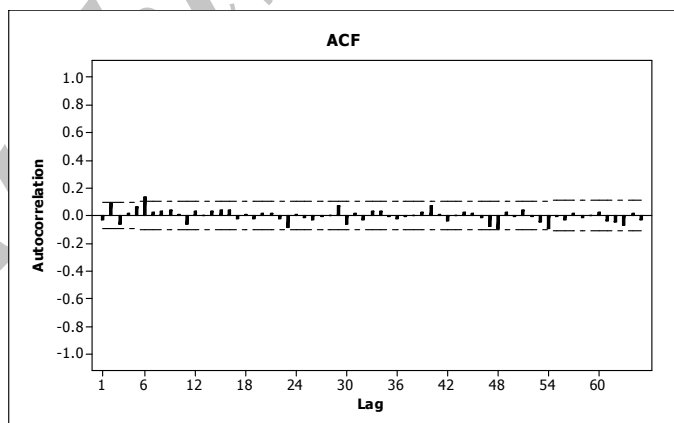




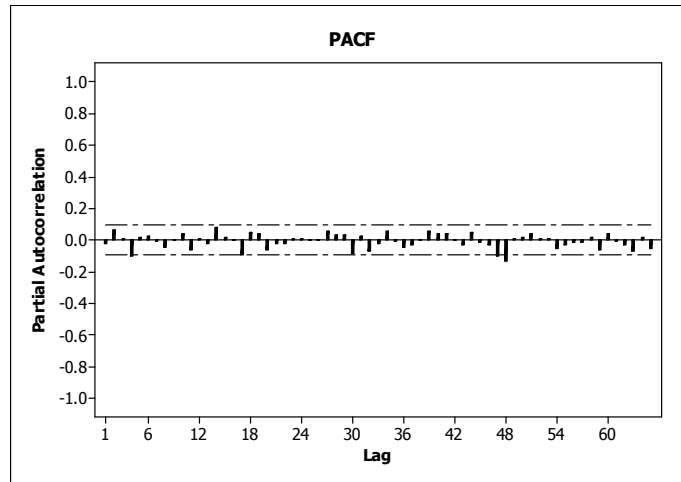
شکل ۵- نمودار خود همبستگی جزئی با احتمال ۹۵ درصد از مانده‌های بارش ایستگاه نوژه



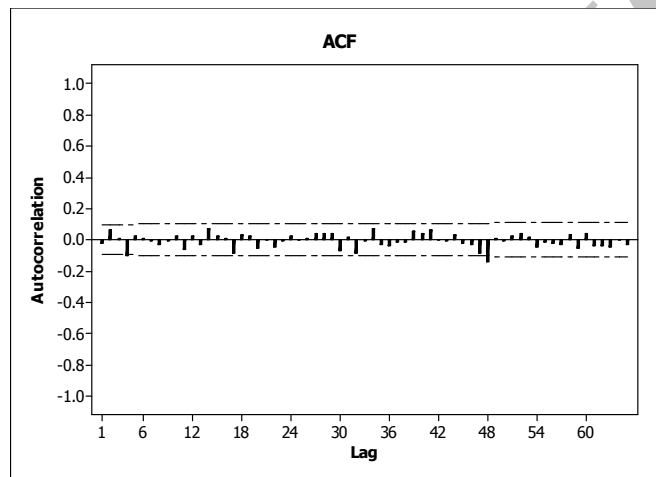
شکل ۶- نمودار خود همبستگی جزئی با احتمال ۹۵ درصد از مانده‌های بارش ایستگاه بهار



شکل ۷- نمودار خود همبستگی جزئی با احتمال ۹۵ درصد از مانده‌های بارش ایستگاه بهار



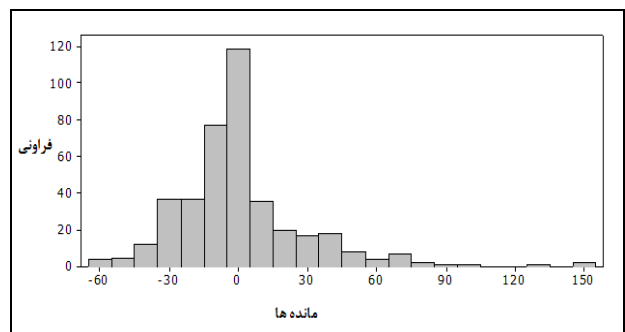
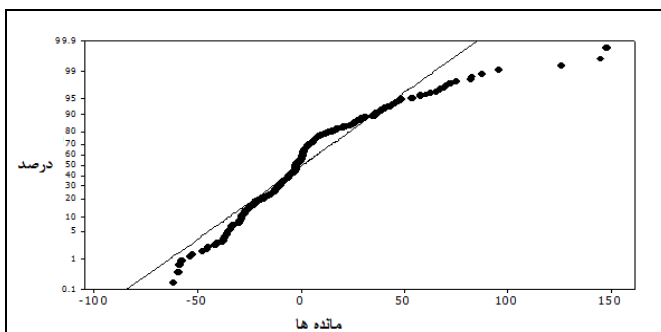
شکل ۸- نمودار خود همبستگی با احتمال ۹۵ درصد از مانده های بارش ایستگاه فرودگاه



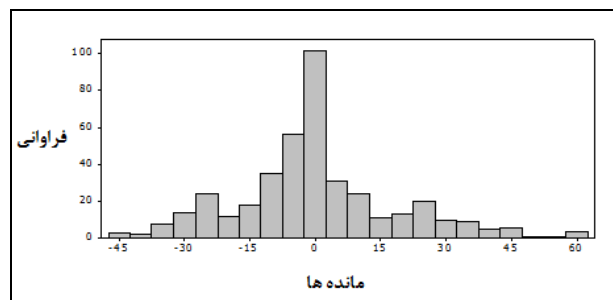
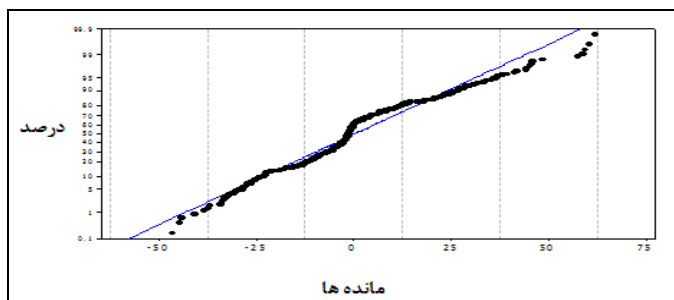
شکل ۹- نمودار خود همبستگی جزئی با احتمال ۹۵ درصد از مانده های بارش ایستگاه فرودگاه

این مدل تخطی خاصی از نرمال بودن و تصادفی بودن ندارد. که شکل‌های (۹) الی (۱۳) عملکرد بهینه مدل را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند.

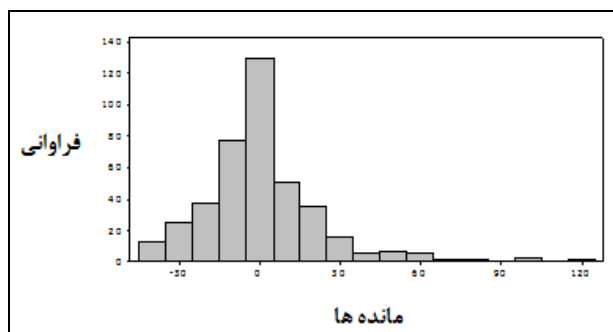
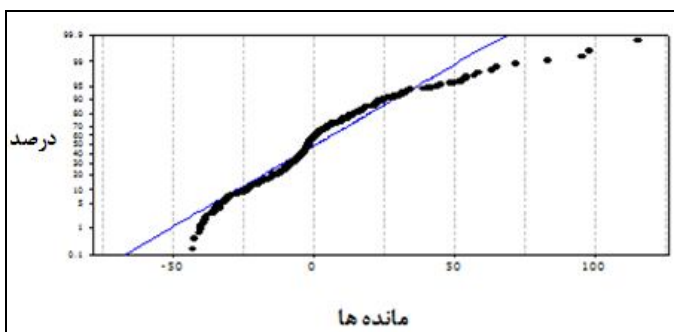
به منظور ارزیابی عملکرد مدل و درستی و مناسبت بودن مدل، نمودارهای احتمال نرمال مانده‌ها، سری زمانی مانده‌ها، هیستوگرام مانده‌ها و مانده‌ها در مقابل مشاهدات مرتب‌شده رسم شد. که این نمودارها نشان می‌دهد



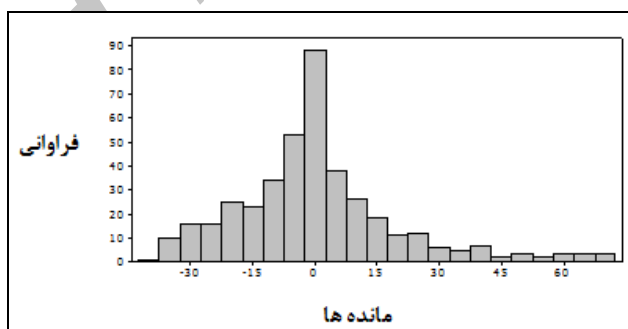
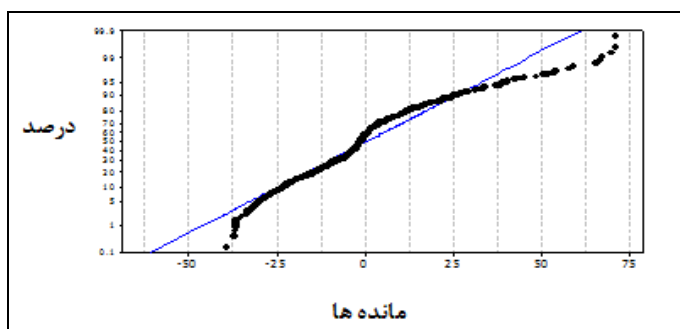
شکل ۱۰- نمودارهای مانده بارش ایستگاه بهار



شکل ۱۱- نمودارهای مانده بارش ایستگاه همدان



شکل ۱۲- نمودارهای مانده بارش ایستگاه کبودرآهنگ



شکل ۱۳- نمودارهای مانده بارش ایستگاه نوزه

## نتیجه گیری

آهنگ  $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)$  و برای ایستگاه سینوپتیک نوزه  $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)$  به عنوان مدل مناسب انتخاب شد. ضمناً، نتایج مدل سری زمانی برای ارزیابی نتایج مدل سری زمانی با شاخص  $SPI$  ارزیابی شد. نتایج به دست آمده تطابق خوبی بین این دو الگوی متفاوت خشکسالی را نشان می‌دهد، لذا به منظور حصول اطمینان در پیش‌بینی رخدادهای هیدرولوژیکی، می‌توان از این روش شناختی مطالعاتی استفاده نمود.

هدف این پژوهش علاوه بر پایش شدت خشکسالی، بررسی ماهیت تصادفی و پیش‌بینی آن بر پایه شاخص  $SPI$  و ارزیابی مدل‌های سری زمانی  $SARIMA$  در منطقه مرکزی همدان است. نتایج نشان داد که در سال-های آتی منطقه همدان با خشکسالی ضعیفی رو به رو است. ارزیابی مدل‌های سری زمانی نشان داد که برای ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان مدل  $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)$ ، برای ایستگاه سینوپتیک بهار مدل  $SARIMA(1,0,0)(1,1,1)$ ، برای ایستگاه کبودر

## فهرست منابع

۱. بذرافشان، ج.، ع. هورفر، ع. خلیلی، ص. ترابی پلت کله. و س. حجام. ۱۳۸۸. ارزیابی کارایی روش‌های گوناگون برآورد دوره بازگشت تداوم خشکسالی در شرایط استقلال و وابستگی زمانی داده‌های بارندگی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳(۸): ۱-۱۰.
  ۲. بی‌نام. ۱۳۹۱. آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی. سازمان هواشناسی کشور.
  ۳. جوادنیا، ا. و م. مباشری. ۱۳۸۶. بررسی روش‌های ارزیابی خشکسالی کشاورزی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور. ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران. انجمن اقتصاد کشاورزی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
  ۴. خرمی، م. و ا. بزرگ‌نیا. ۱۳۸۶. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با نرم افزار MINITAB-14 انتشارات سخن گستر. ۳۳۶ صفحه.
  ۵. خلیلی، ع. و ج. بذرافشان. ۱۳۸۷. ارزیابی مخاطره تداوم خشک‌سالی با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه قرن گذشته در ایستگاه‌های قدیمی ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، ۲۳(۲): ۲-۱۳.
  ۶. خوشحال دستجردی، ج. و م. حسینی. ۱۳۸۹. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی عناصر اقلیمی و پیش‌بینی سیکل خشکسالی (مطالعه موردی: اصفهان). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۱(۳): ۱۷۰-۱۲۰.
  ۷. شریفان، ح. و ب. قهرمان. ۱۳۸۶. ارزیابی پیش‌بینی باران با بکارگیری تکنیک SARIMA در استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۳): ۱-۱۴.
  ۸. شفیعی، م.، ب. قهرمان، ح. انصاری. و م. ب. شریفی. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی تصادفی شدت خشکسالی براساس شاخص پالمر. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۱(۱): ۱-۱۳.
  ۹. طوفانی، پ.، ا. مساعدی. و ا. فاخری فرد. ۱۳۹۰. پیش‌بینی بارندگی با استفاده مستقیم از نظریه موجک. مطالعه موردی: ایستگاه باران سنجی زرینگل استان گلستان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۵): ۱۲۱۷-۱۲۲۶.
  ۱۰. علیجانی، ب. و ن. رضائی. ۱۳۸۱. پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران با استفاده از مدل باکس-جنکینز. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ضمیمه: ۱۵۵-۱۶۹.
  ۱۱. فولادمند، ح. ۱۳۸۹. پیش‌بینی ماهانه تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع در استان فارس. مجله دانش آب و خاک، ۲۰(۴): ۱۵۷-۱۷۱.
  ۱۲. کمالی، ج. و ا. محمودیان شوشتری. ۱۳۸۵. پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد شهید عباسپور با استفاده از مدل‌های سری زمانی Box-Jenkins. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. سازمان آب و برق خوزستان، دانشگاه شهید چمران اهواز.
  ۱۳. گل محمدی، م. و ع. مساح بوانی. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۲): ۳۱۵-۳۲۶.
  ۱۴. مدرس، ر. ۱۳۸۲. مدل سازی باکس-جنکینز سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه قلعه شاهرخ. سومین همایش پیش‌بینی وضع هوا. پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی کشور، تهران.
  ۱۵. مساعدی، ا.، م. خلیل‌زاده. و ا. محمدی استاد کلاهی. ۱۳۸۷. پایش خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۲): ۱۷۶-۱۸۲.
16. Mishra, A. K and Desai, V. R. 2006. Drought forecasting using feed-forward recursive neural network. Journal of Ecological Modeling. 127-138.

17. Mishra, A. K and Singh, V. P. 2011. Drought modeling-A review, Journal of Hydrology. 403: 157-175
18. Wilhite, D. A and Glantz, M. H.1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International. 10 (3): 111-120
19. [www.drought.iranhydrology.net](http://www.drought.iranhydrology.net)

Archive of SID