

هیدروژنومورفولوژی، شماره ۱۵، تابستان ۱۳۹۷، صص ۱۶۹-۱۵۳

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۹ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۳

ارزیابی کارایی مدل سری زمانی SARIMA در شبیه‌سازی دبی متوسط ماهانه رودخانه‌های افرینه کشکان و کاکارضا (استان لرستان)

حافظ میرزاپور^۱

علی حقی‌زاده^{۲*}

رضوان علیجانی^۳

زاهده حیدری‌زادی^۴

چکیده

بررسی و شناخت تغییرات زمانی دبی پایه در مطالعات حوضه‌های آبخیز بخصوص در فصول با جریان کم، اهمیت زیادی دارد. هدف از این پژوهش بررسی و مقایسه کارایی سری زمانی ۳۰ و ۵۶ ساله به ترتیب مربوط به دبی متوسط ماهانه رودخانه‌ی کاکارضا در شهرستان سلسله و رودخانه‌ی افرینه کشکان در شهرستان پلدختر در استان لرستان می‌باشند. بدین منظور ابتدا اقلیم دو منطقه تعیین و در گام بعد، توابع خود همبستگی و خودهمبستگی جزئی داده‌های واقعی در نرم‌افزار XLSTAT ترسیم و داده‌ها با استفاده از روش‌های باکس کاکس و لگاریتمی نرمال شده‌اند. سپس روند داده‌ها که نشان‌دهنده‌ی ناپایداری داده‌ها بود، تعیین گردید. بنابراین با استفاده از روش عملگر تفاضل در نرم‌افزار MINITAB روند داده‌ها حذف، و مدل مناسب با کمترین آکائیکه انتخاب شد. سپس دو دوره‌ی ۱۲ و ۲۴ ماهه برای دو منطقه شبیه‌سازی گردید. نتایج حاکی از آن بود که مدل‌های انتخابی در دوره‌ی ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۹۲، ۰/۶ برای رودخانه‌ی کاکارضا و ۰/۸۸، ۰/۹۴ برای رودخانه‌ی افرینه

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

۲- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران (نویسنده مسئول).

E-mail:haghizadeh.a@lu.ac.ir

۳- دانشجوی دکترا مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

۴- دانشجوی دکترا مهندسی بیابان‌زدایی، دانشگاه گرگان، لرستان، ایران.

کشکان می‌باشد. در دوره‌ی کوتاه‌مدت ۱۲ ماهه، توانست شبیه‌سازی مناسب‌تری را برای هر دو رودخانه نشان دهد.

کلمات کلیدی: سری زمانی، SARIMA، شبیه‌سازی، کاکارضا، افرینه.

مقدمه

اساس بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فرایندهای هیدرولوژیکی و تصمیمات بهره‌برداری از منابع آب بر پایه پیش‌بینی و تحلیل سری‌های زمانی می‌باشد (عراقی‌نژاد و کارآموز، ۱۳۹۳: ۳۵۴). برای پیش‌بینی سری زمانی و تعیین مدل پیش‌بینی، فنون مختلفی وجود دارد. این فنون را می‌توان به دو دسته کمی و کیفی تفکیک کرد. از جمله روش‌های کمی، مدل‌های میانگین متحرک ساده و موزون، هموارسازی نمایی ساده و حالت وینترز، باکس جنکینز، اتورگرسیون میانگین متحرک تلفیقی^۱ (ARIMA) و مدل‌های اقتصادسنجی و از روش‌های کیفی، روش‌های دلفی، طوفان مغزی و گروه اسمی را می‌توان برشمرد (آذر و مؤمنی، ۱۳۹۵: ۶۵). یکی از شرایط اولیه استفاده از داده‌ها در مباحث سری زمانی، ایستا بودن آن‌هاست، در غیر این صورت باید نا ایستایی رفع شود. اگر قوانین حاکم بر مدل مانند میانگین و کوواریانس در طول زمان به صورت دوره‌ای ثابت باشد، سری از نوع ایستای دوره‌ای می‌باشد، چون این نوع سری قابل تبدیل به ایستا نمی‌باشد، لذا باید از روش‌های جدید سری زمانی که بر مبنای ایستای دوره‌ای می‌باشند (مانند مدل PMA^۲، PAR^۳ و مدل PARMA^۴) استفاده کرد. در غیر این صورت برای ایستا نمودن داده‌ها در میانگین از روش تفاضلی و برای تبدیل پایداری در واریانس از روش باکس_کاکس می‌توان استفاده نمود در جهت مدل‌سازی از سری‌های

1- Auto Regressive Integrated Moving Average

2- Periodic Moving average

3- periodic auto Regressive

4- PERIODIC AUTO REGRESSIVE-MOVING AVERAGE

زمانی، در اغلب موارد متخصصان از انواع متنوع مدل‌های ریاضی و آماری بهره می‌گیرند به طوری که همبستگی‌های موجود مابین زمان و مشاهدات مدنظر است (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۹: ۱۳۲). دودانگه و سلطانی کوپائی (۱۳۹۰) در پژوهشی، با استفاده از مدل‌های باکس-جنکینز سری زمانی ماهانه جریان رودخانه dپل‌دختر را بررسی کردند و مدل $ARIMA(2,0,2)(2,0,0)$ را به‌عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی جریان آن رودخانه انتخاب کردند. ولی‌پور و همکاران (۲۰۱۳) مقایسه‌ی بین روش‌های ARMA، ARIMA و شبکه‌ی عصبی مصنوعی اتورگرسیو در جریان ورودی ماهانه به مخزن سد دز انجام دادند که نتایج نشان داد جریان ورودی پیش‌بینی‌شده در ARIMA بهتر از پیش‌بینی ARMA بوده است. هانو همکاران^۱ (۲۰۱۲) در گوانگژو در کشور چین به پیش‌بینی خشک‌سالی با استفاده از مدل‌های ARIMA فصلی پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل‌ها به خوبی می‌توانند در پیش‌بینی خشک‌سالی مورد استفاده قرار گیرند. میرزاوند و همکاران (۲۰۱۴) با تجزیه و تحلیل داده‌های ۳۶ حلقه چاه در کاشان سطح آب زیرزمینی را پیش‌بینی نمودند. نتایج حاصل مبین این بود که مدل $AR(2)$ مناسب‌ترین مدل است و برای دوره‌ی زمانی ۶۰ ماه پیش‌بینی مناسب‌تری را انجام خواهد داد. نواکزو همکاران^۳ (۱۹۸۵)، قدرت پیش‌بینی کوتاه‌مدت مدل‌های SARIMA، ARIMA و مدل‌های خودهمبستگی دوره‌ای (PAR) را بر روی سری ۳۰ ماهه جریان مقایسه کردند و نشان داد که مدل‌های خود همبسته دوره‌ای دقیق‌ترین پیش‌بینی را دارند آن‌ها همچنین برتری لگاریتمی را به دیگر تبدیل‌های باکس-کاکس بر اساس روش حداکثر درست‌نمایی به دست آوردند. وانگو همکاران^۵ (۲۰۱۵) رواناب سالانه را با ARIMA و $EEMD^6$ -ARIMA مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از

1- Han

2- AUTO REGRESSIVE

3- Noakes

4- Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average

5- Wang

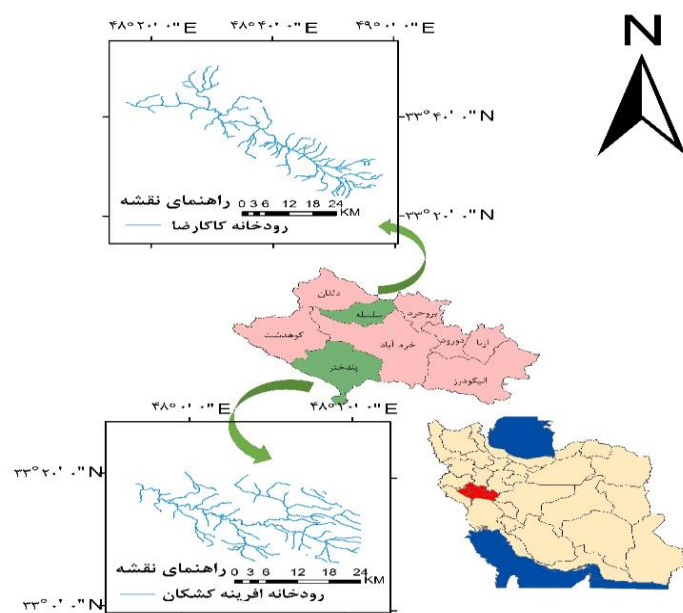
6- Ensemble Empirical Mode Decomposition

معیارهای $RMSE^1$ ، $MAPE^2$ و $NSEC^3$ مدل را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد EEMD-ARIMA با دقت قابل توجهی نسبت به ARIMA پیش‌بینی سالانه را انجام می‌دهد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی و شبیه‌سازی دبی متوسط ماهانه رودخانه‌های افرینه کشکان و کاکارضا با استفاده از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی بر این داده‌ها و مقایسه دقت مدل SARIMA در دو منطقه می‌باشد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

در پژوهش حاضر به منظور شبیه‌سازی دبی ماهانه ایستگاه‌های افرینه کشکان و کاکارضا از زیر حوضه‌های حوضه‌ی آبریز کرخه و سری زمانی دبی ماهانه به ترتیب در دوره‌ی آماری ۱۳۳۴-۱۳۹۰ و ۱۳۶۰-۱۳۹۰ استفاده شد. ایستگاه افرینه کشکان در استان لرستان شهرستان پلدختر قرار دارد، این حوضه با مساحت ۶۷۰۰ کیلومتر مربع و میانگین ارتفاع ۸۲۰ متر در طول جغرافیایی $47^{\circ}54'$ شرقی و عرض جغرافیایی $33^{\circ}20'$ شمالی واقع شده است. رودخانه‌ی کاکارضا یا رود ولم در شهرستان سلسله در استان لرستان با طول $44^{\circ}14'21''$ و عرض جغرافیایی $33^{\circ}42'38''$ قرار دارد. این رود که بزرگ‌ترین رودخانه‌ی منطقه‌ی الشتر می‌باشد از کوه‌های جنوب غربی الشتر سرچشمه گرفته و پس از عبور از جنوب الشتر و مجاورت بسطام از طرف شرق به طرف جنوب غربی جریان پیدا می‌کند و به ویژه در فصل بهار سیلابی و غیرقابل عبور می‌باشد. موقعیت مناطق مورد مطالعه در شکل (۱) مشخص شده است.

1- root-mean-square error
2- mean absolute percentage error
3- Nash-Sutcliffe efficiency coefficient



شکل (۱) مناطق مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

لشنی زند و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با استفاده از روش‌های آماری و تجربی اقلیم لرستان را پهنه‌بندی کردند، در این پژوهش، نتایج روش دکتر کریمی با توجه به شناختی که از اقلیم ایران داشته است، در مقایسه با سایر روش‌های تجربی مانند بلور، ایوانف، دمارتن و ... که معیار مطالعاتشان سایر مناطق جهان بوده است برای طبقه‌بندی اقلیم مناسب‌تر به نظر می‌رسد، زیرا نتایج به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی استان لرستان بر اساس این روش در مقایسه با سایر روش‌های تجربی به واقعیت اقلیم لرستان نزدیک‌تر بوده است. بنابراین، در پژوهش حاضر اقلیم حوضه‌ی کاکارضا و افرینه کشکان با استفاده از روش دکتر کریمی به ترتیب منطقه نیمه مرطوب و نیمه‌خشک تعیین شد. در این روش کریمی با استفاده از سه شاخص گرما، سرما و رطوبت اقلیم منطقه را

معرفی می‌نماید شاخص رطوبتی در این روش وضعیت خشکی محل را با استفاده از رابطه‌ی (۱) مشخص می‌نماید.

$$I = 5T/P \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

که در آن I : شاخص رطوبتی P : مجموع بارندگی سالانه T : مجموع درجه حرارت ماه‌هایی از سال که منوط دمای ماهانه آن‌ها بیش از ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. آنگاه بر اساس مقادیر مختلف I اقلیم مناطق به شرح زیر از یکدیگر متمایز می‌گردد.

جدول (۱) کلاسه‌بندی شاخص رطوبتی کریمی	
شاخص رطوبتی I	نوع اقلیم
$I < 0.5$	بسیار مرطوب
$0.5 < I < 1$	مرطوب
$1 < I < 3$	نیمه‌مرطوب
$3 < I < 6$	نیمه‌خشک
$6 < I < 10$	خشک
$10 < I$	بسیار خشک

*منبع (احمدیان و همکاران ۱۳۸۱)

در پژوهش حاضر به‌منظور تحلیل سری زمانی داده‌های دبی از روش یوجویچ^۱ و همکاران (۱۹۶۷) استفاده شد. مدل‌های سری زمانی به ۳ شکل اصلی دیده می‌شوند: مدل‌های خود همبسته (AR)، مدل‌های میانگین متحرک (MA) و مدل‌های تلفیقی خود همبسته و میانگین متحرک (ARMA). شرط استفاده از این مدل‌ها ایستا بودن داده‌های مورد استفاده است. اگر داده‌ها ایستا نباشند باید به روش‌های موجود سری داده‌ها ایستا شود. وجود «I» در ARIMA نشان‌دهنده‌ی غیر ایستا بودن داده‌های اصلی و تغییر در داده‌ها به‌منظور مدل‌سازی است (هان و همکاران، ۲۰۱۰). اگر سری داده‌ها دارای حالت چرخه و تناوب باشند آنگاه نوع مدل فصلی یا SARIMA می‌باشد.

1- Yevjevich

مدل‌های سری زمانی دارای ۲ جزء (p, d, q) و $(P, D, Q)_S$ می‌باشند که $(P, D, Q)_S$ جزء فصلی گفته می‌شود که به صورت رابطه ۲ نوشته می‌شود:

$$\theta(B)O(B_s)at = \nabla_d \nabla_s DZ_t = \Phi P(B) \Phi P(B_s) \quad (2)$$

چند جمله‌ای‌هایی از درجه q و p :

$$\varphi(B) = (1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p) \quad (3)$$

$$\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \quad (4)$$

p : درجه اتو رگرسیو غیرفصلی، d : مرتبه تفاضل گیری، q : درجه میانگین متحرک غیرفصلی، P : درجه اتورگرسیو فصلی، D : درجه تفاضل گیری فصلی، Q : درجه میانگین متحرک فصلی و S طول فصل است (باکس^۱ و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۶۵؛ باورمن و اکونل^۲، ۱۹۹۳: ۵۲۴). دو پارامتر دیگر یعنی D و d پارامترهای تفاضلی برای ایستا کردن سری زمانی است عملگر تفاضلی مورد استفاده برای سری‌های زمانی پویا عبارت‌اند از $\Delta = 1 - B$ (B عملگر جهش به عقب است) این شکل از مدل‌های ARIMA غیرفصلی به شکل رابطه ۵ نوشته می‌شود:

$$\varphi(B)Z_t = \varphi(B)(1-B)Z_t = \theta(B)at \quad (5)$$

که Z_t سری‌های مشاهده شده (B) رتبه چندجمله‌ای $\theta(B)$ رتبه‌ی چندجمله‌ای p است. به‌طور کلی مدل‌سازی سری‌های زمانی شامل سه مرحله شناسایی مدل، تخمین پارامترهای مدل و تشخیص درستی مدل است (دودانگه و سلطانی، ۱۳۹۰: ۵). در شناسایی مدل با استفاده از توابع خودهمبستگی^۳ (ACF) و خودهمبستگی جزئی^۴ (PACF) مدل مناسب به داده‌های سری زمانی مورد بررسی برآزش داده می‌شود و با استفاده از این توابع ایستایی و فصلی بودن داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. داده‌های

1- Box

2- Bowerman and O'Connell

3- Auto Correlation Function

4- Partial Auto Correlation Function

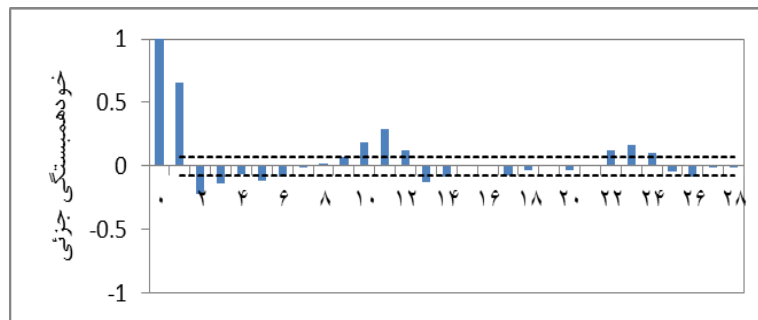
مورد استفاده باید فاقد روند باشند روش‌های متفاوتی به منظور تعیین روند مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این مطالعه برای بررسی روند از روش عملگر تفاضلی استفاده شد. پس از اینکه مدل مناسب تشخیص داده شد باید پارامترهای مدل برآورد شوند. این پارامترها باید دارای دو شرط ایستایی برای خودهمبستگی و معکوس‌پذیری را برای میانگین متحرک باشند (دودانگه و سلطانی، ۱۳۹۰: ۵ و نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۹: ۱۳۰). این پارامترها همچنین از نظر معنی‌داری مورد آزمون قرار می‌گیرند که این معنی‌داری در ارتباط با انحراف استاندارد تخمین‌ها و مقدار t می‌باشد. مقدار t از رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$t = \frac{\theta}{s\theta} \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

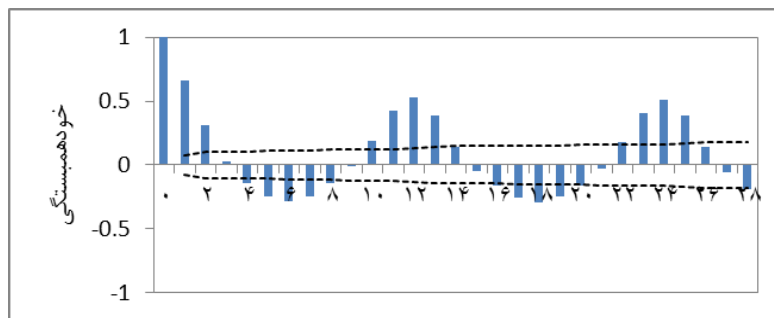
اگر فرض صفر ($H_0=0$) با در نظر گرفتن احتمال خطای برابر یا بیشتر از $\alpha=0.05$ رد شود در این صورت پارامتر معنی‌دار خواهد بود و در مدل باقی می‌ماند. همچنین اگر مقدار P-value کوچک‌تر یا مساوی سطح معنی‌دار بودن آزمون یعنی ۵٪ باشد، فرض صفر (H_0) رد می‌شود (دودانگه و همکاران، ۱۳۹۱: ۴). در مرحله‌ی بعد درستی مدل تشخیص داده می‌شود که یکی از رایج‌ترین آزمون‌های نرمالیتیه داده‌ها روش پلات Q-Q است که در پژوهش حاضر نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

بحث و نتایج

پس از تعیین اقلیم دو منطقه به روش دکتر کریمی، در گام اول توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی داده‌های واقعی برای هر منطقه به صورت جداگانه در نرم‌افزار XLSTAT ترسیم گردید. همان‌طور که در نمودارهای ACF و PACF شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است، هر دو در تأخیرهای اولیه جهش‌های بزرگی را نشان می‌دهند. بنابراین با استفاده از تابع خودهمبستگی (ACF) مقدار p و با استفاده از تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) مقدار q مشخص گردید.

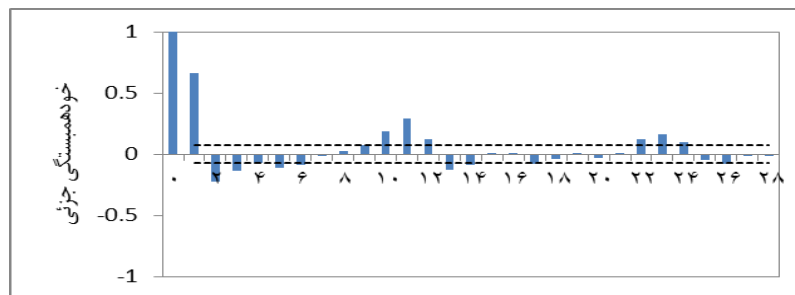


الف نمودار PACF

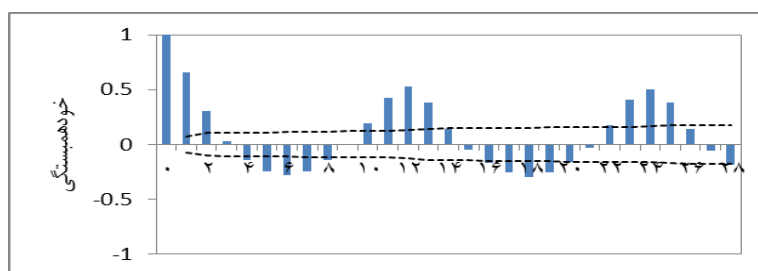


ب نمودار تابع ACF

شکل (۲) الف و ب به ترتیب توابع خودهمبستگی جزئی و خودهمبستگی رودخانه‌ی افرینه کشکان

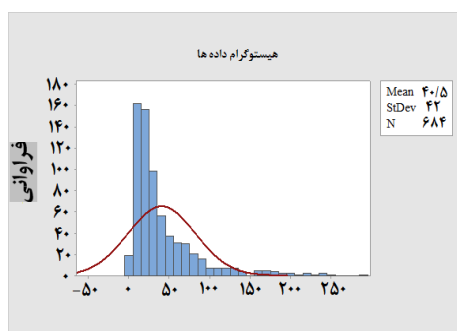


الف نمودار PACF

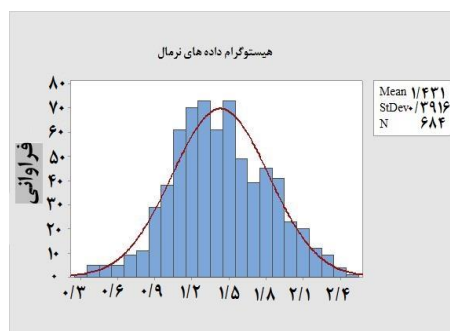


ب) نمودار ACF

شکل (۳) الف و ب به ترتیب توابع خودهمبستگی جزئی و خودهمبستگی رودخانه‌ی کاکارضا

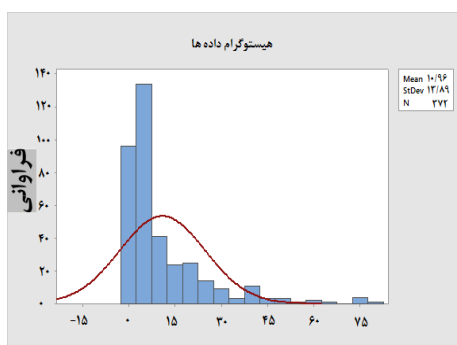


الف

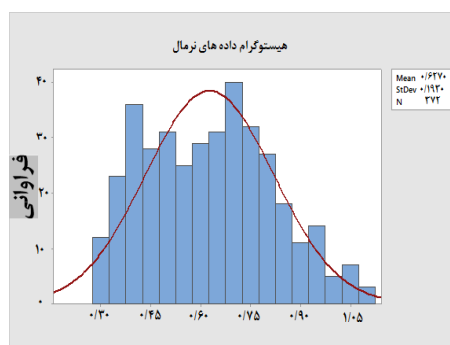


ب

شکل (۴) الف) هیستوگرام داده‌های واقعی ب) هیستوگرام داده‌های نرمال شده رودخانه‌ی افرینه کشکان



ب



الف

شکل (۵) الف) هیستوگرام داده‌های واقعی ب) هیستوگرام داده‌های نرمال شده رودخانه‌ی کاکارضا

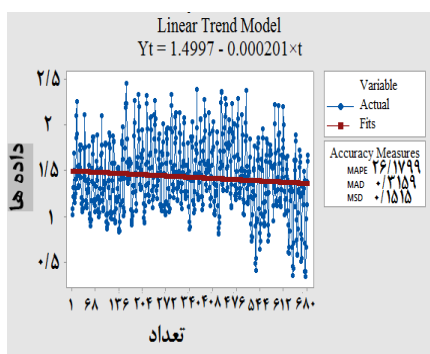
از سوی دیگر نتایج پلات Q-Q نشان داد که داده‌های واقعی مناطق مطالعاتی نرمال نیستند. نرمال بودن داده‌ها به این دلیل اهمیت دارد که تئوری سری‌های زمانی بر اساس نرمال بودن داده‌ها توسعه یافته است و در صورتی که داده‌ها نرمال نباشند بایستی با استفاده از روش‌های مختلف آن‌ها را نرمال‌سازی نمود، از جمله روش‌های نرمال‌سازی داده‌ها استفاده از روش باکس کاکس و لگاریتم می‌باشد که در پژوهش حاضر از روش باکس کاکس برای داده‌های رودخانه‌ی افرینه و از روش لگاریتم برای داده‌های رودخانه‌ی کاکارضا استفاده شده است که هیستوگرام داده‌ها در اشکال ۴ و ۵ نمایش داده شده است.

نوسانات ماهانه مشاهده شده در داده‌ها نشان‌دهنده‌ی رفتار فصلی و تناوب ۱۲ ماهه آن‌ها و در نتیجه $D=1$ و $S=12$ می‌باشد. مرحله بعد در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، تعیین مؤلفه روند در سری زمانی و همچنین حذف آن در جهت ایستا کردن داده‌ها می‌باشد و پس از بررسی ایستایی داده‌ها، مدل‌های مناسب به داده‌ها برازش داده می‌شوند. نرم‌افزار برای تعیین مؤلفه روند، یک خط را بر داده‌ها برازش می‌دهد. شیب این خط برابر با مؤلفه روند می‌باشد. بدیهی است در صورتی که شیب این خط صفر باشد و خط افقی باشد، داده‌ها فاقد مؤلفه روند بوده و ایستا می‌باشند (نواکز و همکاران، ۱۹۸۵: ۱۸۳). با بررسی صورت گرفته داده‌های دبی رودخانه‌های افرینه کشکان و کاکارضا مشخص گردید، به ترتیب داده‌ها دارای روند نزولی و صعودی می‌باشند و معادله خط برازش داده شده بر داده‌ها به صورت رابطه‌ی ۷ و ۸ به ترتیب برای افرینه و کاکارضا می‌باشند:

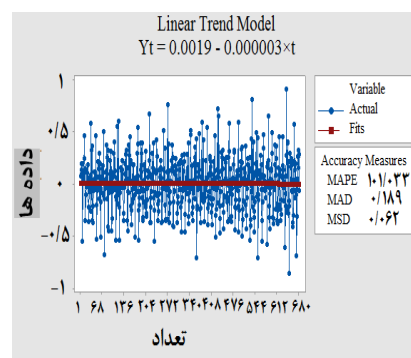
$$Y_t = 1.4997 - 0.000201 * t \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

$$Y_t = 0.5572 + 0.000374 * t \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

این امر مبین نا ایستایی مدل در دو منطقه می‌باشد. بنابراین با استفاده از روش عملگر تفاضلی در نرم‌افزار MINITAB روند داده‌ها حذف شد. در شکل ۶ و ۷ نتایج نشان داده شده است.

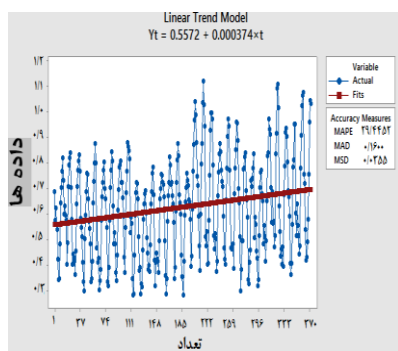


(الف)

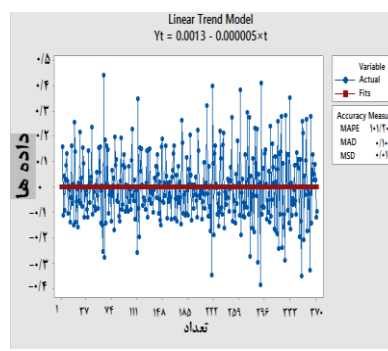


(ب)

شکل (۶) الف و ب به ترتیب نمودارهای آنالیز داده‌های نرمال شده و آنالیز داده‌های حذف روند شده رودخانه‌ی افرینه کشکان



(الف)



(ب)

شکل (۷) الف و ب به ترتیب نمودار آنالیز داده‌های نرمال شده و آنالیز داده‌های حذف روند شده رودخانه‌ی کاکارضا

با توجه به اشکال ۶ و ۷ بالا مقدار d برای رودخانه‌های افرینه و کاکارضا برابر ۱ می‌باشد. آزمون و معیار آکائیکه (AIC^1) یکی از روش‌های مقایسه‌ی مدل‌های مختلف می‌باشد. این روش بر این مبنا استوار است که از بین مدل‌های مناسب، مدلی که دارای

1- Akaike information criterion

کمترین مقدار ضریب آکائیک باشد به‌عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود (فروستوسویل^۱ و همکاران، ۲۰۰۸: ۴۰۴). بنابراین مقادیر P و Q را با آزمون و خطا به دست می‌آیند. در جدول (۱) مدل‌های اولیه سری زمانی مشاهده می‌شود. در این جدول بر اساس معیار آکائیک کمترین مقدار آکائیکه مشخص و مدل مناسب انتخاب گردید. با توجه به جدول (۲) مدل SARIMA انتخاب شده برای رودخانه‌ی افرینه به صورت $(1,1,2) \times (1,1,2)_{12}$ و برای رودخانه‌ی کاکارضا به صورت $(4,1,2) \times (1,1,2)_{12}$ می‌باشد.

جدول (۲) استفاده از معیار آکائیکه برای انتخاب مدل مناسب

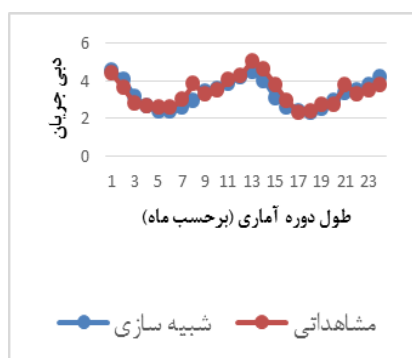
کاکارضا		افرینه	
$(p,d,q) \times (P,D,Q)_{12}$	AIC	$(p,d,q) \times (P,D,Q)_{12}$	AIC
$(1,1,2) \times (1,1,3)_{12}$	-۶۹۰,۷۶۱	$(1,1,2) \times (1,1,0)_{12}$	۶۲۹,۱۸۲
$(1,1,2) \times (0,1,3)_{12}$	-۶۸۰,۲۱۴	$(1,1,2) \times (1,1,1)_{12}$	۶۲۹,۰۹۸
$(1,1,2) \times (4,1,2)_{12}$	-۷۰۱,۱۰	$(1,1,2) \times (0,1,0)_{12}$	۶۳۰,۱۴۷
$(1,1,2) \times (1,1,2)_{12}$	-۶۷۸,۳۳۶	$(1,1,2) \times (2,1,1)_{12}$	۶۳۱,۱۸۲

مدل‌های SARIMA انتخاب‌شده برای شبیه‌سازی در دو دوره‌ی ۱۲ و ۲۴ ماهه مورد بررسی و واسنجی قرار گرفت. و با توجه به معیارهای ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی نش ساتکلیف و ضریب همبستگی مطابق جدول (۳) بهترین دوره‌ی زمانی برای استفاده از مدل‌ها تعیین و شبیه‌سازی صورت گرفت (شکل ۸).

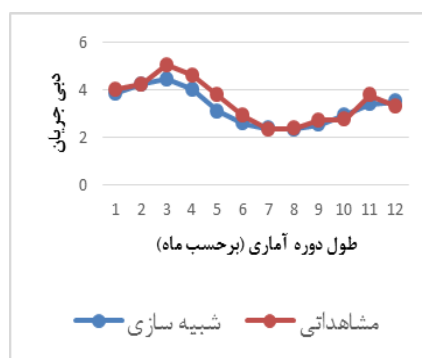
جدول (۳) واسنجی نتایج مدل در دوره‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه رودخانه‌های افرینه کشکان و کاکارضا.

رودخانه‌های مورد مطالعه	دوره‌ی زمانی	ریشه‌ی میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی نش ساتکلیف	ضریب همبستگی
افرینه کشکان	۱۲ ماهه	-۰/۴۶	۰/۹۹	۰/۹۴
	۲۴ ماهه	-۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۸۸
کاکارضا	۱۲ ماهه	-۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۹۲
	۲۴ ماهه	-۰/۳۵	۰/۹۹	۰/۸۶

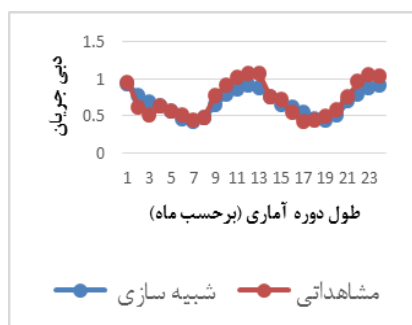
1- Frausto-Solis



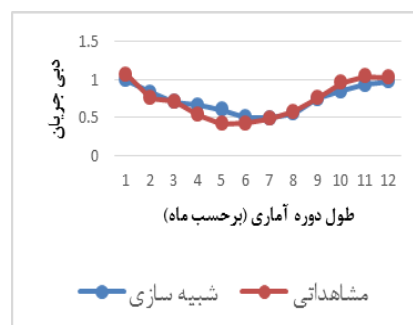
ب) دوره ۲۴ ماهه رودخانهی افرینه کشکان



الف) دوره ۱۲ ماهه رودخانهی افرینه کشکان



ت) دوره ۲۴ ماهه رودخانهی کاکارضا



پ) دوره ۱۲ ماهه رودخانهی کاکارضا

شکل (۸) نمایش مقدار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده رودخانهی کاکارضا و افرینه

نتایج واسنجی مدل در دوره‌های مورد بررسی (جدول ۳) نشان داد که مدل‌های سری زمانی (SARIMA) برای دوره ۱۲ ماهه کارایی قابل قبولی دارند. نتایج این پژوهش با نتایج (هان، ۲۰۱۰) و (ولی‌پور، ۲۰۱۳) مبنی بر پیش‌بینی مناسب مدل در ۱۲ ماه همخوانی داشته و با نتایج (آبودو^۱ و همکاران، ۲۰۱۰) که مدل را برای پیش‌بینی دوره‌ی کوتاه‌مدت یک‌ماهه جریان رودخانه مناسب تشخیص داده بودند در تضاد است. بیشترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در فواصل دو ماه

1- Abudu

اسفند و فروردین می‌باشد که به دلیل بارش‌های فراوان مقدار دبی در ماه فروردین افزایش چشم‌گیری دارد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزارهای MINITAB و XLSTAT تناوب، نرمال بودن و روند داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس بر اساس معیار آکائیکه، مدل $SARIMA(1,1,2) \times (1,1,1)_{12}$ برای رودخانه‌ی افرینه کشکان مناسب، و مدل $SARIMA(1,1,2) \times (1,2,4)_{12}$ برای رودخانه‌ی کاکارضا انتخاب شد، با مدل انتخابی در دو دوره‌ی ۱۲ و ۲۴ ماهه شبیه‌سازی صورت گرفت، نتایج نشان داد مدل انتخابی در دوره‌ی ۱۲ ماهه شبیه‌سازی مناسب‌تری را انجام می‌دهد. با بررسی صورت گرفته در اقلیم دو منطقه‌ی افرینه‌کشکان و کاکارضا با استفاده از روش دکتر کریمی نتایج حاصل‌شده نشان داد مدل سری زمانی SARIMA در منطقه‌ی نیمه‌خشک (افرینه کشکان) نسبت به منطقه‌ی نیمه‌مرطوب (کاکارضا) دارای دقت بالاتری می‌باشد همچنین افزایش دوره‌ی آماری در دقت مدل باعث افزایش دقت در پیش‌بینی می‌شود.

منابع

- آذر، عادل و منصور مؤمنی (۱۳۹۵)، آمار و کاربرد آن در مدیریت (جلد اول)، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، ص ۳۵۰.
- دودانگه، اسماعیل و سعید سلطانی کوپائی (۱۳۹۰)، بررسی کارایی مدل‌های سری زمانی وینترز و آریما در پیش‌بینی جریان رودخانه (ایستگاه پل دختر)، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه اصفهان.
- دودانگه، اسماعیل؛ عابدی کوپائی، جهانگیر و سعیدعلیرضا گوهری (۱۳۹۱)، کاربرد مدل‌های سری زمانی به‌منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب، مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و‌خاک، سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۹، بهار ۱۳۹۱.
- عراقی‌نژاد، شهاب و محمد کارآموز (۱۳۹۳)، هیدرولوژی پیشرفته، نشر: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) تعداد صفحه ۴۶۸.
- لشنی زند، مهران؛ پروانه، بهروز و فتانه بیرانوند (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی اقلیمی استان لرستان با استفاده از روش‌های آماری و تعیین مناسب‌ترین روش تجربی، جغرافیای طبیعی: بهار ۱۳۹۰، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۱۱، صص ۸۹-۱۰۶.
- نیرومند، حسینعلی و ابولقاسم بزرگ‌نیا (۱۳۸۹)، مقدمه‌ای بر تحلیل سری‌های زمانی، (ترجمه) انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۹، ویرایش اول، چاپ سوم، ص ۳۰۴.
- Abudu, S., Cui, C.L., King, J.P. & Abudukadeer, K. (2010), **Comparison of performance of statistical models in forecasting monthly streamflow of Kizil River, China**, Water Science and Engineering, 3(3), PP. 269-281.
- Bowerman, B.L., O'Connell, R.T. (2003), **Forecasting and time series: An applied approach**. 3rd
- Box, G. (2013), **Box and Jenkins: time series analysis, forecasting and control**, A Very British Affair, ser. Palgrave Advanced Texts in Econometrics, Palgrave Macmillan UK, PP. 161-215.

- Frausto-Solis, J., Pita, E. & Lagunas, J. (2008), **Short-term streamflow forecasting: ARIMA vs Neural Networks**, In American Conference on Applied Mathematics (MATH'08), Harvard, Massachusetts, USA, PP. 402-407.
- Han, P., Wang, P., Tian, M., Zhang, S., Liu, J. & Zhu, D. (2012), **Application of the ARIMA models in drought forecasting using the standardized precipitation index**, In International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture, Springer, Berlin, Heidelberg, PP. 352-358.
- Han, P., Wang, P.X., Zhang, S.Y. & Zhu, D.H. (2010), **Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models**, Mathematical and computer modelling, 51(11), PP.1398-1403.
- Mirzavand, M., Sadatinejad, S.J., Ghasemieh, H., Imani, R. & Motlagh, M.S. (2014), **Prediction of ground water level in arid environment using a non-deterministic model**, Journal of Water Resource and Protection, 6(07), P.669.
- Modarres, R. (2007), **Streamflow drought time series forecasting**. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 21(3), PP. 223-233.
- Noakes, D.J., Mcleod A.I. & Hipel, W. (1985), **Forecasting monthly river flow time series**, Internattional Journal of Forecasting, 1: PP.179-190.
- Wang, W.C., Chau, K.W., Xu, D.M., & Chen, X.Y. (2015), **Improving forecasting accuracy of annual runoff time series using ARIMA based on EEMD decomposition**, Water Resources Management, 29(8), PP. 2655-2675.
- Yevjevich, V.M. (1967), **An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts**, Hydrology papers (Colorado State University), No. 23.