



پیش‌بینی دبی رودخانه هیرمند با استفاده از تکنیک سری زمانی (SARIMA)

ندا علی‌احمدی^۱، ابراهیم مرادی^{۲*}، سیدمهدی حسینی^۳ و علی سردار شهرکی^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۰

مقاله پژوهشی

مقاله برگرفته از رساله دکترا می‌باشد.

چکیده

پیش‌بینی و شبیه‌سازی جریان رودخانه جهت آگاهی از آورد رودخانه در دوره‌های زمانی آتی از جمله مسئله‌های مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب می‌باشد. در پژوهش حاضر به ارزیابی و تعیین مدل مناسب پیش‌بینی دبی جریان آب رودخانه‌های سیستان و پریان در حوضه آبریز هیرمند با استفاده مدل سری زمانی ساریما در طول سال‌های ۹۷-۱۳۷۹ پرداخته شد. به منظور ایستایی مدل از روش باکس کاکس استفاده شد و برای بررسی ایستایی مدل از آزمون خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی استفاده شد. با توجه به نتایج بدست آمده و بررسی معیارهای صحت سنجی، آکائیک و شوارتز بیزی، مدل $SARIMA(1,1,1)(2,1,0)^{12}$ با کمترین مقادیر معیارهای آکائیک (۱۳۲۵/۹۱) و شوارتز بیزی (۱۸۹۵/۴۰) برای رودخانه سیستان و مدل رودخانه پریان $SAMIRA(1,1,1)(1,1,1)^{12}$ با مقادیر معیارهای آکائیک (-۳۲۸/۴۲۹) و شوارتز بیزی (۳۲۸/۱۵۱) کمترین مقدار را دارا می‌باشند، به دلیل داشتن کمترین آماره آکائیک و شوارتز بیزین بعنوان مدل مناسب جهت شبیه‌سازی میزان دبی جریان حوضه هیرمند انتخاب شدند. این مدل به منظور شبیه‌سازی دبی جریان در بازه‌های زمانی برای دوره‌های آینده استفاده می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، سری زمانی، رودخانه پریان، رودخانه سیستان، مدل ساریما^۵

۱ - دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، Email: Ahmadi_15877@yahoo.com

۲ - نویسنده مسئول: استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، تلفن تماس: ۰۵۴۳۱۱۳۶۸۷۲ و Email: ebmoradi31@gmail.com

۳ - استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، Email: shseyedmahdi46@gmail.com

۴ - استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، Email: a.shahraki65@gmail.com
5- SARIMA

مقدمه

در دهه‌های اخیر، محدودیت منابع آب نسبت به رشد روز افزون جمعیت و شدت یافتن رقابت بین تقاضاهای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت، موجب اهمیت مدیریت بهره‌برداری منابع آب گردیده است (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴ و مهین‌خواه و همکاران، ۱۳۹۱). پیش‌بینی عرضه و تقاضای آب، یکی از ابزارهای مهم و اساسی در مدیریت منابع آب است، ضرورت پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها در عملیات عمرانی، سامانه‌های هشدار سیل به ویژه برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری‌های بهینه از مخزن‌های سدها و ساماندهی رودخانه‌ها از ملزومات و واجبات می‌باشد. با هدف پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها در طول سال‌های گذشته متدهای گوناگونی ابداع شده است، که بصورت کلی به دو دسته مدل‌های مفهومی و مدل‌هایی براساس داده یا آماری دسته‌بندی شده‌اند (فتح‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به این که اکثر مدل‌های مفهومی احتیاج به داده و علم درست و کامل در رابطه با راهکارهای فیزیکی بر روی جریان رودخانه‌ها که در محل و مکان خاصی اثر می‌گذارند، داشته است و این سبب امکان‌ناپذیر بودن آن شده است و از این رو محققین به استفاده از روش‌های آماری روی آورده‌اند. در چهار دهه گذشته الگوهای سری زمانی بعنوان یکی از پرکاربردترین مدل‌ها جهت پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها بوده است (El-Shafie, et al., 2007; Nayak, et al., 2004).

سری زمانی به مجموعه‌ای از مشاهدات با مقدارهای ثبت‌شده از یک متغیر گفته می‌شود که براساس زمان مرتب می‌گردد. منظور از سری زمانی، مشخص نمودن قانونمند و شناسایی رفتار متغیرها برای پیش‌بینی در آینده می‌باشد. سری زمانی از لحاظ نوع متغیرها به دو دسته پیوسته و گسسته تقسیم می‌شوند (Salas, 1996; Bowerman et al., 1979).

آنالیز و مدل‌سازی سری‌های زمانی به علت قدرت آن در تجزیه و تحلیل داده‌ها در مطالعات هیدرولوژی و هیدروژئولوژی مانند درجه دما، بارش، دبی رودخانه و دبی چشمه دارای مؤلفه‌های تناوبی فصلی دوره‌ای دوازده ماه

سال می‌باشد (Ckersik, 2001). در صورتیکه مؤلفه‌ها و متغیرها با همدیگر دارای ارتباط همبستگی باشند، آنگاه مدل آماری توصیف‌کننده این رابطه می‌باشد (آذر و مؤمنی، ۱۳۹۵). بکارگیری از روش‌های سری زمانی در پیش‌بینی اکثر زمینه‌های منابع آب توسعه یافته است. جهت پیش‌بینی سری زمانی و تعیین الگو پیش‌بینی، روش‌های گوناگونی وجود دارد، این روش‌ها به دو گروه کمی و کیفی تقسیم می‌شود. روش‌های کمی مانند، مدل‌های میانگین متحرک ساده و موزون، باکس جنکینز، هموارسازی نمایی ساده و حالت وینترز، اتورگرسیون میانگین متحرک تلفیقی^۱ و مدل‌های اقتصاد سنجی و روش‌های کیفی مانند، روش‌های طوفان مغزی، دلفی و گروه اسمی را می‌توان نام برد (آذر و مؤمنی، ۱۳۹۵). شرط اولیه استفاده از داده‌ها در مبحث سری زمانی، ایستایی داده‌هاست، در غیراینصورت باید برطرف شود. همچنین در صورتیکه سری از نوع ایستای دوره‌ای می‌باشد که قوانین حاکم بر الگو چون میانگین و کوواریانس در طی دوره بصورت دوره‌ای ثابت باشد، زیرا این سری قابلیت تبدیل به ایستا را ندارد بنابراین بایستی فنون جدید سری زمانی که مبتنی بر ایستای دوره‌ای است مانند مدل پار PAR، PMA و PARMA استفاده نمود. در غیراینصورت از روش تفاضلی برای ایستا کردن داده‌ها و از روش باکس-کاکس برای پایداری در واریانس باید بهره جست. برای مدل‌سازی سری‌زمانی، در بعضی مواقع متخصصین از انواع گوناگون مدل‌های آماری و ریاضی استفاده می‌کنند، بصورتیکه همبستگی‌های موجود میان زمان و مشاهده‌های مد نظر می‌باشد (میرزاپور و طهماسبی-پور، ۱۳۹۶).

اکثر مدل‌های سری زمانی معمول در هیدرولوژی و منابع آب، تحلیل الگوهای خطی سری زمانی می‌باشد. مدل‌های گوناگونی در رابطه با سری زمانی وجود دارد، اما آنچه که دارای کاربرد زیادی در هیدرولوژی است و در منابع گوناگون مشاهده می‌گردد، شامل مدل‌های میانگین متحرک، خودهمبستگی، میانگین متحرک تجمعی خودهمبسته و میانگین متحرک خودهمبسته می‌باشد (Tsonis, 2001). از اولین افرادی که از مدل‌های خطی

رودخانه در شرایط کم‌آبی و پرآبی با استفاده از یک مدل استوکستیک و هوش مصنوعی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که سری‌های زمانی کم‌آبی نسبت به سری زمانی پرآبی، در استفاده از مدل استوکستیک و شبکه عصبی نتایج بهتری ارائه داده‌اند. میرزاپور و طهماسبی‌پور (۱۳۹۶)، به پیش‌بینی دبی ماهانه رودخانه کاکارضا با استفاده از مدل‌های سری زمانی، آریمای فصلی پرداخته‌اند. نتایج حاکی از آن است که مدل انتخابی در دوره ۱۲ ماهه دارای ضریب نش-سات کلایف ۰/۸۵ می‌باشد. بنابراین دوره کوتاه‌مدت ۱۲ ماهه، توانست پیش‌بینی مناسب‌تری را نشان دهد. کاویان و همکاران (۱۳۹۶)، به مدلسازی هیدرولوژیکی اثرات تغییر اقلیمی بر نوسانات دبی جریان در رودخانه هراز پرداخته‌اند. نتایج مدل‌های اقلیمی نشان داد که متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه برای دوره آبی به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و متوسط بارندگی سالانه برای منطقه مورد مطالعه به میزان ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین نتایج مقایسه دبی جریان‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که میزان دبی اوج برای دوره آبی افزایش خواهد یافت، در حالی که متوسط دبی جریان رودخانه به مقدار ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین لازم است جهت جلوگیری از مخاطرات محیطی و برنامه‌ریزی طولانی‌مدت به تغییرات اقلیمی نیز توجه شود. نوذری و توکلی (۱۳۹۷)، به پیش‌بینی جریان با استفاده از مدل ماشین‌بردار پشتیبان بر مبنای سری‌های زمانی دبی و بارش در ایستگاه‌های بالادست در ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ پرداختند. نتایج نشان داد میزان ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد و درصد خطای مطلق زمانی که از آمار بارندگی و دبی، بعنوان ورودی در مدل استفاده شود به ترتیب برابر است با ۰/۹۸۴، ۰/۳۳/۱۹، ۰/۱۲ و ۱۰/۸۵. همچنین با افزایش تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی در بالادست، مدل قادر خواهد بود دبی را با دقت بیشتری پیش‌بینی نماید. آذری و همکاران (۱۳۹۷)، به پیش‌بینی نوسانات هیدروگراف واحد آبخوان دشت صحنه با استفاده از تحلیل سری زمانی با روش SARIMA پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که مدل منتخب قادر به پیش‌بینی نوسانات فصلی است اما تناوب یا سیکل را به درستی نشان نمی‌دهد. Moeeni and Bonakdari

اتورگرسیون در تحلیل جریان‌های رودخانه استفاده کردند، توماس و فایرینگ بودند که نتایج نشان داد که در مدلسازی هفتگی و ماهانه رودخانه مدل آریمای عملکرد بهتری برخوردار می‌باشد (Thomas and Fiering, 1962). برای برنامه‌ریزی مناسب و بکارگیری بهینه و منطقی منابع آب و حفظ آن منابع برای نسل‌های آتی، بکارگیری از علم روز هیدرولوژی اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌آید (مهدوی، ۱۳۹۴). پس از آنها مطالعات بسیاری انجام گرفته است که از جمله آنها به تحقیقات صباغیان و شریفی (۱۳۸۸)، خلیلی و همکاران (۱۳۸۶)، سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۲)، Hipel, Thompstone, et al (1985), and McLeod, (1994) و Wang et al (2005) و Yurekli et al (2005) اشاره نمود. نخستین گام مهم در کاربرد علمی سری‌های زمانی در هیدرولوژی فصلی در پارامترهای جریان رودخانه، مدل‌های ساریما و پارامترها برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رودخانه برگزیدند (Laux et al., 2011).

با توجه به قدرت و توانایی مدل‌های سری زمانی، در این پژوهش تلاش شده است که با استفاده از داده‌های سری زمانی ۱۹ ساله ایستگاه منطقه سیستان در حوضه آبریز هیرمند و با به کارگیری روش ساریما درصد بررسی

- ✓ مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی جریان ماهانه رودخانه سیستان
- ✓ مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی جریان ماهانه رودخانه سیستان می‌باشد.

پیشینه تحقیق

فتح‌آبادی و همکاران (۱۳۸۷)، به پیش‌بینی دبی رودخانه با استفاده از روش‌های نوروفازی و مدل سری زمانی آریمای پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های سری زمانی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های شبکه عصبی و ANFIS با تفکیک خوشه‌ای و شبکه‌ای داشته‌اند. سیدیان و همکاران (۱۳۹۳)، به پیش‌بینی دبی جریان رودخانه با استفاده از داده‌کاوی و سری زمانی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که روش SVM در هر مقیاس ماهانه و فنگی دقت بیشتری نسبت به سری‌های زمانس دارد، همچنین دقت هر دو روش در مقیاس ماهانه بیشتر از مقیاس هفتگی است. شریفان و همکاران (۱۳۹۳)، به پیش‌بینی مقدار آبدهی

بینی جریان ماهانه دارد. خطای متوسط مدل پیشنهادی بر خلاف روش پیشرفته به کمتر از یک دهم کاهش می یابد و انحراف استاندارد نیز بیش از ۳۰٪ کاهش می یابد که این نشان دهنده یک قوام بیشتر است.

این پژوهش سعی دارد با استفاده از روش میانگین متحرک فصلی (ساریمما) روند پارامتر دبی رودخانه‌های سیستان و پریان را در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک بررسی نموده و پس از آن براساس تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی به بررسی، مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر دبی در سال‌های آینده بپردازد. رودخانه‌های سیستان و پریان جزء رودخانه‌های مرزی استان سیستان و بلوچستان بوده و تاکنون مطالعات مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی بر روی آن انجام نگرفته است و با توجه به اینکه رودخانه‌های سیستان و پریان در حوضه آبریز هیرمند در منطقه سیستان نیاز آب شرب و کشاورزی منطقه را تأمین می‌نماید و مدیریت آن در سال‌های خشکسالی و ترسالی دارای اهمیت می‌باشد، در نتیجه به عنوان رودخانه‌های مورد مطالعه تعیین شده است.

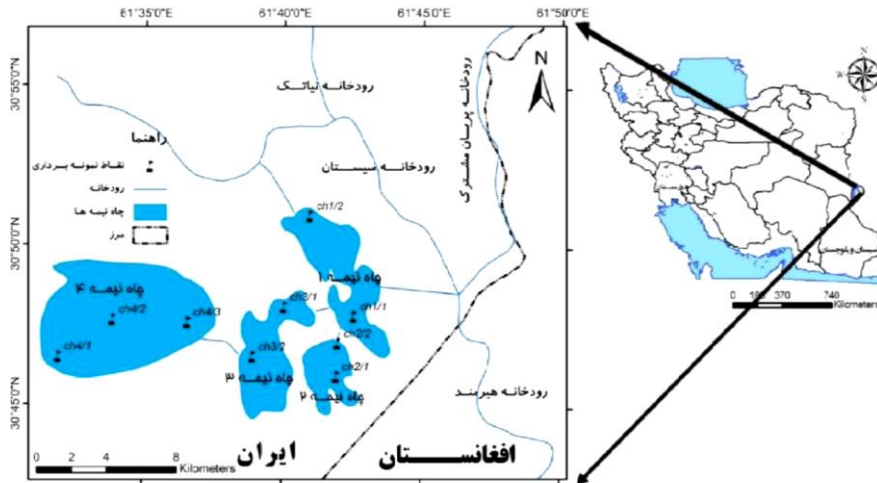
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در پژوهش، رودخانه سیستان در استان سیستان و بلوچستان و در محل ایستگاه کهک قرار گرفته است، سری زمانی این مطالعه، داده‌های ماهانه دبی جریان (m^3/s) است. مهمترین منبع آبی دشت سیستان، رودخانه سیستان است که مسیر ۷۰ کیلومتر از دشت سیستان را می‌پیماید تا به هامون هیرمند می‌ریزد. رودخانه سیستان با شیبی حدود $0/00002$ تا $0/00006$ از تراز ۴۸۹ متری به تراز ۴۷۴/۷۵ متری در دو شاخه هیرمند در هامون هیرمند می‌رسد. ارتفاع دشت سیستان از سطح دریا ۴۸۰ متر است و از دو طرف رودخانه سیستان با شیب ملایم ۱:۴۰۰۰ به سمت هامون با ارتفاع ۴۷۳ متر، امتداد می‌یابد (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۵).

رودخانه هیرمند بخشی از مرز مشترک دو کشور را تشکیل می‌دهد پس از ورود افغانستان است (فرشاسعید و خدارحمی، ۱۳۹۵).

(۲۰۱۷)، به پیش بینی جریان ماهانه با تغییرات فصلی با استفاده از مدل ترکیبی SARIMA-ANN پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مدل ترکیبی خطای پیش‌بینی کلی را بیشتر از مدل‌های ANN و SARIMA کاهش می‌دهد. ضریب تعیین مدل‌های ترکیبی، ANN و ساریمما $0/72$ ، $0/64$ و $0/58$ و میانگین خطای مربعات ریشه به ترتیب $1/02$ ، $1/16$ و $1/27$ بود. تغییر طول پیش‌بینی همچنین نشان داد که می‌توان از این مدل‌ها در طولانی مدت بدون افزایش خطای پیش‌بینی استفاده کرد. Moeeni et al (۲۰۱۷)، به پیش‌بینی جریان ورودی ماهانه مخزن با استفاده از یک رویکرد جدید برنامه نویسی ژنتیکی SARIMA ترکیبی پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این مدل ترکیبی (SARIMA-GEP) با مدل‌های SARIMA، GEP، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و SARIMA-ANN مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل SARIMA-GEP بهتر از ساریمما و GEP و SARIMA-ANN عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های ساریمما و ANN نشان می‌دهد. De Gregorio et al (۲۰۱۸)، به پیش‌بینی تخلیه رودخانه عملیاتی با تکنیک رگرسیون بردار پشتیبان اعمال شده در حوضه‌های آلپ پرداخته‌اند. پیش‌بینی‌های به دست آمده با آموزش دستگاه SVR در ایستگاه‌های واحد سنجش عملکرد بهتری نسبت به میانگین ۱۰ سال گذشته نشان می‌دهد که به عنوان معیار در نظر گرفته شده است، در ۹۴٪ موارد با متوسط حدود ۴۸٪ از خطای متوسط مربعات بهبود یافت. در مورد حوضه‌های ضعیف، برای افزایش تعداد نمونه آموزش، حوضه‌های مختلفی جهت آموزش دستگاه SVR در نظر گرفته شده است. در این حالت، اجراها حتی بهتر از معیارهای دستگاه SVR که در حوضه‌های واحد آموزش دیده‌اند، بهتر از معیار هستند، با کاهش عملکردها از ۱۳٪ به ۵۴٪ می‌باشد. Luo et al (۲۰۱۹)، به بررسی چارچوب رگرسیون بردار پشتیبانی ترکیبی برای پیش بینی جریان رودخانه پرداخته‌اند. نتایج ما نشان می‌دهد که مدل یکپارچه تجزیه و تحلیل همبستگی خاکستری، روش تجزیه فصلی-روند براساس لس (STL)، رگرسیون بردار پشتیبانی (GCA-STL-SVR) عملکرد بهتری برای پیش



شکل (۱): جریان رودخانه هیرمند در منطقه سیستان

ارزیابی یک سری زمانی یگانه در قلمرو زمان استفاده می‌شود. تابع مذکور، اغلب درک و بینشی از مدل احتمالی که داده‌ها را تولید می‌کند، ارائه می‌دهد که از آن برای شناسایی و تخمین مدل تصادفی مناسب برای داده‌ها، بکار می‌رود. افزون بر خودهمبستگی بین (x_t, x_{t+k}) ، در صورتیکه که هدف همبستگی میان (x_t, x_{t+k}) پس از اینکه وابستگی خطی مشترک بین متغیرهای $(x_{t+1}, x_{t+2}, \dots, x_{t+k-1})$ حذف گردیده شد، مورد ارزیابی قرار گیرد، از تابع خودهمبستگی جزئی (γ) استفاده می‌گردد. رفتار تابع خودهمبستگی جزئی در نمودار همبستگی-نگار، یکی از مهمترین معیارها برای برآورد مدل سری زمانی است. در حالت نایستایی، نخست سری مدنظر با استفاده از سری تفاضلی مناسب و تبدیل داده‌ها از متد باکس-کاکس در میانگین و واریانس پایدار شده، و پس از آن سری ایستا می‌گردد. لذا، در این مرحله با بررسی واریانس داده‌های تفاضل شده، مرتبه پارامترهای d و D برای الگو به گونه‌ای تعیین می‌گردد که دارای حداقل واریانس باشد. از طرفی، با استفاده از نمودارهای خودهمبستگی (ACF) و

سری زمانی و مدل میانگین متحرک فصلی و غیرفصلی ساریما

از پرکاربردترین مدل‌های آماری، مدل‌های خانواده آریما می‌باشد. در این خانواده از مدل‌های آماری مقادیر مبتنی بر رفتار گذشته آنها، الگوسازی می‌گردد و سپس پیش‌بینی می‌شوند (عساکره، ۱۳۸۹). یکی از انواع الگوهای فصلی که نتایج مناسب از آن حاصل می‌گردد و بر ساختار کلی مدل‌های آریما هم سازگار و انطباق دارد، از سوی باکس جنکینز^۱ با عنوان مدل‌های فصلی ضربی پذیر می‌باشد و بصورت $ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)$ نشان داده می‌شود. در این ساختار قسمت (p, d, q) بخش غیرفصلی الگو و (P, D, Q) بخش فصلی الگو می‌باشد.

مراحل ساخت سری زمانی: مدل‌های سری زمانی در چهار مرحله ساخته می‌شود که این مراحل تکراری می‌شود:

۱- مرحله شناسایی مدل: با ترسیم نمودارهای خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی ($PACF$) ایستایی در میانگین و واریانس داده‌ها را بررسی می‌نماید. یکی از ابزارهای بسیار مهم برای تست وابستگی داده‌ها تابع خودهمبستگی (ACF) است (Fahim ahmad, 2008). تابع خودهمبستگی، همبستگی بین داده‌ها را در فاصله‌های مختلف اندگیری می‌کند و جهت

مقدارها است (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۳۹۰ و عاقل‌پور و نادری، ۱۳۹۷).

در این پژوهش از بین الگوهای سری زمانی از مدل فصلی ساریما استفاده می‌شود. مدل ساریما می‌توان از آن برای شبیه‌سازی رفتار تصادفی سری‌های زمانی فصلی بکار برد. یک الگو تصادفی پارامتری خطی است که فرم ضربی آن بصورت $(P, D, Q)_\omega \times SARIMA(p, d, q)$ نشان داده می‌شود. این مدل با دوره تناوب ω و مراتب اتورگرسیو، تفاضل‌گیری و میانگین متحرک غیرفصلی p, d, q و P, D, Q از رابطه (۳) تا (۹) تبعیت می‌کند:

$$(3) \Phi_p(B^\omega) = (1 - \Phi_1 B^{\omega \times 1} - \dots - \Phi_p B^{\omega \times p})$$

$$\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B^1 - \dots - \phi_p B^p) \quad (4)$$

$$\nabla_\omega^D = (1 - B^\omega)^D \quad (5)$$

$$\nabla^d = (1 - B)^d \quad (6)$$

$$(7) \Theta_Q(B^\omega) = (1 - \Theta_1 B^{\omega \times 1} - \dots - \Theta_Q B^{\omega \times Q})$$

$$\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B^1 - \dots - \theta_q B^q) \quad (8)$$

$$\Phi_p(B^\omega) \phi_p(B) \nabla_\omega^D \nabla^d X_t = \theta_q(B) \Theta_Q(B^\omega) \varepsilon_t \quad (9)$$

که در روابط فوق X_t متغیر تصادفی نرمال شده و ε_t متغیر تصادفی نرمال با میانگین μ و واریانس σ_ε^2 است. پارامترهای θ, Θ, ∇^d و $\nabla_\omega^D, \phi, \Phi, B$ به ترتیب نشانگر عملگرهای پسرو، اتورگرسیو فصلی، اتورگرسیو غیرفصلی، تفاضلی‌گیری فصلی و غیرفصلی، میانگین متحرک فصلی و میانگین متحرک غیرفصلی می‌باشند (Salas et al., 1988).

نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از بکارگیری آزمون‌های من-کندال و تخمین‌گر سن برای تعیین روند تغییر دبی در جدول (۱) ارائه شده است. مطابق شکل (۱ و ۲)، روند کاهشی تغییرات پارامتر دبی از سال ۱۳۷۹ به بعد، همزمان با بهره‌برداری از مخازن چاه‌نیمه با شدت بیشتری کاهش می‌یابد و شیب خط روند افزایش می‌یابد. شکل‌های (۱) و (۲) بترتیب نمودار تغییرات دبی رودخانه‌های سیستان و پریان را در

خودهمبستگی جزئی (PACF) مرتبه‌های p, q و P, Q تعیین می‌شود (گلابی و همکاران، ۱۳۹۳).

۲- برآورد پارامترها (برازش مدل): با شناخت مدل-های مناسب در مرحله پیش، جهت مقایسه چند مدل و تعیین بهترین مدل می‌توان از معیار (AIC) و (SBC) استفاده کرد. معیار آکائیک اصلاح شده (AIC) و شوارتز بیزین (SBC) از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$AIC = n \left(\ln \left(\frac{2\pi RSS}{n} \right) + 1 \right) + 2m \quad (1)$$

$$SBC = T \ln |\Sigma| + n \ln T \quad (2)$$

که در آن $m = (p + q + P + Q)$ و RSS مجموع مربعات باقیمانده‌ها، T و n تعداد پارامترها و تعداد کل مشاهدات است. مدلی که کمترین AIC و SBC از لحاظ جبری داشته باشد بعنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود.

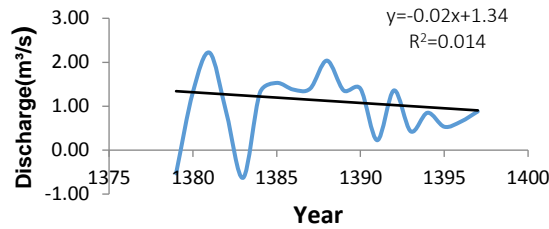
۳- تشخیص درستی الگو: جهت بررسی و ارزیابی درستی الگو، نمودار باقیمانده‌ها از لحاظ نرمال بودن و ایستایی بررسی می‌گردد.

۴- پیش‌بینی: با بکارگیری از روش باکس-کاکس، مقادیر سری داده‌های پیش‌بینی شده با مقادیر بدست آمده اصلاح شدند. نتایج حاصل شده بعنوان داده‌های نهایی جریان‌های پیش‌بینی شده برای سال‌های مدنظر برآورد شد. به منظور مدل‌سازی داده‌های دبی جریان‌های رودخانه‌های سیستان و پریان از نرم افزار Minitab استفاده شد که براساس روش تکراری باکس-جنکینز می‌باشد (El-Din and Smith, 2002).

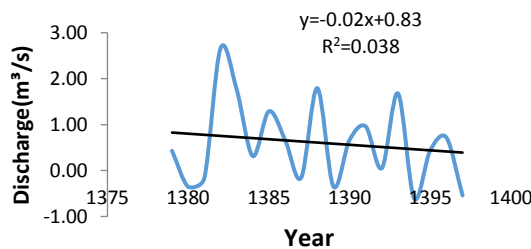
در علم آمار، مدل‌های سری زمانی که به آن باکس جنکینز می‌گویند، مدلی است که جهت ارزیابی داده‌های مرتب شده براساس زمان بکار می‌رود. سری زمانی مشاهده شده را می‌توان حاصل یک فرآیند استوکاستیک گویند. آسان‌ترین مدلی که برای شبیه‌سازی می‌توان برای این سری زمانی مد نظر قرار داد مربوط به فرآیندی است که در آن، پیش‌آمدها در زمان‌های جداگانه از هم و با فاصله‌های زمانی ثابت اتفاق می‌افتد و هر یک از آنها مستقل از دیگر

و آزمون های من-کندال و سن بر روی داده های نرمال شده اعمال شده اند.

سال های ۱۳۷۹-۱۳۹۷ نمایش می دهد. لذا برای بررسی روند تغییر پارامتر دبی در اثر تغییر اقلیم، نرمال سازی داده های مربوط به دبی با استفاده از رابطه زیر انجام شده است



شکل (۱). نمودار تغییرات دبی رودخانه سیستان در بازه ۱۳۷۹-۱۳۹۷



شکل (۲). نمودار تغییرات دبی رودخانه پربان در بازه ۱۳۷۹-۱۳۹۷

جدول (۱). نتایج آزمون من-کندال و تخمین گر سن (۱۳۷۹-۱۳۹۷)

دبی سیستان	دبی پربان	مقادیر آماره Z آزمون من-کندال
*-۰/۵۶	*-۰/۵۶	مقادیر آماره شیب خط روند
	-۰/۱۳	

** و * معنی داری در سطح ۹۹ و ۹۰ درصد

ادامه این روند در آینده، سیستم را با بحران مواجه خواهد ساخت.

کمترین مقدار برای متغیر دبی سیستان و پربان بدست آمده است. نتایج در مجموع کاهش میزان دبی در ایستگاه سیستان در بازه ۱۳۷۹-۱۳۹۷ دارد.

در این مطالعه به منظور پیش بینی جریان ورودی رودخانه های سیستان و پربان داده های سازمان آب منطقه ای در طول دوره آماری ۹۷-۱۳۷۹ استفاده شد. مشخصات آماری داده های دبی جریان رودخانه های سیستان و پربان در حوضه آبریز هیرمند در جدول (۲) ارائه شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که دبی سالانه در همه ایستگاه دارای روند کاهشی در طول دوره آماری بوده است و روند معنی داری برای این پارامتر در محدوده ۹۰٪ می باشد. تغییرات دبی در رودخانه های سیستان و پربان دارای آماره من-کندال $-0/56$ بدست آمده است. طبق شکل ۳-۱۱ و مقدار Q بدست آمده $0/08$ و $0/13$ متغیر دبی در طول ۱۸ سال مورد مطالعه، بصورت میانگین به اندازه $0/61$ و $1/112$ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافته است که

جدول (۲). مشخصات آماری داده‌های جریان رودخانه‌های سیستان و پریان در حوضه آبریز هیرمند (۱۳۹۷-۱۳۷۹)

متغیرها	میانگین	میانه	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
جریان رودخانه سیستان	۲۰/۰۰۵	۷/۸۹۰	۱۴۲/۶۰۰	۰	۳۰/۲۳۹	۲/۱۶۸	۷/۴۲۸
جریان رودخانه پریان	۱۹/۰۷۴	۱۴	۱۰۰	۰	۱۸/۵۰۳	۱/۸۷۲	۶/۷۲۳

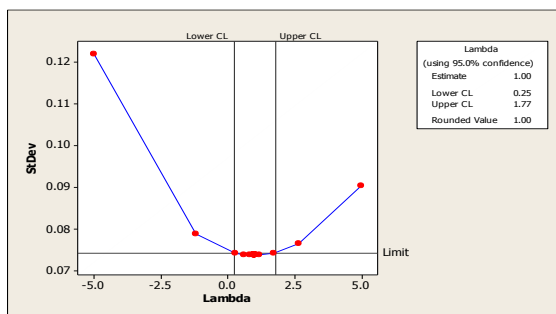
پیش‌بینی دبی جریان رودخانه سیستان تا سال ۱۴۱۰

در این پژوهش از ۱۸ سال داده‌های زمانی دبی رودخانه‌های سیستان و پریان اخذ شده از شرکت اب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان استفاده گردید و به منظور تحلیل داده‌ها و ترسیم نمودارها و تعیین مؤلفه‌ها از نرم‌افزار *Minitab* استفاده شد. با مشاهده نمودار داده‌های اولیه سری زمانی مشخص شد که این سری در میانگین و واریانس ناپایستا است. شکل (۳) نمودار هیدروگراف (سری زمانی) ۱۸ ساله داده‌ها با روند نزولی آن نشان می‌دهد. بنابراین در اولین قدم باید ناپایداری میانگین (روند) را حذف کرد که این کار از طریق معادله تفاضلی درجه اول انجام گیرد که دارای کمترین مقدار واریانس سری زمانی است.

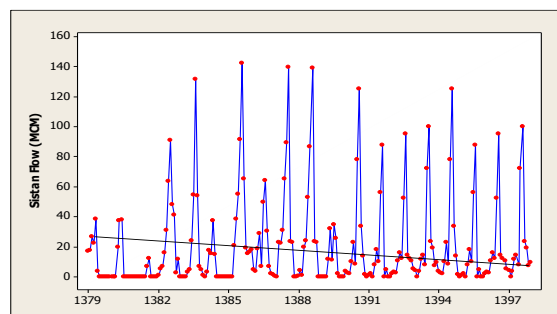
نمودار باکس کاکس در شکل (۴) ارائه شده است. پارامتر تبدیل λ براساس این نمودار انتخاب می‌گردد. مقدار پارامتر تبدیل λ در تبدیل باکس کاکس نشان‌دهنده ناپایداری در واریانس است که جهت ایستا کردن واریانس، تمام داده‌ها به توان λ رسانده می‌شوند. همچنین در جدول داخل شکل (۴) نتایج حاصل از تبدیل باکس کاکس آمده است که شاخص عملکرد معادل یک می‌باشد که بیانگر ایستا بودن داده‌ها می‌باشد

پس از اطمینان از صحت داده‌های دبی جریان رودخانه‌ها و انجام آزمون‌های آماری لازم، به پیش‌بینی آنها پرداخته شد. برای این منظور از ۲۸۲ داده موجود برای پیدا کردن مدل مناسب استفاده شد و ۱۵۶ داده بعدی برای آزمون مدل به دست آمده به کار گرفته شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار *Minitab* استفاده شد.

پس از نرمال کردن سری زمانی، توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی مربوط به داده‌های ایستا شده ترسیم شد. سپس مدل‌های مختلفی بر سری زمانی داده‌ها برازش داده شد. برای انتخاب مدل برتر از معیار آکائیک و شوارتز استفاده شد که براساس آن در نهایت مدلی بعنوان مدل برتر انتخاب خواهد شد که دارای کمترین مقدار باشند. لازم به ذکر است که ابتدا چهار مدل پذیرفته شده از مقدار کمتر به بیشتر مرتب شده و هر کدام از آنها مورد صحت-سنجی قرار گرفت. با انتخاب مدل اول، سری باقیمانده‌های آن بررسی شد. اما به دلیل اینکه پس از رسم نمودار خود-همبستگی باقیمانده‌ها در تمام گام‌های تأخیر در محدوده اطمینان قرار نگرفت در صحت‌سنجی رد شد. سپس مدل دوم مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. نتیجه نشان داد که سری باقیمانده‌های این مدل ایستا نیستند. به همین صورت مدل سوم هم رد شد و در نهایت مدل چهارم تمام شرایط صحت‌سنجی را دارا بود. برای صحت‌سنجی مدل انتخابی، دو معیار مورد بررسی قرار گرفت. یکی اینکه باقیمانده‌های مدل مورد بررسی قرار گرفت و پس از رسم نمودار خودهمبستگی باقیمانده‌ها اگر تمام گام‌های تأخیر در محدوده اطمینان قرار گیرد به معنای مناسب بودن مدل است. از طرف دیگر اگر سری باقیمانده‌ها نرمال باشند به این معنی است که مدل انتخابی مناسب است.



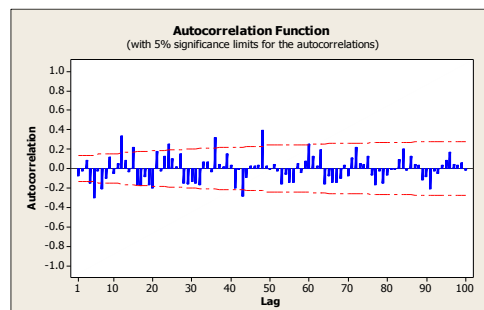
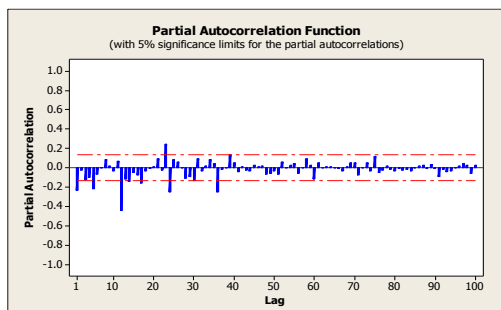
شکل (۴). نمودار نتایج تبدیل باکس-کاکس بر روی زمانی دبی جریان ماهانه رودخانه سیستان



شکل (۳). نمودار سری زمانی دبی جریان ماهانه رودخانه سیستان

نمودار همبستگی‌نگار و همبستگی‌نگار جزئی پس از تفاضل‌گیری درجه اول (شکل ۵) عامل روند را از خود نشان نداده و نمودار فقط میل به تناوب دارد و مقدار همبستگی در برخی تأخیرها خط اطمینان را قطع کرده که مبین نوسانات فصلی است. برای حذف این عامل از روش تفاضل-گیری فصلی درجه یک استفاده شد.

برای بررسی سری زمانی و صحت فرآیند تفاضل‌گیری درجه اول در حذف و الگوی عامل روند داده‌ها هیدروگراف نمودارهای همبستگی‌نگار ACF و خودهمبستگی‌نگار $PACF$ برای داده‌های تفاضل‌گیری شده، محاسبه و براساس آن نمودار همبستگی‌نگار ترسیم شد که می‌توان از طریق آنها ضرایب مناسبی برای p و q استخراج کرد. شکل (۵) نمودار خودهمبستگی ACF و $PACF$ بعد از حذف روند را نشان می‌دهد.



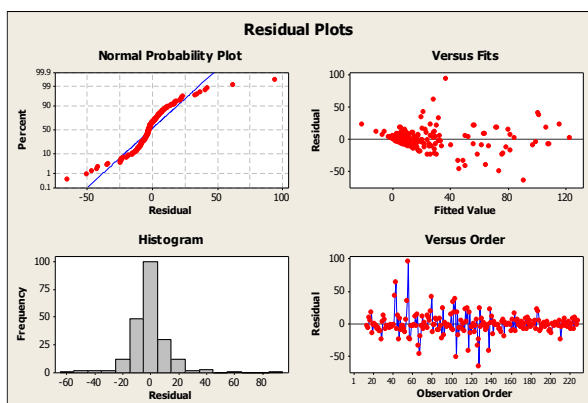
شکل (۵). نمودار خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی ($PACF$) بعد از تفاضل‌گیری در دبی جریان رودخانه سیستان

شد. اما به دلیل اینکه پس از رسم نمودار خودهمبستگی باقیمانده‌ها در تمام گام‌های تأخیر در محدوده اطمینان قرار نگرفت در صحت‌سنجی رد شد. سپس مدل دوم مورد مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. نتیجه نشان داد که سری باقیمانده‌های این مدل ایستا نیستند. در نهایت مدل سوم تمام شرایط صحت‌سنجی را دارا بود. برای صحت‌سنجی مدل انتخابی، دو معیار مورد بررسی قرار گرفت. یکی اینکه باقیمانده‌های مدل مورد بررسی قرار گرفت و پس از رسم نمودار خودهمبستگی باقیمانده‌ها اگر تمام گام‌های تأخیر در محدوده اطمینان قرار گیرد به معنای مناسب بودن مدل

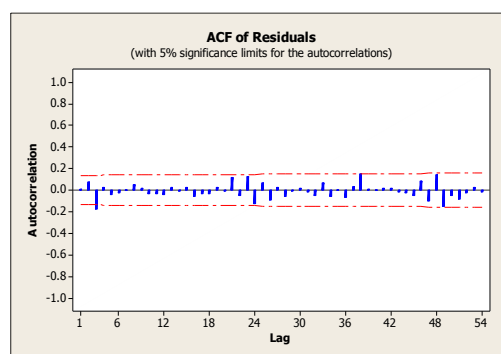
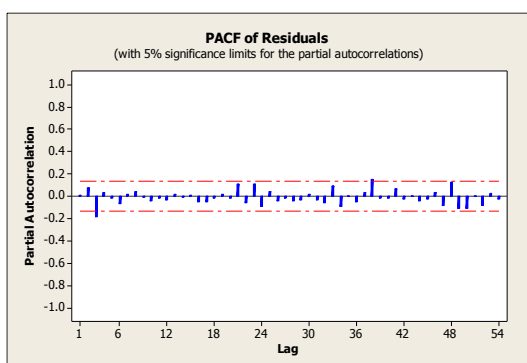
پس از نرمال کردن سری زمانی دبی جریان رودخانه هیرمند، مطابق با شکل‌های (۶) توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی مربوط به داده‌های ایستا شده، ترسیم شد. سپس مدل‌های مختلفی بر سری زمانی داده‌ها برازش داده شد. برای انتخاب مدل برتر از معیار آکائیک و شوارتز استفاده شد که براساس آن در نهایت مدلی برتر انتخاب خواهد شد که دارای کمترین مقدار آکائیک و شوارتز باشند. لازم به ذکر است که ابتدا سه مدل پذیرفته شده کمتر به بیشتر مرتب شده و هر کدام از آنها مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. با انتخاب مدل اول، سری باقیمانده‌های آن بررسی

برای سری زمانی دبی جریان رودخانه سیستان تمامی گام-های تأخیر در محدوده اطمینان قرار دارند در نتیجه مدل انتخابی مناسب می‌باشد.

است. از طرف دیگر اگر سری باقیمانده‌ها نرمال باشند به این معنی است که مدل انتخابی مناسب است. بنابراین با توجه به شکل (۷) که نرمال بودن باقیمانده‌ها، خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌ها را



شکل (۶). بررسی نرمال بودن باقیمانده‌ها مدل انتخابی $SARIMA(1,1,1)(2,1,0)^{12}$



شکل (۷). نمودار تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌های مدل انتخابی $SARIMA(1,1,1)(2,1,0)^{12}$

مقدار SBC و AIC می‌باشند. نتایج مدل‌های مختلف سری‌های زمانی $SARIMA$ و معیارهای P -Value، SBC ، AIC و T . در جدول (۳) برای دبی جریان رودخانه سیستان آمده است. برای دبی جریان رودخانه سیستان تنها در مدل $SARIMA(1,1,1)(2,1,0)^{12}$ مقدار T مطلق بیش از ۲ بوده و P -Value آن کمتر از ۰/۰۵ و همچنین کمترین مقادیر معیارهای AIC و SBC را دارد، بنابراین بهترین الگو شناخته شده است.

گام بعد انتخاب الگوی برتر می‌باشد. بدین منظور از معیارهای مختلفی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر با استفاده از معیار آکائیک AIC که بر مبنای باقیمانده‌های مدل برازش شده می‌باشد و معیار SBC بهترین مدل برازش داده شده از بین تمامی مدل‌ها برای دبی رودخانه سیستان انتخاب شد. با توجه به معیارهای مورد نظر بهترین مدل، مدلی است که دارای کمترین مقدار P -Value، SBC و AIC و بیشترین T باشد. با بررسی نتایج این معیارها مشخص شد. مدل $SARIMA$ دارای کمترین

جدول (۳). پارامترهای آماری برای هر یک از مدل‌های تحقیقی

BIC	AIC	P	T	SE Coefficient	Coefficient	Parameter	Modelling
۱۸۹۵/۶۵۸	۱۳۴۱/۶۰۹	۰/۱۱	-۱/۶۰	۰/۰۹۹	-۰/۱۵۹	AR1	SARIMA(2,1,2)(1,1,1) ¹²
		۰/۰۰	۷/۵۶	۰/۰۶۴	۰/۴۸۸	AR2	
		۰/۰۰	-۴/۲۰	۰/۰۸۶	-۰/۳۶۲	SAR12	
		۰/۰۰	۳/۳۳	۰/۰۸۱۲	۰/۲۶۹	MA1	
		۰/۰۰	۱۳/۱۱	۰/۰۵۴	۰/۷۱۰	MA2	
		۰/۰۰	۶/۹۳	۰/۰۷۸	۰/۵۴۱	SMA12	
		۰/۴۴	-۰/۷۷	۰/۰۱۸	-۰/۱۴	Constant	
۱۹۰۶/۰۸۷	۱۳۳۲/۵۲۴	۰/۰۰	۱۰/۷۳	۰/۰۵۷	۰/۶۱۲	AR1	SARIMA(1,1,2)(0,1,1) ¹²
		۰/۰۰	۱۳۲۶/۹۲	۰/۰۰۰۷	۰/۹۶۵	MA1	
		۰/۱۲	۱/۵۴	۰/۰۲۱	۰/۰۳۲	MA2	
		۰/۰۰	۱۵/۳۹	۰/۰۴۷	۰/۷۳۱	SMA12	
		۰/۹۸	-۰/۰۲	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۰۰۹۴	Constant	
۱۸۹۵/۴۰۶	۱۳۲۵/۹۱۷	۰/۰۰	۹/۹۵	۰/۰۵۷	۰/۵۷۱	AR1	SARIMA(1,1,1)(2,1,0) ¹²
		۰/۰۰	-۱۳/۱۷	۰/۰۶۴	-۰/۱۸۵۱	SAR12	
		۰/۰۰	-۵/۷۹	۰/۰۶۴	-۰/۳۷۲	SAR24	
		۰/۰۰	۶۱۷۳۲/۷۱	۰/۰۰	-۰/۹۹۶	MA1	
		۰/۵۴	-۰/۶۱	۰/۰۰۹	-۰/۰۰۵	Constant	

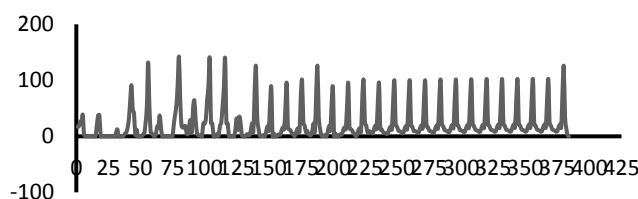
مدل انتخابی $SARIMA(1,1,1)(2,1,0)^{12}$ با استفاده از آن نوسانات دبی جریان رودخانه سیستان برای ۱۵۶ ماه آینده پیش‌بینی شد و با توجه به اینکه تبدیل باکس-کاکس بر روی سری زمانی انجام شده بود و با استفاده از معادله تبدیل آن داده‌های پیش‌بینی شده را به حالت اولیه برگردانده تا مقدار مدل شده واقعی بدست آید که نمودار آن در شکل (۸) نشان داده شده است.

معیار دیگر برای بررسی صحت مدل انتخابی، آزمون لجانگ-باکس بر روی باقیمانده‌های مدل است که مقادیر حاصل از این آزمون، در جدول (۴) آورده شده است. در این جدول باید مقادیر $P-Value$ بزرگتر از ۰/۰۵ باشد تا آزمون پذیرفته شود. همانطور که در جدول نمایان است مقادیر $P-Value$ در تمام تأخیرها بزرگتر از ۰/۰۵ است و این آزمون هم صحت مدل را تأیید می‌کند. پس از تعیین

جدول (۴). تأیید آزمون لجانگ-باکس بر روی باقیمانده‌های مدل انتخابی $SARIMA(1,1,1)(2,1,0)^{12}$

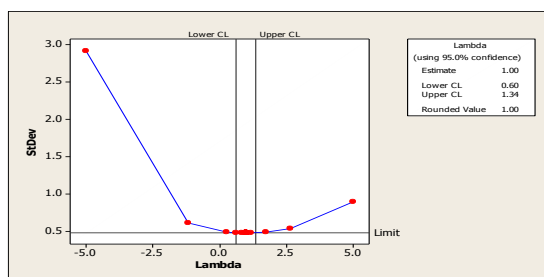
۴۸	۳۶	۲۴	۱۲	Lag
۴۸/۸	۳۱/۳	۲۳/۴	۱۰/۳	Chi - Square
۴۳	۳۱	۱۹	۷	Df
۰/۲۵۳	۰/۴۵۱	۰/۲۲۱	۰/۱۷۵	P - Value

Sistan Flow



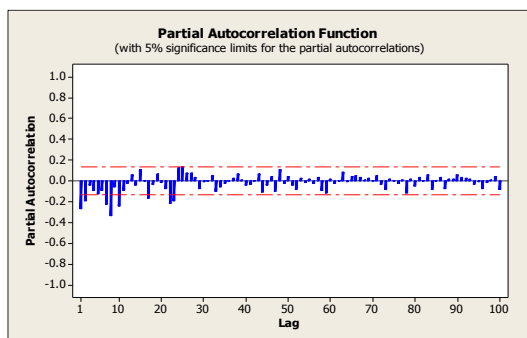
شکل (۸). مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده دبی جریان رودخانه سیستان

نالیستایی میانگین (روند) را حذف کرد که این کار از طریق معادله تفاضلی درجه اول انجام گردید که دارای کمترین مقدار واریانس سری زمانی است. نمودار باکس کاکس در شکل (۱۰) ارائه شده است. مقدار بهترین شاخص عملکرد معادل یک می‌باشد بیانگر ایستا بودن داده‌ها می‌باشد.



شکل (۱۰). نمودار نتایج تبدیل باکس-کاکس بر روی زمانی دبی جریان ماهانه رودخانه پریان

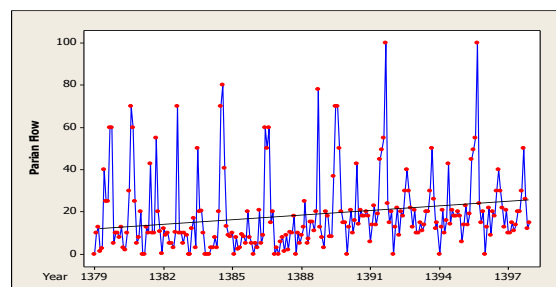
نمودار همبستگی‌نگار و همبستگی‌نگار جزئی پس از تفاضل‌گیری درجه اول (شکل ۱۱) عامل روند را از خود نشان نداده و نمودار فقط میل به تناوب دارد و مقدار همبستگی در برخی تأخیرها خط اطمینان را قطع کرده که مبین نوسانات فصلی است. برای حذف این عامل از روش تفاضل‌گیری فصلی درجه یک استفاده شد.



شکل (۱۱). نمودار خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PCAF) بعد از تفاضل‌گیری در دبی جریان رودخانه پریان

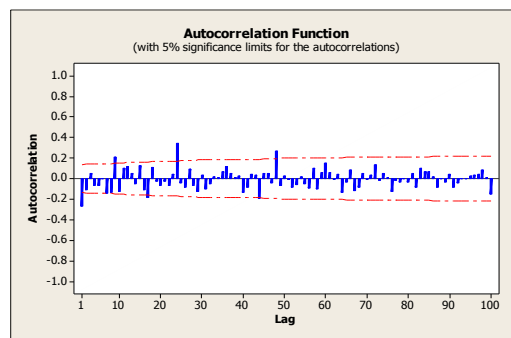
بدان معناست که مدل به درستی انتخاب گردیده است. از طرف دیگر سری باقیمانده‌ها نرمال باشند به این معنی است که مدل انتخابی مناسب است.

پیش‌بینی دبی جریان رودخانه پریان تا سال ۱۴۱۰ با مشاهده نمودار داده‌های اولیه سری زمانی تعیین شد که این سری در میانگین و واریانس نالیستا است. شکل (۹) نمودار هیدروگراف (سری زمانی) ۱۸ ساله داده‌ها با روند صعودی آن نشان می‌دهد. بنابراین در اولین قدم باید

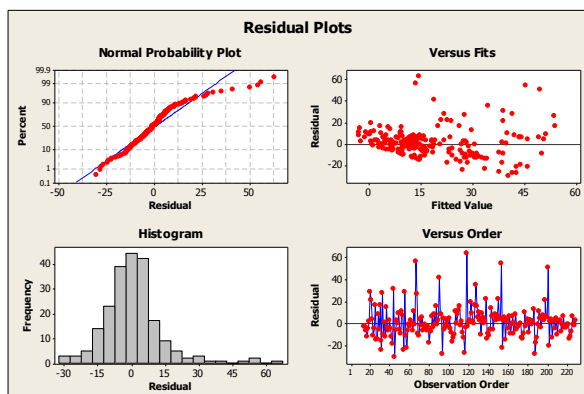


شکل (۹). نمودار سری زمانی دبی جریان ماهانه رودخانه پریان

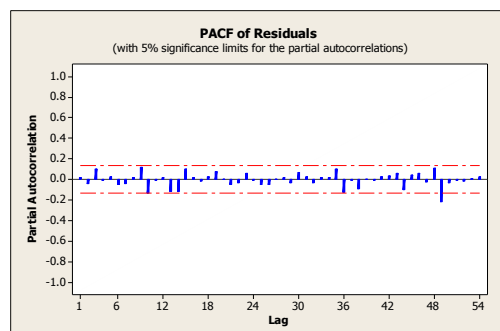
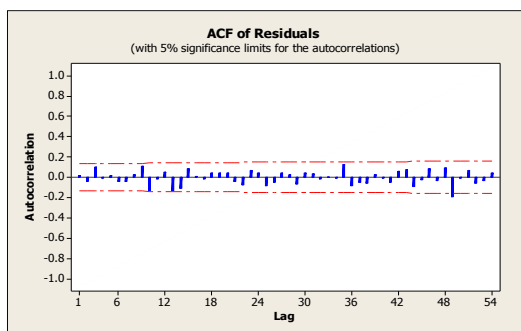
شکل (۱۱) نمودار خودهمبستگی ACF و PACF بعد از حذف روند را برای دبی جریان رودخانه پریان نشان می‌دهد. نمودارهای همبستگی‌نگار ACF و خودهمبستگی‌نگار PACF برای داده‌های تفاضل‌گیری شده، ترسیم شده است.



پس از رسم نمودار خودهمبستگی باقیمانده‌های دبی جریان رودخانه پریان با توجه به شکل‌های (۱۲) و (۱۳) تمامی گام‌های تأخیر در محدوده اطمینان قرار گرفته و این



شکل (۱۲). بررسی نرمال بودن باقیمانده‌ها مدل انتخابی $SARIMA(1,1,1)(1,1,1)^{12}$



شکل (۱۳). نمودار تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌های مدل انتخابی $SARIMA(1,1,1)(1,1,1)^{12}$

در تمامی پارامترها بجز ثابت بیش از ۲ بوده، $P-Value$ کمتر از ۰/۰۵ و همچنین معیارهای آکائیک (AIC) و شوارتز بیزی (SBC) کمترین مقدار را دارا می-باشند.

جدول (۴) مقایسه مدل‌های مختلف سری زمانی برای داده‌های ایستا شده دبی جریان رودخانه پریان در طول دوره ۱۸ ساله (۹۷-۱۳۷۹) را نشان می‌دهد. با توجه به جدول در مدل $SAMIRA(1,1,1)(1,1,1)^{12}$ مقدار قدرمطلق آماره

جدول (۵). پارامترهای آماری برای هر یک از مدل‌های تحقیقی

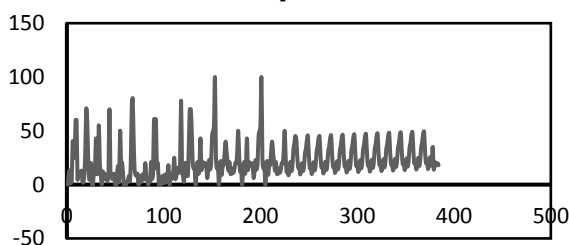
BIC	AIC	P	T	SE Coefficient	Coefficient	Parameter	Modelling
۳۳۰/۲۰۱۳	-۳۲۹/۹۹۳	۰/۰۱	۲/۳۹	۰/۰۷۳	۰/۱۷۵	AR1	$SAMIRA(2,1,1)(1,1,1)^{12}$
		۰/۹۷	-۰/۰۴	۰/۰۷۳	-۰/۰۰۲	AR2	
		۰/۰۰	-۴/۰۲	۰/۰۷۴	-۰/۲۹۸	SAR12	
		۰/۰۰	۳۴/۹۷	۰/۰۲۶	۰/۹۳۵	MA1	
		۰/۰۰	۱۶/۸۰	۰/۰۴۸	۰/۸۱۰	SMA12	
		۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	Constant	
۳۲۸/۶۶۲۷	-۳۳۱/۶۴۲	۰/۵۷	۰/۷۱	۰/۵۵۲	۰/۳۹۱	AR1	$SAMIRA(2,0,2)(0,1,2)^{12}$
		۰/۴۸	۰/۹۵	۰/۴۲۵	۰/۴۰۳	AR2	
		۰/۳۴	۰/۲۸	۰/۵۳۷	۰/۱۴۹	MA1	
		۰/۷۸	۱/۳۶	۰/۳۰۲	۰/۴۱۲	MA2	
		۰/۰۰	۱۵/۴۰	۰/۰۶۹	۱/۰۶۸	SMA24	
		۰/۰۲	۲/۲۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	Constant	

ادامه جدول (۵). پارامترهای آماری برای هر یک از مدل‌های تحقیقی

۳۲۸/۱۵۱۴	-۳۲۸/۴۲۹	۰/۰۱	۲/۳۹	۰/۰۷۳	۰/۱۷۴	AR1	SAMIRA(1,1,1)(1,1,1) ¹²
		۰/۰۰	-۳/۹۱	۰/۰۷۴	-۰/۲۸۹	SAR12	
		۰/۰۰	۳۷/۴۷	۰/۰۲۵	۰/۹۳۶	MA1	
		۰/۰۰	۱۷/۴۷	۰/۰۴۰	۰/۸۲۱	SMA12	
		۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	Constant	

بودن باقیمانده‌ها را مورد تأیید قرار می‌دهد. همچنین با درجه آزادی‌های مختلف مقدار آماره آزمون در سطح پنج درصد از کیدو جدولی کوچکتر است پس فرض صفر پذیرفته و کفایت مدل پذیرفته می‌شود.

Pariyan Flow



شکل (۱۴). مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده دبی جریان رودخانه سیستان

صحت و سقم مدل‌های برازش شده مورد تأیید است. با توجه به مقادیر آماره‌ها بین دبی جریان ماهانه مشاهداتی و برآورد شده رودخانه سیستان مدل $SARIMA(1,1,1)(2,1,0)^{12}$ و $SAMIRA(1,1,1)(1,1,1)^{12}$ برای دبی جریان ماهانه رودخانه پریان بعنوان مدل برتر تعیین شده است. علاوه بر این تعیین شد که در مدل‌های SARIMA با افزایش میانگین متحرک غیرفصلی، توانایی مدل در برآورد دبی جریان ماهانه کاهش می‌یابد.

همچنین نتایج حاصل از برآورد آزمون لجانگ- باکس برای دبی جریان ماهانه رودخانه سیستان و پریان در حوضه هیرمند که برای مدل انتخابی برای کلیه تأخیرها مقدار $P-Value$ بزرگتر از پنج درصد بوده که فرضیه ناهمبسته بودن باقیمانده‌ها را مورد تأیید قرار می‌دهد. همچنین با درجه آزادی‌های مختلف مقدار آماره آزمون در سطح پنج درصد از کیدو جدولی کوچکتر است پس فرض صفر پذیرفته و کفایت مدل پذیرفته می‌شود. نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات میرزایی و طهماسبی‌پور (۱۳۹۶)، کاویان

نتایج مربوط به آزمون لجانگ- باکس در جدول (۶) که برای مدل انتخابی دبی جریان رودخانه پریان انجام شد و نتایج مربوط به الگو شناسایی شده برای کلیه تأخیرها مقدار $P-Value$ بزرگتر از پنج درصد بوده که فرضیه ناهمبسته

جدول (۶). تأیید آزمون لجانگ- باکس بر روی باقیمانده‌های

مدل انتخابی

۴۸	۳۶	۲۴	۱۲	Lag
۴۶/۵	۳۴/۸	۲۳/۸	۱۰/۸	Chi - Square
۴۳	۳۱	۱۹	۷	Df
۰/۳۳۲	۰/۲۹۳	۰/۲۰۳	۰/۱۴۷	P - Value

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

وجود کمبود آب در نواحی خشک و نیمه‌خشک و به ویژه در حوضه هیرمند، یک عامل مهم بازدارندگی توسعه پایدار در این مناطق بشمار می‌رود و بنابراین طرح شیوه کارآمد و مناسب جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی آورد رودخانه‌ها می‌تواند در مدیریت صحیح و بهینه منابع آب اثرگذار باشد. الگوهای سری زمانی می‌تواند نقش بسزایی در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت سری‌های سری زمانی داده‌های منابع آب سطحی داشته باشد. در این مطالعه، مدب سری زمانی آریمای فصلی SARIMA با هدف پیش‌بینی سری زمانی داده‌های دبی جریان ماهانه رودخانه‌های سیستان و پریان در حوضه هیرمند مورد برآورد و ارزیابی قرار گرفته است. در الگوسازی سری زمانی باکس و جنکینز تجربه و قضاوت فردی در تعیین پارامترها و الگوی بهینه با اهمیت است. در حقیقت تعیین بهترین مدل قالب معینی ندارد بلکه با آزمون و خطا انجام می‌گیرد. در مطالعه حاضر طبق رفتار توابع همبستگی و همبستگی جزئی باقیمانده‌ها، آماره شوارتز (SBC) و آماره آکائیک (AIC) حاصل از برآورد مدل‌ها



۲- با توجه به کمبود آب پیشنهاد می‌گردد که برای فعالیت‌های کشاورزی از آبیاری مدرن استفاده گردد.

۳- از روش‌های گوناگونی چون استفاده از توپ‌های پلاستیکی، بادشکن‌های گیاهی، استفاده از پوشش‌های شناور در مناطق گرم و خشک، پوشش شبکه‌ای با قابلیت جابجایی و ... برای کاهش تبخیر آب در منطقه استفاده شود.

و همکاران (۱۳۹۶) و آذر و همکاران (۱۳۹۷)، Frausto-Solis, et al., 2008; Singh et al., 2011; Othman et Luo et al., 2019 و al., 2017; Moeeni et al., 2017 مطابقت و همخوانی دارد.

با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

۱- با توجه به شرایط آب و هوایی و کمبود آب در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود دولتمردان تدابیری جهت مدیریت منابع آب در منطقه انجام دهند.

منابع

- احمدپور، ع.، میرهاشمی، س. ح و پ. حقیقت‌جو. ۱۳۹۸. پیش‌بینی رواناب روزانه در حوضه مارون با استفاده از مدل HEC-HMS، نشریه علمی- ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب، سال چهارم، شماره ۱، ص ۱۳-۴.
- آذر، ع و مؤمنی، م. ۱۳۹۵. آمار و کاربرد آن در مدیریت- جلد اول، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، ۳۵۰ ص.
- آذری، آ.، زینعلی، م و م. م. حیدری. ۱۳۹۷. پیش‌بینی نوسانات هیدروگراف واحد آبخوان دشت صحنه با استفاده از تحلیل سری زمانی، مجله آبخوان و قنات، جلد ۲، شماره ۱، ص ۶۵-۷۶.
- سیدیان، س. م.، سلیمانی، م و م. کاشانی. ۱۳۹۳. پیش‌بینی دبی جریان رودخانه با استفاده از داده‌کاوی و سری زمانی، اکوهیدرولوژی، دوره ۱، شماره ۳، ص ۱۷۹-۱۶۷.
- شریفان، ح.، پژوهش، ف و ا. ا. دهقانی. ۱۳۹۳. پیش‌بینی مقدار آبدهی رودخانه در شرایط کم‌آبی و پرآبی با استفاده از یک مدل استوکستیک و هوش مصنوعی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۳، جلد ۸، ص ۵۱۸-۵۱۰.
- عاقل‌پور، پ و م نادی. ۱۳۹۷. ارزیابی دقت مدل SARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی بلندمدت میانگین دمای ماهانه در اقلیم‌های متفاوت ایران، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال نهم، شماره سی و پنجم، ص ۱۲۶-۱۱۳.
- عساکره، ح و م. خردمندنیا. ۱۳۸۹. الگوسازی آریمای برای میانگین سالانه دمای شهر تبریز، فصلنامه تحقیقات جغرافیا، ۷۵۶: ۱۵۶۰۱-۱۵۶۲۲.
- فتح‌آبادی، ا. ح.، سلاجقه، ع و م. مهدوی. ۱۳۸۷. پیش‌بینی دبی رودخانه با استفاده از روش‌های نوروفازی و مدل‌های سری‌های زمانی، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، شماره ۵، ص ۳۱-۲۱.
- فرشاسعید، پ و ا. خدارحمی. ۱۳۹۵. بررسی چگونگی حل و فصل اختلاف ناشی از حبابه سیستان در رودخانه هیرمند براساس معاهده ۱۳۵۱، سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و علوم انسانی، باتومی گرجستان.
- کارآموز، م و ش. عراقی‌نژاد. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- کاوایان، ع. ا.، نامدار، م. گلشن، م و م. بحری. ۱۳۹۶. مدل‌سازی هیدرولوژیکی اثرات تغییر اقلیمی بر نوسانات دبی جریان در رودخانه هراز، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم، ص ۱۰۴-۸۹.
- گلایی، م. ر.، آخوندعلی، ع. م. رادمنش، ف و م. کاشفی‌پور. ۱۳۹۳. مقایسه دقت پیش‌بینی مدل‌های باکس- جنکینز در مدل‌سازی بارندگی فصلی در استان خوزستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره سوم، شماره پیاپی ۱۱۴، ص ۷۲-۶۱.
- مهدوی، م. ۱۳۹۴. هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه تهران، چاپ یازدهم، ۳۶۰ ص.



میرزاپور، ح و ن. طهماسبی پور. ۱۳۹۶. پیش‌بینی دبی ماهانه رودخانه کاکارضا با استفاده از مدل‌های سری زمانی، ARIMA فصلی، فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، سال نهم، شماره ۳۴، ص ۸۶-۷۵.
نوذری، ح و ف. توکلی. ۱۳۹۷. پیش‌بینی جریان با استفاده از مدل ماشین‌بردار پشتیبان بر مبنای سری‌های زمانی دبی و بارش در ایستگاه‌های بالادست (مطالعه موردی: ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ)، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال شانزدهم، شماره ۵۴، ص ۱۰۴-۹۵.

Bowerman, B, L and R, T, Connel. 1979. Time Series and Forecasting, PWS publisher.

Ckersik N. 2001. Hydrogeology and groundwater modeling to solve problems. Translate: Manoucher Chitchian, Heidar Ali Kashkooli. Shahid Chamran University Press.

De Gregorio, L., M. Callegari, P, Mazzoli, S, Bagli, D, Broccoli, A, Pistocchi, and C, Notarnicola. 2019. Operational River Discharge Forecasting with Support Vector Regression Technique Applied to Alpine Catchments: Results, Advantages, Limits and Lesson Learned. Water Resour Manage 32, 229-242.

El-Shafie, A., M, RedaTaha, and A, Noureldin. 2007. Aneuro-fuzzy model for inflow forecasting of the Nile river at Aswan high dam. Water Resour Manage. 21: 533-556

Fahim ahmad, M., and G, Rasul. 2008. Prediction Of Soil Temperature By Air Temperature; A Case Study For Faisalabad. Pakistan Journal of Meteorology, 5(9).

Fathian, F., S, Mehdizadeh, A, Kozekalani Sales, M. J. Sadegh Safari. 2019. Hybrid models to improve the monthly river flow prediction: Integrating artificial intelligence and non-linear time series models, Journal of Hydrology, 575: 1200-1213.

Frausto-Solis, J., E, Pita and J, Lagunas. 2008. Short-term streamflow forecasting: ARIMA vs Neural Networks. In American Conference on Applied Mathematics (MATH'08), Harvard, Massachusetts, USA, 402- 407.

Hipel, K.W., and A. I. McLeod. 1994. Time series modeling of water resources and environmental systems. Elsevier, Amsterdam.

Laux P., S, Vogl, W, Qiu, H.R. Knoche, and H, Kunstmann. 2011. Copula-based statistical refinement of precipitation in RCM simulations over complex terrain Hydrol. Earth System Science, 15: 2401-2419.

Luo, X., X, Yuan, S, Zhu, Z, Xu, L, Meng, and J, Peng. 2019. A hybrid support vector regression framework for streamflow forecast, Journal of Hydrology, 568: 184-193.

Mahmood, S. H and I, Omar. 2019. Forecasting the Amount of Water Consumed in Erbil City using Time Series Model (SARIMA). Journal of Humanity Sciences. 5Dec.2019 [cited 26Jan.2020]; 23(6): 285 -296.

Moeeni, H., and H, Bonakdari. 2017. Forecasting monthly inflow with extreme seasonal variation using the hybrid SARIMA-ANN model. Stoch Environ Res Risk Assess, 31: 1997-2010.

Nayak, P.C., K. P, Sudheer, D. M, Rangan, and K. S, Ramasastri. 2004. A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series.

Niroumand, H. A., and A, Bozorg Nia. 2011. Time Series, Payam Noor University Publications, Tehran.

Othman, F., M., M, Heydari, H, Ahmadizadeh, H, Nozari, and M, Sadegh. 2017. Investigating the effectiveness of seasonalization based on statistical parameters in normalizing, modeling and forecasting inflow time series. Fresenius Environmental Bulletin, 26: 590-597.

Salas .1996. Applied Time Series in Hydrology, Mc Graw Hill.

Salas, J. D., W, Delleur, V, Yevjevich, W. L. Lane. 1988. Applied modeling of hydrologic time series. Water Resources Publications. Littleton, Colorado, U.S.A. Third edition. 484pp.

Singh, M., R, Singh, and V, Shinde. 2011. Application of software packages for monthly stream flow forecasting of Kangsabati River in India. International Journal of Computer Applications, 20(3): 7-14.

Thomas, H.A. and M. B. Fiering. 1962. Mathematical synthesis of stream flow sequences for the analysis of river basin by simulation. Harvard university press, Cambridge, 751 pp.



Thompstone, R.M., K. W, Hipel, and A. I, Mcleod. 1985. Forecasting quarter-monthly river flow. *Water Resources Bulletin*, 21: 731-741.

Tsonis, A.A. 2001. Probing the linearity and nonlinearity in the transitions of the atmospheric circulation. *Nonlinear Processes Geophysics*. 8: 341-345.

Wang, W., P. H, Van Gelder, J. K, Vrijling and J, Ma. 2005. Testing and modeling autoregressive conditional heteroskedasticity of streamflow processes. *Nonlinear Processes Geophysics*, 12: 55-66.

Xuewei, C., X, Mo, W, Zhongmei, and L, Bo. 2017. Dynamic Prediction Of Spring Flow In Karst Mountain Area Based On Sarima Model, *JOURNAL OF ENGINEERING GEOLOGY*, 3: 867-872.

Yurekli K., A, Kurung and F, Ozturk. 2005. Testing the Residuals of an ARIMA Model on the Cekerek Stream Watershed in Turkey. *Turkish Journal of Environmental Science*, 29: 61-74.



Prediction of the mass flow rate of the Hirmand River: The application of the SARIMA time-series technique

Neda Ali Ahmadi¹, Ebrahim Moradi², Seyed Mahdi Hoseini³ and Ali Sardar Shahraki⁴

Abstract

A river's flow prediction and simulation for the sake of predicting the river inflow in future periods are among the main and practical issues of water resource management. The present research assessed and determined a proper model to predict the mass flow rate of the Sistan and Paryan rivers in the Hirmand watershed using the SARIMA time-series model over the period 2000-2018. The statics of the model was checked by the Box-Cox method using the autocorrelation and partial autocorrelation tests. Based on the results and the validation, Akaike and Schwarz-Bayesian criteria, SARIMA (1,1,1)(2,1,0)¹² showed the lowest Akaike criterion (1325.91) and Schwarz-Bayesian criterion (1895.40) for the Sistan river and SAMIRA (1,1,1)(1,1,1)¹² exhibited the lowest values of Akaike and Schwarz-Bayesian criteria (-328.429 and 328.151, respectively) for the Paryan river. Therefore, they were selected as the best model to simulate the mass flow rate in the Hirmand watershed. The model is applied to simulate the mass flow rate in future periods.

Keyword: Paryan river, prediction, SARIMA model, Sistan river, time-series

1- PhD student in Agricultural Economics, Sistan and Baluchestan University, Email: Ahmadi_15877@yahoo.com

2- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sistan and Baluchestan University, Email: ebmoradi31@gmail.com

3- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sistan and Baluchestan University, Email: shseyedmahdi46@gmail.com

4- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sistan and Baluchestan University, Email: a.shahraki65@gmail.com



Prediction of the mass flow rate of the Hirmand River: The application of the SARIMA time-series technique

Neda Ali Ahmadi¹, Ebrahim Moradi^{*2}, Seyed Mahdi Hoseini³ and Ali Sardar Shahraki⁴

Introduction

In recent decades, the limitation of water resources to the growing population and the intensification of competition between the demands of the agricultural, drinking and industrial sectors, has led to the importance of managing the use of water resources. Given that most conceptual models require data and accurate science in relation to physical solutions to the flow of rivers that affect a particular place and location, and this makes it impossible. And therefore researchers have resorted to using statistical methods. For the past four decades, time series patterns have been one of the most widely used models for predicting river flow (El-Shafie, et al., 2007; Nayak, et al., 2004).

There are various methods for predicting time series and determining the forecasting pattern, these methods are divided into two groups: quantitative and qualitative. Quantitative methods such as simple and rhythmic moving average models, Jenkins box, simple exponential smoothing and Hollow Winters, integrated moving average autoregression and econometric models and qualitative methods such as brainstorming, Delphi and The nominal group can be named (Azar and Momeni, 2016).

Most common time series models in hydrology and water resources are analysis of linear time series patterns. There are various models for time series, but what has many applications in hydrology and is found in a variety of sources include moving average, autocorrelation, self-correlated cumulative moving average, and self-correlated moving average (Tsonis, 2001).

Methodology

In this research, Sarima seasonal model is used among time series patterns. Sarima model can be used to simulate the random behavior of seasonal time series. A random pattern is a linear parameter whose multiplicative form is $SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_\omega$ shown as. This model follows ω the period of autoregressive frequency, differentiation, d, p and q non-seasonal moving average, D, P and Q from equation (3) to (9):

$$\Phi_p(B^\omega) = (1 - \Phi_1 B^{\omega \times 1} - \dots - \Phi_p B^{\omega \times p}) \quad (3)$$

$$\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B^1 - \dots - \phi_p B^p) \quad (4)$$

$$\nabla_\omega^D = (1 - B^\omega)^D \quad (5)$$

$$\nabla^d = (1 - B)^d$$

$$\Theta_Q(B^\omega) = (1 - \Theta_1 B^{\omega \times 1} - \dots - \Theta_Q B^{\omega \times Q}) \quad (7)$$

1- PhD student in Agricultural Economics, Faculty of Economics and Management, University of Sistan and Baluchestan, Email: Ahmadi_15877@yahoo.com

2- Cor Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics and Management, University of Sistan and Baluchestan, Email: ebmoradi31@gmail.com

3- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics and Management, University of Sistan and Baluchestan, Email: shseyedmahdi46@gmail.com

4- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics and Management, University of Sistan and Baluchestan, Email: a.shahraki65@gmail.com



$$\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B^1 - \dots - \theta_q B^q) \quad (8)$$

$$\Phi_p(B^\omega) \phi_p(B) \nabla_\omega^D \nabla^d X_t = \theta_q(B) \Theta_Q(B^\omega) \varepsilon_t \quad (9)$$

Discussion and Conclusion

The results of this study showed that the annual discharge in all stations had a decreasing trend during the statistical period and a significant trend for this parameter is in the range of 90%. Flow changes in Sistan and Parian rivers with Mann-Kendall statistic of -0.56 have been obtained. The value of Q obtained 0.08 and 0.13 of the flow variable during the 18 years studied, decreased by an average of 1.112 and 0.61 cubic meters per second. The continuation of this process in the future will cause a crisis in the system. The lowest value is obtained for the Sistan and Parian flow variable. The results show a total decrease in the amount of discharge in Sistan station.

The values *P-Value* in all the delays are greater than 0.05 and this test also confirms the accuracy of the model. After determining *SARIMA*(1,1,1)(2,1,0)¹² the selected model, the fluctuations of the Sistan River flow were predicted for the next 156 months, and considering that the box-cox conversion was performed on the time series and using the conversion equation, the previous data Return the projection to the original state to obtain the actual modeled value.

Comparison of different time series models for static discharge data shows the fairy river flow over an 18-year period. The model *SAMIRA*(1,1,1)(1,1,1)¹² of absolute value of statistics *T* in all *P-Value* parameters except constant is more than 2, less than 0.05 and also the criteria of Akaike (AIC) and Schwartz-Bayesian (SBC) have the lowest value.

The results of Lejang-Box test for monthly discharge of Sistan and Parian river in Helmand basin, which is greater than five percent for the selected model for all delays, confirms the hypothesis of residual correlation. Also, with different degrees of freedom, the value *P-Value* of test statistics is smaller at the level of five percent of tabular kiddo, so the null hypothesis is accepted and the model adequacy is accepted.

Keyword: Paryan river, prediction, SARIMA model, Sistan river, time-series

The most important references

- Tsonis, A.A. 2001. Probing the linearity and nonlinearity in the transitions of the atmospheric circulation. *Nonlinear Processes Geophysics*. 8: 341-345.
- Nayak, P.C. Sudheer, K.P. Rangan, D.M. and Ramasastri, K.S. 2004. A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series.
- El-Shafie, A. RedaTaha, M. and Noureldin, A. 2007. Aneuro-fuzzy model for inflow forecasting of the Nile river at Aswan high dam. *Water Resour Manage*. 21: 533-556.