

## مقدمه

دستیابی به منابع آب مطمئن و پایدار را می‌توان به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین زیرساخت‌های توسعه جوامع در نظر گرفت. در دهه‌های اخیر منابع آب در اثر عوامل طبیعی یا انسانی دست‌خوش تغییراتی گردیده و این تغییرات بیشتر خود را به شکل افزایش فراوانی وقوع مقادیر حداکثر سیلاب یا خشک‌سالی نشان داده است. بنابراین می‌توان گفت که تغییرات زمانی و مکانی منابع آب تأثیرات غیر قابل انکاری بر رشد و توسعه جوامع خواهد داشت و برای مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر منابع و مصارف آب شناخت چگونگی این تغییرات ضروری خواهد بود. به‌عنوان اولین قدم در مدیریت یکپارچه منابع آب یک حوزه آبخیز باید ارزیابی منابع آب و تعیین میزان رواناب و تغییرات آن و همچنین پیش‌بینی وضعیت آینده را در نظر گرفت. تغییرات سیستم‌های هیدرولوژیکی در طی زمان و توانایی سری‌های زمانی در تحلیل وضعیت و ماهیت مدل‌های سری زمانی که در گروه مدل‌های جعبه سیاه قرار می‌گیرند، امکان به روز رسانی آن در شرایط متغیر محیطی ناشی از عوامل مختلف را فراهم می‌کند که در آن نیاز به شناخت و تحلیل روابط پیچیده بین عوامل نیست. در کنار دلایل فوق پیشرفت‌های موجود در بررسی سری‌های زمانی و توسعه روز افزون این مدل‌ها در کنار مباحثی از قبیل سری‌های زمانی - مکانی که در آن بعد زمان به‌عنوان متغیر مستقل وارد می‌شود کاربرد آن را توسعه بخشیده است. کاربرد سری‌های زمانی در هیدرولوژی از چهار دهه پیش آغاز شده و با ارائه مدل‌های باکس و جنکینز به اوج خود رسید؛ عزیزی [۳] توماس و فایرینگ [۱۶] جزء اولین کسانی بودند که از مدل‌های خودهمبسته در تحلیل جریان‌های رودخانه بهره جستند و شاید بتوان گفت اولین گام مهم در کاربرد عملی سری‌های زمانی در هیدرولوژی توسط مکرچر و دلور [۱۰] برداشته شد. ایشان با توجه به وجود ویژگی‌های فصلی در پارامترهای جریان رودخانه، مدل فصلی و ضربی آریما را جهت شبیه‌سازی رودخانه انتخاب نمودند. نوآکس و مک‌لود [۱۳] قدرت پیش‌بینی کوتاه مدت مدل‌های آریما و مدل‌های اتورگرسیو<sup>۳</sup> را بر روی سری ۳۰ ماهه جریان رودخانه مقایسه کردند و نشان دادند که مدل‌های اتورگرسیو دوره‌ای دقیق‌ترین پیش‌بینی را دارند. پادایلا و همکاران [۱۴] مدل‌های آریما را برای تحلیل سری‌های زمانی سه چشمه کارستی در اسپانیا و فرانسه بکار گرفتند. نتایج مطالعه

پیش‌بینی رواناب سطحی حوزه آبخیز مهرگرد سمیرم  
با استفاده از مدل آریماحمیدرضا مجیری<sup>۱</sup> و امیرحسین حلییان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۸

## چکیده

با شناخت تغییرات زمانی و مکانی منابع آب در یک منطقه می‌توان به مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر منابع و مصارف آب دست یافت. مدل سازی سری‌های زمانی در صورت کاربرد صحیح به نتایج قابل قبولی در این زمینه منجر خواهد شد. به این منظور سری زمانی ماهانه رواناب برای مدت ۲۸ سال در ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه مهرگرد تهیه و با استفاده از روش من-کندال وجود روند در آن‌ها بررسی گردید. پس از آن با استفاده از روش یک متغیره باکس-جنکینز الگوهای مختلف آریما بر داده‌ها برازش و مناسب‌ترین الگو برای پیش‌بینی سال‌های آتی انتخاب شد. نتایج نشان داد که رواناب سطحی در تمام ماه‌ها و فصول روند کاهشی داشته است. نقش افزایش مصارف آب در روند کاهش منابع آب منطقه بررسی و مشاهده شد که مصارف آب در منطقه از سال ۱۳۸۵ به وضوح افزایش قابل توجهی داشته است. میزان توسعه مصارف در این حوضه حدود ۴۶ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. پیش‌بینی رواناب تا سال ۱۴۰۲ با استفاده از مدل آریما (۱، ۱، ۰) \* (۰، ۱، ۰) به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انجام و مشخص گردید در صورت ادامه روند فعلی برداشت‌ها منابع آب سطحی در سال‌های آتی با کاهش قابل توجهی مواجه خواهد بود.

**کلید واژه‌ها:** سری زمانی، من-کندال، مهرگرد، ARIMA، منابع آب

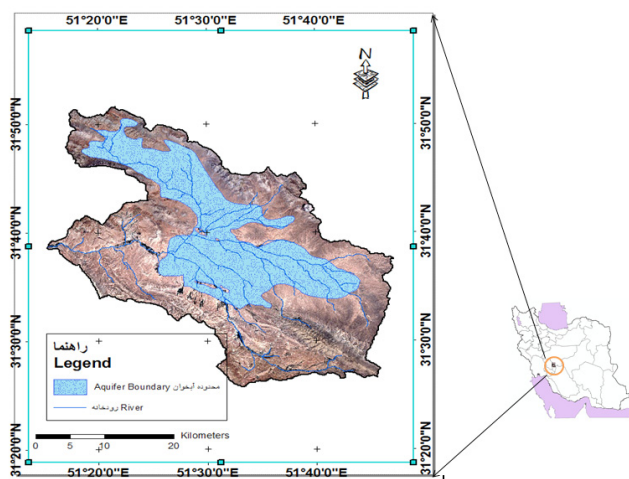
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تغییرات آب و هوایی، دانشگاه پیام نور، اصفهان  
۲- نویسنده مسئول و دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. پست الکترونیک: halabian\_a@yahoo.com

سری‌های زمانی حاصل از داده‌های دبی ماهانه حوزه آبخیز مهرگرد به بررسی، مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر آبی پرداخته شد. برای دستیابی به هدف فوق، ضمن برآزش الگوهای مختلف بر سری زمانی حاصل از داده‌های دبی ماهانه حوزه مذکور، مناسب‌ترین و بهترین الگو انتخاب و پیش‌بینی بر اساس آن انجام می‌گیرد که در ادامه بدان اشاره می‌شود.

## مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی مهرگرد در استان اصفهان و در شهرستان سمیرم واقع شده است. مساحت منطقه ۱۲۷۵/۵۹ کیلومتر مربع می‌باشد. ۶۵۳/۷۵ کیلومتر مربع از این مساحت را دشت و ۶۲۱/۸۴ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد و به لحاظ جغرافیایی بین طول‌های ۵۱ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی واقع است (شکل ۱). مهمترین رودخانه جاری در این منطقه رودخانه سولگان (آب و نک) نام دارد. این رودخانه دارای دو سرشاخه به نام‌های رودخانه قره‌آقچ و رودخانه گرم‌آب می‌باشد. روند تخلیه منابع آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی مهرگرد سمیرم به شدت متناسب با میزان بارش است. در عین حال، هیدروگراف واحد آبخوان تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی بطور کلی از سیر نزولی برخوردار است. در جهت توسعه منطقه خصوصاً در بخش کشاورزی و بطور عمده باغداری در سالیان اخیر سد مخزنی قره‌آقچ با حجم نرمال ۲۱ میلیون متر مکعب بر روی رودخانه قره‌آقچ در این منطقه طراحی و احداث شده است. هم‌چنین مطالعات سد گردنه خاکی نیز به‌عنوان سد ذخیره‌ای برای تأمین آب بر روی رودخانه هرمزآباد آباد تکمیل شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی مهرگرد سمیرم  
Fig1. Geographic location of study area of mehregard semirom.

آن‌ها نشان داد که می‌توان از این مدل‌ها به‌منظور پیش‌بینی مقادیر دبی استفاده کرد هم‌چنین مدل آریما را به‌عنوان بهترین مدل معرفی کردند. کوری [۴] در ایالات متحده آمریکا بارش‌های ایالت‌های آیووا، ایلینویز و آرکانزاس را توسط روش‌های تجزیه و تحلیل طیفی بررسی نموده و جهت پیش‌بینی بارش از مدل باکس-جنکینز استفاده نموده است. با استفاده از مدل‌های آریما و شاخص استاندارد خشک‌سالی، خشک‌سالی در حوزه آبخیز رودخانه کانزاتی در هند مطالعه و مشخص شده که مدل‌های سری زمانی برآزش مناسبی بر مشاهدات نشان می‌دهند، میسرا و دسای [۱۱]. کومورنیک و همکاران [۹] مدل‌های هیدرولوژیکی سری زمانی را در جمهوری چک بکار بردند. نتایج تحقیق ایشان کارایی بالای این مدل‌ها در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی را نشان داد. دیمل و یالکین [۵] با استفاده از سری‌های زمانی وضعیت سیلاب رودخانه می‌سی‌سی‌پی را پیش‌بینی نمودند. نتایج ایشان نیز تاییدی بر توانایی این مدل‌ها در ساخت داده‌های دبی روزانه و صحت پیش‌بینی‌ها بوده است. جمر [۶] در پژوهشی به بررسی تغییرات ماهانه بارش، سیل، خشک‌سالی و رواناب در حوضه رودخانه یانگ تسه چین پرداخت. وی آمار روزانه ۱۳۷ ایستگاه را طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۴ بررسی کرد و نتیجه گرفت که در این دوره در بخش‌های بالایی حوضه میزان رواناب رو به افزایش بوده و در بخش‌های میانی حوضه تعداد پدیده‌های خشک‌سالی روند افزایشی داشته است. از دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به کلمز [۸]، اسپولیا و چاندر [۱۵] اشاره نمود. در ایران علیجانی [۲] بارش سالانه را در دوره ۱۹۹۶-۱۸۹۴ برای ایستگاه‌های تهران و بوشهر با استفاده از زنجیره‌های مارکف، اتورگرسیو، تحلیل طیفی و آزمون من-کندال بررسی و نشان داده است که هیچ‌گونه روندی در سری‌های زمانی بارش این دو ایستگاه مشاهده نشده و خشک‌سالی صرفاً یک رویداد تصادفی بوده است. سری‌های زمانی رواناب در حوضه کرخه با استفاده از الگوهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و نشان داده شده است که الگوهای آریما برآزش بهتری داشته‌اند؛ قنبرپور و همکاران [۷]. عبداله‌نژاد [۱] نیز مدل‌های مختلف آریما را بر مقادیر مجموع بارش ماهانه ایستگاه هاشم‌آباد گرگان برآزش و نشان داد که مدل آریمای فصلی بهترین برآورد را داشته است.

اگر چه تغییر در منابع آب در سالیان اخیر حاصل عوامل طبیعی و انسانی در کنار هم بوده است، عموماً در مطالعات صورت گرفته نقش دخالت انسان به‌صورت افزایش مصارف نادیده گرفته شده است. در این تحقیق سعی شده تا پس از بررسی تغییرات زمانی منابع آب، نقش افزایش مصارف نیز بررسی شود. منطقه مطالعاتی مهرگرد سمیرم که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است همچون بیشتر مناطق کشور در سال‌های اخیر با کاهش نزولات جوی و مقادیر آبدی رودخانه‌ها مواجه بوده است. لذا تحقیق حاضر تلاش دارد با توجه به سابقه استفاده از سری‌های زمانی در بررسی وضعیت هیدرولوژیکی حاکم بر حوزه‌های آبخیز، بوسیله تجزیه و تحلیل

Fig2. Geographic location of Hydrometric Stations.

سری زمانی و الگوهای سری زمانی یک سری زمانی مجموعه مشاهداتی است که بر حسب زمان (یا هر کمیت دیگری) مرتب شده باشد و معمولاً آنرا به صورت زیر نشان می‌دهند. نیرومند و بزرگنیا [۱۲]:

$$X_{t1}, X_{t2}, \dots, X_{tm}$$

یک روش معمول برای تحلیل سری‌های زمانی تجزیه آن‌ها به روند، تغییرات فصلی و سایر نوسانات منظم است. پس از شناسایی تغییرات فصلی و روند و حذف آن‌ها سری مانده‌ها حاصل می‌شود که ممکن است تصادفی باشد و بتوان با برازش الگوهای احتمالی نظیر الگوهای میانگین متحرک<sup>۱</sup> یا اتورگرسیون آن‌ها را تحلیل نمود.

فرآیندهای تصادفی و الگوهای سری زمانی

اغلب در بررسی سری‌های زمانی تلاش می‌شود تا با بررسی گذشته سری، الگوی احتمالی مولد سری را شناسایی کرده و بر مبنای این الگو در مورد آینده سری اظهار نظر نمود. این الگوها سری‌های زمانی مانا و نامانا را شامل می‌گردند و شامل موارد زیر می‌باشند. نیرومند و بزرگنیا [۱۲]:

۱- فرآیندهای اتورگرسیون مرتبه  $p$  یا  $AR(p)$

اگر  $\varepsilon_t$  یک فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس  $\sigma_\varepsilon^2$  باشد فرآیند  $X_t$  را فرآیند اتورگرسیون مرتبه  $p$  گویند هرگاه رابطه ۱ برقرار باشد.

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 X_{t-2} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

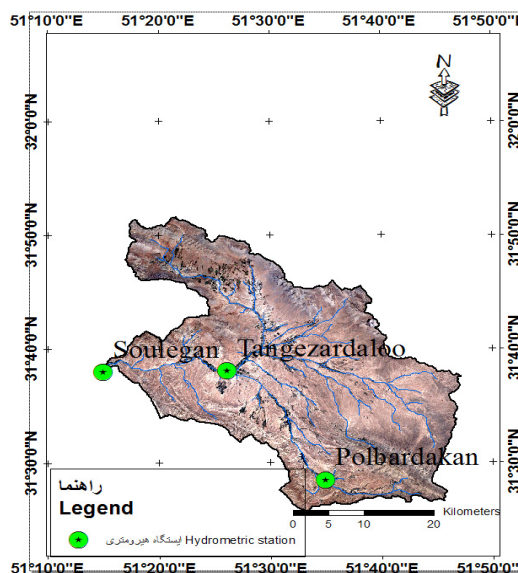
اگر به مسئله رگرسیون فکر کنیم می‌بینیم که الگوی بالا در واقع یک الگوی رگرسیون چندگانه است با این تفاوت که در اینجا  $X_t$  روی متغیرهای مستقل رگرسیون نشده بلکه روی مقادیر گذشته  $X_t$  رگرسیون شده و به این دلیل به این فرآیند اتورگرسیون گویند. از خصوصیات این فرآیند میرا بودن نمودار تابع خودهمبستگی آن بصورت موج نمایی یا سینوسی و نیز صفر شدن مقدار تابع خود همبستگی جزئی این فرآیند پس از تأخیر  $p$  می‌باشد که معمولاً از این خاصیت برای شناسایی این فرآیند استفاده می‌گردد.

۲- فرآیندهای میانگین متحرک مرتبه  $q$  یا  $MA(q)$

اگر  $\varepsilon_t$  یک فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس  $\sigma_\varepsilon^2$  باشد فرآیند  $X_t$  را فرآیند میانگین متحرک مرتبه  $q$  گویند هرگاه

روش انجام پژوهش

برای انجام تحقیق حاضر ابتدا جریان‌های سطحی منطقه مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری متعلق به وزارت نیرو جمع آوری و تحلیل شده است. بر روی رودخانه سولگان تا نقطه خروج از محدوده مطالعاتی مهرگرد دو ایستگاه هیدرومتری وجود دارد. ایستگاه هیدرومتری پل‌بردکان بر روی سرشاخه رودخانه قره‌آقاچ و ایستگاه هیدرومتری تنگ‌زردآلو که پس از تلاقی دورودخانه قره‌آقاچ و گرم‌آب بر روی رودخانه کاسگان واقع شده است. همچنین ایستگاه هیدرومتری سولگان با فاصله نزدیک، خارج از محدوده مهرگرد قرار داشته که از آمار این ایستگاه نیز استفاده شده است. شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده را نشان می‌دهد و مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری در جدول ۱ ارائه شده است. داده‌های هیدرومتری در مقیاس روزانه مورد بررسی قرار گرفتند. موارد مشکوک شناسایی و با مراجعه مجدد به آمار ایستگاه‌ها مقادیر پرت بررسی و در صورت نیاز اصلاح گردیدند. در مراحل بعدی پژوهش میانگین ماهانه و سالانه آمار ایستگاه‌های هیدرومتری در طول دوره آماری ۲۸ سال آبی ۱۳۶۷-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۵ مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های آب‌سنجی.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های آب‌سنجی

Table 1. Specifications of hydrometric stations.

عرض جغرافیایی Longitude	طول جغرافیایی Latitude	مساحت حوضه Area (km <sup>2</sup> )	ایستگاه Station	رودخانه River
30-28	51-37	77	پل‌بردکان Polbardakan	قره‌آقاچ GhraaGhach
31-38	51-27	1077	تنگ‌زردآلو Tangezardaloo	کاسگان Kasegan
31-38	51-15	1992	سولگان Soulegan	سولگان Soulegan

1- Moving Average

رابطه ۲ برقرار باشد.

$$X_t = \varepsilon_t - \beta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \beta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2)$$

نمودار تابع خودهمبستگی این فرآیند پس از تاخیر  $q$  صفر می‌گردد در حالی که تابع خودهمبستگی جزئی آن بصورت موج نمایی یا سینوسی میرا خواهد بود.

۳- فرآیندهای اتورگرسیو میانگین متحرک<sup>۱</sup> یا  $ARMA(p,q)$  فرآیند مرکب اتورگرسیو و میانگین متحرک زیر را که  $p$  جمله اتورگرسیو و  $q$  جمله میانگین متحرک دارد را می‌توان به صورت میانگین متحرک یا اتورگرسیو نوشت.

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 X_{t-2} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + \varepsilon_t - \beta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \beta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3)$$

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 X_{t-2} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + Z_t - \beta_1 Z_{t-1} - \dots - \beta_q Z_{t-q}$$

۴- الگوهای اتورگرسیو، میانگین متحرک تلفیق شده<sup>۲</sup> یا  $ARIMA(p,d,q)$

الگوی نامانای همگن آرما را یک الگوی اتورگرسیو تلفیق شده با میانگین متحرک از مرتبه  $(p, d, q)$  می‌نامند:

$$\varphi(B)(1-B)^d X_t = \theta_0 + \theta_q(B) \varepsilon_t \quad (4)$$

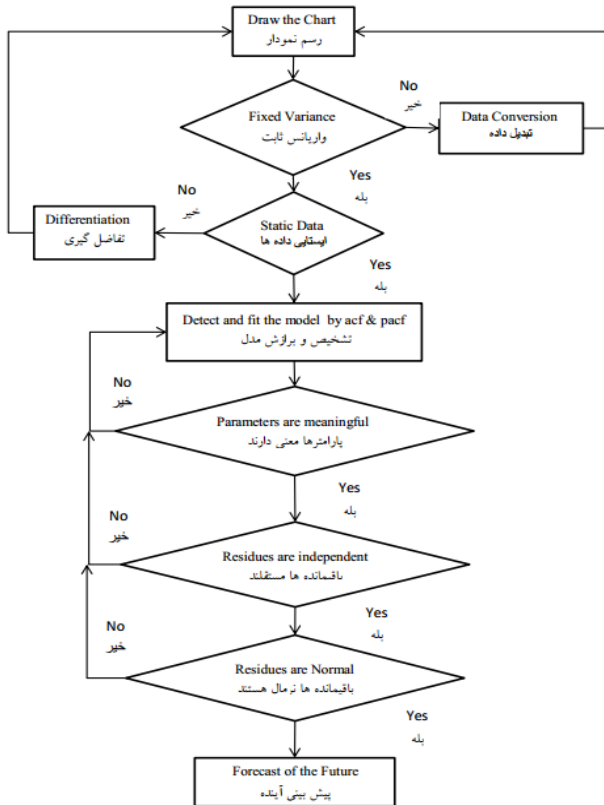
که در آن  $\varphi(B) = 1 - \varphi_1 B - \dots - \varphi_p B^p$  و  $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$  (مانا) و عملگر  $MA$  ریشه مشترک ندارند.

الگوسازی سری‌های زمانی به روش باکس-جنکینز

مدل‌های آرما برای توصیف رفتار بسیاری از سری‌های زمانی مفید می‌باشند. این مدل‌ها توانایی الگوسازی هر دو گروه فرآیندهای مانا و نامانا را دارند. برای ساختن یک مدل آرما از روش سه مرحله‌ای تکراری استفاده می‌شود. به این ترتیب که ابتدا یک مدل آزمایشی از مدل‌های آرما از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های تاریخی مشخص شده و سپس پارامترهای نامعلوم مدل تخمین زده می‌شود. و در نهایت شایستگی مدل با آزمون و خطا مشخص می‌گردد. چنانچه مدل مورد تایید قرار گرفت می‌توان آن را مبنای پیش‌بینی رفتار آینده سری قرار داد. در این پژوهش ضمن برازش الگوهای مختلف یاد شده، در نهایت از الگوی فصلی و ضربی آرما به جهت کارایی مناسب و بالا استفاده شد. از جمله دلایل برتری مدل آرمای انتخاب شده نسبت به سایر مدل‌های برازش داده شده می‌توان به وجود ویژگی‌های فصلی در پارامترهای جریان رودخانه اشاره نمود. شکل ۳ مراحل ساخت مدل آرما به روش باکس-جنکینز را نشان می‌دهد.

### نتایج

آزمون روند من-کندال برای هر سه ایستگاه هیدرومتری پل بردکان، تنگ زردآلو و سولگان انجام و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد در تمامی ماه‌ها و فصول سال روند کاهش آورد در همه ایستگاه‌ها بصورت معنی‌دار وجود داشته



شکل ۳- مراحل ساخت مدل به روش باکس-جنکینز

Fig 3. Steps to build the model by Box-Jenkins

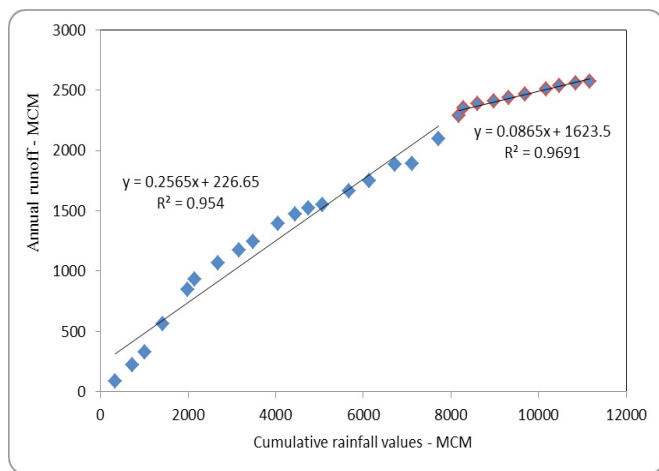
است. با توجه به این که کاهش رواناب را نمی‌توان به تنهایی معلول کم شدن میزان بارش و خشک‌سالی دانست. برای بررسی توسعه مصارف از روش ارائه شده در شیوه نامه نحوه ارزیابی وضعیت جریان سطحی ورودی به محدوده‌های مطالعاتی و خروجی از آن‌ها که توسط دفتر تلفیق مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب ایران تدوین گردیده استفاده شده است. این روش مبتنی بر این واقعیت است که در یک حوزه آبخیز در صورتی که توسعه مصارف نداشته باشیم متوسط درازمدت ضریب جریان در ایستگاه هیدرومتری تقریباً ثابت می‌باشد. برای این کار ایستگاه آب‌سنجی تنگ زردآلو با توجه به موقعیت آن انتخاب شده است. برای مشخص نمودن سال شروع توسعه مصارف منحنی جرم مضاعف<sup>۳</sup> آبدهی این ایستگاه در مقابل بارش ایستگاه مهرگرد ترسیم شده است (شکل ۴).

این شکل توسعه مصارف را از سال ۱۳۸۵ (نقطه شکست نمودار) به وضوح نشان می‌دهد. متوسط بارش ۱۰ سال اخیر ایستگاه مهرگرد برابر ۳۲۰/۶ میلی‌متر بوده است. مساحت حوزه آبخیز در محل ایستگاه تنگ زردآلو برابر ۱۰۷۰ کیلومتر مربع می‌باشد. بنابراین حجم بارش متوسط ۱۰ سال گذشته برابر ۳۴۵/۲ میلیون مترمکعب محاسبه می‌گردد. میزان آورد متوسط در محل ایستگاه هیدرومتری پل بردکان در این دوره برابر ۴۷/۹ میلیون مترمکعب بوده است. بنابراین ضریب رواناب در دوره ۱۰ ساله گذشته برای این ایستگاه برابر ۰/۱۴ محاسبه

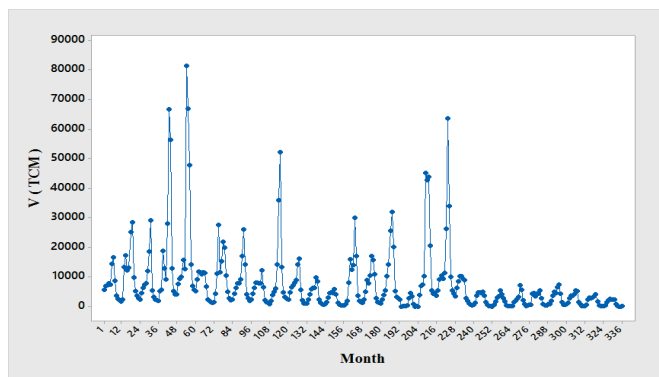
3- Double mass curve

1- Autoregressive Moving Average.

2- Autoregressive Integrated Moving Average



شکل ۴- منحنی جرم مضاعف ایستگاه تنگ زردآلو  
Fig4. Double mass curve of Tangzardaloo station.



شکل ۵- سری زمانی آورد ماهانه ایستگاه تنگ زردآلو  
Fig5. Monthly Time series of Tangzardaloo station.

تنگ زردآلو با استفاده از ترسیم نمودار باکس-کاکس<sup>۱</sup> انجام و با اعمال مقدار  $\lambda=0.12$  سری زمانی در واریانس پایدار شده است. برای ایستادن، سری مورد نظر را یک بار تفاضلی نموده و با توجه به وجود تغییرات فصلی، سری حاصل از مرتبه ۱۲ تفاضلی و نمودارهای همبستگی و همبستگی جزئی سری تفاضلی شده همزمان فصلی و غیر فصلی در شکل های ۶ و ۷ ارائه شده است. تابع خود همبستگی پس از تأخیر ۱۲ قطع شده است. هم چنین تابع خود همبستگی جزئی به شکل میرا دیده می شود که بیانگر مناسب بودن استفاده از یک مدل میانگین متحرک می باشد. بنابراین مدل آریمای (۱، ۱، ۰) \* (۰، ۱، ۰) برای بررسی بیشتر برآزش داده شد.

## جدول ۲- آماره آزمون روند من-کندال در ایستگاه های

### هیدرومتری

Table 2. Man-Kendall test statistics at hydrometric stations.

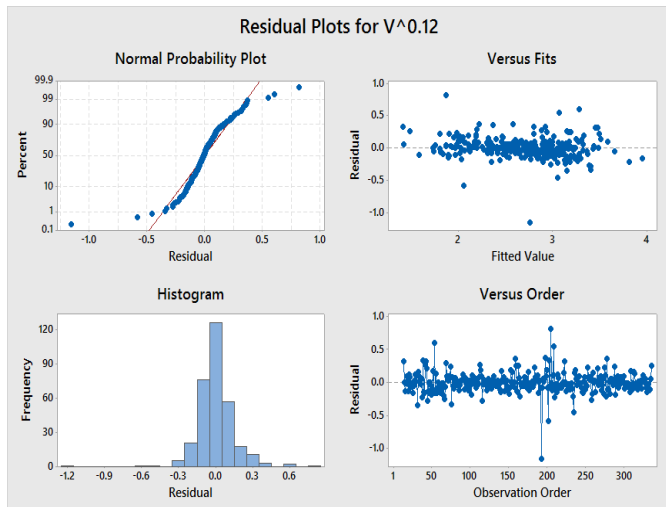
مقیاس زمانی	Time scale	پل بردکان	تنگ زردآلو	سولگان
مقیاس زمانی	Time scale	Polbardakan	Tangezardaloo	Soulegan
مهر	October	-2.88	-3.61	-3.22
آبان	November	-2.63	-3.65	-3.73
آذر	December	-3	-3.65	-4.73
دی	January	-3.85	-3.42	-4.2
بهمن	February	-2.44	-3.26	-3.39
اسفند	March	-1.68	-3.54	-3.06
فروردین	April	-1.72	-3.1	-2.58
اردیبهشت	May	-2.41	-2.66	-2.78
خرداد	June	-3.2	-3.54	-2.94
تیر	July	-2.63	-3.57	-3.22
مرداد	November	-2.71	-3.73	-3.45
شهریور	September	-2.9	-3.37	-3.45
پاییز	Autumn	-3.84	-4.2	-4.28
زمستان	Winter	-2.11	-3.57	-3.57
بهار	Spring	-2.31	-2.98	-2.74
تابستان	Summer	-2.7	-3.53	-3.3
سالانه	Yearly	-2.47	-3.49	-3.54

می گردد. این در حالی است که با این روش ضریب رواناب برای دوره ۱۸ ساله قبل از سال ۱۳۸۵ برابر ۰/۲۷ بدست می آید. میزان کاهش ضریب رواناب ۰/۱۳ می باشد که بیانگر توسعه مصارف در این حوضه است. با اعمال این ضریب در مساحت حوضه و متوسط بارش ۱۰ سال اخیر، میزان متوسط توسعه مصارف در این حوضه برابر ۴۶ میلیون متر مکعب در سال برآورد می گردد.

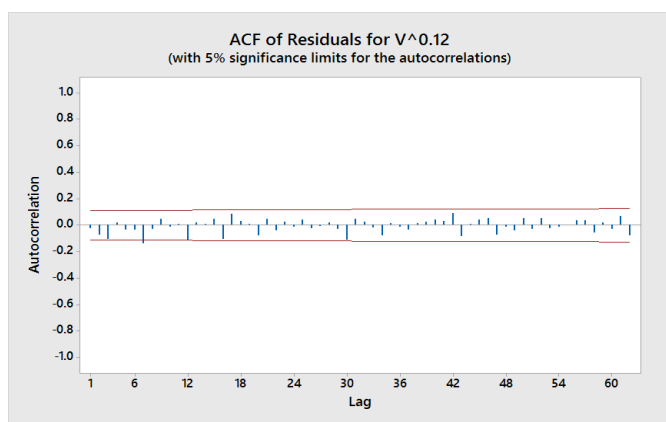
پیش بینی رواناب آتی با استفاده از الگوهای سری زمانی به روش باکس-جنکینز

آمار آورد ماهانه رودخانه سولگان در محل تنگ زردآلو به عنوان ایستگاه شاخص منطقه مورد استفاده قرار گرفت به این ترتیب سری زمانی آورد ماهانه شامل ۳۳۶ داده برای تحلیل در دسترس بود. شکل ۵ سری زمانی آورد ماهانه ایستگاه تنگ زردآلو را نشان می دهد. بررسی پایداری واریانس برای سری زمانی آورد ایستگاه هیدرومتری





شکل ۸- وضعیت باقیمانده‌های مدل برازش داده شده  
Fig8. Residual Plot of model.



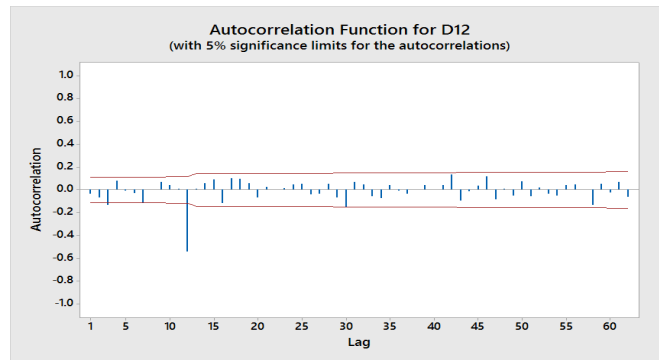
شکل ۹- تابع خود همبستگی مانده‌های مدل برازش یافته  
Fig9. Autocorrelation Function for Residual.

بررسی مناسبیت مدل اگر مدل استفاده شده بدرستی انتخاب شده باشد بایستی مانده‌ها مستقل و دارای توزیع نرمال باشند. بررسی وضعیت باقیمانده‌ها با ترسیم نمودارهای چهارگانه باقی‌مانده‌ها بررسی شده است (شکل ۸).

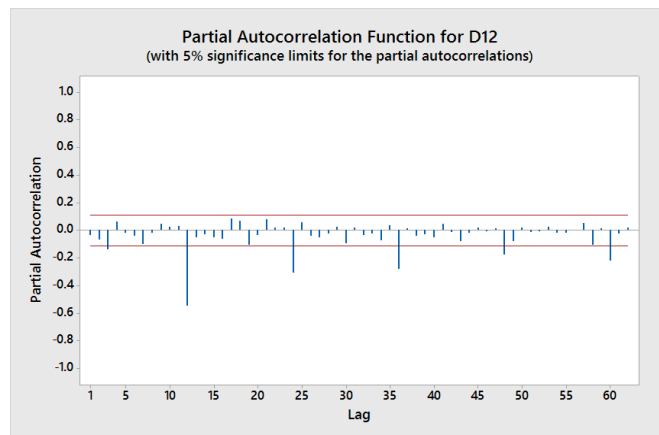
همان‌طور که نمودار احتمال نرمال و هیستوگرام مانده‌ها نشان می‌دهند می‌توان فرض نرمال بودن توزیع مانده‌ها را پذیرفت. هم‌چنین مشخص است که واریانس مانده‌ها نیز ثابت بوده و توزیع آن‌ها در زمان‌های مختلف نیز فاقد هرگونه طرح خاصی می‌باشد. نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی مانده‌ها نیز در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است. با توجه به این دو شکل فرض مستقل بودن مانده‌ها نیز قابل پذیرش خواهد بود.

برای اطمینان بیشتر الگوهای آریمای (۱، ۱) \* (۰، ۱) و (۱، ۱) \* (۱، ۱) نیز برازش داده شد. نتیجه حاصل معنی‌دار نبودن پارامترهای اضافی به کار رفته بود.

پیش‌بینی رواناب آبی با استفاده از الگوی برازش داده شده و به کمک نرم‌افزار مینی‌تب پیش‌بینی مقادیر سری زمانی آورد ماهانه



شکل ۶- تابع خود همبستگی سری زمانی ایستگاه تنگ‌زردآلو  
Fig6. Autocorrelation Function for Tangzardaloo Station.



شکل ۷- تابع خود همبستگی جزئی سری زمانی ایستگاه تنگ‌زردآلو

Fig7. Partial Autocorrelation Function for Tangzardaloo Station.

در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب پارامترهای الگوی انتخابی برآورد گردید (جدول ۳). با توجه به مقادیر آماره  $t$  و  $P$ -value بایستی مدل را بدون در نظر گرفتن جمله ثابت بار دیگر برازش داد (جدول ۴).

جدول ۳- برآورد نهایی متغیرهای مدل

Table 3. Final Estimates of Parameters.

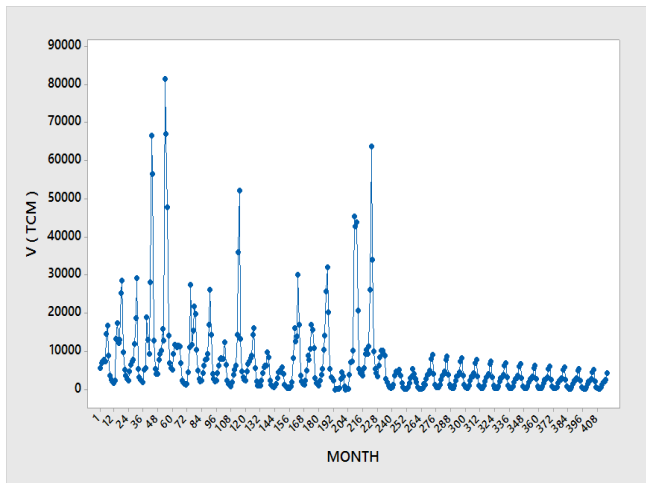
متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره $t$	مقدار $p$
Parameter	Coefficient	SD	T	Pvalue
SMA12	0.9552	0.0266	35.94	0.000
Constant	-0.0001	0.0008	-0.16	0.871

جدول ۴- برآورد نهایی متغیرهای مدل

Table 4. Final Estimates of Parameters.

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره $t$	مقدار $p$
Parameter	Coefficient	SD	T	Pvalue
SMA12	0.9593	0.0239	40.09	0.000

1- Minitab

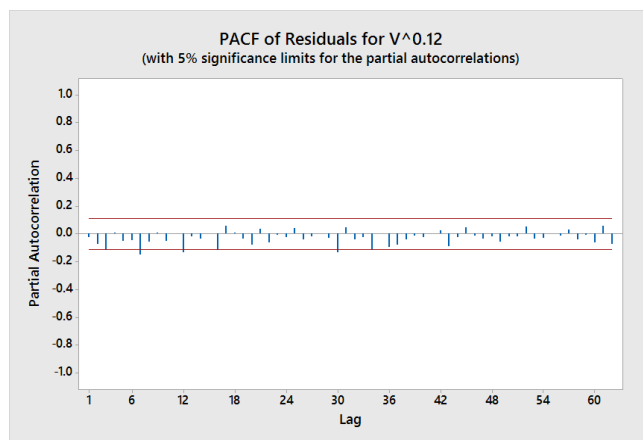


شکل ۱۲- آورد ماهانه ایستگاه تنگ‌زردآلو به همراه پیش‌بینی آتی  
Fig12. Monthly Time series With Forecasts of Tangzardaloo station.

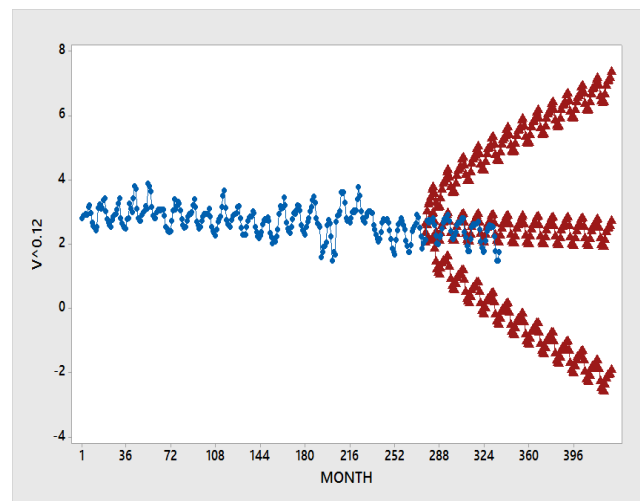
توجه به این نکته که کاهش رواناب را نمی‌توان به تنهایی معلول کم شدن میزان بارش و خشک‌سالی دانست، نقش افزایش مصارف آب در روند کاهش منابع آب منطقه بررسی و مشاهده شد که مصارف آب در منطقه از سال ۱۳۸۵ به وضوح افزایش قابل توجهی داشته است. میزان توسعه مصارف در این حوضه به طور متوسط حدود ۴۶ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. پس از مشخص شدن روند کاهش منابع آب در منطقه، پیش‌بینی وضعیت آبی منابع آب سطحی با استفاده از برازش مدل‌های سری زمانی بر مقادیر آبدهی ایستگاه‌های تنگ‌زردآلو با توجه به موقعیت این ایستگاه بررسی شده است. برای این کار از الگوهای سری زمانی به روش باکس-جنکینز استفاده و پس از برازش مدل‌های مختلف، مدل فصلی و ضربی آریمای (۱، ۱، ۰) \* (۰، ۱، ۰) به عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب گردیده است. از جمله دلایل برتری مدل آریمای انتخاب شده نسبت به سایر مدل‌های برازش داده شده می‌توان به وجود ویژگی‌های فصلی در پارامترهای جریان رودخانه اشاره نمود. با استفاده از این مدل مقادیر آورد ماهانه تا سال ۱۴۰۲ پیش‌بینی شده است. مقادیر رواناب پیش‌بینی شده، نشان از کاهش میزان منابع آب سطحی در صورت ادامه روند فعلی برداشت‌ها در سال‌های پیش رو داشته است.

نتایج این تحقیق به لحاظ مناسبت و کارایی بالای استفاده از مدل‌های سری زمانی در بررسی و پیش‌بینی تغییرات هیدرولوژیکی با مطالعات انجام شده توسط نواکس و مک‌لود [۱۳]، پادایلا و همکاران [۱۴]، کوری [۴]، میشر و دسای [۱۱]، کومورنیک و همکاران [۹]، دیمل و یالکین [۵] و قنبرپور و همکاران [۷] مطابقت دارد. نکته حائز اهمیت دیگر این است که در بین طرح‌های آبی که در چند دهه اخیر در کشور اجرا شده اند، پروژه‌هایی وجود دارند که اهداف تأمین آب آن‌ها به طور کامل محقق نگردیده است و عامل اصلی آن تعمیم اطلاعات آماری گذشته ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی به آینده نامعلوم بدون در نظر گرفتن روند تغییرات احتمالی

ایستگاه تنگ‌زردآلو انجام و میزان آورد ماهانه برای ۱۵۰ ماه آبی پیش‌بینی گردید. شکل ۱۱ مقادیر پیش‌بینی برآورد شده به همراه حدود اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که مقادیر پیش‌بینی شده بین حدود اطمینان ۹۵ درصد قرار دارند لذا از این منظر نیز مناسب بودن الگوی انتخاب شده تایید می‌گردد.



شکل ۱۰- تابع خود همبستگی جزئی مانده‌های مدل برازش یافته  
Fig10. Partial Autocorrelation Function for Residual.



شکل ۱۱- مقادیر پیش‌بینی به همراه حدود اطمینان ۹۵ درصد  
Fig11. forecasts and their 95% confidence limits.

پس از اعمال عکس تبدیل باکس-کاکس اعمال شده، مقادیر آورد آورد ماهانه ایستگاه تنگ‌زردآلو به همراه مقادیر پیش‌بینی آینده بدست آمده است. شکل ۱۲ آورد ماهانه ایستگاه تنگ‌زردآلو به همراه پیش‌بینی آبی را نشان می‌دهد.

## بحث و نتیجه‌گیری

بررسی روند منابع آب سطحی در ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مهرگرد سمیرم نشان داد که روند کاهش آورد رودخانه‌ها در تمامی ایستگاه‌ها در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه وجود داشته است. با

7. Ghanbarpour, M. Amiri, M. and Gholami, Sh. 2009. Evaluation of monthly flow forecasting models based on time series analysis. Journal of Natural Resources Department of natural resources of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 61 (1):56-43. ( in persian )

8. Kelmes, V. 1973. Watershed as semi infinite storage reservoirs. J. Irrig. Drain. Div. ASCE 99: 477-491.

9. Komornik, J. Komornikova, M. Mesiar, R. Szokeova, D. and J. Szolgay. 2006. Comparison of forecasting performance of nonlinear models of hydrological time series. Physics and Chemistry of the Earth. 31: 1127-1145.

10. Mc Kerchar, A.I. and Delleur L.W. 1974 . Application of seasonal parametric linear stochastic models to monthly flow data. J. Water resource reservoir, 10: 246-255.

11. Mishra, A. and Desai, V. 2005. Drought forecasting using stochastic models. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 19(5): 326-339.

Niroumand, h. And Bozorgniya, A. 1372. Introduction to Time Series Analysis (First Edition) by C Chetfield. Mashhad, Ferdowsi University of Mashhad. ( in persian)

12. Noakes, D. J. McLeod, A. I. and Hipel, K. W. 1985 . Forecasting monthly riverflow time series. International Journal of Forecasting, 1(2): 179-190.

13. Padilla, A. Pulido, Bosch, A. Calvache, M. L. and Vallejos, A. 1996. The ARMA models applied to the flow of karstic springs. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 32(5): 917-928.

14. Spolia, S.K. and S. Chander. 1970. Modeling of surface runoff systems by an ARIMA model. J. Hydrology. 22: 317-332.

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

آن‌ها و عوامل بوجود آورنده این تغییرات بوده است. این موضوع بیانگر تأثیر وجود روندهای احتمالی در فراسنج‌های اقلیمی در کنار تغییرات مصارف آب بخش‌های مختلف می‌باشد. تحولات اقلیمی در منطقه مهرگرد سمیرم که خود را به شکل بروز روند معنی‌دار کاهش منابع آب سطحی نشان داده به همراه افزایش برداشت از منابع آب در سالیان اخیر باعث شده تا میزان آورد طراحی شده برای سد قره‌آچاق در عمل محقق نگردد. این موضوع را بایستی در طراحی سایر طرح‌های توسعه منابع آب در منطقه نظیر سد گردنه خاکی در راستای پرهیز از اتلاف هزینه‌های مطالعه و اجرای این گونه طرح‌ها مد نظر قرار داد. به صورت کلی نتایج این پژوهش نشان داد که روند کلی کاهش منابع آب در منطقه همراه با افزایش مصارف آب وجود دارد و چنانچه قدم‌های اساسی برای الگوی بهینه مصرف در بخش‌های مختلف برداشته نشود تأمین نیاز آبی منطقه در سال‌های آتی به راحتی امکان پذیر نخواهد بود.

### منابع

1. Abdolla Nejad, K. 2014. Time series models for prediction of monthly rainfall. (Case study of Hashemabad Station in Gorgan). Geographical planning of Space Quarterly Journal of Golestan University. 5(17). ( in persian )

2. Alijani, B. 2009. Study of rainfall changes in Iran. The tenth geographical congress of geography and development in the third decade of the Islamic Revolution. Imam Hussein University. 143-152. ( in persian )

3. Azizi, Gh. 2006 . Study of droughts and their probability prediction by using time series in Hormozgan province. Quarterly Geographic research. 79: 48-63. ( in persian )

4. Currie, R. G. 1989 . Comments on 'power spectra and coherence of drought in the interior plains by EO Oladipo'. International Journal of Climatology. 9(1): 91-100.

5. Damle, C. and Yalcin, A. 2007. Flood prediction using time series data mining. Journal of Hydrology. 333(2-4): 305-316.

6. Gemmer, M. Jiang, T. Su, B. and Kundzewicz, Z. W. 2008. Seasonal precipitation changes in the wet season and their influence on flood/drought hazards in the Yangtze River Basin, China. Quaternary International. 186(1): 12-21.



*Abstract*

## Prediction of the Surface Runoff in Semirom Mehregerd Watershed Using ARIMA Model

H. Mojiri<sup>1</sup> and A.H. Halabian<sup>2</sup>

Received:04-06-2018

Accepted:29-12-2018

By understanding the temporal and spatial variations of water resources in a region, the better management and planning of water resources and water consumptions can be carried out. Time series modeling, if used correctly, will lead to acceptable results in this regard. For this purpose, the monthly runoff time series for 28 years was prepared at the hydrometric stations of Mehregerd region and the presence of trend was studied using the Mann-Kendall method. Then, different patterns of ARIMA were fitted to the data using the univariate Box-Jenkins method, and the most suitable pattern for predicting the future years was chosen. The results indicated that runoff had a decreasing trend in all months and seasons. The role of increased water consumption in the process of decreased water resources of the area was investigated and it was observed that the water consumption in the region has significantly increased since 2006. The consumption level in this basin is estimated about 46 Mm<sup>3</sup>/year. The forecast of runoff by 2023 using ARIMA (0, 1, 0) \* (0, 1, 1) was performed as the most suitable model and it was found that the surface water resources in the upcoming years would experience a significant decrease if the current trend of exploitation is continued.

**Keywords:** *Time series, Man-Kendall, Mehregerd, ARIMA, Water Resources.*

1. Student of Climate Changes, Isfahan Payame Noor University.

2. Corresponding Author and Associate Professor, Geography Department, Payame Noor University, E-mail: halabian\_a@yahoo.com