



دانشگاه گورگان
فصلنامه علمی و پژوهشی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره پنجم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی وقوع تغییرات اقلیمی در حوضه‌های آبریز با استفاده از تحلیل ایستایی و روند (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز ارمند)

*فرشاد احمدی^۱، رضا زمانی احمد محمودی^۱، فریدون رادمنش^۲ و علیرضا امیر رضائی^۳

^۱دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، آدانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز،

^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه عمران آب، شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن باعث برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی موجب شده است. افزایش میانگین دمای کره زمین و تغییرات آن نمایه‌ای از تغییرات اقلیمی است که در تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم به آن توجه شده است اما ارتباط آن با سایر متغیرهای اقلیمی موضوعی است که در این پژوهش مد نظر قرار گرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی روند متغیرهای کمینه، متوسط و بیشینه درجه حرارت، بارش و جریان رودخانه حوضه آبریز ارمند و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه سعی گردید تا با استفاده از آزمون‌های من-کنندال اصلاح شده، KPSS، ADF و DFGLS ارتباط بین تغییرات زمانی پارامترهای هیدرولوژیکی و تغییرات اقلیمی بررسی شود. بدین منظور از داده‌های بارش و دمای (بیشینه، کمینه و متوسط) ایستگاه سینوپتیک شهرکرد و آبسنجی حوضه آبریز ارمند در دوره آماری ۱۳۶۰-۱۳۹۰ استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصله نشان داد که دمای کمینه در ماه‌های اردیبهشت، مرداد، خرداد و فصل بهار روند کاهشی معنی‌دار داشته است. دمای بیشینه نیز در ماه‌های مهر، اسفند و فصل پاییز روند افزایشی معنی‌دار را نشان می‌دهد. روند تغییرات متوسط دما در اسفند ماه افزایشی معنی‌دار به‌دست آمد. روند تغییرات بارش نیز در ماه اسفند و فصل زمستان کاهشی معنی‌دار می‌باشد. همچنین جریان رودخانه ارمند روند نزولی شدیدی داشته و با کاهشی معادل $51/57(m^3 s^{-1})$ در سی سال گذشته مواجه بوده است. دلیل اصلی این امر از نقطه نظر هیدرولوژیکی، روند افزایشی درجه حرارت بیشینه در فصل پاییز و کاهش بارندگی در فصل زمستان (فصل‌هایی که اکثر بارش‌ها دریافت می‌شود) می‌باشد. به‌منظور ارزیابی اثر روند بر روی جریان رودخانه ارمند که خود دلیلی بر وجود تغییرات اقلیمی در منطقه است، از آزمون‌های ایستایی ADF، DFGLS و KPSS نیز استفاده شد. سری‌های جریان رودخانه در دو حالت نرمال و استاندارد مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج حاصله نایستایی جریان رودخانه ارمند را در سطح اطمینان ۵ درصد تأیید کردند که نشان‌دهنده وجود تغییرات در میانگین و واریانس سری‌های جریان رودخانه می‌باشد.

* مسئول مکاتبه: farshad.paper@yahoo.com

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش، مشخص شد که روند در سری‌های بارش و دما بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه تأثیرگذار بوده و با کاهش آبدهی و وجود نا ایستایی همراه شده است، به عبارت دیگر حوضه آبریز ارمند پتانسیل وقوع تغییر اقلیم را داراست و بایستی در طرح‌هایی که برای انتقال آب و گسترش کشاورزی در این منطقه صورت می‌گیرد بررسی‌های بیش‌تری انجام شود.

واژه‌های کلیدی: آزمون‌های ایستایی، آزمون روند، ارمند، تغییرات اقلیمی

مقدمه

بررسی‌ها نشان می‌دهند که افزایش گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه گرمایش جهانی می‌تواند بر بخش‌های مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. متأسفانه مدیریت ناپایدار و ارزیابی نشده در کشورهای خاورمیانه منجر به رشد مضاعف سرعت تغییر اقلیم و گسترش بحران‌های زیست‌محیطی در منطقه شده است. گسترش چشم‌گیر ریزگردها، خشک شدن تالاب‌ها، شوری و کم باروری اراضی کشاورزی در سال‌های اخیر گواهی بر این مدعا است.

تمام مسایل مهندسی آب بر مبنای فرضیه ایستایی یا ایستا بودن^۱ سری زمانی^۲ مورد مطالعه قرار می‌گیرند، در حالی که بسیاری از سری‌های زمانی هیدرولوژیکی بنا به دلایل مختلف نظیر تغییرات آب و هوایی، دارای روند^۳ بوده و یا در میانگین نایستا هستند. بنابراین بررسی روند و ایستایی در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی می‌تواند در تفسیر رابطه بین فرآیندهای هیدرولوژیکی و تغییرات محیطی در مناطق مورد مطالعه کمک مؤثری داشته باشد (17). تاکنون مطالعات متعددی در زمینه بررسی روند متغیرهای هواشناسی، جریان رودخانه و رابطه آن با تغییر اقلیم صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

- 1- Stationary
- 2- Time series
- 3- Trend

ابراهیمی و همکاران (2005) تغییر اقلیم در دشت مشهد را با استفاده از سه روش رگرسیون، من-کندال و لتن-مایر مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش روش رگرسیون در تمام ایستگاه‌ها برای هر سه پارامتر درجه حرارت (حداقل، حداکثر، متوسط)، روند افزایشی را نشان داد. این روند افزایشی درجه حرارت به‌خصوص برای دمای حداقل، بارزتر بود. در روش لتن-مایر و من-کندال در سطح ۱ و ۵ درصد برای تمام ماه‌ها روند تغییرات درجه حرارت بررسی شد و نتایج نشان داد که در بیش‌تر ماه‌ها روند افزایشی است (8). همچنین بر ادامه، اختلاف درجه حرارت هر سال با میانگین درازمدت نیز محاسبه شد و نتایج حاصله روند افزایشی را در اغلب ماه‌ها نشان داد. در پژوهشی طبری و حسین‌زاده (2011) روند درجه حرارت ماکزیمم و مینیمم دمای سالانه، فصلی و ماهانه را در ۱۹ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در دوره آماری ۳۰ ساله با استفاده از آزمون من-کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که درجه حرارت بیشینه و کمینه سالانه به ترتیب ۰/۰۹ و ۰/۴۴ درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش داشته است. کوثری و همکاران (2011) از آزمون من-کندال برای بررسی تغییر اقلیم در ایران استفاده کردند. این پژوهشگران روند تغییرات بارش، دما و رطوبت نسبی را در ۲۶ ایستگاه سینوپتیک با دوره آماری ۵۵ ساله محاسبه کردند. نتایج حاصله نشان داد که در منطقه زاگرس روند

این پدیده‌ها و تغییر در دمای هوای ایالت مینسوتا نیز توسط جانسون و استفان (2006) گزارش شد. میرعباسی و دین‌پژوه (2010) در پژوهشی روند تغییرات جریان رودخانه‌های شمال غرب ایران را در سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه با استفاده از آزمون من- کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که جریان رودخانه‌های شمال غرب کشور در مقیاس سالانه در همه ایستگاه‌ها روند نزولی داشته و روند نزولی معنی‌داری نیز در مقیاس‌های فصلی و ماهانه مشاهده گردید. ژو و همکاران (2010) در پژوهشی روند تغییرات عوامل مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی نظیر بارش، رواناب و درجه حرارت را در بزرگترین حوضه رودخانه تاریم^۱ چین مورد بررسی قرار داده و نتایج این پژوهش نشان داد که ارتباط روند تغییرات این پارامترها می‌تواند در مدیریت منابع آب حوضه و ایجاد تعادل پایدار در سیستم رودخانه کمک مؤثری داشته باشد. عبقری و همکاران (2013) از روش‌های ناپارامتریک برای بررسی تغییرات روند جریان ماهانه و سالانه رودخانه‌های غرب ایران در ۴۰ سال گذشته استفاده کردند. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه روند نزولی وجود دارد.

بررسی ایستایی و آزمون‌های ایستایی سال‌هاست که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته و هنوز پژوهش‌ها در رابطه با آن ادامه دارد. آزمون‌های ایستایی زیادی تاکنون ارائه شده است که آزمون‌های ADF (7) و KPSS (20) در هیدرولوژی و منابع آب کاربردی شده‌اند. بکر و همکاران (2006) یک مؤلفه تناوبی را بر پایه تابع فوریه به تست ایستایی KPSS اضافه و با استفاده از این جزء اضافه شده مؤلفه تناوبی را مدل‌سازی کردند و یک آزمون برای بررسی ایستایی در شرایط وجود مؤلفه‌های تناوبی با

معنی‌داری در دما وجود ندارد ولی در سایر مناطق کشور روند افزایشی دما مشهود بود. مطابق نتایج این پژوهش بارش‌های کشور در ایستگاه‌های مختلف روند کاهشی را نشان می‌دهد که با روند کاهشی رطوبت نسبی هماهنگی داشت. همچنین مطابق نتایج این پژوهش، روند افزایشی در دماهای کمینه باعث افزایش متوسط درجه حرارت گردیده است.

برن و النور (2002) با استفاده از متغیرهای هیدرولوژیکی مؤثر در چرخه آبی برای ۲۴۸ حوضه از رودخانه‌های کانادا، رابطه بین این متغیرها را با جریان رودخانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که جریان حداکثر سالانه رودخانه‌ها در جنوب کانادا روند کاهشی و در شمال آن روند افزایشی دارند همچنین جریان ماهانه رودخانه‌ها در ماه‌های مارس و آوریل به دلیل ذوب برف روند افزایشی و در ماه ژوئن روند کاهشی دارند. نووتنی و استفان (2007) در پژوهشی، تغییرات زمانی جریان رودخانه‌های ایالت مینسوتای آمریکا و رابطه روند آن با عوامل اقلیمی دیگر را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که رابطه معنی‌دار بین روند جریان رودخانه و روند پارامترهای اقلیمی دیگر وجود دارد. پارامترهای اقلیمی بررسی شده شامل دمای خاک، دمای هوا، ذخایر برفی حوضه، سیلاب، بارش، تعداد روزهای بارانی و برفی است، که هر کدام توسط پژوهشگران مختلف بررسی شده‌اند. دمای خاک تا عمق ۱۰ متر روند افزایشی نشان می‌دهد. تاریخ اتمام ذخایر برفی زودتر واقع شده و تاریخ شروع انباشت برف نیز به تعویق افتاده و در نتیجه زمان نگهداشت ذخایر برفی کوتاه‌تر شده است و دمای جریان‌ات رودخانه نیز افزایش یافته است. از طرفی اولین رواناب بهاره و پیک اولین رواناب بهاره (ناشی از بارندگی) به‌طور متوسط ۰/۳ روز در سال در بازه ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۰ زودتر اتفاق افتاده است (2). همبستگی مستقیم بین

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: داده‌های هواشناسی دما (بیشینه، متوسط و کمینه) و بارش ایستگاه سینوپتیک شهرکرد و ایستگاه آبسنجی ارمند برای دوره آماری ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ مواد اصلی این پژوهش می‌باشند. حوضه آبریز بالادست ایستگاه آب‌سنجی ارمند (حوضه آبریز ارمند) یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوضه کارون شمالی است که بخشی از حوضه آبریز بزرگ کارون می‌باشد. حوضه آبریز کارون شمالی در محدوده جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۴۵ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه ۱۸ دقیقه تا ۳۲ درجه ۴۰ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این حوضه از سمت شمال و شمال‌شرق به حوضه آبریز سد زاینده‌رود، از شمال‌غرب به حوضه رودخانه دز، از جنوب به حوضه آبریز رودخانه خرسان و از جنوب و غرب به بخش‌هایی از حوضه آبریز کارون بزرگ محدود می‌گردد. رودخانه ارمند یا کارون علیا یکی از رودخانه‌های مهم استان چهارمحال و بختیاری است که از مناطق کوهستانی مرتفع شرق و دشت‌های مرکزی این استان سرچشمه گرفته و پس از عبور از منطقه ارمند، آب رودخانه سرخون را دریافت نموده و با پیوستن به رودخانه بازفت، به سد کارون ۴ می‌ریزد. حوضه آبریز ارمند بیش از ۵۰ درصد استان چهارمحال و بختیاری را شامل شده و با متوسط آبدهی سالانه حدود ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه، به‌عنوان اصلی‌ترین پتانسیل آب استان مطرح می‌باشد. مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

تحلیل روند: هدف از آزمون روند این است که وجود و یا عدم وجود تغییرات صعودی یا نزولی در سری داده‌ها بررسی گردد. به این دلیل که در روش‌های پارامتری^۱ فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن متغیرها وجود داشته و این فرضیات برای

فرکانس‌های مختلف توسعه دادند. آزمون ایستایی این پژوهشگران برای تعیین تغییرات دوره‌ای U شکل و تعیین تغییرات اتفاق افتاده در انتهای سری داده‌ها کارآمد است. روش‌های مشابهی نیز توسط کریستوپولوس و همکاران (2010) ارائه شده است. وانگ و همکاران (2005) روند و ایستایی رودخانه‌های غرب اروپا را بررسی کرده‌اند که در اکثر سری‌های ماهانه و سالانه جریان روند وجود نداشت و ایستا بودند ولی سری روزانه جریان در رودخانه دانوب ایستا نبود. خلیلی و همکاران (2012) در پژوهشی به بررسی رابطه بین روند تغییرات درجه حرارت و جریان رودخانه شهرچای ارومیه با تغییرات اقلیمی پرداختند. در ابتدا روند، که یکی از عوامل مهم نایستایی سری زمانی به‌شمار می‌رود، با استفاده از آزمون‌های من-کندال و کندال فصلی بررسی گردید. در سری‌های سالانه جریان، روند مشخصی مشاهده نشد ولی سری‌های ماهانه روند نزولی را تجربه کرده بودند. نتایج آزمون‌های ایستای نیز نشان داد که سری‌های سالانه و ماهانه جریان ایستا بوده اما سری‌های ۱۰ روزه و روزانه اساساً نایستا گزارش شدند.

افزایش میانگین دمای کره زمین و تغییرات آن نمایه‌ای از تغییرات اقلیمی است که در تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم به آن توجه شده است اما ارتباط آن با سایر متغیرهای اقلیمی موضوعی است که در این پژوهش مد نظر قرار گرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی روند متغیرهای کمینه، متوسط و بیشینه درجه حرارت، بارش و جریان رودخانه حوضه آبریز ارمند و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی می‌باشد. با توجه به این‌که نایستایی سری‌های هیدرولوژیکی خود می‌تواند به‌دلیل وجود روند (تغییرات اقلیمی) باشد از آزمون‌های ایستایی نیز برای بررسی نقش روند در نایستا کردن این سری‌ها استفاده می‌شود.

1- Parametric

درجه حرارت، بارش و جریان رودخانه ارمند در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه از ویرایش سوم آزمون من- کندال استفاده گردید. شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌هاست. مبانی تئوری این آزمون در ادامه شرح داده می‌شود.

متغیرهای هیدرولوژیکی اعتبار ندارد، از روش غیرپارامتری من- کندال که کاربرد بیش‌تری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی دارد می‌توان استفاده کرد (22). همچنین آزمون غیرپارامتری را می‌توان برای سری زمانی، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند به‌کار برد (17). در این پژوهش برای بررسی روند کمینه، متوسط و بیشینه

جدول ۱- مشخصات آماری ایستگاه‌های مورد بررسی.

Table 1. Basic characteristics of the selected stations.

مشخصات آماری (Statistical Properties)		عرض جغرافیایی (Lat.)	طول جغرافیایی (Lon.)	محل ایستگاه (Location)	نوع ایستگاه (Typ of Station)
متغیر (Parameter)	میانگین (Average)				
دمای بیشینه (Maximum Temperature)	20.00 (°C)				
دمای متوسط (Maximum Temperature)	21.81 (°C)			شهرکرد (shahrekor)	سینوپتیک (Sinoptic)
دمای کمینه (Maximum Temperature)	2.92 (°C)	32-17	50-51		
بارش (Rainfall)	325 (mm)				
دبی (Discharge)	92.50 (m ³ /s)	33-14	50-10	ارمند (Armand)	آبسنجی (Hygrometry)

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

به‌ازای $n \geq 8$ آماره S دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن به‌شرح زیر می‌باشد:

$$E(s) = 0 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - \beta}{18} \quad (4)$$

β عاملی مربوط به تصحیح پراکندگی است و در صورتی که داده‌های تکراری در سری مورد بررسی

آزمون من- کندال مرسوم (MK1): این روش که فرم کلاسیک آزمون من- کندال می‌باشد در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است. اگر تعداد سری زمانی در دوره مورد مطالعه n باشد، ابتدا آماره S به‌شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که در آن، x_j مقدار داده jام، n طول دوره آماری و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت می‌باشد که به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

که در آن‌ها، r_i ضریب خود همبستگی با تأخیر i بوده و $V(S)$ از رابطه ۴ تخمین زده می‌شود. برای محاسبه آماره Z من- کندال اصلاح شده در رابطه ۶ $V(S)$ با $V(S)^*$ جایگزین می‌گردد. مقدار آماره Z به دست آمده از رابطه فوق با Z استاندارد نرمال در سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود.

شیب خط روند با روش تخمین گر سن^۱: در آزمون من- کندال شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین گر سن از رابطه ناپارامتری زیر محاسبه می‌گردد:

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (\forall j > i) \quad (9)$$

که در آن، β برآوردگر شیب خط روند و X_i, X_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام می‌باشند. مقادیر مثبت (منفی) β نشان‌دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری است (22).

آزمون‌های ایستایی: هدف از آزمون ایستایی مشخص کردن این موضوع است که آیا مقادیر میانگین و واریانس نسبت به زمان تغییر می‌کنند یا خیر. تقریباً در تمام روش‌های آنالیز سری‌های زمانی^۲ خطی یا غیرخطی، داده‌ها ایستا فرض می‌شوند در حالی که اغلب سری‌های زمانی بنا به دلایل مختلف نظیر روند، تناوب^۳ و یا پرش^۴ نایستا هستند. بررسی نایستایی در سری می‌تواند کمک مؤثری در درک مکانیسم فیزیکی موجود داشته باشد که این امر اهمیت آزمون ایستایی را در آنالیز سری‌های زمانی هیدرولوژیکی نشان می‌دهد. در این پژوهش از سه روش مختلف که کاربرد بیش‌تری داشته‌اند، جهت آزمون ایستایی استفاده شده است (17).

وجود داشته باشد از رابطه زیر محاسبه شده و در واریانس اعمال می‌شود.

$$\beta = \sum_{i=1}^m t_i (t_i - 1) (2t_i - 5) \quad (5)$$

که در رابطه بالا t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشد. در نهایت آماره آزمون MK یا Z به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

فرض صفر (عدم وجود روند) به شرط $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1-\alpha/2}$ پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، H_0 رد و فرض مخالف آن یعنی وجود روند پذیرفته می‌شود (10).

آزمون من- کندال اصلاح شده (MK3): آزمون اصلاح شده من- کندال توسط حامد و رائو (1998) ارائه و توسط کومار و همکاران (2009) برای تحلیل روند رودخانه‌های هند به کار رفته است. در این روش اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از داده‌ها حذف می‌شود و برای سری‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ضرایب خودهمبستگی آن‌ها در یک یا چند مورد معنی‌دار باشند. در این روش ابتدا واریانس اصلاح شده $V(S)^*$ برای محاسبه آماره من- کندال به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad (7)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i$$

- 1- Sen's Slope Estimator
- 2- Time Series Analysis
- 3- Periodicity
- 4- Shift

آزمون ریشه واحد دیکی- فولر (ADF):^۱ آزمون ریشه واحد ADF در ابتدا توسط دیکی و فولر (1979) ارائه گردید و سپس توسط سید و دیکی (1984) تصحیح گردید. آزمون ریشه واحد دیکی- فولر از طریق تخمین OLS^۲ یا مدل‌های رگرسیونی با وجود یک روند خطی به وجود آمده است. مدل AR(1) که یک مدل خودهمبسته با تأخیر یک می‌باشد عبارت است از:

آزمون ریشه واحد دیکی- فولر (ADF):^۱ آزمون ریشه واحد ADF در ابتدا توسط دیکی و فولر (1979) ارائه گردید و سپس توسط سید و دیکی (1984) تصحیح گردید. آزمون ریشه واحد دیکی- فولر از طریق تخمین OLS^۲ یا مدل‌های رگرسیونی با وجود یک روند خطی به وجود آمده است. مدل AR(1) که یک مدل خودهمبسته با تأخیر یک می‌باشد عبارت است از:

$$x_t = \rho x_{t-1} + \varepsilon_t \quad t=1,2,\dots,N \quad (10)$$

که در آن، $t=1,2,\dots,N$ و ε_t سری تصادفی نرمال استاندارد و مستقل با میانگین صفر و واریانس σ^2 می‌باشد. این معادله را می‌توان برای مدل خودهمبسته مرتبه P یا $AR(P)$ نیز بازنویسی نمود. در صورتی که $|\rho| < 1$ باشد، سری $\{x_t\}$ ایستا بوده و اگر $\rho = 1$ یا بزرگ‌تر از یک باشد، سری ناپایستاست. با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی مقدار $\hat{\rho}$ به صورت زیر برآورد می‌گردد (27).

$$\hat{\rho} = \left(\sum_{t=2}^N X_{t-1}^2 \right)^{-1} \times \sum_{t=2}^N X_t \cdot X_{t-1} \quad (11)$$

آماره مورد استفاده جهت تست فرض صفر (H_0) که در این آزمون، فرض صفر به صورت $\rho = 1$ می‌باشد، با \hat{t} نمایش داده شده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{t} = \frac{\hat{\rho} - 1}{\hat{\sigma}_{\hat{\rho}}} \quad (12)$$

که در آن، $\hat{\sigma}_{\hat{\rho}}$ خطای استاندارد OLS برای ضریب $\hat{\rho}$ بوده که از رابطه $\hat{\sigma}_{\hat{\rho}} = S_e \left(\sum_{t=2}^N x_{t-1}^2 \right)^{-1/2}$ محاسبه شده و مقدار S_e نیز از رابطه

است. آزمون KPSS: این آزمون توسط کوویاتکوفسکی و همکاران (1992) ارائه گردید که ایستایی حول یک روند معین و ایستایی حول یک سطح ثابت را آزمون می‌کند. این آزمون را می‌توان به صورت یک آزمون ریشه واحد نیز تصحیح کرد که شین و اشمیت (1992) نشان دادند که KPSS جهت آزمون ایستایی طراحی شده و جهت آزمون‌های استاندارد دیگر به خوبی آزمون‌های ریشه واحد نمی‌باشد. سری $\{X_t\}$ را که در آن $t=1,2,\dots,N$ می‌باشد، در نظر بگیرید. فرض کنید بتوان سری را به مجموع یک روند معین^۳، رندم واک^۴ و یک خطای ایستایی با در نظر گرفتن مدل رگرسیونی خطی زیر تجزیه نمود.

$$X_t = r_t + \beta_t + \varepsilon_t \quad (13)$$

که در آن، $r_t = r_{t-1} + U_t$ به صورت گام زدن تصادفی، β_t روند معین و ε_t خطای ایستایی باشد. در این آزمون اگر سری X_t دارای یک روند جبری باشد، سری‌ها حول یک روند جبری ایستا بوده و فرض صفر به صورت $\sigma_{\beta}^2 = 0$ خواهد بود. در حالت دیگر ایستایی، ایستایی حول یک سطح ثابت بوده که در این شرایط فرض صفر به صورت $\beta = 0$ خواهد

3- Deterministic Trend
4- Random Walk

1- Augmented Dickey - Fuller
2- Ordinary Least Square

آزمون DFGLS: الیوت و همکاران (1996) تصحیح ساده‌ای بر روی آزمون ADF انجام داده و آزمون DFGLS را با جایگزینی y_t^d به جای y_t در معادله ADF به صورت زیر به دست آوردند.

$$\Delta y_t^d = \alpha y_{t-1}^d + \beta_1 \Delta y_{t-1}^d + \dots + \beta_p y_{t-p}^d + u_t \quad (18)$$

که در آن، y_t^d از رابطه ۱۹ به دست می‌آید.

$$y_t^d = y_t - x_t' \hat{\delta}(\bar{a}) \quad (19)$$

و $a = \bar{a}$ از رابطه ۲۰ محاسبه می‌گردد.

$$\bar{a} = \begin{cases} 1-7/T & \text{if } x_t = \{1\} \\ 1-13.5/T & \text{if } x_t = \{1, t\} \end{cases} \quad (20)$$

در رابطه ۱۶، مقادیر بحرانی آزمون DFGLS به صورت $T = \{50, 100, 2000, \infty\}$ توسط الیوت، روتنبرگ و استوک (1996) ارائه شده است.

با توجه به این که آزمون‌های ایستایی بر مبنای رگرسیون خطی و توزیع نرمال می‌باشند، بایستی از سری داده‌های واقعی لگاریتم بگیریم تا روند نمایی به خطی تبدیل شود (15). همچنین به دلیل وجود خاصیت تناوب یا دوره‌ای در سری‌های زمانی بایستی تناوب از داده‌ها حذف شود که این امر با استاندارد کردن داده‌ها یعنی کسر میانگین داده‌ها (روزانه، ماهانه و سالانه) و تقسیم بر انحراف معیار آن‌ها به دست آمده است. یکی از مسایل مهم در آزمون‌های ایستایی تعیین مقدار تأخیر P می‌باشد زیرا این روش‌ها به ویژه آزمون KPSS حساسیت زیادی نسبت به مقدار انتخابی P دارند. به طوری که مقدار آماره آزمون با افزایش P کاهش می‌یابد و اگر P خیلی کوچک باشد، خطای باقیمانده همبستگی باعث خطای آزمون می‌گردد (20). مقدار بهینه P را می‌توان بر اساس

بود. بنابراین در حالت ایستایی حول یک روند معین، باقیمانده‌های e_t که در آن $t = 1, 2, \dots, N$ می‌باشد، از رگرسیون X و زمان بوده و $e_t = \varepsilon_t$ خواهد بود در حالی که در ایستایی حول یک سطح ثابت، باقیمانده‌های e_t به صورت $e_t = X_t - \bar{X}$ به دست می‌آید. مجموع e_t را به صورت زیر با S نمایش می‌دهیم:

$$S = \sum_{j=1}^t e_j \quad (14)$$

اگر σ^2 واریانس e_t باشد، خواهیم داشت:

$$\sigma^2 = \lim N^{-1} E[S_N^2] \quad (15)$$

حال می‌توان σ^2 تخمینی را با استفاده از باقیمانده‌ها به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\hat{\sigma}^2(P) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t^2 + \frac{2}{N} \sum_{j=1}^P \omega_j(P) \cdot \sum_{t=j+1}^N e_t \cdot e_{t-1} \quad (16)$$

که در آن، P مقدار تأخیر و $\omega_j(P)$ تابع وزنی مؤلفه‌ای بوده که در این پژوهش از رابطه بارتلت (1950) به صورت $\omega_j(P) = 1 - \frac{j}{(P+1)}$ استفاده شده است. نهایتاً آزمون KPSS به صورت زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$KPSS = N^{-2} \sum_{t=1}^N \frac{S_t^2}{\hat{\sigma}_{(P)}^2} \quad (17)$$

در آزمون KPSS برخلاف دیگر آزمون‌ها فرض صفر به صورت $H_0: \rho < 1$ می‌باشد که در این شرایط سری ایستاست. مقدار حدی و محاسبات آماری KPSS توسط کوویاتکوفسکی و همکاران (1992) ارائه گردیده است.

برازش بهترین مدل AR با کمترین مقدار معیار آکایکه انتخاب کرد که در مطالعه حاضر از این روش استفاده شده است (17).

نتایج و بحث

نتایج آزمون روند: جدول‌های ۲ و ۳ نتایج بررسی روند تغییرات کمینه، متوسط و بیشینه دما، بارش و جریان رودخانه را در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه (شامل ۱۲ سری ماهانه، ۴ سری فصلی و یک سری سالانه) را پس از حذف اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار نشان می‌دهد. در این جداول ارقام پررنگ نشان‌دهنده معنی‌داری روند بوده و معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره مشخص شده‌اند. در ادامه وضعیت روند هر یک از متغیرهای مورد بررسی به تفکیک ارائه می‌شود.

دمای کمینه: جدول ۲ نتایج آزمون من- کندال را برای دمای کمینه نشان می‌دهد. با توجه به این جدول می‌توان مشاهده کرد که تمامی ماه‌ها دارای روند نزولی می‌باشند. در این بین ماه‌های اردیبهشت، مرداد و خرداد روند کاهشی معنی‌دار را برای درجه حرارت کمینه تجربه کرده و با توجه به شیب سن می‌توان دریافت که در ماه‌های مذکور مقدار دمای کمینه در سه دهه گذشته به ترتیب $(1/98^{\circ}\text{C})$ ، $(1/68^{\circ}\text{C})$ و $(1/74^{\circ}\text{C})$ کاهش داشته است. در مقیاس فصلی نیز روندی مشابه با سری‌های ماهانه مشاهده می‌شود و فقط در فصل بهار روند کاهشی معنی‌دار وجود دارد. مقدار کاهش دمای کمینه نیز در این فصل با توجه به شیب سن در سی سال گذشته معادل $(1/59^{\circ}\text{C})$ می‌باشد. در مقیاس سالانه نیز روند تغییرات دمای کمینه کاهشی غیرمعنی‌دار است.

دمای بیشینه: نتایج آزمون من- کندال برای دمای بیشینه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصله، روند تغییرات دمای بیشینه در ماه‌های آبان، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر افزایشی غیرمعنی‌دار و در ماه‌های آذر، دی و شهریور کاهشی غیرمعنی‌دار است. برای ماه‌های مهر و اسفند نیز روند افزایشی معنی‌دار به دست آمده است. مقدار افزایش دمای بیشینه در این ماه‌ها به ترتیب معادل $(2/19^{\circ}\text{C})$ و $(3/27^{\circ}\text{C})$ در سی سال گذشته بوده است. فصل پاییز نیز روند افزایشی معنی‌دار را در دمای بیشینه نشان می‌دهد که این امر به دلیل افزایش دمای بیشینه در ماه مهر می‌باشد. مقدار افزایش دمای بیشینه در فصل پاییز برابر با $(0/69^{\circ}\text{C})$ محاسبه گردید. در مقیاس سالانه نیز روند افزایشی غیرمعنی‌دار برای دمای بیشینه مشهود است.

دمای متوسط: جدول ۲ نتایج مربوط به آزمون من- کندال را برای متوسط دما ارائه می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که روند تغییرات متوسط دما در ماه‌های مهر، بهمن، اسفند، فروردین و تیر افزایشی غیرمعنی‌دار و در ماه‌های آبان، آذر، دی، اردیبهشت، خرداد، مرداد و شهریور کاهشی غیرمعنی‌دار است. در اسفندماه نیز روند افزایشی معنی‌دار مشاهده گردید. مقدار افزایش دمای متوسط در این ماه معادل $(2/19^{\circ}\text{C})$ در سی سال گذشته می‌باشد. در مقیاس فصلی و سالانه نیز روند متوسط دما کاهشی غیرمعنی‌دار به دست آمد.

بارش: نتایج آزمون من- کندال اصلاح شده برای بارش حوضه ارمند در جدول ۳ ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که به جز ماه‌های مهر، دی و اردیبهشت که روند تغییرات بارش

نمودار می‌توان نتیجه گرفت که دمای کمینه روندی نزولی در منطقه دارد چرا که میانه Z ها پایین‌تر از صفر قرار گرفته‌اند اما دمای بیشینه روند افزایشی دارد. متوسط درجه حرارت نیز بیش‌تر از دمای کمینه متأثر شده و روند نزولی ضعیفی را تجربه کرده است. بارش‌های حوضه نیز تغییرات بسیار کمی را نشان می‌دهد. در این بین جریان رودخانه ارمند روند کاهش بسیار شدیدی داشته به طوری که حتی بزرگ‌ترین مقدار آماره Z نیز پایین‌تر از صفر واقع شده است. شکل‌گیری روند کاهش در جریان رودخانه ارمند را می‌توان به این صورت تفسیر کرد که وجود روند افزایشی در دمای بیشینه سبب ایجاد کاهش در بارندگی‌های حوضه مورد مطالعه شده و این امر تأثیرات خود را در آبدهی حوضه نشان داده است. بارزترین نشانه افزایش دما و کاهش بارندگی در ماه‌های مهر و اسفند، و فصول پاییز، زمستان و بهار (اوقاتی که اکثر بارش‌ها دریافت می‌شود) مشهود است. شایان ذکر است که حوضه آبریز ارمند در ۳۰ سال گذشته، به ترتیب ۱۵ و ۴۷ درصد بارش‌ها را در ماه اسفند و فصل زمستان دریافت کرده است. با توجه بیش‌تر به جدول ۲ می‌توان دریافت که افزایش دما در ماه اسفند سبب کاهش بارندگی و ایجاد روند نزولی در جریان رودخانه شده است. این افزایش در دمای بیشینه تا خرداد ماه حفظ شده و کاهش بارش‌های بهاره و ذخایر آبی حوضه را در پی داشته است به طوری که در ماه اردیبهشت و فصل بهار بیش‌ترین رشد منفی در جریان رودخانه مشاهده می‌شود.

نتایج آزمون‌های ایستایی: مقدار تأخیر برای سری‌های سالانه، فصلی، ماهانه و روزانه بر مبنای برازش مدل‌های خطی AR تعیین و در روش‌های ADF, DFGLS و KPSS برای آزمون ایستایی مورد استفاده قرار گرفته است.

در آن‌ها غیرمعنی‌دار کاهشی است، سایر ماه‌ها روند افزایشی غیرمعنی‌دار را در بارش تجربه کرده‌اند. همچنین در ماه اسفند نیز روند کاهشی معنی‌دار برای بارش به دست آمد و مقدار کاهش بارندگی نیز در سی سال گذشته در این ماه معادل ۵۱/۹۰ میلی‌متر محاسبه گردید. در مقیاس فصلی، فقط فصل زمستان با روند کاهشی معنی‌دار بارش روبه‌رو بوده و مقدار کاهش بارندگی در این فصل برابر با ۸۶/۷۰ میلی‌متر است. سایر فصل‌ها نیز روند افزایشی خفیفی را تجربه کرده‌اند. برای سری سالانه نیز روند کاهشی غیرمعنی‌دار مشهود است.

جریان رودخانه: جدول ۳ آماره Z آزمون من-کندال اصلاح‌شده برای دبی جریان رودخانه حوضه ارمند را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که در ماه‌های مهر، آبان، آذر، دی، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور روند منفی معنی‌دار وجود دارد. به عبارت دیگر این ایستگاه روند کاهشی معنی‌دار دبی را در ۱۰ ماه از سال تجربه کرده است. بیش‌ترین نرخ کاهش آبدهی مربوط به ماه اردیبهشت بوده و در سی سال گذشته معادل (m^3/s) ۱۲۸/۴۰ می‌باشد. در مقیاس فصلی نیز روند تغییرات آبدهی این حوضه در فصول پاییز، بهار و تابستان (زمستان) کاهشی معنی‌دار (غیرمعنی‌دار) می‌باشد. سری سالانه نیز از مقیاس ماهانه و فصلی تأثیر پذیرفته و دچار روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد شده است. شایان ذکر است که در مقیاس سالانه (m^3s^{-1}) ۵۱/۵۷ از آبدهی حوضه آبریز ارمند در سه دهه اخیر کاسته شده است.

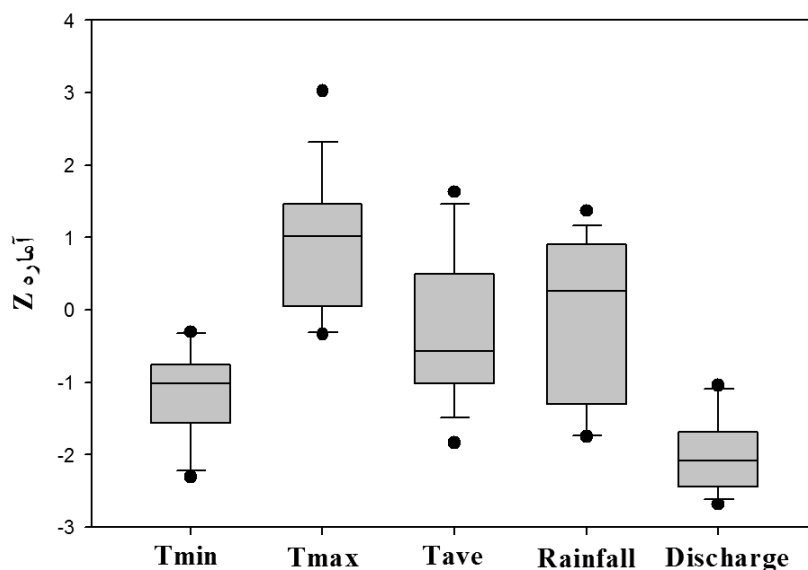
شکل ۱ نمودار جعبه و خط را برای متغیرهای کمینه، متوسط و بیشینه دما، بارش و جریان رودخانه حوضه آبریز ارمند نشان می‌دهد. با توجه به این

است. برای سری‌های فصلی نیز پس از حذف روند به روش استاندارد کردن ایستایی حاصل نشد. در مقیاس روزانه نیز سری نرمال نا ایستا بوده و استاندارد کردن بهبود اندکی را در ایستایی سری‌ها به وجود آورده است.

با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های روند و ایستایی می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات ایجاد شده در متغیرهای هیدرولوژیکی، تأثیر مستقیمی بر رفتار حوضه داشته است به طوری که جریان‌ات رودخانه این حوضه دچار نا ایستایی در میانگین و واریانس شده است. کاهش بارندگی و افزایش دما در فصول بارندگی (پاییز و زمستان) در منطقه علت اصلی جریان کاهشی و نا ایستایی است که این امر یکی از پیامدهای تغییرات اقلیمی در منطقه می‌باشد.

همان طوری که در نتایج آزمون روند نمایان گردید، دما و بارش در منطقه مورد مطالعه دچار تغییرات شده و در اکثر سری‌های جریان رودخانه ارمند روند نزولی وجود دارد. این امر یکی از عوامل مهم نا ایستایی سری‌های زمانی به حساب می‌آید. بنابراین سری‌های جریان رودخانه در دو حالت نرمال شده (قبل از حذف روند) و استاندارد شده مورد آزمون قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل در جدول ۴ ارائه گردیده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۴ مشاهده می‌گردد که با حذف روند از میانگین و انحراف معیار در بیش تر سری‌ها (به غیر از سری سالانه) سبب بهبود ایستایی شده است. استاندارد کردن تأثیری در سری‌های سالانه جریان رودخانه نداشته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که سری‌های سالانه نا ایستا هستند. در سری‌های ماهانه نیز در تمام روش‌ها فرض ایستایی در سطح ۵ درصد رد شده



شکل ۱- نمودار جعبه و خط برای متغیرهای کمینه، متوسط و بیشینه دما، بارش و جریان رودخانه حوضه آبریز ارمند.

Figure 2. Box plots of statistics Z for minimum, maximum and average temperature rainfall and discharge of Armand Basin.

جدول ۲- نتایج آزمون من- کندال اصلاح شده برای متغیرهای دمای کمینه، بیشینه و متوسط حوضه آبریز ارمند در دوره آماری ۱۳۶۰-۱۳۹۰.

Table 2. The results of modified Mann- Kendall test for minimum, maximum and average temperature of Armand Basin during 1981-2011.

دمای متوسط (Average Temperature)		دمای بیشینه (Maximum Temperature)		دمای کمینه (Minimum Temperature)		مقیاس زمانی (Time Scale)	ردیف (Row)
شیب سن (Sen's Slope)	Z	شیب سن (Sen's Slope)	Z	شیب سن (Sen's Slope)	Z		
0.024	1.43	0.073	3.03***	-0.022	-0.68	مهر (Sep)	1
-0.032	-1.39	0.001	0.09	-0.031	-0.95	آبان (Oct)	2
-0.048	-1.29	-0.005	-0.14	-0.052	-1.12	آذر (Nov)	3
-0.043	-0.95	-0.023	-0.31	-0.106	-1.36	دی (Dec)	4
0.042	0.51	0.046	0.85	-0.013	-0.31	بهمن (Jan)	5
0.041	1.67*	0.109	2.03**	-0.024	-0.85	اسفند (Feb)	6
0.015	0.48	0.044	1.56	-0.034	-1.02	فروردین (Mar)	7
-0.020	-0.58	0.045	1.02	-0.066	-2.31***	اردیبهشت (Apr)	8
-0.009	-0.63	0.025	0.65	-0.056	-1.84*	خرداد (May)	9
0.013	0.58	0.038	1.26	-0.007	-0.33	تیر (Jun)	10
-0.027	-1.14	0.000	0.00	-0.058	-2.20**	مرداد (Jul)	11
-0.020	-1.05	-0.007	-0.34	-0.014	-0.39	شهریور (Aug)	12
-0.013	-0.61	0.023	2.15**	-0.037	-0.84	پاییز (Autumn)	13
0.001	0.03	0.057	1.19	-0.030	-1.20	زمستان (Winter)	14
-0.002	-0.10	0.046	1.16	-0.053	-1.76*	بهار (Spring)	15
-0.023	-0.98	0.003	0.11	-0.027	-1.04	تابستان (Summer)	16
-0.005	-0.27	0.036	1.36	-0.036	-1.01	سالانه (Annual)	17

جدول ۳- نتایج آزمون من- کندال اصلاح شده برای متغیرهای بارش و جریان رودخانه حوضه آبریز ارمنند در دوره آماری ۱۳۶۰-۱۳۹۰.

Table 3. The results of modified Mann- Kendall test for rainfall and discharge of Armand Basin during 1981-2011.

جریان رودخانه (Discharge)		بارش (Rainfall)		مقیاس زمانی (Time Scale)	ردیف (Row)
شیب سن (Sen's Slope)	Z	شیب سن (Sen's Slope)	Z		
-0.703	-2.29**	0.000	-1.32	مهر (Sep)	1
-0.720	-2.34***	0.425	0.49	آبان (Oct)	2
-0.708	-1.75*	0.093	0.10	آذر (Nov)	3
-0.960	-2.60***	-1.163	-1.56	دی (Dec)	4
-0.785	-1.34	0.150	0.27	بهمن (Jan)	5
-1.016	-1.10	-1.104	-1.73*	اسفند (Feb)	6
-3.321	-1.70*	0.520	1.02	فروردین (Mar)	7
-4.280	-1.79*	-0.369	-1.29	اردیبهشت (Apr)	8
-2.451	-2.33***	0.000	1.37	خرداد (May)	9
-1.363	-2.55***	0.000	0.79	تیر (Jun)	10
-0.952	-2.68***	0.000	0.26	مرداد (Jul)	11
-0.761	-2.28**	0.000	0.6	شهریور (Aug)	12
-0.785	-1.95*	0.586	1.04	پاییز (Autumn)	13
-0.670	-1.05	-2.089	-1.75	زمستان (Winter)	14
-3.337	-2.08**	0.435	0.32	بهار (Spring)	15
-1.054	-2.56***	0.000	1.11	تابستان (Summer)	16
-1.179	-1.90*	-1.038	-0.41	سالانه (Annual)	17

جدول ۴- نتایج آزمون‌های ایستایی برای دبی جریان رودخانه ارمند.

Table 4. The stationarity tests results for Armand discharge.

نتیجه آزمون (Results)	آزمون‌های ایستایی (Stationarity Tests)			تأخیر (Lag)	سری (Seri)	مقیاس زمانی (Time Scale)
	DFGLS	KPSS	ADF			
ناایستا (NS)	-2.58	0.53	2.70	1	نرمال (Normal)	سالانه (Annual)
ناایستا (NS)	-2.58	0.53	2.70	1	استاندارد (Standard)	
ناایستا (NS)	-1.20	0.56	-1.15	12	نرمال (Normal)	فصلی (Seasonal)
ناایستا (NS)	-2.03	1.21	-2.08	3	استاندارد (Standard)	
ناایستا (NS)	-1.77	0.68	-1.35	26	نرمال (Normal)	ماهانه (Monthly)
ناایستا (NS)	-2.19	2.91	-1.96	3	استاندارد (Standard)	
ناایستا (NS)	-1.98	4.95	-2.10	25	نرمال (Normal)	روزانه (Daily)
ناایستا (NS)	-2.43	2.99	-2.63	15	استاندارد (Standard)	

** NS: Non-stationarity

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه به منظور بررسی و آشکارسازی تغییرات اقلیمی صورت گرفته در حوضه ارمند از داده‌های دما (کمینه، متوسط و بیشینه) بارش و جریان رودخانه در دوره آماری ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ از روش‌های من- کندال و ایستایی استفاده شد. بررسی روند و ایستایی در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی می‌تواند به فهم بهتر رابطه بین تغییرات زیست‌محیطی و آب و هوایی با تغییرات هیدرولوژیکی کمک نماید (21). نتایج حاصله به شرح زیر ارائه می‌گردد.

با توجه به نتایج حاصل از آزمون روند می‌توان چنین استنباط کرد که تغییراتی در روند پارامترهای سه‌گانه دما (دمای کمینه، متوسط و بیشینه) و بارش (روند کاهشی غیرمعنی‌دار) رخ داده است. قهرمان

(2006) نشان داد که تغییرات دما در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد وجود داشته ولی غیرمعنی‌دار می‌باشد. قره‌خانی و قهرمان (2010) در مطالعه‌ای به بررسی روند تغییرات رطوبت نسبی در چند منطقه اقلیمی ایران پرداختند و نشان دادند که ایستگاه سینوپتیک شهرکرد روند کاهشی در رطوبت نسبی را تجربه کرده است و این امر می‌تواند دلیلی بر آغاز روند کاهشی بارش باشد. کوثری و همکاران (2011) گزارش کردند که دمای منطقه زاگرس تغییرات زیادی نداشته است. نتایج این پژوهشگران با نتایج مطالعه حاضر مطابقت کامل دارد. اما در این مطالعه مشاهده می‌شود که جریان رودخانه ارمند روند کاهشی شدیدی دارد به طوری که با کاهش $(51/57 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1})$ (بالغ بر ۵۶ درصد دبی متوسط سی ساله) در سی سال

بررسی کرده و نشان دادن که با استاندارد کردن ایستایی داده‌ها بهبود می‌یابد. خلیلی و همکاران (2012) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و دلیل نایستایی سری‌های جریان رودخانه شهرچای ارومیه را روند و تغییرات اقلیمی عنوان کردند. نتایج این مطالعه با پژوهش‌های ذکر شده مطابقت دارد.

به‌طورکلی این مطالعه رفتار سری‌های هیدرولوژیکی حوضه آبریز ارمنند را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و نقطه آغازی برای انجام مطالعات پیشرفته‌تر تغییر اقلیم در منطقه می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش، مشخص شد که روند در سری‌های بارش و دما بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه تأثیرگذار بوده و با کاهش آبدهی و وجود نایستایی همراه شده است، به‌عبارت دیگر حوضه آبریز ارمنند پتانسیل وقوع تغییر اقلیم را داراست و بایستی در طرح‌هایی که برای انتقال آب و گسترش کشاورزی در این منطقه صورت می‌گیرد بررسی‌های بیش‌تری انجام شود. یکی از این بررسی‌ها می‌تواند اجرای مدل‌های گردش عمومی با سناریوهای مختلف و تحلیل عدم قطعیت‌های حالات ممکن برای حوضه آبریز ارمنند باشد.

گذشته مواجه بوده است. یکی از دلایلی که نشان می‌دهد روند کاهشی جریان رودخانه ارمنند با تغییرات اقلیمی در ارتباط است، روند افزایشی درجه حرارت بیشینه در فصل پاییز و کاهش بارندگی در فصل زمستان (فصل‌هایی که اکثر بارش‌ها دریافت می‌شود) می‌باشد. تغییرات دمایی می‌تواند تأثیر مهمی بر تغییرات فصلی جریان رودخانه داشته باشد. در حوضه‌هایی که آب ناشی از ذوب برف بخش مهمی از رواناب سطحی را تشکیل می‌دهد، با افزایش درجه حرارت از مقدار ذخیره برفی حوضه کاسته شده و در نتیجه آبدهی حوضه کاهش می‌یابد (21). حوضه آبریز ارمنند نیز دارای چنین شرایطی است.

در این مطالعه به‌منظور ارزیابی اثر روند بر روی جریان‌ات رودخانه ارمنند که خود دلیلی بر وجود تغییرات اقلیمی در منطقه است، از آزمون‌های ایستایی ADF، DFGLS و KPSS نیز استفاده شد. سری‌های جریان‌ات رودخانه در دو حالت نرمال و استاندارد مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج حاصله نایستایی جریان رودخانه ارمنند را در سطح اطمینان 5 درصد تایید کردند. همچنین نتایج نشان داد که با استاندارد کردن ایستایی سری‌ها بهبود می‌یابد. وانگ و همکاران (2005) روند و ایستایی رودخانه‌های غرب اروپا را

منابع

1. Abghari, H., Tabarib, H., and Hosseinzadeh Talaec, P. 2013. River flow trends in the west of Iran during the past 40 years: Impact of precipitation variability. *Global and Planetary Change*. 101: 52-60.
2. Baker, J.M., and Baker, D.G. 2002. Long-term ground heat flux and heat storage at amid-latitude site. *Climatic Change*. 54: 3. 295-303.
3. Bartlett, M.S. 1950. Periodogram analysis and continuous spectra. *Biometrika*. 37: 1-16.
4. Becker, R., Enders, W., and Lee, J. 2006. A stationarity test in the presence of an unknown number of smooth breaks. *J. Time Series Anal.* 27: 3. 381-409.
5. Burn, D.H., and Hag Elnur, M.A. 2002. Detection of hydrologic trends and variability. *J. hydrol.* 255: 107-122.
6. Christopoulos, D., and Leon-Ledesma, M. 2010. Post-Bretton-Woods real exchange rates: Mean reverting with nonlinear adjustment. *J. Inter. Money Finance*. 29: 1076-1093.
7. Dickey, D.A., and Fuller, W.A. 1979. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *J. Amer. Stat. Assoc.* 74: 423-431.

8. Ebrahimi, H., Alizadeh, A., and Javanmard, S. 2005. The investigation of temperature's changes in Mashhad plain as the profile of climate change. *Geographical Research*. 20: 4. 5-18. (In Persian)
9. Elliott, G., Thomas, J., Rothenberg, J., and Stock, H. 1996. Efficient Tests for an Autoregressive Unit Root. *Econometrica*. 64: 813-836.
10. Esmailpour, M., and Dinpazhooh, Y. 2012. Analyzing long term trend of potential evapotranspiration in the Southern parts of the Aras river basin. *Geograph. Environ. Plan. J.* 47: 3. 193-210. (In Persian)
11. Ghahraman, B. 2006. Time trend in the mean annual temperature of Iran. *Turk. J. Agric. For.* 30: 439-448.
12. Gharekhani, A., and Ghahreman, N. 2010. Seasonal and Annual Trend of Relative Humidity and Dew Point Temperature in Several Climatic Regions of Iran. *J. Water Soil.* 24: 4. 636-646. (In Persian)
13. Ghasem, A., and Roshani, M. 2008. Using Mann-Kendall Test to Recognize of Climate Change in Caspian Sea Southern Coasts. *Physical Geography Researches Quarterly*. 64: 13-28. (In Persian)
14. Hamed, K.H., and Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *J. Hydrol.* 204: 182-196.
15. Hamilton, J.D. 1994. *Time series analysis*. Princeton University Press, Princeton.
16. Johnson, S.L., and Stefan, H.G. 2006. Indicators of climate warming in Minnesota: lake ice covers and snowmelt runoff. *Climatic Change*. 75: 4. 421-453.
17. Khalili, K., Ahmadi, F., Behmanesh, J., and Verdinejad, V. 2012. Determination of Climate Changes on Air Temperature and Shahr-Chai River in the West of Urmia Lake Using Trend and Stationarity Analysis. *Irrigation Sciences and Engineering (Sci. J. Agric.)*. 35: 4. 97-107. (In Persian)
18. Kousari, M.R., Ekhtesasi, M.R., Tazeh, M., Saremi Naeni, M.A., and Asadi Zarch, M.A. 2011. An investigation of the Iranian climatic changes by considering the precipitation, temperature, and relative humidity parameters. *Theor Appl Climatol*. 103: 321-335.
19. Kumar, S., Merwade, V., Kam, J., and Thurner, K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *J. Hydrol.* 374: 171-183.
20. Kwiatkowski, D., Phillips, P.C.B., Schmidt, P., and Shin, Y. 1992. Testing the null of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we the economic time series have a unit root? *J. Econ.* 54: 159-178.
21. Lettenmaier, D.P., Wood, A.W., Palmer, R.N., Wood, E.F., and Stakhiv, E.Z. 1999. Water resources implications of global warming, A U.S. regional perspective. *Climate Change*. 43: 537-579.
22. Mirabbasi Najafabadi, R., and Dinpashoh, Y. 2012. Trend analysis of precipitation of NW of Iran over the past half of the century. *Irrigation Sciences and Engineering (Sci. J. Agric.)*. 35: 4. 60-73. (In Persian)
23. Novotny, E.V., and Stefan, H.G. 2007. Stream flow in Minnesota: indicator of climate change. *J. Hydrol.* 334: 319-333.
24. Said, S.E., and Dickey, D. 1984. Testing for unit roots in autoregressive moving-average models with unknown order. *Biometrika*. 71: 599-607.
25. Shin, Y., and Schmidt, P. 1992. The KPSS Stationarity test as a unit root test. *Economic Letters*. 38: 387-392.
26. Tabari, A., and Hosseinzadeh-Talaei, P. 2011. Recent trends of mean maximum and minimum air temperatures in the western half of Iran. *J. Meteorol. Atm. Phys.* 111: 121-131.
27. Wang, W., Van Gelder, P.H.A.J.M., and Vrijling, J.K. 2005. Trend and Stationary analysis for streamflow processes of rivers in western Europe in 20th century, IWA International conference on water economics, statistics and finance, Rethymno, Greece.
28. Xu, Z., Liu, Z., Fu, G., and Chen, Y. 2010. Trends of major of Hydro climatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years. *J. Arid Environ.* 74: 256-267.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(5), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Investigation of climate change occurring over watershed using stationary and trend analysis (Case study: Armand watershed)

***F. Ahmadi¹, R. Zamani Ahmad Mahmoudi¹, F. Radmanesh²
and A.R. Amir Rezaeieh³**

¹Ph.D. Student, Dept. of Water Resources Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz,

²Associate Prof., Dept. of Water Resources Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz,

³M.Sc. Graduate, West Azarbaijan Water and Waste Water Company

Received: 04/13/2014; Accepted: 09/13/2014

Abstract

Background and Objectives: In the recent decades, increase of greenhouse gases and global warming have led to disrupt the earth's climate system balance which caused extensive climate changes in most regions of the earth. Increase of the earth average temperature and its variations is an index of climate change which is considered in all of climate change theories. The relationship between earth average temperature and other climatic variables is the subject of the present study. Therefore, the main objective of this study is trend analysis of minimum, average and maximum temperature, precipitation and river flow in Armand watershed and investigating its relationship with climate change.

Materials and Methods: In this study, we tried to investigate the relationship between temporal variation of hydrological parameters and climate change by using modified Mann-Kendall, ADF, KPSS and DFGLS tests. For this purpose, the precipitation and temperature (maximum, minimum and average) data measured at Shahrekord synoptic station and Armand hydrometric station during the period of 1360-1390 were used.

Results: In this study, the relationship between temporal variation of hydrological parameters and climate change was investigated using stationary and trend analysis. For this purpose, the precipitation and temperature (maximum, minimum and average) data of Shahrekord synoptic station and hydrometric data of Armand watershed in the period of 1971-2011 were used. Results showed that the minimum temperature of May, August, June and spring season had a significant decreasing trend. Also, a significant increasing trend was observed in the maximum temperature of September, March and autumn season time series. The average temperature of March has significant increasing trend. In the case of precipitation, the March and winter season experienced a decreasing significant trend. The stream flow time series of Armand River showed a strong decreasing trend and experienced a decline equal to 51.57 (m³/s) in the three past decades. In the hydrological point of view, the main reason is the increasing trend in maximum temperature of the autumn season and reduction of precipitation in winter season (the season with maximum precipitation). In order to evaluate the effect of trend on the stream flow of Armand River that is a reason of existence of climate change in this watershed, three stationary tests including ADF, DFGLS and KPSS were used. The stream flow time series were tested in Normal and standard forms. The results confirmed stationary in stream flow of Armand River at a 95% confidence level that indicates existence of variations in average and variance of stream flow time series.

Conclusion: The results showed that the existence of trend in precipitation and temperature time series had significant effects on hydrological behavior of the watershed and it caused river flow reduction and non-stationarity. In other words, the Armand watershed may face with the climate change and it should be considered in water resources planning and management such as water conveyance and extending of croplands.

Keywords: Stationary tests, Trend test, Armand River, Climate change

* Corresponding Author; Email: farshad.paper@yahoo.com

