

Trend of precipitation and temperature changes at different time scales in the Karkheh Watershed

Hamid Rahimiani Iranshahi¹, Hamid Reza Moradi^{2*}, Khalil Jalili³

¹ Graduated M.Sc. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Academic Center for Education, Culture and Research, Kermanshah, Iran

Abstract

Introduction

The study of changes in precipitation and temperature components provides the basic information needed to assess the frequency and severity of climatic and hydrological processes. Therefore, the present study investigates the temporal changes of precipitation and temperature at different time scales in Karkheh Watershed. The present results are applicable in regional planning and decision makings.

Materials and Methods

Karkheh Watershed with an area of 51337 Km² located in the west and southwest of Iran includes Kermanshah, Hamedan, Kurdistan, Ilam, Lorestan and Khuzestan provinces. The average annual rainfall in Karkheh Watershed varies from 150 mm in the southern regions to more than 1000 mm in the eastern regions. To do this study, daily minimum and maximum precipitation, temperature and sunny hours of six synoptic stations of Ahvaz, Dezful, Hamedan, Khorramabad, Kermanshah and Sanandaj in Karkheh Watershed with the statistical period 1980-2010 were used. The trend of changes in time series of precipitation and temperature was evaluated using Mann-Kendall statistical test and age estimator.

Results and Discussion

The results show that in the case of precipitation, the changes in most stations are decreasing and without a significant trend, and in a limited number of stations it has a significant decreasing trend, which is generally related to the cold months of the year (-0.09 and -0.07 at the station). Khorramabad and Sanandaj in February). The most changes in precipitation trend were observed in annual time series (-0.02 in Sanandaj Station). Thus, in most stations, a significant decrease in precipitation is observed. In all time series, the minimum and maximum temperatures in most stations have an increasing trend. The rate of this increasing trend is higher at minimum temperature (slope of changes 2.77 and 2.75 in Sanandaj and Ahvaz stations, respectively).

Conclusion

Analysis of daily, monthly, seasonal and annual trends of precipitation and minimum and maximum temperatures in the period 1980-2010 are very important due to their high impact on the hydrological response of watersheds as well as environmental issues. Also, the role of climate change and its effects on the trend of marginal phenomena in different regions can have many consequences. The present study was conducted to investigate the trend of precipitation and temperature in different time series. The results of the analysis of the monthly rainfall trend in the study period showed a decreasing and insignificant trend in most stations and in most months. Also, in most of the study stations, the monthly minimum temperature, with the exception of January, November and December, has an increasing trend and indicates that the monthly minimum temperature in the Karkheh Watershed has been increasing in recent years.

Keywords: Changes heterogeneity, Resource management, Time distribution, Variability pattern

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: hrmoradi@modares.ac.ir

Citation: Rahimiani Iranshahi, H., Moradi, H.R., & Jalili, Kh. (2022). Trend of precipitation and temperature changes at different time scales in the Karkheh Watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(2), 1-12.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.9520.1048

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.1.8

Received: 08 September 2021, Received in revised form: 12 November 2021, Accepted: 13 November 2021, Published online: 24 February 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol. 2, No. 2, pp. 1-12

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





روند تغییرات بارش و دما در مقیاس‌های زمانی مختلف در حوزه آبخیز کرخه

حمید رحیمیانی ایرانشاهی^۱، حمیدرضا مرادی^{۲*}، خلیل جلیلی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ استادیار، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

چکیده

بارش و دما از مؤلفه‌های اصلی اقلیم هستند که تغییرات آن‌ها می‌تواند ساختار آب و هوایی هر منطقه را دگرگون سازد. مطالعه تغییرات این دو مؤلفه، اطلاعات پایه مورد نیاز در ارزیابی فراوانی و شدت وقوع فرآیندهای حدی اقلیمی و هیدرولوژیکی را فراهم می‌نماید. در همین راستا، پژوهش حاضر به بررسی تغییرات زمانی بارش و دما در مقیاس‌های زمانی مختلف در حوزه آبخیز کرخه واقع در غرب کشور ایران پرداخته شده است. به این منظور، ابتدا همگنی و صحت‌سنجی داده‌ها، شش ایستگاه سینوپتیک دارای دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۵۹ (۲۰۱۰-۱۹۸۰) انتخاب شد. سپس، روند تغییرات سری‌های زمانی متغیرهای بارش و دما با استفاده از آزمون آماری من-کندال و تخمین‌گر سن ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تغییرات بارش در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی کاهشی و بدون روند معنادار بوده و در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنادار است که عموماً مربوط به ماه‌های سرد سال (۰/۰۹- و ۰/۰۷- در ایستگاه‌های خرم‌آباد و سنندج در فوریه) می‌شود. بیش‌ترین تغییرات روند بارش در سری‌های زمانی سالانه (۰/۰۲- در ایستگاه سنندج) مشاهده شد. به این ترتیب که در اغلب ایستگاه‌ها، روند کاهشی معناداری در بارش مشاهده شد. در تمام سری‌های زمانی مورد بررسی، دماهای کمینه و بیشینه در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی است. میزان این روند افزایشی در دمای کمینه بیش‌تر (شیب تغییرات ۲/۷۷ و ۲/۷۵ به ترتیب در ایستگاه‌های سنندج و اهواز) است.

واژه‌های کلیدی: الگوی تغییرپذیری، توزیع زمانی، مدیریت منابع، ناهمگونی تغییرات

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hrmoradi@modares.ac.ir

استناد: رحیمیانی ایرانشاهی، ح.، مرادی، ح.ر.، و جلیلی، خ. (۱۴۰۱). روند تغییرات بارش و دما در مقیاس‌های زمانی مختلف در حوزه آبخیز کرخه. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۲)، ۱-۱۲.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.9520.1048

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.1.8



تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷، تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲، تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۰۵

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۱ تا ۱۲

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

۱- مقدمه

از دو دهه آخر قرن بیستم تاکنون مسأله تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین مسائلی بوده است که ذهن پژوهش‌گران این رشته علمی و بسیاری از محققان سازمان‌های ملی و بین‌المللی را به خود مشغول کرده است. به‌طوری‌که یک توافق عمومی در مورد گرم شدن کره زمین در قرن ۲۰ و ادامه آن در قرن حاضر وجود دارد. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که درجه حرارت نزدیک سطح زمین حدود ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد در قرن بیستم افزایش داشته است (IPCC, 2007; Yan and Zheng, 2015; Guan et al., 2021).

از آغاز صنعتی شدن یعنی حدود ۱۶۰ سال پیش، استفاده از انرژی سوخت‌های فسیلی سبب ظهور منبع جدیدی برای انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به جو زمین شد. هر چند این انتشار در مقایسه با مقدار طبیعی ساطع شده از زیست‌کره، ناچیز است اما همین مقدار سبب اختلال در توازن کربن اتمسفر شده است (Bronstert, 2004; Zhang et al., 2021). بر اساس گزارش سوم هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) از ۱۷۵۰ تا ۲۰۰۰، غلظت دی‌اکسیدکربن، متان و اکسیدنیترژن به‌عنوان گازهای گلخانه‌ای مهم جو زمین، به‌ترتیب به‌میزان ۳۱، ۱۵۱ و ۱۷ درصد افزایش داشته است (VijayaVenkataRaman et al., 2012).

نتایج مطالعات نشان داد که غلظت دی‌اکسیدکربن از مقدار تقریبی ۲۸۰ قسمت در میلیون در قبل از صنعتی شدن، به مقدار ۳۷۹ قسمت در میلیون در سال ۲۰۰۵ رسیده است. این میزان خارج از دامنه طبیعی آن (۱۸۰-۳۰۰) قسمت در میلیون) از ۶۵۰ هزار سال پیش تاکنون است (IPCC, 2007). متوسط افزایش سالانه غلظت دی‌اکسیدکربن از آغاز اندازه‌گیری‌های جوی از ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵، ۱/۴ قسمت در میلیون گزارش شده است (IPCC, 2007). نتیجه افزایش فزاینده غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو سبب می‌شود که بخش زیادی از امواج بازتابیده شده توسط زمین در جو به دام افتاده و مجدداً به سطح زمین برگردد که نتیجه آن گرمایش جهانی زمین^۲ است (Guan et al., 2021). در صورت انتشار گازهای گلخانه‌ای با روند فعلی انتظار می‌رود که دمای زمین در قرن حاضر نیز بالاتر رود. این افزایش منجر به تغییر اقلیم در مقیاس جهانی خواهد شد، هر چند میزان دقیق این تغییرات هنوز مشخص نیست (Nunes, 2007). شواهد نشان می‌دهد که دمای سطح زمین از سال ۱۹۵۰ به‌طور خاص در حال زیاد شدن است، به‌طوری‌که ۲۰۰۵ و ۱۹۹۸ گرم‌ترین سال‌هایی بودند که از سال ۱۸۵۰ تاکنون ثبت شده‌اند (IPCC, 2007). همچنین ۱۱ سال از بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۶، در گروه ۱۲ سال

گرم به ثبت رسیده از سال ۱۸۵۰ میلادی تاکنون طبقه‌بندی شده‌اند. نتیجه این تغییرات در روند دمایی نیز منعکس می‌شود. به‌طوری‌که روند تغییرات دمایی صد ساله از ۲۰۰۷-۱۹۰۶ (۱۸/۱±۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد) از روند گرم شدن برای دوره ۲۰۰۰-۱۹۰۱ (۲/۰±۰/۶ درجه سانتی‌گراد) بیش‌تر است (IPCC, 2007). شواهد و تحلیل‌های اشاره شده همگی مؤید تشدید گرمایش جهانی است. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد در صورتی‌که انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق به‌میزان ثبت‌شده در سال ۲۰۰۰ ادامه پیدا کند، دمای زمین به مقدار ۱/۰ درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش خواهد یافت (IPCC, 2007; Liu and Cui, 2011). با وجود این، تشخیص وقوع پدیده تغییر اقلیم در سطح جهان به‌سهولت امکان‌پذیر نیست و نیازمند بررسی‌های جامع و طولانی‌مدت آمار پارامترهای جوی است (Trenberth et al., 2007; Zhang et al., 2021). به‌علاوه اثرات تغییر اقلیم در هر منطقه با نواحی دیگر متفاوت است و لذا ارزیابی اثرات این پدیده جهانی در هر منطقه شناخت کافی برای برنامه‌ریزی و تحلیل وضعیت آبی در اختیار کارشناسان و مدیران قرار می‌دهد.

تغییر اقلیم یک عامل اثرگذار بر چرخه هیدرولوژی نیز به‌شمار می‌رود. پیش‌بینی رژیم هیدرولوژیکی منتج از تغییرات پیش‌بینی شده در بارش و درجه حرارت در طول قرن گذشته، در بسیاری از مناطق جهان به واقعیت پیوسته است (Huntington, 2006; Milliman et al., 2008). علاوه بر تغییرات دمایی، بارش نیز یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که تغییرات در الگوی آن می‌تواند منجر به افزایش سیلاب، وقوع خشکسالی، کاهش تنوع زیستی و کاهش محصولات کشاورزی شود. از این‌رو بررسی تغییرات مکانی و زمانی بارش در مطالعه روند آن به‌منظور تحلیل اقلیم و برنامه‌ریزی منابع آب دارای اهمیت است. بررسی روند بارش و دما به‌منظور تشخیص اثرات بالقوه تغییر اقلیم روی منابع آب یک منطقه و پایش منظم آن الزامی است. تشخیص تغییرات در سری‌های طولانی مدت داده‌های هیدرولوژیکی مسأله‌ای مشکل و پراهمیت است. وجود روند در سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد. هدف از تعیین روند در داده‌ها، پیش‌بینی تغییرات در اقلیم کره زمین است (Hamed, 2008).

Oguntunde et al. (2006) روند بارش ماهانه و سالانه نیجریه را در دوره ۲۰۰۰-۱۹۰۱ با استفاده از آزمون من-کنندال تعیین نمودند. نتایج ایشان نشان داد که در حدود ۹۰ درصد منطقه دارای روند منفی در بارش است. این در حالی است که تنها ۲۲ درصد تغییرات در سطح ۹۵ درصد معنادار بوده است. همچنین بیش از ۹۰ درصد منطقه تغییرات معنادار در دهه ۱۹۵۰

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

² Global Warming

مقیاس فصلی و سالانه دارای روند عمومی بوده و تغییرپذیری بارش در بخش‌های مرکزی و بالادست افزایش داشته است. در حالی که یک کاهش تدریجی از شمال به جنوب مشاهده می‌شود. روند تغییرات زمانی-مکانی دما برای کل ایران توسط Ahmadi et al. (2018) با استفاده از آزمون من-کندال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که دما روند افزایشی در پاییز، بهار و به‌ویژه تابستان طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ داشته است. همچنین فراوان‌ترین نقاط تغییر بین سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۴ اتفاق افتاده است. روند بارش و دما را در منطقه Trarza واقع در موریتانی توسط Yacoub and Gokmen (2019) مورد تحلیل قرار گرفت. طبق نتایج به‌دست آمده، روند افزایشی برای هر دو متغیر بارش و دما طی دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۷۰ تأیید شد. Basso et al. (2021) روند تغییرات بلندمدت دما و تبخیر و تعرق در ایالات متحده را بررسی کردند. نتایج پیش‌بینی آن‌ها نشان داد که علی‌رغم وقوع تغییر اقلیم، تا سال ۲۰۵۰ روند دماهای حداقل افزایش و دماهای حداکثر کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش بارندگی، مقدار کمبود آب قابل دسترس محصولات کشاورزی نیز کاهش پیدا می‌کند. اخیراً، Khosravi and Azari (2022) در حوضه کشف‌رود به تعیین روند زمانی و مکانی تغییرات بارش و دما طی دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۶۴ پرداختند. نتایج حاصل از آزمون‌های من-کندال و پتیت بیان‌گر روند بدون تغییر بارش و روند افزایشی دمای در مقیاس سالانه بوده است.

حوزه آبخیز کرخه دارای تراکم بالای جمعیت، تنوع حیات جانوری و گیاهی و شرایط کوهستانی است. همچنین معیشت مردم وابسته به کشاورزی است که با کوچک‌ترین تغییرات آب و هوایی ضربه سنگینی به منطقه وارد می‌شود. بنابراین، با توجه به تنوع نتایج و لزوم کسب اطلاعات جامع‌تر و همه‌جانبه، هدف از پژوهش حاضر، بررسی روند بارش و دما در سری‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه در دوره آماری (۱۳۸۹-۱۳۵۹) در حوزه آبخیز کرخه با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین‌گر سن بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، حوزه آبخیز کرخه است. این حوزه آبخیز با قرار گرفتن در محدوده جغرافیایی ۶° ۴۶' تا ۱۰° ۴۹' طول شرقی و ۳۰° ۳۰' تا ۵۶° ۳۴' عرض شمالی، بخشی از آبریز خلیج فارس است. حوزه آبخیز کرخه در غرب و جنوب غربی ایران شامل استان‌های کرمانشاه، همدان، کردستان، ایلام، لرستان و خوزستان با مساحت ۵۱۳۳۷ کیلومتر مربع است.

نشان داد و ۵۷ درصد منطقه کاهش معنادار در بارش در دهه ۱۹۸۰ از خود نشان داد. همچنین، Pirnia et al. (2011) به بررسی تغییرات دماهای بیشینه و کمینه و تغییرات رواناب با استفاده از آزمون‌های من-کندال و سن در حوزه آبخیز تجن مازندران پرداختند. نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه افزایش کمی در دماهای بیشینه و کمینه وجود دارد. افزایش دما در فصل‌های زمستان و تابستان و کاهش آن در بهار مشاهده شده است. در ادامه، Sayemuzzaman and Jha (2014) به بررسی روند سری‌های زمانی بارش فصلی و سالانه در کارولینای شمالی در آمریکا در ۲۴۹ ایستگاه در دوره زمانی ۱۹۵۰-۲۰۰۹ با استفاده از آزمون من-کندال و آزمون سن پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که یک روند معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد فقط در ۸، ۷، ۴ و ۱۰ ایستگاه به ترتیب در زمستان، بهار، تابستان و پاییز وجود داشته است. بزرگی بالاترین روند صعودی و نزولی چهار میلی‌متر در فصل پاییز بود و بزرگی روند بارش سالانه از ۵/۵- میلی‌متر در سال تا نه میلی‌متر در سال تغییر نشان داد. نتایج تحلیل روند منطقه‌ای افزایش بارش مناطق کوهستانی و ساحلی را در تمام فصول به‌جز زمستان نشان داد.

Rashid et al. (2015) به بررسی روند تغییرات بارش در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه در ۱۹ ایستگاه در حوزه آبخیز انکاپارینگاه در جنوب استرالیا طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ با استفاده از آزمون من-کندال پرداختند. نتایج نشان داد که در یک ایستگاه روند معنادار نزولی در سطح اطمینان ۹۵ درصد در بارش سالانه وجود داشت. در فصل زمستان روند صعودی معنادار در چهار ایستگاه مشاهده شد. در مورد بارش ماهانه، روند صعودی معنادار در ماه‌های ژوئن، نوامبر و دسامبر در هفت ایستگاه مشاهده شد. Zhao et al. (2015) به بررسی روند مکانی و زمانی متغیرهای هیدرواقلمی در حوضه رودخانه وی در ۲۱ ایستگاه هواشناسی و پنج ایستگاه هیدرومتری در بازه زمانی ۱۹۶۲-۱۹۱۰ با استفاده از آزمون من-کندال پرداختند. نتایج نشان داد که یک روند کاهشی در بارش و رواناب در ۵۱ سال گذشته وجود داشت. این در حالی است که یک روند افزایشی دما در طول دوره و یک روند افزایشی از سال ۱۹۹۰ مشاهده شد. ایستگاه‌های با یک روند کاهشی معنادار در رواناب سالانه عمدتاً در غرب حوزه آبخیز قرار گرفته بودند که عمدتاً این بخش تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در گذشته قرار گرفته بود. تحلیل روند رگرسیون نشان داد که فعالیت‌های انسانی احتمالاً دلیل اصلی کاهش رواناب از سال ۱۹۷۰ به بعد بود. Wu et al. (2016) به بررسی روند بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم در حوضه رودخانه مکنگ با استفاده از آزمون من-کندال، رگرسیون خطی و میانگین متحرک وزنی پرداختند. نتایج نشان داد که بارش در

مرکز هواشناسی کانادا توسعه یافته است. در انتخاب داده‌ها از ایستگاه‌هایی استفاده شده است که حداقل نقص آماری را داشته باشند. به منظور بازسازی نقایص آماری از روش‌های رگرسیون خطی استفاده شد (Kundzewicz and Robson, 2000). برای استفاده از داده‌های روزانه بارش و دما یک ایستگاه، باید مطمئن شد که علاوه بر این که داده‌ها به‌طور غیرطبیعی ناهمگن نباشد، از کیفیت مناسب نیز برخوردار باشد. در این پژوهش، پس از بررسی شناسه داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، فقط آن دسته از ایستگاه‌ها که ناهمگنی داده‌های آن‌ها از بدو تأسیس تا سال ۱۳۸۹ به دلایل طبیعی تشخیص داده شده، مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب، شش ایستگاه اهواز، دزفول، همدان، خرم‌آباد، کرمانشاه و سنندج با طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۹-۱۳۸۹) انتخاب شد. در جدول ۱ نام و مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده ارائه شده است.

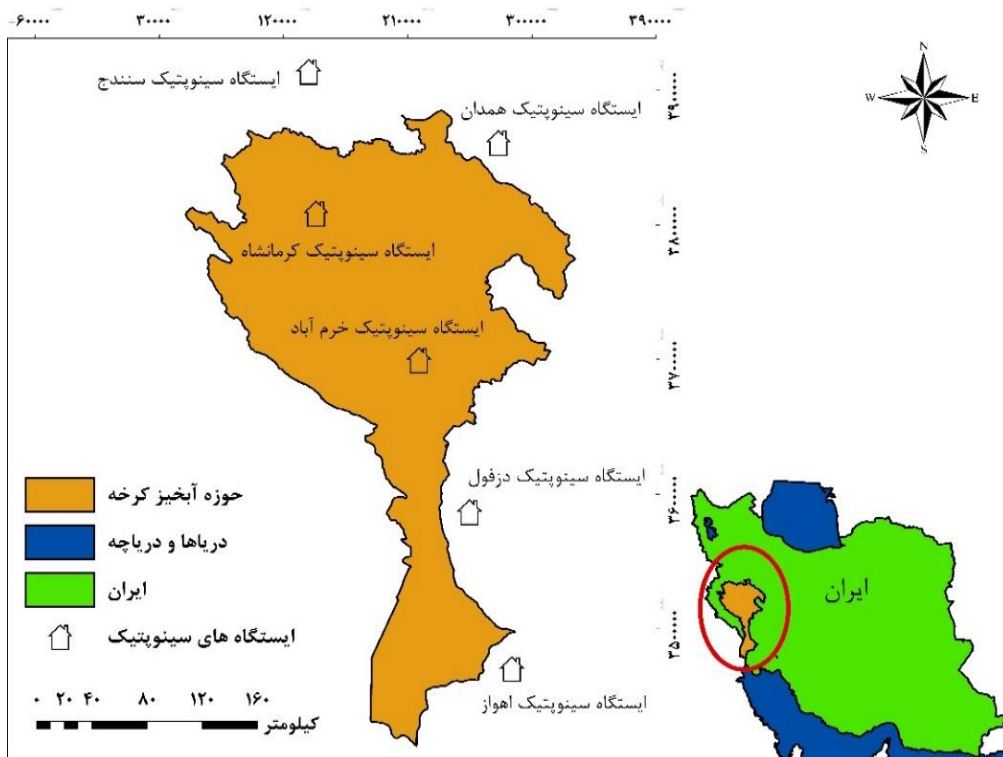
میانگین بارندگی سالانه در حوزه آبخیز کرخه ۱۵۰ میلی‌متر در مناطق جنوبی و بیش‌تر از ۱۰۰۰ میلی‌متر در مناطق شرقی متغیر است. رژیم بارشی حوزه آبخیز از نوع مدیترانه‌ای است. بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع آن به ترتیب ۱۷۴۱ متر و ۲۲ متر از سطح دریاهای آزاد است. حدود ۶۰ درصد مساحت حوزه آبخیز شامل مناطق کوهستانی و ۴۰ درصد باقی‌مانده را دشت، جلگه و کوه‌پایه تشکیل می‌دهند. در شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه آورده شده است.

در پژوهش حاضر از داده‌های بارش، دماهای کمینه و بیشینه و ساعت آفتابی روزانه شش ایستگاه سینوپتیک در حوزه آبخیز کرخه با طول دوره آماری ۱۳۵۹-۱۳۸۹ استفاده شد. کنترل کیفی و همگنی داده‌های این ایستگاه‌ها با برنامه RH Test انجام شد. این برنامه در محیط برنامه‌نویسی R به وسیله بخش پژوهش‌های اقلیمی

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در حوزه آبخیز کرخه

Table 1- Characteristics of study synoptic stations in Karkheh Watershed

| ردیف | نام ایستگاه | سال تأسیس | طول جغرافیایی (E) | عرض جغرافیایی (N) | ارتفاع از سطح دریا (متر) |
|------|-------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 1 | اهواز | 1961 | 44° 48' 40.84" | 20° 31' 39.47" | 22 |
| 2 | دزفول | 1961 | 23° 48' 32.64" | 23° 32' 23.94" | 143 |
| 3 | همدان | 1976 | 32° 48' 45.36" | 51° 34' 57.32" | 1741 |
| 4 | خرم‌آباد | 1961 | 58° 47' 6.88" | 23° 33' 52.84" | 147 |
| 5 | کرمانشاه | 1961 | 7° 47' 28.22" | 21° 34' 24.24" | 1318 |
| 6 | سنندج | 1961 | 1° 47' 23.22" | 18° 35' 4.94" | 1373 |



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study watershed

که در آن n اندازه نمونه است. وقتی $n \geq 10$ باشد آماره S دارای توزیع تقریباً نرمال است و نیز میانگین و واریانس آن با رابطه‌های ۳ و ۴ برابر است.

$$E(S)=0 \quad (۳)$$

$$V(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (۴)$$

که در آن t_i تعداد گره‌های با اندازه i می‌باشد. آماره استاندارد Z برای آزمون یک دامنه به صورت رابطه ۵ بیان می‌شود:

$$Z=\begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S>0 \\ 0 & S=0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S<0 \end{cases} \quad (۵)$$

مقدار مثبت Z روند افزایشی و مقدار منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهد. اگر $1.96 < |Z| < 2.57$ و $-2.57 < |Z| < 2.57$ باشد، در سطح معناداری پنج و یک درصد فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند رد می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- روند داده‌های بارش در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۰)

برای بررسی روند داده‌های بارش اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز کرخه و مجاور آن، از آزمون ناپارامتریک من-کندال و نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۴ استفاده شد. نتایج به دست آمده در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شد. در پژوهش حاضر چون از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شد و آمار سینوپتیک به صورت میلادی در دسترس است، لذا برای بیان نتایج از ماه‌های میلادی استفاده شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود ماه فوریه بیش‌ترین تغییرات روند را نشان می‌دهد. به طوری که در ایستگاه‌های اهواز، خرم‌آباد و سنندج روند تغییرات بارش در سطح اطمینان ۹۹ درصد کاهشی بوده است. در ژانویه در ایستگاه سنندج روند کاهشی در سطح اطمینان ۹۹ درصد مشاهده شد. در مارس ایستگاه‌های کرمانشاه و سنندج و در مه ایستگاه کرمانشاه روند کاهشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهند. در اکتبر در ایستگاه سنندج و در دسامبر در ایستگاه کرمانشاه، روند کاهشی معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شد، در سایر ماه‌ها روند معناداری مشاهده نشد.

۲-۲- تحلیل روند داده‌های اقلیمی مورد استفاده در دوره مورد مطالعه (۱۳۵۹-۱۳۸۹)

یکی از روش‌های متداول برای تحلیل سری‌های زمانی عناصر اقلیمی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری است. وجود روند در سری‌های زمانی عناصر اقلیمی، ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی، تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد (Brooks and Carruthers, 1953). تعیین روند در سری‌های زمانی هیدرواقلیمی از اهمیت زیادی در سراسر جهان برخوردار است (Westmacott and Burn, 1997; Gan, 1998; Burn and Hag Elnur, 2002).

تاکنون روش‌های آماری متعددی برای تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه شده‌اند که به دو دسته کلی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک، قابل تقسیم هستند. روش‌های ناپارامتریک از کاربرد نسبتاً وسیع‌تر و چشم‌گیرتری نسبت به روش‌های پارامتریک برخوردارند. روش‌های ناپارامتریک برای بررسی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شوند. شاید دلیل اصلی این است که آزمون‌های ناپارامتریک برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آن‌ها نرمال نیست و یا دارای داده‌های منقطع باشند، مناسب‌تر هستند. آزمون من-کندال یکی از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری برای تحلیل روند داده‌هاست (Kendall, 1975). روشی که در این پژوهش برای بررسی روند تغییرات دماهای کمینه و بیشینه و بارش دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) استفاده شده، روش ناپارامتری من-کندال است.

این آزمون ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. در این روش، ابتدا آزمون برای مشخص کردن نرمال بودن داده‌ها به کار می‌رود. بدین ترتیب که سری‌های آماری به شکل صعودی مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شوند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. پذیرش فرض یک (رد فرض صفر)، دال بر وجود روند در سری داده‌هاست (Azizi and Roshani, 2008). آزمون من-کندال به صورت رابطه‌های ۱ و ۲ تعیین می‌شود (Mann, 1945; Kendall, 1975).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (۱)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_j > x_k \\ 0 & \text{if } x_j = x_k \\ -1 & \text{if } x_j < x_k \end{cases} \quad (۲)$$

جدول ۲- آماره آزمون من - کندال در تحلیل روند ماهانه بارش در دوره آماری ۱۳۵۹-۱۳۸۹

Table 2- Mann-Kendall test statistic in the analysis of the monthly trend of precipitation during period 1980-2011

| ایستگاه | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | مه | ژوئن | ژوئیه | اوت | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|----------|---------|----------|---------|-------|---------|------|-------|-------|---------|---------|--------|---------|
| اهواز | -0.45 | ** -2.65 | -1.86 | 1.08 | -0.98 | 0 | -0.25 | 0 | -0.27 | 0.86 | -1.12 | -0.61 |
| دزفول | -0.33 | -1.9 | -1.76 | -0.22 | -1.22 | 0.08 | -0.25 | 0 | 0.45 | 1.32 | -0.67 | -0.47 |
| همدان | -0.22 | -1.54 | -1.15 | -0.42 | -0.79 | 0.11 | 1.13 | 0.06 | 0.15 | -0.73 | 0.44 | -1.15 |
| کرمانشاه | -0.56 | -1.49 | * -1.97 | -0.76 | * -2.02 | 0.62 | 0.32 | -0.28 | 0.84 | -0.32 | -1.17 | * -2.12 |
| خرم‌آباد | -0.3 | ** -3.17 | -1.83 | -0.3 | -1.61 | 0.2 | 0.33 | 0.23 | 1.12 | -0.05 | -0.1 | -0.75 |
| سنندج | ** -2.6 | ** -3.33 | * -2.34 | -0.84 | -0.64 | 0.03 | 0.73 | -0.62 | 0.08 | * -1.97 | -1.07 | -1.47 |

* سطح اطمینان ۹۵ درصد ** سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۳- سری‌های زمانی بارش روزانه، فصلی و سالانه در دوره ۱۳۵۹-۱۳۸۹

Table 3- Daily, seasonal and annual rainfall time series during period 1980-2010

| ایستگاه | روزانه | پاییز | زمستان | بهار | تابستان | سالانه |
|----------|----------|-------|----------|-------|---------|----------|
| اهواز | -1.67 | -0.56 | ** -3.11 | 0.61 | -0.5 | ** -2.6 |
| دزفول | * -2.04 | -0.20 | -1.15 | -0.15 | 0.33 | -1.29 |
| همدان | ** -2.46 | -0.33 | -1.46 | -0.13 | 1.41 | -0.84 |
| کرمانشاه | ** -4.23 | -1.58 | -1.93 | 1.08 | 0.76 | ** -2.56 |
| خرم‌آباد | ** -3.82 | -0.11 | * -2.14 | -0.49 | 1.64 | -1.90 |
| سنندج | ** -4.03 | -1.90 | ** -3.60 | -1.27 | 0.61 | ** -3.99 |

* سطح اطمینان ۹۵ درصد ** سطح اطمینان ۹۹ درصد

کوهستانی بودن منطقه مزید بر علت شده و بر این بی‌نظمی‌ها می‌افزاید. علت این که اغلب روندهای معنادار بارش در ایستگاه‌های مختلف، در ماه‌های سرد اتفاق می‌افتاد به این واقعیت بر می‌گردد که اصولاً بارش در منطقه مربوط به ماه‌های سرد سال است و هم‌سو با نتایج Rashid et al. (2015) است. این نتایج نیز در یافته‌های حاصل از روند بارش فصلی کاملاً آشکار است. به‌طوری‌که در فصل زمستان سه ایستگاه اهواز، خرم‌آباد و سنندج دارای روند معنادار کاهشی بوده و مابقی ایستگاه‌ها در هیچ فصلی روند معناداری را نشان نمی‌دهند. در بررسی داده‌های روزانه و سالانه بارش نیز همین تغییرات مشاهده می‌شود به‌گونه‌ای که بارش روزانه در تمامی ایستگاه‌ها به‌استثناء اهواز دارای روند کاهشی است. در بخش سالانه نیز سه ایستگاه اهواز، کرمانشاه و سنندج روند کاهشی را نشان می‌دهند که با نتایج Sayemuzzaman and Jha (2014) مطابقت ندارد. علت اصلی این که در مجموع بارش در منطقه مورد مطالعه چه در مقیاس روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه دارای روند کاهشی است، به شرایط تغییرات دمای منطقه بر می‌گردد. همان‌طور که در بخش قبلی گفته شد دمای منطقه در مجموع دارای روند معنادار افزایشی است. این شرایط باعث تقویت پرفشار جنب حاره شده و در نتیجه به دلیل گسترش سطحی این پرفشار، سیستم‌های کم‌فشار باران‌زا به عرض‌های شمالی‌تر رانده شده و در نتیجه منطقه مورد مطالعه را کم‌تر تحت تأثیر

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول ۳ بیش‌ترین تغییرات در سری‌های زمانی بارش مربوط به داده‌های روزانه است. به‌طوری‌که در ایستگاه‌های همدان، کرمانشاه، خرم‌آباد و سنندج روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ایستگاه دزفول در سطح اطمینان ۹۵ درصد کاهشی است. در حالی که در ایستگاه اهواز روند معناداری مشاهده نشد. در فصل‌های تابستان، بهار و پاییز روند معناداری مشاهده نشد ولی در فصل زمستان در ایستگاه اهواز و سنندج در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ایستگاه خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند کاهشی را نشان دادند. در بحث روند سالیانه ایستگاه‌های اهواز، کرمانشاه و سنندج در سطح اطمینان ۹۹ درصد روند کاهشی و در سایر ایستگاه روند معناداری مشاهده نشد.

در ارتباط با بارش ماهانه در دوره مورد مطالعه، نتایج حاصله بیان‌گر آن است که در اغلب ایستگاه‌ها و در اغلب ماه‌ها میزان بارش کاهشی و غیرمعنادار است که با نتایج Li et al. (2015) در کشور چین مطابقت دارد. بیش‌ترین سطح معناداری در مورد مقدار بارش، مربوط به ماه فوریه و مارس است که در اولی سه ایستگاه اهواز، خرم‌آباد و سنندج دارای روند کاهشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد بود. در ماه مارس نیز ایستگاه‌های سنندج و کرمانشاه دارای روند کاهشی هستند. علت این که بارش ماهانه در اغلب ایستگاه‌ها روند معناداری را نشان نمی‌دهد مربوط به ماهیت این پدیده اقلیمی است که هم به‌صورت مکانی و هم به‌صورت زمانی از بی‌نظمی زیادی برخوردار است. ماهیت

این سیستم‌های بارشی قرار می‌گیرد که نتیجه حاصله کاهش بارش برای منطقه است (Moradi, 2007).

برای بررسی روند داده‌های دمای اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز کرخه و مجاور آن از آزمون ناپارامتریک من-کندال و نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۴ استفاده شد. نتایج حاصل از روند سری زمانی دمای کمینه ماهانه، روزانه، فصلی و سالانه در دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۵۹ در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

۲-۳- روند داده‌های دمای کمینه در دوره پایه (۱۳۵۹-۱۳۸۹)

جدول ۴- آماره من-کندال در تحلیل روند ماهانه دمای کمینه در دوره ۱۳۵۹-۱۳۸۹

Table 4- Mann-Kendall test statistics in the analysis of the monthly trend of the minimum temperature during period 1980-2010

| ایستگاه | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | مه | ژوئن | ژوئیه | اوت | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| اهواز | 1.85 | **3.12 | **2.9 | **3.87 | **3.58 | **5.72 | **4.35 | **4.45 | **3.9 | **4.07 | 0.71 | *2.49 |
| دزفول | 0.75 | 1.73 | 0.95 | 2 | **3.24 | **4.18 | **4.47 | **3.67 | **3.14 | **2.75 | 0.95 | *2.47 |
| همدان | -0.03 | **2.71 | **3.02 | *2.41 | 1.56 | **2.83 | **3.16 | **3.64 | **3.41 | **3.22 | 0.1 | 1.34 |
| کرمانشاه | 0.23 | 1.61 | 1.63 | 1.63 | *2.29 | **3.62 | *2.1 | **2.56 | **3.05 | **3.05 | -0.1 | 1.12 |
| خرم‌آباد | 1.18 | *2.43 | *2.07 | *2.26 | **3.72 | **4.48 | **3.09 | **4.23 | **4.47 | **3.16 | -1.24 | 1.83 |
| سندج | *1.97 | **2.94 | **3.07 | **2.81 | **2.63 | **5.5 | **3.05 | **2.97 | **3.99 | **2.6 | 1.39 | 1.15 |

* سطح اطمینان ۹۵ درصد ** سطح اطمینان ۹۹ درصد

و سندج در سطح اطمینان ۹۹ درصد روند افزایشی و ایستگاه خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی مشاهده شد. در ماه فوریه ایستگاه‌های اهواز، همدان و سندج در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ایستگاه خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی مشاهده شد. در ماه ژانویه تنها در ایستگاه سندج روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد افزایشی مشاهده شد و سایر ایستگاه‌ها روند معناداری نداشتند. در ماه دسامبر در ایستگاه اهواز روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها روند معناداری مشاهده نشد. در ماه نوامبر در هیچ ایستگاهی روند معناداری مشاهده نشد.

با توجه به نتایج جدول ۴ در ماه‌های ژوئن، اوت، سپتامبر و اکتبر در تمامی ایستگاه‌ها روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد افزایشی است. در ماه ژوئیه به غیر از ایستگاه کرمانشاه که در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی داشت، سایر ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد روند افزایشی را نشان دادند. در ماه مه ایستگاه همدان بدون روند و ایستگاه کرمانشاه در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی و سایر ایستگاه‌ها روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۹ درصد را نشان دادند. در ماه آوریل ایستگاه‌های اهواز و سندج در سطح اطمینان ۹۹ درصد روند افزایشی و ایستگاه‌های همدان و خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی مشاهده شد. در ماه مارس در ایستگاه‌های اهواز، همدان

جدول ۵- آماره آزمون من-کندال سری زمانی دماهای کمینه در مقیاس روزانه، فصلی و سالانه (۱۳۵۹-۱۳۸۹)

Table 5- Man-Kendall test Statistic for minimum temperature at time series of daily, seasonal and annual (1980-2010)

| نام ایستگاه | روزانه | پاییز | زمستان | بهار | تابستان | سالانه |
|-------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|
| اهواز | **11 | **4.41 | **3.72 | **5.52 | **5.06 | **5.5 |
| دزفول | **8.44 | **2.87 | **2.63 | **4.01 | **4.41 | **3.48 |
| همدان | **8.75 | **3.17 | 1.85 | **2.92 | **3.67 | **3.62 |
| کرمانشاه | **7.5 | **3.04 | .93 | **3.29 | **3.43 | **3.9 |
| خرم‌آباد | **11.47 | **2.88 | *2.41 | **4.41 | **4.57 | **4.045 |
| سندج | **11.28 | 1.52 | *2.41 | *2.07 | **2.56 | **4.21 |

* سطح اطمینان ۹۵ درصد ** سطح اطمینان ۹۹ درصد

همدان، کرمانشاه و خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۹ درصد افزایشی و ایستگاه سندج در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی مشاهده شد. در زمستان در ایستگاه‌های اهواز و دزفول روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ایستگاه‌های خرم‌آباد و سندج در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی و در ایستگاه‌های همدان و کرمانشاه روند معناداری مشاهده نشد. در پاییز در ایستگاه‌های اهواز، دزفول، همدان، کرمانشاه و خرم‌آباد روند افزایشی در سطح

بر اساس نتایج روند سری‌های زمانی دمای کمینه (جدول ۵)، روند سالانه در تمامی ایستگاه‌ها اهواز، دزفول، همدان، کرمانشاه، خرم‌آباد و سندج در سطح اطمینان ۹۹ درصد افزایشی است. همچنین روند روزانه دمای کمینه هم در تمامی ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد افزایشی مشاهده شد. در بررسی روند فصلی نیز در تابستان در تمامی ایستگاه‌ها روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد افزایشی است. در بهار ایستگاه‌های اهواز، دزفول،

در دمای بیشینه و کمینه روزانه روند معنادار افزایشی وجود دارد، هم‌راستا است.

بررسی داده‌های فصلی نیز نشان‌گر آن است که در دو فصل بهار و تابستان، تمامی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی بوده و در فصل پاییز به‌استثناء ایستگاه سنندج مابقی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی هستند. در حالی‌که در فصل زمستان به‌استثناء دو ایستگاه اهواز و دزفول، مابقی ایستگاه‌ها دارای روند معنادار افزایشی هستند. به این ترتیب، به نوعی نتایج ماهانه در این‌جا تایید می‌شود. این یافته‌ها با نتایج Zohrabi et al. (2016) مطابقت دارد. علت اصلی این روند افزایشی دمای کمینه به توسعه سطحی و نیز شدت پرفشار جنب حاره بر می‌گردد. همان‌طور که آشکار است پرفشارهای دینامیک مرکز هوای گرم هستند یعنی با افزایش دما بر شدت و گسترش سطحی این پرفشارها افزوده می‌شود. نتایج حاصله از این پدیده موجب افزایش دما در منطقه تحت تأثیر این پرفشار از جمله منطقه مورد مطالعه می‌شود.

۳-۳- روند داده‌های دمای بیشینه در دوره پایه (۱۳۵۹-۱۳۸۹)

نتایج حاصل از روند سری زمانی دمای بیشینه ماهانه، روزانه، فصلی و سالانه در دوره آماری ۱۳۵۹-۱۳۸۹ در جدول‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.

اطمینان ۹۹ درصد مشاهده شد و در ایستگاه سنندج روند معناداری نیز مشاهده نشد.

دمای کمینه ماهانه در اغلب ایستگاه‌ها به‌استثناء سه ماه ژانویه، نوامبر و دسامبر دارای روند افزایشی است. این نتایج بیان‌گر آن است که در سال‌های اخیر دمای کمینه ماهانه در حوزه آبخیز کرخه به‌طور کلی افزایشی است. این میزان افزایش در ماه‌های گرم سال به‌ویژه ژوئن تا سپتامبر، خیلی بیش‌تر است. در حالی‌که در ماه‌های سرد به‌عنوان مثال نوامبر، دسامبر و ژانویه روندی دیده نمی‌شود. این نتایج با بحث گرمایش جهانی که در سال‌های اخیر مطرح شده (Omidvar and Khosravi, 2010) مطابقت دارد و نشان می‌دهد که گرمایش جهانی در حوزه آبخیز کرخه رخ داده است. یکی از دلایلی که می‌تواند در توجیه این مطلب که چرا در ماه‌های سرد دمای کمینه دارای روند نیست این باشد که شرایط توپوگرافی منطقه با توجه به غلبه کوهستان در تعدیل دما می‌تواند بسیار نقش‌آفرین باشد. این یافته‌ها با نتایج Erfanian et al. (2014) مطابقت دارد. در بررسی دمای کمینه روزانه و سالانه تمامی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و معنادار در سطح اطمینان ۹۹ درصد است. این نتایج بیان‌گر آن است که منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر گرمایش جهانی است که با نتایج Yan and Zheng (2015) در فلات لسی چین مبنی بر آن که

جدول ۶- آماره آزمون من-کندال در تحلیل روند ماهانه دمای بیشینه در دوره ۱۳۵۹-۱۳۸۹

Table 6- Mann-Kendall test statistic in the analysis of the monthly trend of the maximum temperature during period 1980-2010

| نام ایستگاه | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | مه | ژوئن | ژوئیه | اوت | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|-------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| اهواز | 0.67 | **3.24 | **2.53 | 0.2 | 1.56 | *1.98 | -0.01 | **3.14 | 0.03 | **2.95 | 0.45 | 0.67 |
| دزفول | 0.33 | **2.78 | *2.05 | 1.71 | *2.24 | 1.86 | 0.22 | *2.24 | -0.06 | 1.03 | 1.27 | *2.39 |
| همدان | 0.67 | *2.37 | **3.73 | 0.23 | 0.83 | 0.83 | 1.15 | 0.74 | 1.73 | **3.67 | -0.01 | 1.32 |
| کرمانشاه | 0.5 | **2.78 | **3.7 | 1.32 | **2.68 | **3.19 | **3.33 | **3.7 | **3.28 | **3.29 | 0.44 | *-2.3 |
| خرم‌آباد | 0.03 | **2.78 | **3.24 | 0.05 | 1.93 | 1.92 | **2.99 | **2.82 | *2.03 | **2.78 | -0.23 | 1 |
| سنندج | 0 | **2.56 | **3.38 | 0.59 | *2.07 | *2.2 | 1.91 | 1.41 | 1.41 | **3.77 | -0.05 | 1.39 |

* سطح اطمینان ۹۵ درصد ** سطح اطمینان ۹۹ درصد

سایر ایستگاه‌ها روند معناداری مشاهده نشد. در اوت در ایستگاه‌های اهواز، کرمانشاه و خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ایستگاه دزفول در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی مشاهده شد. در سپتامبر در ایستگاه کرمانشاه در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ایستگاه خرم‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها روند معناداری مشاهده نشد. در اکتبر روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۹ درصد در ایستگاه‌های اهواز، همدان، کرمانشاه، خرم‌آباد و سنندج مشاهده شد و ایستگاه دزفول بدون روند معناداری است. در دسامبر روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد در ایستگاه‌های دزفول و کرمانشاه مشاهده و سایر ایستگاه‌ها روند معناداری مشاهده نشد.

بر اساس یافته‌های ارائه شده در جدول ۶، در ماه‌های ژانویه، آوریل و نوامبر در هیچ ایستگاهی روند معناداری مشاهده نشد. در فوریه تمام ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد دارای روند افزایشی هستند. چنین شرایطی در مارس نیز مشاهده می‌شود. در ماه مه در ایستگاه‌های دزفول و سنندج در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی، در ایستگاه کرمانشاه در سطح اطمینان ۹۹ درصد روند افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها روند معناداری وجود نداشت. در ژوئن در ایستگاه‌های اهواز و سنندج در سطح اطمینان ۹۵ و در ایستگاه کرمانشاه در سطح اطمینان ۹۹ درصد روند افزایشی مشاهده شد. در ژوئیه در ایستگاه‌های کرمانشاه و خرم‌آباد روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۹ درصد مشاهده و در

جدول ۷- سری زمانی دمای بیشینه در مقیاس روزانه، فصلی و سالانه (۱۳۵۹-۱۳۸۹)
Table 7- Maximum temperature time series for daily, seasonal and annual scale (1980-2010)

| نام ایستگاه | روزانه | پاییز | زمستان | بهار | تابستان | سالانه |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| اهواز | **5.15 | 1.54 | **2.63 | 1.59 | 1.64 | **2.78 |
| دزفول | **4.54 | **2.87 | **2.63 | **4.01 | **4.41 | **3.48 |
| همدان | **6.06 | 1.85 | *2.46 | 0.81 | *2.7 | **3.84 |
| کرمانشاه | **8.99 | **2.78 | **3.02 | **3.05 | **3.07 | **4.44 |
| خرم‌آباد | **5.94 | 1.39 | *2.46 | 1.56 | **3.77 | **3.55 |
| سندج | **6.61 | 1.52 | *2.41 | *2.07 | *۲/۵۶ | **4.21 |

* سطح اطمینان ۹۵ درصد ** سطح اطمینان ۹۹ درصد

(2013) است. قابل ذکر است که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، کرمانشاه دارای بالاترین تغییرات دمای بیشینه و دزفول دارای پایین‌ترین آن (به ترتیب ۸/۹۹ و ۴/۵۴) است. نتایج حاصل از دمای بیشینه فصلی نیز نشان می‌دهد که در دو فصل زمستان و تابستان (به استثناء اهواز)، در تمامی ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده می‌شود. در حالی که در دو فصل پاییز و بهار به استثناء دزفول و کرمانشاه در دیگر ایستگاه‌ها، روند تغییر دما دیده نمی‌شود که با نتایج Pirnia et al. (2011) مطابقت دارد.

همچنین، بررسی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که ایستگاه‌های کرمانشاه و دزفول در تمامی سری‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه دارای روند معنادار افزایشی دما هستند و مطابق با نتایج (2014) Ahmadi and Radmanesh است که روند تغییرات دمای ماهانه و سالانه در شمال کشور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده روند افزایشی دما در شمال کشور بوده است. شاید عامل اصلی تفاوت یافته‌ها در دو ایستگاه کرمانشاه و دزفول در مقایسه با ایستگاه اهواز که در منطقه جنوبی‌تر واقع شده‌اند، عامل رطوبت نسبی بالا در ایستگاه اهواز در مقایسه با دو ایستگاه دیگر باشد. عامل رطوبت یک عامل تعدیل‌کننده دما محسوب می‌شود و ایجاد تغییرات شدید در بیشینه‌های حدی را محدود می‌سازد. سه ایستگاه دیگر (سندج، خرم‌آباد و همدان) به دلیل شرایط کوهستانی و عامل ارتفاع، کم‌تر تحت تأثیر تغییرات شدید دماهای بیشینه قرار می‌گیرند.

۴- نتیجه‌گیری

تحلیل روند بارش روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه و دمای کمینه و بیشینه در دوره ۱۳۵۹-۱۳۸۹ با توجه به تأثیر زیاد آن‌ها بر واکنش هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز و نیز مسائل محیط زیستی بسیار با اهمیت هستند. همچنین نقش تغییر اقلیم و اثرات آن بر روند پدیده‌های حدی در مناطق مختلف می‌تواند پیامدهای زیادی را به دنبال داشته باشد. پژوهش حاضر به منظور بررسی روند بارش و دما در سری‌های زمانی مختلف انجام شد. نتایج حاصل

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول ۷ سری‌های زمانی دمای بیشینه، روند روزانه و سالانه در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۹ درصد به صورت افزایشی مشاهده می‌شود. در بررسی‌های فصلی، در پاییز ایستگاه‌های دزفول و کرمانشاه در سطح اطمینان ۹۹ درصد روند افزایشی و سایر ایستگاه‌ها فاقد روند معناداری بودند. در زمستان ایستگاه‌های اهواز، دزفول و کرمانشاه روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در مابقی ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد افزایشی مشاهده می‌شود. در فصل بهار در ایستگاه دزفول و کرمانشاه روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد افزایشی، و در ایستگاه سندج روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها روند معناداری مشاهده نشد. در فصل تابستان روند دمای بیشینه در تمامی ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد و افزایشی مشاهده می‌شود.

نتایج حاصل از دمای بیشینه ماهانه بیان‌گر آن است که در ماه‌های فوریه، مارس و اکتبر (به استثناء ایستگاه دزفول) در تمامی ایستگاه‌ها روند افزایش معنادار دما وجود دارد. در حالی که در ماه‌های ژانویه، آوریل و نوامبر در هیچ ایستگاهی روند افزایشی یا کاهش دما دیده نمی‌شود. نتیجه‌گیری کلی آن که تغییرات دمای بیشینه ماهانه به اندازه دمای کمینه ماهانه نیست. همچنین در مقام مقایسه با داده‌های کمینه از ناپایداری بیش‌تری برخوردار است و مختص فصل‌های خاصی نمی‌شود. این یافته‌ها با (2005) Mohammadi and Taghavi مطابقت دارد. مطلب قابل توجه آن که در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه کرمانشاه از بیش‌ترین ماه‌های همراه با افزایش دمای بیشینه برخوردار است که این موضوع احتمالاً به شرایط توپوگرافی و محلی این ایستگاه بر می‌گردد.

شرایط روند دمای بیشینه روزانه و سالانه هم‌چون نتایج حاصل شرایط دمای کمینه بوده و در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی است که مقدار این تغییرات در روزانه بسیار بیش‌تر از سالانه می‌باشد و مطابق با نتایج Tai Semiromi et al.

افزایشی بوده و دلالت بر افزایشی بودن روند دمای کمینه ماهانه در حوزه آبخیز کرخه در سال‌های اخیر است. این در حالی است که تغییرات دمای بیشینه ماهانه به اندازه دمای کمینه ماهانه نبوده و از ناپایداری بیش‌تری برخوردار است.

از تحلیل روند بارش ماهانه در دوره مورد مطالعه بیان‌گر روند کاهشی و غیرمعتادار در اغلب ایستگاه‌ها و در اغلب ماه‌ها بوده است. هم‌چنین در اغلب ایستگاه‌های مورد بررسی دمای کمینه ماهانه به‌استثنا سه ماه ژانویه، نوامبر و دسامبر دارای روند

منابع

ظهرابی، ن.، مساح‌بوانی، ع.، گودرزی، ا.، و حیدرنژاد، م. (۱۳۹۵). شناسایی روند تغییرات دما و بارش سالانه در حوزه آبریز کرخه. *اکوبیولوژی تالاب*، ۸ (۲)، ۵-۲۲.

عرفانیان، م.، انصاری، ح.، علیزاده، ا.، و بنایان اول، م. (۱۳۹۳). بررسی تغییرات شاخص‌های حدی هواشناسی در استان خراسان رضوی. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۴۸ (۴)، ۸۱۷-۸۲۵.

عزیزی، ق.، و روشنی، م. (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۰ (۶۴)، ۱۳-۲۸.

محمدی، ح.، و تقوی، ف. (۱۳۸۶). روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۸ (۱)، ۱۵۱-۱۷۲.

مرادی، ح. (۱۳۸۵). پیش‌بینی وقوع سیلاب‌ها بر اساس موقعیت‌های سینوپتیکی در ساحل جنوبی دریای خزر. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۸ (۵۵)، ۱۰۹-۱۳۱.

احمدی، ف.، و رادمنش، ف. (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات متوسط دمای ماهانه و سالانه نیمه شمالی کشور در نیم قرن اخیر. *آب و خاک*، ۲۸ (۴)، ۸۵۵-۸۶۵.

امیدوار، ک.، امیدوار، ک.، و خسروی، ی. (۱۳۸۹). بررسی تغییر برخی عناصر اقلیمی در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از آزمون کندال. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۱ (۲)، ۳۳-۴۶.

پیرنیا، ع.، حبیب‌نژاد روشن، م.، و سلیمانی، ک. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات دمای حداکثر و حداقل و ارتباط آن با تغییرات رواناب در حوزه آبخیز تجن، مازندران. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه اصفهان.

خسروی، آ.، و آذری، م. (۱۴۰۱). تعیین روند زمانی و مکانی و نقطه تغییر دما و بارش در حوزه کشف‌رود. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۲ (۶۶)، ۲۸۹-۳۰۶.

طائی سمیرمی، س.، مرادی، ح.، خدقلی، م.، و توسلی، ا. (۱۳۹۲). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوزه آبخیز بار نیشابور. *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۱ (۱)، ۲۷-۳۲.

Refernces

Ahmadi, F., & Radmanesh, F. (2014). Trend analysis of monthly and annual mean temperature of the northern half of Iran over the last 50 years. *Journal of Water and Soil*, 28(4), 855-865 (in Persian).

Ahmadi, F., Nazeri Tahroudi, M., Mirabbasi, R., Khalili, K., & Jhajharia, D. (2018). Spatiotemporal trend and abrupt change analysis of temperature in Iran. *Meteorological Applications*, 25, 314-321.

Azizi, Gh., & Roshani, M. (2008). Using mann-kendall test to recognize of climate change in Caspian Sea southern coasts. *Geographical Research Quarterly*, 40(64), 13-28 (in Persian).

Basso, B., Martinez-Feria, R.A., Rill, L., & Ritchie, J.T. (2021). Contrasting long-term temperature trends reveal minor changes in projected potential evapotranspiration in the US Midwest. *Nature Communications*, 12, 1476.

Bronstert, A. (2004). Rainfall-runoff modelling for assessing impacts of climate and land-use change. *Hydrological Processes*, 18(3), 567-570.

Brooks, C.E.P., & Carruthers, N.B. (1953). *Handbook of statistical methods in meteorology*. First Edition: Her Majesty's Stationery Office, 412 pages.

Burn, D.H., & Hag Elnur, M.A. (2002). Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 255(1-4), 107-122.

Erfanian, M., Ansari, H., Alizadeh, A., & Banayan Aval, M. (2014). Assessment of climatic extreme events variations in Khorasan Razavi Province. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 8(4), 817-825 (in Persian).

Gan, T.Y. (1998). Hydro climatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies. *Water Resources Research*, 34(11), 3009-3015.

Guan, Y., Lu, H., Jiang, Y., Tian, P., Qiu, L., Pellikka, P., & Heiskanen, J. (2021). Changes in global climate heterogeneity under the 21st century global warming. *Ecological Indicators*, 130, 108075.

Hamed, K.H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349(3-4), 350-363.

Huntington, T.G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1-4), 83-95.

IPCC, (2007). Climate change 2007: synthesis report, A. in Allali, et al., Editors. 51 pages.

Kendall, M.G. (1975). *Rank Correlation Measures*, Charles Griffin. London, 202 pages.

- Khosravi, A., & Azari, M. (2022). Spatio-temporal trend and change detection of temperature and precipitation of Kashafroud basin. *Researches in Geographical Sciences*, 22(66), 289-306 (in Persian).
- Kundzewicz, Z.W., & Robson, A. (ed.) (2000). Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data. World Climate Programme – Water, World Climate Programme Data and Monitoring, WCDMP-45, WMO/TD – No. 1013, Geneva.
- Li, Y.G., He, D., Hu, J.M., & Cao, J. (2015). Variability of extreme precipitation over Yunnan Province, China 1960–2012. *International Journal of Climatology*, 35(2), 245-258.
- Liu, Q., & Cui, B. (2011). Impacts of climate change/variability on the streamflow in the Yellow River Basin, China. *Ecological Modelling*, 222(2), 268-274.
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica. Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245-259.
- Milliman, J.D., Farnsworth, K.L., Jones, P.D., Xu, K.H., & Smith, L.C. (2008). Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951–2000. *Global and Planetary Change*, 62(3-4), 187-194.
- Mohammadi, H., & Taghavi, F. (2005). Trend in indices of temperature and precipitation extreme in Tehran. *Geographical Research Quarterly*, 37(53), 151-172 (in Persian).
- Moradi, H.R. (2007). Forecasting of flood occurrence using synoptic systems location in the southern coast of Caspian Sea. *Geographical Research Quarterly*, 38(55), 109-131 (in Persian).
- Nunes, J.P.C. (2007). Vulnerability of Mediterranean watersheds to climate change: the desertification context. Ph.D. Thesis, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal.
- Oguntunde, P.G., Friesen, J., van de Giesen, N., & Savenije, H.H.G. (2006). Hydro climatology of the Volta River Basin in West Africa: trends and variability from 1901 to 2002. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31(18), 1180-1188.
- Omidvar, K., & Khosravi, Y. (2010). Investigation of change of some climatic elements in North Coast of Persian Gulf Using Kendal Test. *Geography and Environmental Planning*, 21(2), 33-46 (in Persian).
- Pirnia, A., Habibnejad, M., & Soleimani, K. (2011). Investigation of maximum and minimum temperature variations and relation to runoff variations in Tajan watershed, Mazandaran. Seventh National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering, Isfahan, Iran (in Persian).
- Rashid, M.M., Beecham, S., & Chowdhury, R.K. (2015). Assessment of trends in point rainfall using Continuous Wavelet Transforms. *Advances in Water Resources*, 82, 1-15.
- Sayemuzzaman, M., & Jha, M.K. (2014). Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. *Atmospheric Research*, 137, 183-194.
- Taei Semiromi, S., Moradi, H.R., & Khodagholi, M. (2013). Evaluation of the effects of climate change on precipitation in the Neyshabur Bar Watershed. *Extension and Development of Watershed Management*, 1(1), 27-32 (in Persian).
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Tank, A. K., ... & Zhai, P. (2007). Observations: surface and atmospheric climate change. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- VijayaVenkataRaman, S., Iniyar, S., & Goic, R. (2012). A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 878-897.
- Westmacott, J.R., & Burn, D.H. (1997). Climate change effects on the hydrologic regime within the Churchill-Nelson River Basin. *Journal of Hydrology*, 202(1), 263-279.
- Wu, F., Wang, X., Cai, Y., & Li, C. (2016). Spatiotemporal analysis of precipitation trends under climate change in the upper reach of Mekong River Basin. *Quaternary International*, 392, 137-146.
- Yacoub, E., & Tayfur, G. (2019). Trend analysis of temperature and precipitation in Trarza region of Mauritania. *Journal of Water and Climate Change*, 10(3), 484-493.
- Yan, L., & Zheng, M. (2015). Influence of climate change on saline lakes of the Tibet Plateau, 1973–2010. *Geomorphology*, 246, 68-78.
- Zhang, P., Ren, G., Qin, Y., Zhai, Y., Zhai, T., Tysa, S. K., Xue, X., Yang, G., & Sun, X. (2021). Urbanization effects on estimates of global trends in mean and extreme air temperature. *Journal of Climate*, 34(5), 1923-1945.
- Zhao, J., Huang, Q., Chang, J., Liu, D. Huang, S., & Shi, X. (2015). Analysis of temporal and spatial trends of hydro-climatic variables in the Wei River Basin. *Environmental Research*, 139, 55-64.
- Zohrabi, N., Massah Bavani, A., Goudarzi, A., & Heidarnejad, M. (2016). Identify Trend in the Annual Temperature and Precipitation in Karkheh River Basin. *Wetland Ecology*, 8(2), 5-22 (in Persian).